

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

-جامعة الجيلالي بونعامة – خميس مليانة

Université Djilali Bounaama Khemis-Miliana



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département : Sciences de la Terre

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master

Thème

**Caractérisation hydro chimique, classification et statistiques multivariées
des eaux souterraines de la vallée du moyen Cheliff occidental**

Préparé par :

- MESSAHEL Madjed
- CHADOULI Hichem

Devant le jury :

Mr BOUDERBALA Abdelkader	Président	MCA	UDBKM
Mr HENNIA Kaddour	Promoteur	MAA	UDBKM
Mr GHERBI Benyoucef	Examineur	MCB	UDBKM

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce travail, et avant tout, nous remercions Allah qui nous a donné la force, le courage et les moyennes pour la réalisation de ce travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner tout ma gratitude.

Nous remercions Mr. BOUDERBALA AEK maitre conférence à l'université Djilali Bounaama Khemis Miliana de nous avoir fait l'honneur de présider Notre jury.

A Mr. GHERBI Benyousef maitre de conférence à l'université Djilali Bounaama Khemis Miliana d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Mr HENNIA Kaddour pour tout son dévouement lors de nous encadrement, pour tout son aide et ses précieux conseils et ses encouragements incessants, et surtout pour sa patience et sa compréhension.

A tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

الملخص:

نوعية المياه هي أحد الشواغل المستمرة للبشرية، حيث سنت تشريعات شاملة وصدقت على العديد من الاتفاقيات والاتفاقيات الدولية لحماية المياه وحفظها. للدخول في مثل هذا كان الغرض من دراستنا هو تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية لسهل شلف الأوسط الغربي واستند تقييم نوعية هذه المياه إلى ما يلي :

- الدراسة الهيدروكيميائية: باستخدام الأسلوب البياني والإحصائي ؛
- دراسة الاستهلاك البشري والري: باستخدام عدة طرق مثل WQI لصلاحية الشرب و Wicox للري.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المصانع الهيدروكيميائية السائدة هي كلوريد الصوديوم، وأن هذه المياه تستخدم بشكل أساسي للاستهلاك البشري والري.

الكلمات المفتاحية: سهل شلف الأوسط، المياه الجوفية، السهل الغربي، الجودة، الأوجه الهيدروكيميائية،

Résumé :

La qualité de l'eau est l'une des préoccupations constantes de l'humanité, pour laquelle ils ont édicté une législation complète et ratifié de nombreux accords et conventions internationaux pour la protection et la préservation de l'eau. pour entrer dans un tel

Dans le cadre, le but de notre étude était d'évaluer la qualité physico-chimique de la plaine alluviale de Moyen Cheliff Occidental.

L'évaluation de la qualité de ces eaux s'est basée sur :

- l'étude hydrochimique : Avec méthode graphique et statistique
- l'étude de consommation humaine et l'irrigation: avec plusieurs méthodes comme WQI pour la potabilité et Wilcox pour l'irrigation.

Les résultats obtenus ont montré que les faciès hydrochimiques prédominants sont chlorurés sodiques, et que ces eaux sont majoritairement utilisées pour la consommation humaine et l'irrigation.

Mots-clés : Moyen Cheliff, Eaux souterraines, plaine alluviale, qualité, faciès Hydrochimiques.

Abstract:

Water quality is one of humanity's constant concerns, for which they have enacted comprehensive legislation and ratified many international agreements and conventions for the protection and preservation of water. to enter such a

The purpose of our study was to assess the physico-chemical quality of the Middle Cheliff Occidental alluvial plain.

The assessment of the quality of these waters was based on:

- Hydrochemical study: With graphical and statistical method;
- Human consumption study and irrigation: with several methods such as WQI for potability and Wilcox for irrigation.

The results obtained showed that the predominant hydrochemical facies are sodium chloride, and that these waters are mainly used for human consumption and irrigation.

Keywords: Middle Cheliff, Groundwater, alluvial plain, quality, hydrochemical facies.,

Sommaire

Résumé

Liste des abréviations utilisées

Liste des Tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Aperçu bibliographique

Introduction :	2
1.1 Qualité de l'eau souterraine :	2
1.2 Paramètre des qualités des eaux :	3
1.2.1 Paramètres physiques :	3
1.2.1.1 Température :	3
1.2.1.2 Conductivité électrique :	4
1.2.1.3 Couleur	5
1.2.1.4 Saveur :	5
1.2.1.5 Turbidité et transparence:	5
1.2.1.6 Odeur	5
1.2.2 Paramètres chimiques :	5
1.2.2.1 Potentiel d'Hydrogène (pH) :	5
1.2.2.2 . Dureté :	6
1.2.2.3 . Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}) :	6
1.2.2.4 Sodium (Na^{+}) et Potassium (K^{+})	7
1.2.2.5 Sulfate (SO_4^{2-})	7
1.2.2.6 Chlorure (Cl^{-})	8
1.2.2.7 Nitrates et Nitrites:	8
1.2.2.8 Bicarbonates (HCO_3^{-})	8

1.2.2.9	. Le fer:	8
1.2.2.10	Le manganèse:.....	9
1.2.2.11	. Le fluor	9
1.2.3	Paramètres biologiques :	9
1.2.3.1	Oxygène dissous.....	9
1.2.3.2	. Demande biochimique en oxygène (DBO)	10
1.2.3.3	Demande chimique en oxygène (DCO).....	10
1.3	Qualité de l'eau souterraine en Algérie :	10
1.4	Pollution des ressources en eau :	11
1.4.1	Principaux polluants des eaux	11
1.4.1.1	Pesticides.....	11
1.4.1.2	Détergents.....	12
1.4.1.3	Hydrocarbures.....	12
1.4.1.4	Engrais	12
1.4.2	Origine de la pollution :	12
1.4.2.1	. Origine domestique	12
1.4.2.2	. Origine industrielle.....	13
1.4.2.3	Origine agricole	13
1.4.2.4	Origine urbaine et routière.....	14
1.4.3	Principaux types de pollution	14
1.4.3.1	Pollution temporaire et chronique.....	14
1.4.3.2	Pollution ponctuelle et diffuse.....	15
1.4.3.3	Pollution linéaire	15
1.4.3.4	Pollutions historiques.....	15
1.5	Effets de la pollution sur la santé humaine :.....	15
1.5.1.1	Calcium et Magnésium.....	15
1.5.1.2	Sodium et potassium.....	15

1.5.1.3	Les sulfates	16
1.5.1.4	Les chlorures.....	16
1.5.1.5	Les nitrates.....	16
1.5.1.6	L'ammonium.....	16
<i>Conclusion</i> :.....		16

Chapitre II : Situation et description de la zone d'étude

1.6	Situation géographique de la zone d'étude:	18
1.7	Aperçu morphologique:	19
1.8	Hydrologie de la zone d'étude :.....	20
1.8.1	Hydrographie :	20
1.8.2	Hydrométrie :	21
1.9	. Climatologie :	22
1.9.1	Climatologie régionale :.....	22
1.9.2	Climatologie locale :.....	24
1.9.2.1	Précipitations :.....	24
1.9.2.2	Température :.....	25
1.9.2.3	L'humidité de l'air :	26
1.9.2.4	Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite :	26
1.10	Cadre géologique :.....	28
1.10.1	Cadre géologique régional :.....	28
1.10.2	Cadre géologique local :	29
1.10.2.1	Formations néogènes et quaternaires :.....	31
1.10.2.2	Formations Anténéogènes :	31
1.11	Cadre Hydrogéologique :.....	35
1.11.1	Identification des principaux aquifères :.....	35
1.11.2	Choix de l'aquifère étudié :.....	37
1.11.3	Identification de la nappe étudiée :	37

1.11.4	Hydrodynamique de la nappe étudiée :	38
1.12	Cadre pédologique :	40
1.12.1	Principaux types de sols de la zone d'étude :	40
1.12.1.1	Les sols peu évolués :	40
1.12.1.2	Les vertisols :	41
1.12.1.3	Les sols calci-magnésiques :	41
1.12.1.4	Les sols halomorphes :	41
1.12.1.5	Les sols sesquioxides de fer :	42
1.12.1.6	Les sols isohumiques :	43
1.13	Occupation des sols :	43
1.14	Contexte socio – économique :	44
1.14.1	Population :	44
1.14.2	Agriculture et élevage :	45
1.14.3	Industrie :	45

Chapitre III :Étude hydrochimique

1.15	Données :	48
1.15.1	Échantillonnage :	48
1.15.2	Les Analyses physico-chimique :	49
1.15.2.1	In site :	49
1.15.2.2	Laboratoire :	49
1.16	Étude hydrochimie :	50
1.16.1	Méthode statistique :	50
1.16.1.1	Statistique descriptive :	50
1.16.1.2	Analyse en Composantes Principales (A.C.P) :	51
1.16.1.3	Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.) :	55
1.16.2	Méthode graphique :	64
1.16.2.1	Diagramme de Piper :	64

1.16.2.2	Classification des eaux selon le diagramme de STABLER :	65
1.16.2.3	Classification des eaux selon le diagramme de Chadha :.....	67
1.16.2.4	Classification des eaux selon le diagramme de Durov :.....	68
1.16.2.5	Classification des eaux selon le diagramme de Stiff :	70
<i>Conclusion</i> :.....		73

Chapitre IV : Évaluation de la qualité des eaux

1.17	L'indice de qualité de l'eau (water quality index WQI) :.....	75
1.17.1	Les étapes de calcul WQI :.....	75
1.18	L'irrigation des eaux :.....	78
1.18.1	Indice de Kelly's Ratio (KR) :	78
1.18.2	Pourcentage de Sodium (% Na) et classification des eaux par la méthode Wilcox :.....	80
1.18.3	Sodium Absorption Ratio (SAR) :.....	82
1.18.4	Classification des eaux selon diagramme de richards :	84
<i>Conclusion</i> :.....		86

CONCLUSION GENERALE

Références Bibliographiques

ANNEXES

Liste des abréviations utilisées

- **ABH -CZ** : Agence du Bassin Hydrographique Cheliff – Zahrez
- **ACP** : Analyse en Composantes Principales
- **AEP** : Alimentation en Eau Potable
- **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- **BI** : Balance ionique
- **CEE** : Communauté Economique Européenne
- **C.A.H.** : Classification ascendante hiérarchique
- **CV** : Coefficient de Variation
- **Da** : Déficit agricole
- **DBO** : Demande biologique en oxygène
- **DCO** : Demande chimique en oxygène
- **DSA**: Direction des Services Agricoles
- **ETP** : Evapotranspiration Potentielle
- **ETR** : Evapotranspiration Réelle
- **FNDRA** : Fonds National de Développement et de Régularisation Agricole
- **MCO** : Moyen Cheliff Occidental
- **KR** : Kelly's Ratio
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **ONM** : Office National de la Météorologie
- **RFU** : Réserve Facilement Utilisable
- **SAR** : Sodium Absorption Ratio
- **(TAC)** : Titre Alcalimétrique Complet
- **UNESCO** : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
- **WQI** : water quality index
- **W s** : Water surcharge (surplus)

Liste des Tableaux

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

Tableau 2 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.

Tableau 3 : Caractéristiques physiographiques des sous bassins versants de la zone d'étude.

Tableau 4 : Les postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental.

Tableau.5 : Changement mensuelles des précipitations (mm) à la station l'ONM Chlef (2005-2013).

Tableau .6 : Températures moyennes relevées à la station de l'ONM Chlef (2003-2014).

Tableau.7 : les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période 2013- 2016 (station de l'ONM Chlef,).

Tableau. 8: Calcul du bilan hydrologique pour l'année 2004 selon la méthode de Thornthwaite.

Tableau. 9: Volume d'eau prélevé de la nappe alluviale pour l'année 2004 (Source, ABH-CZ).

Tableau. 10 : Résultats des analyses chimiques (meq/L)

Tableau .11 : Caractéristiques statistiques physico-chimiques des points d'eau.

Tableau. 12 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques des eaux de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Tableau. 13 : Valeurs propres de la matrice de corrélation.

Tableau. 14 : Classification des eaux selon C.A.H.

Tableau .15: Classification des eaux selon le pH (JORA, 2011).

Tableau 16. Poids relatifs de paramètres chimiques.

Tableau 17. La classification de la qualité de l'eau à des fins de consommation selon WQI.

Tableau.18 : Résultats de calcul de WQI pour la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Tableau .19 : Valeurs de KR des eaux de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Tableau .20 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na.

Tableau. 21 : Classification des eaux de la plaine du Moyen Cheliff occidental selon le %Na.

Tableau .22 : Classification des eaux d'irrigation selon le SAR.

Tableau. 23 : Classification des eaux selon le diagramme de Richards.

Tableau .24: Analyses chimiques des échantillons prélevés au niveau de points d'eau de la nappe alluvionnaire de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Tableau .25: Classification de Durov.

Tableau .26 : Résultats de calcul SLI et WQI de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Liste des figures

Figure. 1 : Situation de la zone d'étude

Figure 2. Carte des altitudes dans le moyen Cheliff occidental

Figure 3. Carte du réseau hydrographique du moyen Cheliff occidental

Figure 4. Position des postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental

Figure.5 : Carte des isohyètes des pluies annuelles d'après l'ANRH pour la période De 1991/1992 à 2009/2010 pour la région de zone d'étude.

Figure. 6 : variations de l'humidité durant les mois de l'année

Figure 7. Structure du Tell – Centre Ouest –(Perrodon, 1957 ; Mattauer, 1958)

Figure. 8 : Carte géologique de zone d'étude

Figure 9. Contexte géologique de la zone d'étude

Figure.10: La stratigraphie synthétique du Moyen Cheliff occidental d'après Mattauer (1958)

Figure.11: Localisation des forages et des puits paysans dans la zone d'étude

Figure. 12: Cartes piézométriques de la nappe alluviale du Moyen Cheliff occidental

Figure. 13: Carte pédologique de la zone d'étude

Figure 14: carte de l'occupation des sols du Moyen Cheliff occidental.

Figure 15. Situation des communes de la vallée du Moyen Cheliff occidental.

Figure 16.Évolution de l'élevage dans la vallée du Moyen Cheliff occidental.

Figure 17. Échantillonnage des points d'eau

Figure.18 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

Figure.19 : Cercle de corrélation : axes 1 et 2, étude des variables.

Figure.20 : Cercle de corrélation : axes 1 et 3, étude des variables.

Figure.21 : Dendrogramme des points d'eau de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Figure.22: Variations du pH.

Figure.23 : Variation de la conductivité électrique au niveau des points d'eau de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Figure.24 : Variation de l'ion calcium au niveau de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Figure.25 : Variation de l'ion magnésium au niveau de la plaine du Moyen Cheliff occidental.

Figure.26 : Variation de l'ion sodium au niveau de la plaine du Moyen Cheliff occidental

Figure.27 : Variation de l'ion potassium au niveau de la plaine du Moyen Cheliff occidental

Figure.28 : Variation des ions chlorures au niveau de la plaine du Moyen Cheliff occidental

Figure.29 : Variation des ions sulfates au niveau de la plaine du Moyen Cheliff occidental

Figure.30 : Variation de l'ion bicarbonate au niveau de la plaine du MCO

Figure.31 : Variation de l'ion Nitrate au niveau de la plaine du Moyen Cheliff occidental

Figure.32 : Diagramme de piper

Figure. 33 : Diagramme de Stabler

Figure. 34 : Diagramme de Chadha

Figure. 35 : diagramme de Durov

Figure. 36 : Classification des eaux des forages selon Stiff

Figure .37 : Variation du Kelly's Ratio

Figure. 38 : Variation du pourcentage en Sodium

Figure. 39 : Diagramme de Wilcox

Figure .40 : Variation du Sodium Absorption Ratio

Figure. 41 : Diagramme de Richards appliqué aux eaux de la plaine du Moyen Cheliff occidental

INTRODUCTION GENERALE :

L'eau est de toutes les matières la plus importante pour l'existence de l'homme. Elle est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne. Au début du XXI^e siècle, les pressions exercées sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, l'extension des terres agricoles irriguées et l'utilisation de techniques d'irrigation non économes, la diversification des produits agricoles, l'urbanisation, le développement industriel et le tourisme sont parmi les nombreux facteurs qui contribuent à augmenter la pression sur les ressources en eau, et sont aggravés par les effets incertains du changement climatique. Ce qui contraint véritablement à sa recherche, notamment, par l'exploitation des eaux souterraines et autres. Bien que cette difficulté soit préoccupante, il n'en demeure pas moins que la qualité de ces eaux présente, néanmoins, un intérêt majeur.

La protection de la qualité des ressources en eau est devenue une des priorités en Algérie et dans plusieurs pays dans le monde, en raison de leur rareté, de l'augmentation de leur demande et de la multiplication des sources de pollution : rejets d'eaux usées (brutes) industrielles, décharges brutes, engrais chimiques, etc. face à cette situation, l'Algérie cherche à gérer durablement et d'une façon rationnelle la quantité et la qualité de leur réserves en eau. Les eaux souterraines représentent une part importante du cycle de l'eau et participent de ce fait aux équilibres naturels. Elles constituent également une importante ressource renouvelable, exploitée pour l'approvisionnement en eau potable, l'usage industriel ou agricole (OFEFP, 2003).

Dans ce travail, l'étude consiste en une contribution pour une meilleure connaissance de l'évolution de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Moyen Cheliff occidental appartenant au grand bassin hydrographique Cheliff-Zahrez. En utilisant des diagrammes (Piper, stabler, durov, chadah, Durov et Stiff) et des méthodes statistiques (CHA, ACP) sur des données hydro chimiques.

Le travail est réparti comme suit :

Tout d'abord nous commençons par une introduction générale.

Puis les quatre chapitres :

- Le premier chapitre englobe une synthèse bibliographique sur la composition physicochimique des eaux souterraines et leur pollution,

- Le deuxième chapitre expose les caractéristiques générales de la zone d'étude en synthétisant les données disponibles,
- Le troisième chapitre détaille les étapes de travail et les méthodes utilisées pour atteindre l'objectif tracé (méthodes graphiques et statistiques)
- Le quatrième chapitre évalue la qualité des eaux souterraine destinées à l'AEP en utilisant l'indice WQI, et à l'irrigation en utilisant les indices KR, SAR, et les diagrammes Wilcox et richard

Chapitre I :

Aperçu

Bibliographique

INTRODUCTION :

L'eau est un élément constitutif fondamental de la vie (**Boucenna, 2009**). C'est pourquoi elle mérite une attention toute particulière, dans la mesure où elle est très menacée par les activités humaines, quotidiennes notamment domestique, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution (**Kahoul et al, 2014**).

L'eau, au contact des terrains qu'elle rencontre, se charge en divers éléments qui vont influencer sur sa qualité. Certains de ces éléments sont présents naturellement dans le sol, et vont définir la qualité « naturelle » de l'eau brute. Ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir :

- des matières organiques,
- des matières dissoutes provenant des terrains traversés (calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfates, chlorures, métaux lourds, ...),
- des particules en suspension.

D'autres éléments sont d'origine anthropique.

En conséquence, la qualité des eaux continentales dépend de la concentration d'un certain nombre d'éléments qui y sont présent en solution ou en suspension.

1.1 Qualité de l'eau souterraine :

Nous pensons souvent à la qualité de l'eau en termes de goût, de pureté et d'odeur et en fonction d'autres propriétés qui déterminent si l'eau est potable pour d'autres utilisations. Différentes propriétés peuvent être importantes (**HADJ HENNI et RAHNI, 2004**).

L'eau pure est insipide et inodore et ne se trouve jamais à cet état dans la nature. Les eaux souterraines et les eaux de surface peuvent contenir de nombreux constituants, notamment des micro-organismes, des gaz et des matières organiques et inorganiques.

La nature chimique de l'eau évolue continuellement au cours de sa circulation dans le cycle hydrologique, les types de constituants chimiques trouvés dans l'eau souterraine dépendent en partie de la chimie des précipitations et de l'eau d'alimentation près des côtes. Les précipitations contiennent des concentrations plus élevées de chlorure de sodium, et en aval des zones industrielles, des composés atmosphériques de soufre et d'azote rendent les précipitations acides. L'une des

transformations naturelles les plus importantes dans la chimie de l'eau souterraine se produit dans le sol, les sols contiennent des concentrations élevées de gaz carbonique qui se dissout dans l'eau souterraine, créant un acide faible capable de dissoudre de nombreux minéraux de silicate. Dans son transfert d'une zone d'alimentation à une zone d'émission, l'eau souterraine peut dissoudre les substances qu'elle rencontre où elle peut déposer certains de ses constituants en cours de route.

La qualité définitive de l'eau souterraine dépend des conditions de température et de pression, des types de roches et de sols à travers lesquels elle s'écoule et peut être du temps de séjour. En général, l'eau à écoulement plus rapide dissout moins de matières. L'eau souterraine transporte naturellement avec elle tous les contaminants solubles qu'elle rencontre. Les scientifiques évaluent la qualité de l'eau d'un puits, en analysant les caractéristiques physiques et chimiques et qu'on exprime en milligramme/l (**HADJ HENNI et RAHNI, 2004**).

1.2 Paramètre des qualités des eaux :

1.2.1 Paramètres physiques :

1.2.1.1 Température :

En général, les eaux souterraines jouissent d'une constance de température que ne peuvent avoir les eaux de ruissellement soumises aux évaporations, aux échanges thermiques avec l'air extérieur et les sols superficiels, au rayonnement solaire, etc..... (**Trombe.1977**).

La température joue un rôle clé dans la solubilité et la conductivité des sels et des gaz.

Il peut faire la différence entre l'eau circulant profondément et l'eau proche de la surface, et donc sa source.

Les changements thermiques dans les eaux souterraines peuvent être fonction de la profondeur de l'aquifère :

* Si l'aquifère est profond, les eaux ne sont affectées que par le gradient géothermique, elles ne présentent donc pas de grands changements de température

* Si l'aquifère est peu profond ou peu profond comme notre exemple, la température de l'eau sera principalement affectée par le changement climatique.

1.2.1.2 Conductivité électrique :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats doivent donc être présentés pour une conductivité équivalente à 20 ou 25°C en $\mu\text{S} / \text{cm}$. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain font généralement la conversion automatiquement. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain (**Rodier, 1996 ; Debieche, 2002**).

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tab. 1).

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

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

(Rodier, 1996)

Du point de vue qualité de l'eau, on a le classement suivant : (tab. 2)

Tableau 2 : Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.

Conductivité électrique (exprimée en $\mu\text{s}/\text{cm}$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Médiocre mais eau utilisable
> à 1500	Minéralisation excessive

1.2.1.3 Couleur :

La couleur des eaux est en général, très transparente, sauf si elles sont chargées de sels de fer, néanmoins, sous une épaisseur suffisante au différences très facilement, les eaux des massifs de calcaires légèrement jaunes (fer et acide humique), des eaux calcaires qui possèdent une teinte verte très caractéristique (**Gaujous, 1995**).

1.2.1.4 Saveur :

La saveur d'une eau dépend des sels et des gaz qu'elle contient en suspension ou en solution.

Quelques milligrammes de sel de fer ou de cuivre par litre sont décelés lorsque plusieurs centaines de milligrammes de chlorure de sodium n'affectent pas le goût (**Trombe, 1977**).

1.2.1.5 Turbidité et transparence:

La turbidité correspond à la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de particules en suspension.

Elle peut être importante dans les aquifères Karstiques, elle occasionne des désagréments dans l'aspect de l'eau et sa saveur (goût de terre).

Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations. An contraire, les eaux de nappes restent transparentes grâce à la filtration qui s'effectue dans un terrain perméable en petit.

La turbidité même occasionnelle est un caractère très important car une eau susceptible d'être trouble peut être suspecte du point de vue bactériologique (**Trombe, 1977**).

1.2.1.6 Odeur :

Les eaux sont, en générale, 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 (**Gaujous, 1995**).

1.2.2 Paramètres chimiques :

1.2.2.1 Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau est défini selon sa concentration en ions H⁺ contenus dans la solution. Il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu et renseigne sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain,

à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie (bandelettes peu précis) **(Rodier et al., 2009)**.

Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique. Il est alcalin dans les calcaires.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Habituellement il varie entre 7,2 et 7,6 **(Bremond et Vuichard, 1973)**. Cependant, dans certains cas, il peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons **(De Villers et al, 2005)**.

Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO₂ dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée **(Rodier et al, 2009)**.

1.2.2.2 . Dureté :

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés **(Bernard, 1966)**. Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, excepté celles des métaux alcalins (Na⁺, K⁺) et H⁺. Elle est souvent due aux ions Ca²⁺ et Mg²⁺. La présence de ces deux cations dans l'eau tend souvent à réduire la toxicité des métaux **(De Villers et al., 2005)**. On distingue la dureté carbonatée ou dureté temporaire qui provient des carbonates et bicarbonates et la dureté non carbonatée ou dureté permanente qui provient des sulfates et chlorures.

Une eau très dure présente des inconvénients d'utilisation, tels que la diminution des propriétés détergentes des lessives et savons et les dépôts de tartre sur les parois des canalisations d'eau.

Une eau trop douce est une eau corrosive. Elle attaque les parois des canalisations d'eau et contribue à la dégradation de la qualité de l'eau à la suite de la dissolution de métaux lourds tels que le plomb **(Bremond et Vuichard, 1973 ; Dib, 2010)**.

1.2.2.3 . Calcium (Ca²⁺) et Magnésium (Mg²⁺) :

Le calcium Ca²⁺ et le magnésium Mg²⁺ sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux.

L'altération des roches cristallines libère du calcium et du magnésium, mais en quantité moindre que certaines roches sédimentaires carbonatées, dont les

principales sont la calcite ($CaCO_3$), la dolomie ($CaMgCO_3$), la magnésite ($MgCO_3$), le gypse ($CaSO_4$), l'apatite ($Ca_5(PO_4)_3$) ou la fluorine (CaF) (Merabet, 2010).

1.2.2.4 Sodium (Na^+) et Potassium (K^+) :

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite NaCl) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturés en ion Na^{2+} , par le processus d'échange de base (Gouaidia, 2008).

Le potassium (K^+) est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites (sylvinite KCl) et les argiles.

Le potassium résulte aussi de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la nappe (Gouaidia, 2008).

1.2.2.5 Sulfate (SO_4^{2-}) :

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie (évaporation d'eau de mer : $1 < c < 20$ mg/l), et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ($CaSO_4$), mais également de la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite).

Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimiques (El Wartiti et al, 2012).

Les sulfates contenus dans l'eau souterrains sont fournis par dissolution du gypse, le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faible (7g/l dans les conditions normales). Les nappes de l'éocène ont des teneurs fréquentes comprises entre 250 mg/l et même 1g/l dans les formations à veines de gypse, valeur qui rendent cette eau non potable. Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très

sulfatées (30 à 200 mg/l) parfois supérieurs à 250 mg/l (**HADJ HENNI et RAHNI, 2004**).

1.2.2.6 Chlorure (Cl⁻) :

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution (**Gouaidia, 2008**).

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés (roches magmatiques contenant des minéraux de chlore). Ces teneurs sont susceptibles de subir des variations provoquées :

*Dans les zones arides par un lessivage superficiel en cas de fortes pluies.

*En zone côtière par des infiltrations d'eau de mer dans les nappes en particulier lors des pompages excessifs et d'origine atmosphérique (**Gaujous, 1995**) :

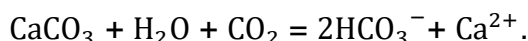
1.2.2.7 Nitrates et Nitrites:

Leur présence dans les eaux indique habituellement l'apport d'azote organique et la possibilité d'une pollution. (**Trombe, 1977**) Les nitrates sont présents pratiquement dans toutes les nappes mais dont les teneurs peuvent être considérablement accrues par les activités agricoles ou l'infiltration d'eaux usées (**GALLEY et THORAVAL, 1996**).

En trop grande quantité, des nitrates empêchent le sang de transporter l'oxygène vers les tissus humains.

1.2.2.8 Bicarbonates (HCO₃⁻) :

Les bicarbonates dans les eaux ont deux origines. Ils résultent de l'action combinée du CO₂ de l'atmosphère et des eaux météorites sur les minéraux silicates et la dissolution des formations carbonatées qui bordent la nappe, selon la réaction suivante : (**TOUHARI, 2015**)



1.2.2.9 Le fer:

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicate, d'oxydes et hydroxydes, des carbonates et des sulfures.

Les eaux ferrugineuses présentent de sérieux inconvénients ; elles tachent le linge, ont une saveur désagréable, rendent le café imbuvable et elles noircissent les infusions de thé.

De plus, certaines bactéries prolifèrent dans ces eaux qui forment des concrétions sur les parois des tuyaux dont la décomposition provoque un mauvais goût et une mauvaise odeur. Compte tenu des quantités importantes de fer que peut consommer l'être humain (une moyenne de 16 milligrammes par jour), le fer de l'aune ne pose guère de problème sur le plan physiologique. La plupart des normes en vigueur ont donc été établies pour pallier les inconvénients ménagers. En général, la teneur admissible en fer est de 0.3 milligramme par litre (**HADJ HENNI et RAHNI, 2004**).

1.2.2.10 Le manganèse:

Il en est du manganèse comme du fer, les sels de manganèse produisent les mêmes inconvénients y compris l'encroûtement été provoqués par le développement des bactéries magnésiennes. Les normes ont aussi été établies pour pallier les inconvénients ménagers la limite de tolérance est d'environ 0.2 milligramme par litre (**HADJ HENNI et RAHNI, 2004**).

1.2.2.11 Le fluor :

La teneur en fluor dépend beaucoup du temps de contact de l'eau avec les minéraux fluorés de l'aquifère. Elle est plus élevée dans les nappes captives. Absorbé en excès, le fluor peut entraîner des fluoroses dentaires (tâches roses sur l'émail) et osseuses (déformations osseuses et articulaires). La limite de qualité est fixée à 1500 µg/l (**Drass, 2001**).

1.2.3 Paramètres biologiques :

1.2.3.1 Oxygène dissous :

Les concentrations en oxygène dissous, constituent avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs ; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette

concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau (**De Villers et al, 2005**).

1.2.3.2 . Demande biochimique en oxygène (DBO) :

La demande biochimique en oxygène (DBO), représente la quantité d'oxygène utilisée par les bactéries, pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement les matières biochimiques oxydables présentées dans l'eau. L'indicateur utilisé est généralement la DBO5 qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. Plus la DBO5 est élevée, plus la quantité de matières organiques présentés dans l'échantillon est élevée (**De Villers et al, 2005**). L'analyse de la DBO5 est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes (**Bremond et Vuichard, 1973**).

1.2.3.3 Demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant : le bichromate de potassium. En fait, il est très difficile de doser quantitativement les matières organiques, leurs composés s'oxydent plus ou moins complètement. Il est toutefois, possible de se faire une idée de la quantité de matières organiques présente par utilisation de tests simples.

Les oxydants les plus couramment utilisés sont le bichromate de potassium et le permanganate de potassium (**Bremond et Vuichard, 1973**).

1.3 Qualité de l'eau souterraine en Algérie :

En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré, qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface.

La qualité chimique des eaux de l'Algérie du nord est appréciée par les teneurs nitrates et en chlorures des aquifères côtiers. Cependant le développement économique conduit à une dégradation rapide de cette qualité des eaux, ce qui incite lourdement à œuvrer pour un meilleur recyclage et une meilleure protection des ressources. A défaut, la sanction serait la non satisfaction des besoins en eaux

potables, d'irrigation et industrielles. Malheureusement il semble que l'écart entre disponibilité et besoins soit difficile à réduire.

La protection de la sauvegarde de la ressource reste encore reléguée au second rang par rapport à la recherche de nouveaux sites de mobilisation qui a été toujours au premier plan.

Au plan de la qualité, sur la globalité des eaux inventoriées par les études, 44% seraient de bonne qualité, 32% satisfaisante et 12% de qualité médiocre.

Les bassins côtiers oranais et celui de Cheliff sont les plus affectés par les sels.

La surexploitation des nappes phréatiques côtière se traduit de plus en plus parades intrusions salines irrémédiables (Oran, Alger, Jijel).

L'UNESCO indique que la nappe du complexe terminal est très salée et celle du continental intercalaire très chaude (50°C).

De même, les nitrates polluent les nappes de la Mitidja. L'eau du barrage de Kaddara est particulièrement dure et il faut la mélanger par moitié avec de l'eau souterraine pour l'adoucir avant de la livrer. Les taux de manganèse et de chlorure dans l'eau d'alimentation de Constantine sont proches des maxi admis par l'organisation mondiale de santé (**Boudjadja et Messahel, 2003**).

1.4 Pollution des ressources en eau :

La pollution se définit comme la dégradation d'un milieu naturel par introduction d'un polluant.

Cette notion de dégradation est très importante, puisqu'en l'absence de conséquences négatives pour le milieu, on ne peut pas parler de pollution. Concrètement, pour une même substance, son caractère polluant sera plus ou moins élevé en fonction des quantités déversées dans le milieu et de la capacité de ce milieu à l'éliminer naturellement. En ce qui concerne l'eau, les milieux potentiellement sujets à la pollution sont les cours d'eau, les nappes souterraines, les mers, les lacs, les retenues d'eau, etc (**TOUHARI, 2015**).

1.4.1 Principaux polluants des eaux :

1.4.1.1 Pesticides :

Ce sont les produits de lutte contre les parasites des cultures et des animaux, leur accumulation dans le sol peut être entraînée dans les eaux par les précipitations.

La présence des pesticides en quantité importante dans l'eau provoque chez les animaux des anomalies histologiques au niveau de l'oe, s'accumulent dans des organes nobles (**Guillemin et Roux, 1992**).

1.4.1.2 Détergents :

On considère sous le nom de détergent, toute formulation spécialement étudiée pour concourir aux processus selon lesquels les souillures ou des salissures sont enlevées et misent en solution ou en dispersion. Ce sont donc des produits de nettoyage dégraissants et solvants. La pénétration des produits nocifs à travers les muqueuses constitue un danger bien qu'elle soit en faible quantité (**TOUHARI, 2015**).

1.4.1.3 Hydrocarbures :

La pollution des eaux souterraines par les hydrocarbures est un phénomène bien connu en raison de la fréquence des accidents qui se sont produits dans le monde. Cette pollution se produit à partir de la diverse liquidité du pétrole : gazoline, benzine, huiles goudrons, essences, kérosène, pétrole. Parmi les sources de cette pollution on peut citer : les eaux usées urbaines et industrielles, à la compagne des tracteurs et les machines agricoles motorisés. L'infiltration d'huiles minérales dans le sous- sol à des effets désastreux sur les eaux souterraines du fait de leur pouvoir de dilution très forte (**TOUHARI, 2015**).

1.4.1.4 Engrais :

Matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux végétaux des éléments qui sont directement utiles à savoir l'azote, le phosphore, et le potassium. Les apports excessifs d'engrais et de phosphore contribuent à l'accumulation des phosphores et des nitrates dans le sol et qui sont entraînent par les eaux superficielles et contaminent ainsi les nappes phréatiques (**TOUHARI, 2015**).

1.4.2 Origine de la pollution :

Suivant l'origine des substances polluantes, on peut distinguer :

1.4.2.1 Origine domestique :

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergentes, solvants, antibiotiques,

micro-organismes...). Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionné, les stations d'épurations urbaines surchargées (**Faurie et al, 2003**).

Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme libèrent également des lixiviats riches en polluants.

1.4.2.2 Origine industrielle :

Elle constitue 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 placées sans précautions, à même le sol, sur des terrains trop perméables. Les installations de stockage ou de transport des produits et déchets des complexes chimiques, raffineries, papeteries, industries alimentaires, peuvent aussi donner lieu à des pollutions chroniques ou accidentelles (**Gaujous, 1995**).

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)

1.4.2.3 Origine agricole :

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. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines (**Faurie et al, 2003**), alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refuse la moindre contrainte.

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. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture (**Chekroud, 2007**).

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...) (**Beaux, 2003**).

L'usage des engrais peut augmenter la quantité des sels solubles, tels que les chlorures, les sulfates, les nitrates, le calcium, le magnésium, l'ammoniaque et le sodium dans des propriétés variables.

1.4.2.4 Origine urbaine et routière :

Les risques de pollution apparaissent à la construction des réseaux routiers puis à leur exploitation (salage en hiver, hydrocarbures, métaux lourds libérés par les véhicules, substances dangereuses échappées par accident...). En ville, on trouve, en plus des polluants de la voirie, la contamination possible des nappes par les eaux usées, dus au raccordement incomplet ou défectueux, au mauvais état des réseaux, aux surcharges ou mauvais fonctionnement des stations

D'épuration et en particulier par l'absence de traitement tertiaire (**Chekroud, 2007**).

L'imperméabilisation des surfaces (routes, rues, parkings, toitures) produit de grandes quantités d'eau de ruissellement contenant divers polluants (hydrocarbures, déjections animales, etc.). En aucun cas cette eau de pluie contaminée ne doit être déviée vers la nappe phréatique.

1.4.3 Principaux types de pollution :

1.4.3.1 Pollution temporaire et chronique :

L'émission exceptionnelle de matière polluante a la suite d'un incident (mauvaise Manœuvre en usine, accident de la circulation...) peut entraîner un transfert à la nappe et sa pollution dont la durée dépend de son pouvoir d'autoépuration et de sa vitesse de percolation.

Les pollutions chroniques sont plus insidieuses et dommageables ; moins spectaculaires, elles peuvent passer inaperçues (pollution agricole par les nitrates ; contaminations par les hydrocarbures à partir de sols pollués) (**Kankou, 2004**).

1.4.3.2 Pollution ponctuelle et diffuse :

Le polluant émis sur une faible surface n'affectera qu'un secteur limite de la nappe, qui pourra 'étendre par diffusion. Seuls les captages à proximité de la zone polluée et en aval seront affectés **(Chekroud, 2007)**.

Selon la densité et la solubilité du polluant, la zone polluée sera circonscrite ou diffuse, à la surface ou à l'intérieur de la nappe.

L'épandage de produits polluants sur une grande surface en revanche affecte l'ensemble de la nappe ; elles sont de plus souvent chroniques et décline l'ensemble de la nappe pour la production d'eau potable, a moins de traitements adaptés (cas des pollutions agricoles par pesticides) **(Kankou, 2004)**.

1.4.3.3 Pollution linéaire :

Elle accompagne le trajet des routes et autoroutes, des canaux, des cours d'eau, des voies ferrées **(Chekroud, 2007)**.

1.4.3.4 Pollutions historiques :

De nombreuses zones polluées l'ont été à une époque où les préoccupations environnementales étaient inconnues ou sommaires : pollution par les terrils de mines, les décharges non contrôlées **(Chekroud, 2007)**.

1.5 Effets de la pollution sur la santé humaine :

Dans ce paragraphe on va exposer les différents risques que présentent quelques éléments sur la santé humaine (OMS) :

1.5.1.1 Calcium et Magnésium :

La présence de ces éléments à des taux élevés est à la base de maladies néphrétique. Dépassant un certain seuil le magnésium provoque des troubles digestifs chez l'adulte. Néanmoins, ces deux éléments présentent des avantages pour la santé, le calcium consiste et fortifie les os et le magnésium favorise les réactions métaboliques **(Chekroud, 2007)**.

1.5.1.2 Sodium et potassium :

Des niveaux élevés de sodium peuvent entraîner une hypertension artérielle et une crise cardiaque. Le potassium a un effet laxatif, mais il a un léger goût. Il n'y a généralement pas d'inconvénients.

1.5.1.3 Les sulfates :

Des concentrations élevées d'ions sulfate peuvent provoquer une irritation gastro-intestinale.

1.5.1.4 Les chlorures :

L'eau riche en chlorure est corrosive et a mauvais goût. Ils sont nocifs pour les plantes.

1.5.1.5 Les nitrates :

La concentration des eaux ayant des teneurs élevés de nitrate provoque l'irritation des muqueuses. L'ingestion de qualité plus élevée entraîne des nausées, des vomissements et des selles sanguinolentes (**Kankou, 2004**).

1.5.1.6 L'ammonium :

Il s'agit d'un produit intermédiaire entre l'urée et les protéines. Son identification indique la pollution. Cet élément se transforme en ammonium toxique. L'ammonium dans certaines réactions, en présence d'hypochlorite donne la mono chloramine qui est cancérigène (**Kankou, 2004**).

CONCLUSION :

L'eau avant d'être une ressource est une source. C'est la source de la vie car sa seule absence marque la fin de toute existence vivante. Par ailleurs à la différence des autres ressources notamment l'énergie, le pétrole, l'eau n'est pas substituable. En revanche on ne peut pas remplacer l'eau par une autre matière tant pour l'agriculture que pour l'alimentation animale et humaine (**LARACHICHE et TALBI, 2016**).

Les eaux souterraines acquies de nombreux éléments chimiques au cours de leur trajet ce qui détermine leur caractéristique et elles sont sujettes à des pollutions soit dans la nappe, soit à leur sortie, mais la décontamination étant très difficile, il faut agir en priorité sur la prévention contre la pollution de l'eau souterraine. Une eau souterraine est considérée comme polluée si elle contient des substances autres que celles liées à la structure des terrains où elle a séjourné. Ces contaminants soient physiques, chimiques, organiques ou micro biologique sont le plus souvent issus des activités humaines (agricoles, industrielles, et domestiques) (**TOUHARI, 2015**).

Chapitre II :

***Situation et description de la
zone d'étude***

1.6 Situation géographique de la zone d'étude:

La plaine du Moyen Cheliff occidental constitue une zone agricole, traversée par les canaux fluviaux les plus importants d'Algérie, contrôlant toute l'hydrologie du bassin, et la zone d'étude couvre la vallée du Cheliff, de 11 Km en amont d'Oum Drou à 10 Km en aval de Boukadir. Il s'étend au milieu jusqu'à OuledFares dans une vallée tributaire appelée Oued Ouahrane. Des parties situées à environ 4 km au sud et le long de la route nationale 4 sont également incluses dans cette étude (Figure. 1).

La zone ainsi définie est d'environ 321 kilomètres carrés dans la le bassin du moyen Cheliff occidental, lui-même faisant partie du plus grand bassin hydrologique de Cheliff-Zahrez, et se compose de trois sous-bassins (0122, 0123 et 0124) codés séparément.

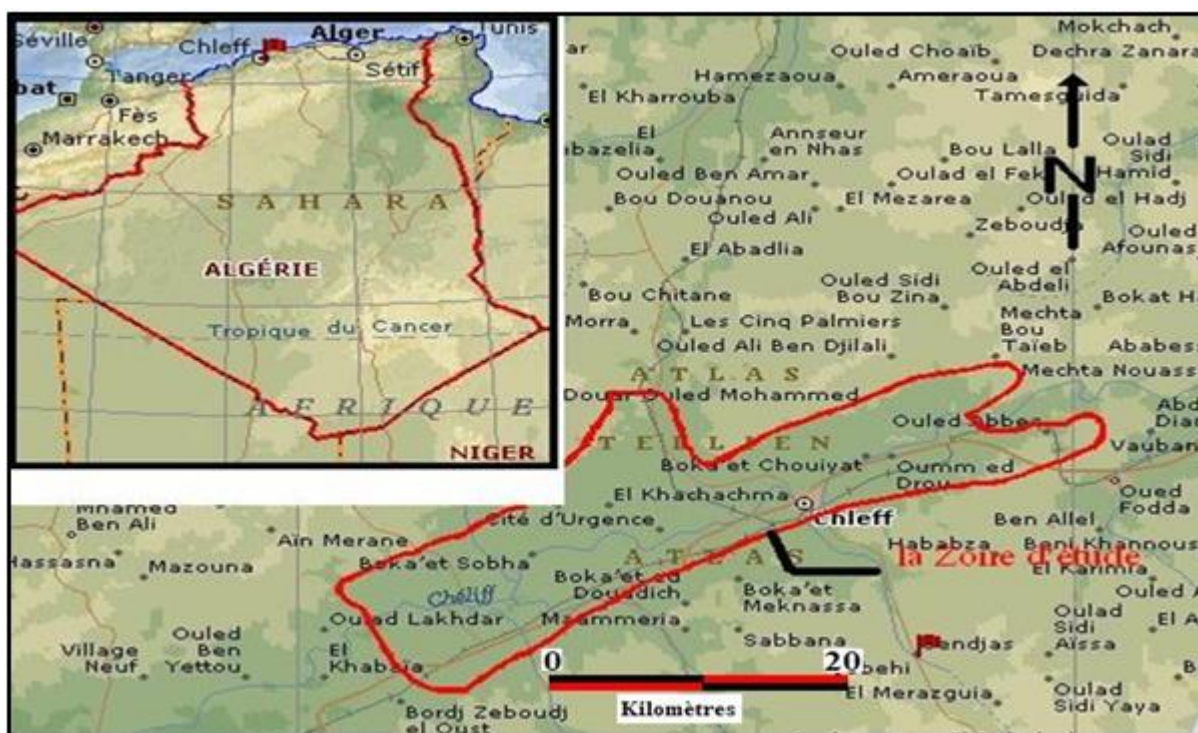


Figure. 1 : Situation de la zone d'étude (source Atlas mondial, année 2005).

Ce secteur est limité :

- Au Nord par les monts de Medjadja (flanc sud du Dahra) d'altitude moyenne 600 m.
- Au Sud par le massif de l'Ouarsenis d'altitude moyenne 1200 m.
- A l'est par le seuil d'OumDrou.
- A l'ouest par le seuil de Boukadir.

Il s'étend sur les communes : Ouled Abbas, Oum Drou, L'abiodh Medjadja, Chlef, Chettia, Ouled Fares, Sobha, Oued Sly et Boukadir.

1.7 Aperçu morphologique :

Le massif de l'Ouarsenis est une chaîne qui s'allonge sur plus de 200 Km, Son Altitude moyenne s'accroît d'ouest en est de 1000 à 1300m environ.

La partie nord est séparée de la mer par la chaîne de Dahra sur une longueur d'environ 70Km et dont l'altitude varie entre 500 et 700m au moyenne.

Le bassin du Moyen Cheliff occidental qui s'allonge d'est en ouest à l'intérieur de ce cadre Comprend les ensembles morphologiques suivants :

- 1) les collines de Médjadja qui forment la partie la plus élevée (400 à 500mètres) de la région d'étude ;
- 2) Les montagnes rouges et leur prolongement oriental constituent un deuxième ensemble de collines (160 à 200m).
- 3) Les plateaux situés au sud-est et au sud-ouest de la ville de Chlef (200 à 350 mètres).
- 4) La plaine du Cheliff qui forme une étroite bande d'une dizaine de Kilomètres de longueur qui draine le Cheliff, de puis la ville de Ech-Chlef jusqu' au confluent avec l'Oued Mina (**HADJ HENNI et RAHNI, 2004**).

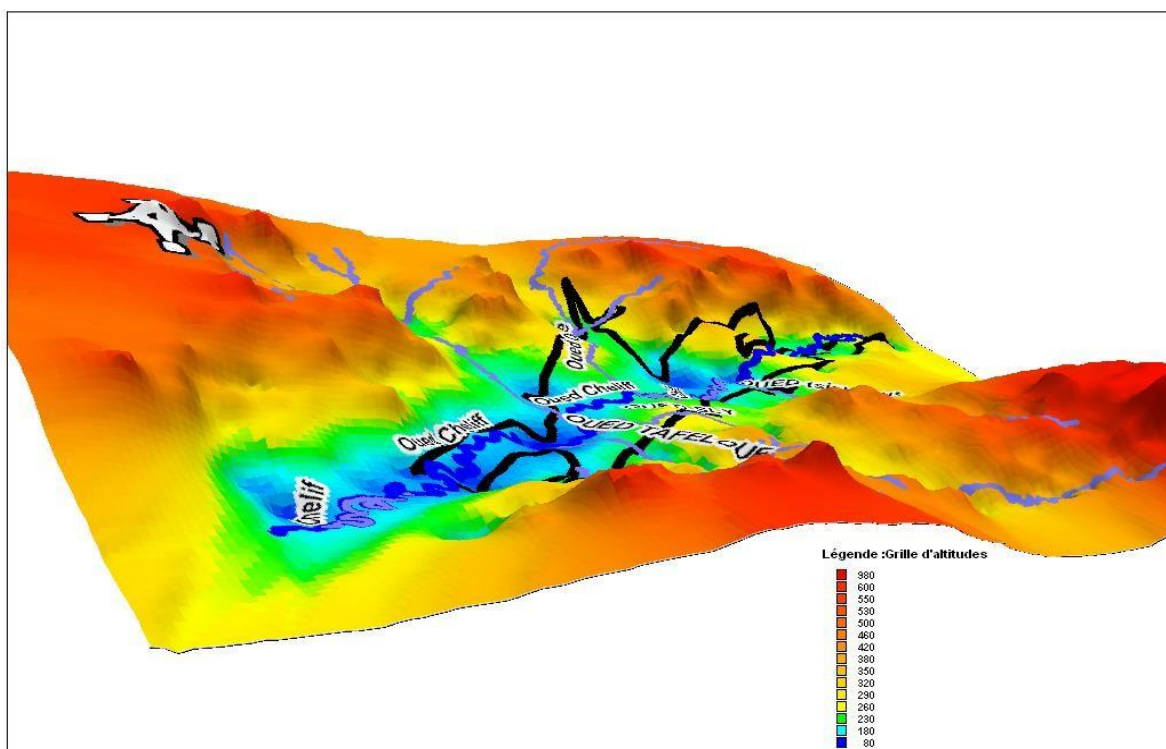


Figure 2. Carte des altitudes dans le moyen Cheliff occidental (source : ABH-CZ)

1.8 Hydrologie de la zone d'étude :

1.8.1 Hydrographie :

Le bassin versant du moyen Cheliff occidental comprend les bassins collecteurs des oueds suivants : l'oued Sly qui prend sa source dans les montagnes de l'Ouarsenis se déversant dans le Cheliff dans la localité du même nom située à une quinzaine de kilomètres de Chlef ; l'oued Ras et l'oued Ouahrane (prenant leur source dans les monts du Dahra) ; l'oued Tsighaout et l'oued Taflout prenant naissance au niveau des piémonts des montagnes de l'Ouarsenis (Figure. 3) (BETTAHAR. 2009).

Les caractéristiques physiographiques des sous bassins ainsi définis sont présentés dans le tableau 2 (BETTAHAR. 2009).

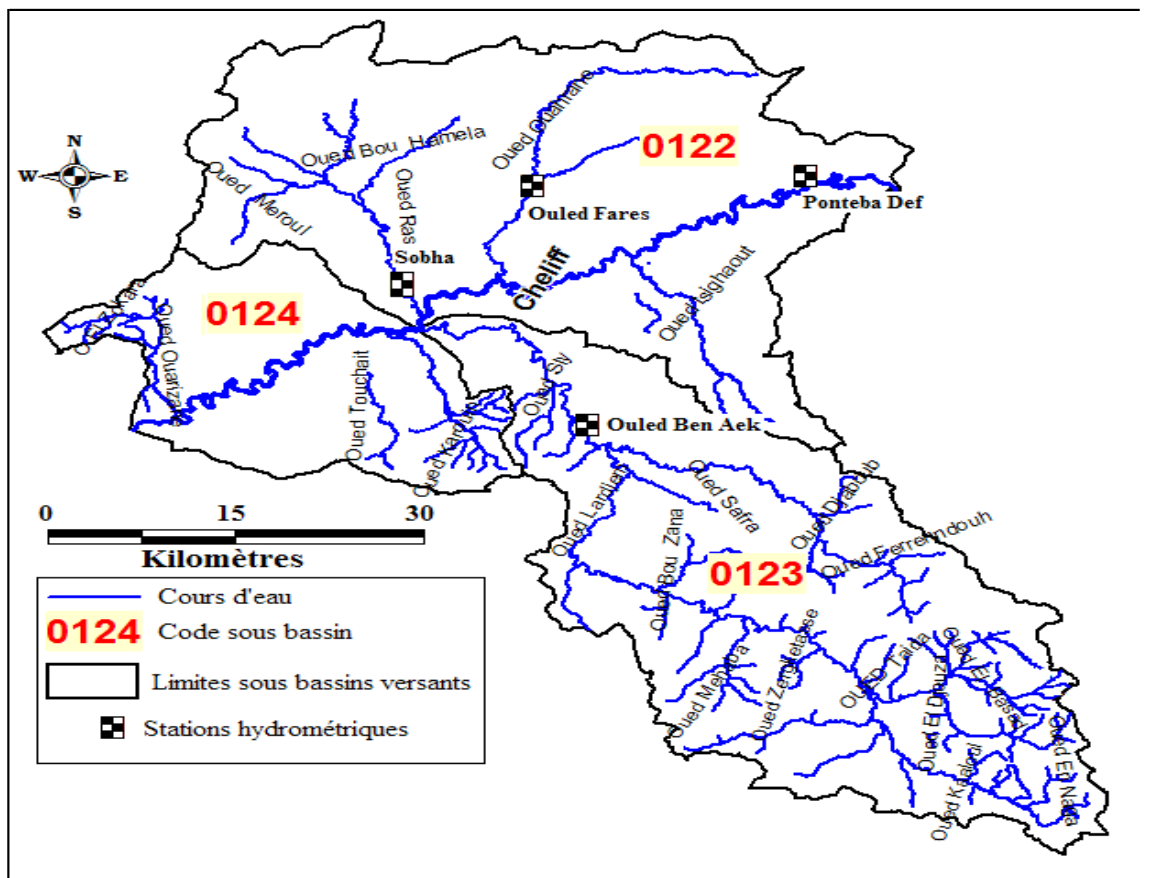


Figure 3. Carte du réseau hydrographique du moyen Cheliff occidental (source : ABH-CZ)

Le réseau hydrographique du moyen Cheliff occidental présente donc un chevelu hydrographique dense, avec une totalité de 1967 km dont 646 km permanents et 1321km temporaires (BETTAHAR.N 2009).

Le principal cours d'eau est l'oued Cheliff, le plus grand oued d'Algérie longeant le bassin du Cheliff sur une longueur de 750 km, qui traverse la zone d'étude sur 70 km et reçoit le long de son trajet les affluents principaux suivants :

*** sur la rive droite :**

- l'oued Ras,
- l'oued Ouahrane.

*** sur la rive gauche :**

- l'oued Tsighaout,
- l'oued Sly.

Les affluents de rive droite, issus des monts Dahra, présentent des bassins versants détaillé modeste et des débits nuls à l'étiage. Les affluents de rive gauche ont des bassins versants beaucoup plus étendus, dont la partie supérieure est formée par les reliefs montagneux de l'Ouarsenis (Scet Agri, 1984c). L'oued principal (Sly), qui bénéficie d'un régime hydrologique favorable, a fait l'objet d'aménagement pour la mobilisation de ses ressources en eau (barrage Sidi Yacoub) (**BETTAHAR.N 2009**).

Tableau 3. Caractéristiques physiographiques des sous bassins versants de la zone d'étude

Sous Bassin	Code sous Bassin	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Indice de compacité	Longueur des cours d'eau (km)			Densité de drainage (km/km)			Dénivelée Spécifique (m)	Classement du relief
					permanents	temporaires	Total	permanents	temporaires	Total		
Ouahrane Ras	0122	1438,452	225,523	1,66	225	970	895	0,156	0,465	0,621	429	Assez fort
Sly	0123	1404,071	221,180	1,65	285	387	672	0,202	0,275	0,477	649	Fort
Boukadir	0124	574,763	119,965	1,40	136	264	400	0,236	0,459	0,695	478	Assez Fort
Total		3417,286			646	1621	1967					

1.8.2 Hydrométrie :

Le réseau hydrométrique de la vallée du moyen Cheliff occidental observé par l'ANRH compte trois (03) stations hydrométriques implantées sur le réseau

hydrographique (Figure. 3). Celle de Ouled Fares (code de la station 01 22 01) pour l'oued Ouahrane, celle de Sobha (code de la station 01 22 04) pour l'oued Ras et celle de Pontéba (code de la station 0122 03) pour l'oued Cheliff (située en amont de l'oued) (**BETTAHAR.N 2009**).

La caractéristique la plus frappante de ces vallées fluviales est la grande variation du débit entrant tout au long de l'année, en fonction de la quantité de précipitations.

Les données de débit recueillies auprès de l'ANRH de Chlef pour la période 1987/2004 pour les trois sites montrent que les fluctuations les plus importantes et les apports les plus importants se sont produits de janvier à mars. Pour le reste de l'année, les apports ont été plus faibles en raison d'une chute brutale des précipitations.

Le débit maximal a été enregistré en avril 1997 pour les deux premiers canaux secs (26,60 m³/s à la station Ouled Fares et 3,47 m³/s à la station Sobha), ce qui est cohérent avec les précipitations maximales enregistrées pour la zone d'étude. Un mois de l'année (158,2 mm à la station ONM Chlef). A la station de Pontéba, le débit maximal du canal du Cheliff a été enregistré en mai 1998 (67,76 m³/s), alors que la même station pluviométrique (ONM Chlef) a enregistré les précipitations maximales (81,8 mm) pour cette période.

Pendant les périodes de sécheresse, les oueds enregistrent des débits aussi faibles que nuls et n'est en fait alimenté que par les eaux souterraines et les émissions urbaines et industrielles. Par conséquent, la composition chimique de l'eau de rivière sèche sera en corrélation avec l'importance du débit de décharge par rapport au débit de rivière sec. Lors d'averses ou de fortes pluies, la chimie de l'eau de l'oued est diluée par la pluie.

1.9 . Climatologie :

1.9.1 Climatologie régionale :

Le bassin du moyen Cheliff occidental subit l'influence méditerranéenne au nord et continentale au sud d'où un climat semi-aride avec des hivers froids et des étés très chauds. La particularité des plaines du Cheliff est la chaleur en été excessivement élevée, ce qui leur a valu certaines nominations telles que «le four du tell» par Yacono (1955) et «une portion du Sahara égarée dans le tell » par Boulaine (1957).

Bien avant, le climat de ces plaines a été décrit comme " curiosité climatique" par Seltzer (1946) (BETTAHAR.N 2009).

Le bassin du moyen Cheliff occidental est couvert par un réseau de vingt-neuf (29) postes pluviométriques dont vingt et un (21) gérés par l'ANRH et huit (08) par l'ONM (Tableau 4 et Figure. 4).

Tableau 4. Les postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental

Code sous bassin	Dénomination	Nombre des postes pluviométriques gérés par:	
		L'ANRH	L'ONM
0122	Oued Ras+ Ouahrane	10	6
0123	Oued Sly	06	/
0124	Boukadir	05	2
	TOTAL	21	8

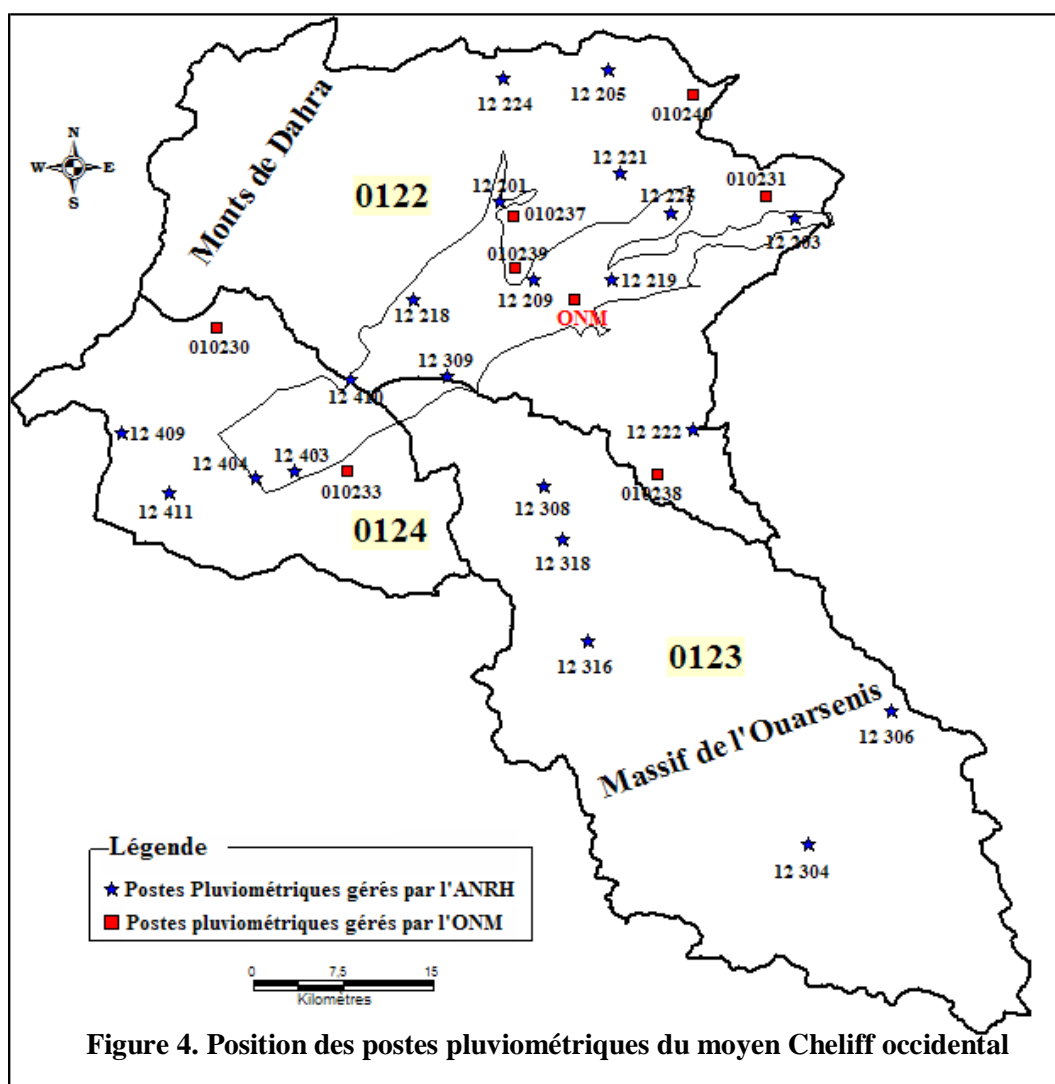


Figure 4. Position des postes pluviométriques du moyen Cheliff occidental

1.9.2 Climatologie locale :

1.9.2.1 Précipitations :

1.9.2.1.1 Pluviomètre Mensuelle :

Onze stations pluviométriques intéressent directement la vallée du moyen Cheliff occidental (P-defluent (code :12203), Oum drou (code :12225), ONM-Chlef , DDA-Chlef (code : 12219) , Chettia (code :12209), OuledFares (code : 12201), Es souala exp(code : 12218) , Oued S ly (code : 12309), BoukadirBRG(code : 12410), Merdja (code :14403) et Ferme Denat (code : 12404)) dont les périodes de fonctionnement varient d'une station à une autre.

La station de Chlef appartenant à l'ONM servira de référence, compte tenu de la fiabilité de ses données. Les données se répartissent sur une échelle mensuelle de 2005 à 2013. Une étude statistique des données des précipitations est présentée dans le tableau. 05.

Le tableau montre que la précipitation moyenne varie entre 4 et 43 mm.mois-1. La saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 66 mm.mois-1 et un pic au mois d'avril ce qui produit une recharge de la nappe et une dilution des éléments chimiques. Par contre, l'été est sec avec une faible recharge de 4 mm.mois-1, ce qui produira une évaporation rapide de cette dernière.

Tableau.5: Changement mensuelles des précipitations (mm) à la station l'ONM Chlef (2005-2013).

(Source: ONM -Chlef)

Station ONM Chlef (2005-2013)													
Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Annuell
Moyenn	17.7	29.42	65.66	62.46	52.42	83.75	45.04	53.83	42.28	5.53	2.45	0.52	461.11
Max	74.3	57.6	113.	123.1	106	140.	67.1	133	97.8	20.7	14	1.2	948.6
Min	0.6	0.5	0.2	13	28.	24	15.9	5	1	0	0	0	88.8
Ecarttyp	16.8	17.63	36.28	43.06	26.9	42.75	18.38	43.1	35.1	7.31	4.52	0.40	298.05
Saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté			
Moyenn	37.59			66.214			47.055			2.837			

L'écart type entre les valeurs des précipitations mensuelles est plus important pendant le mois d'avril (43.1 mm).

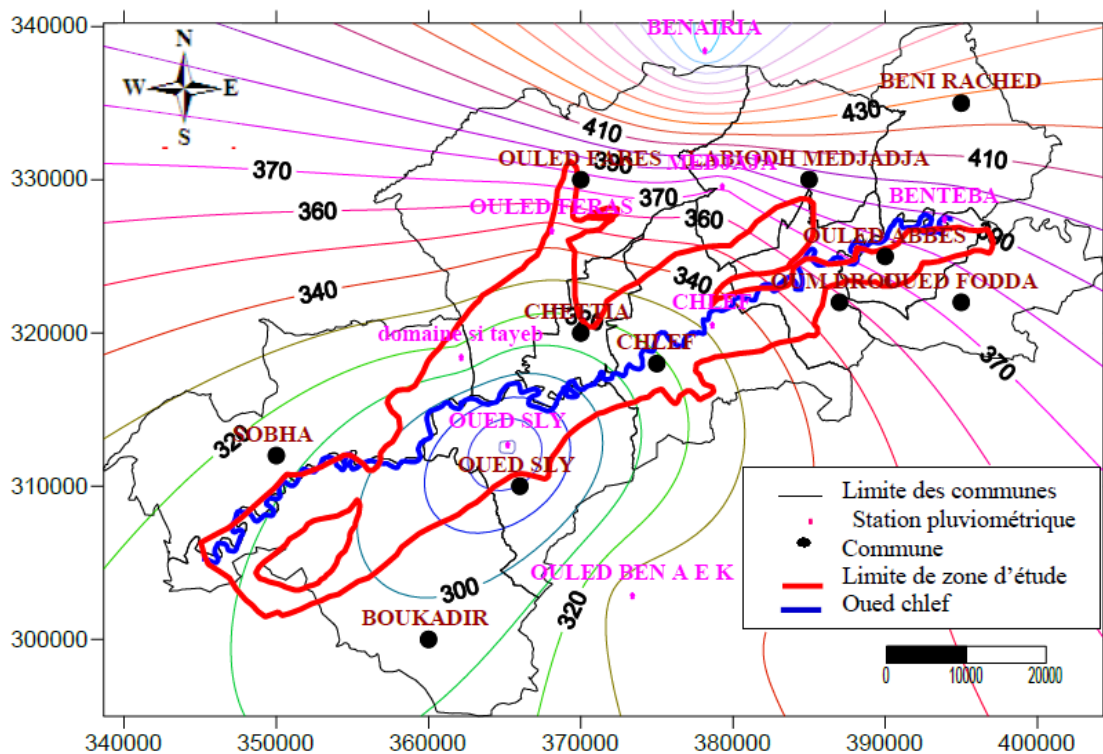


Figure.5 : Carte des isohyètes des pluies annuelles d’après l’ANRH pour la période De 1991/1992à 2009/2010 pour la région de zone d’étude.

1.9.2.2 Température :

Les températures moyennes mensuelles relevées à la station de l’ONM Chleff (Tableau. n°06) donnent les valeurs suivantes :

Tableau .6 : Températures moyennes relevées à la station de l’ONM Chleff (2003-2014)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Moy
T°C	27.46	23.44	16.84	13.38	12.49	12.71	15.94	19.20	23.36	29.03	32.99	32.83	21.64

(SOURCE : ONM Chleff)

Ce tableau montre que les moyennes mensuelles les plus élevées sont observées essentiellement pendant la période d’été (Juin - Septembre) avec des températures variant de 27 à 32°C.

Par contre, les températures les plus basses, de 12 à 15°C, sont observées pendant la période d’hiver (décembre à mars) avec un minimum pendant le mois de janvier (12.5°C). Les autres mois présentent des températures intermédiaires (16 à 23°C).

Ces caractéristiques de la température indique, d’un point de vue hydrochimique, que les valeurs élevées de la température pendant la période d’été, produisent une évaporation de l’eau et en même temps une augmentation de la concentration des éléments chimiques dans la nappe.

1.9.2.3 L'humidité de l'air :

L'humidité de l'air est un facteur important que les précipitations et la température. Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région de Chleff sont représentées dans le tableau n°07

Tableau.7 : les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période 2013- 2016 (station de l'ONM Chlef,).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov
Humidité(%)	70,5	73	72	66	59,5	48	43,5	46	55,75	59,75	72,75

La figure (06) montre les variations de l'humidité durant les mois de l'année :

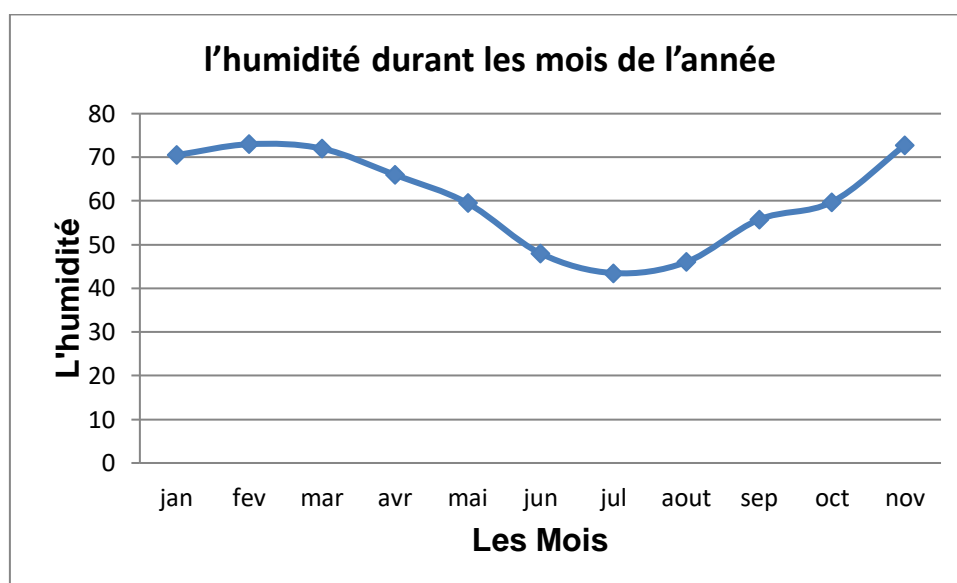


Figure. 6 : variations de l'humidité durant les mois de l'année

La courbe nous indique que les pourcentages de l'humidité, relative à notre région d'étude, sont élevés du mois de novembre à février avec un maximum de 73% en mois de février, et des taux moins élevées en été et moyens en automne. L'humidité atteste l'influence du milieu marin sur cette région.

1.9.2.4 Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite :

La méthode convient aux climats semi-humides et semi-arides, et la formule est adoptée en tenant compte des caractéristiques intermédiaires des climats méditerranéens.

Il est basé sur le concept d'une réserve d'eau facile à utiliser (RFU). En supposant une hauteur de 100 mm pour que l'eau stockée dans le sol soit absorbée par évapotranspiration plus grand (**Gaude, 1976 in Debieche, 2002**).

La méthode de Thornthwaite permet de partir de données de base (précipitations, température (T°C), coefficient de chaleur mensuel (K) et indice de chaleur mensuel (i). L'évapotranspiration potentielle est calculée selon la relation suivante :

$$ETP(\text{mm}) = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a K \quad \text{ou} \quad I = \sum i = \sum \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad \text{et} \quad a = 0.016I + 0.5$$

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

* si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

*si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$, jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier Paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

La lame d'eau ruisselée est calculée par la méthode de Tixeront – Berkaloff.

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Tableau. 8: Calcul du bilan hydrologique pour l'année 2004 selon la méthode de Thornthwaite

Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite (2004)													
Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
T °c	10.8	12.3	13.1	16	17.8	26.3	29.8	30.6	26.8	22.4	13.6	11.2	
I	3.20	3.90	4.29	5.81	6.83	12.34	14.91	15.52	12.70	9.68	4.54	3.39	97.198
K	0.7	0.8	1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	0.8	0.7	
P (mm/mois)	29.6	45.5	16.1	29.1	79.6	7.8	0.0	2.7	0.6	38.1	28.6	83.4	361.1
ETP (mm)	13.91	20.76	29.55	53.48	72.13	160.8	207.9	202.1	141.5	80.08	25.53	14.99	1022.9
ETR (mm)	13.91	20.76	29.55	53.48	72.13	77.44	0	2.7	0.6	38.1	25.53	14.99	349.19
RFU (100mm)	100	100	86.55	62.17	69.64	0	0	0	0	0	3.07	71.48	
Da (mm)	0	0	0	0	0	83.36	207.9	199.4	140.9	41.98	0	0	673.54
WS (mm)	15.69	24.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40.43

Le tableau montre que l'évapotranspiration maximale observée durant les mois de juillet et août était de 202 et 208 mm, ce qui créerait un déficit agricole et nécessiterait l'irrigation des zones cultivées. D'autre part, en janvier et février, nous avons observé une recharge supérieure à la RFU, et l'excès d'eau s'infiltrerait dans la nappe phréatique ou partirait par ruissellement.

Le ruissellement est donné par la formule empirique de TixerontBerkaloff :

$$R = \frac{P^3}{3 ETP^2}$$

Si $P < 600$ mm

$$R = \frac{361.1^3}{3(1022.9)^2} = 15 \text{ mm/an}$$

* L'infiltration (I) est calculée par la formule suivante :

$$I = (Ws - R)$$

$$I = (40.43 - 15) = 25.43 \text{ mm/an}$$

1.10 Cadre géologique :

1.10.1 Cadre géologique régional :

Le moyen Chelif occidental est un bassin sédimentaire sous-littoral du nord de l'Algérie. Le bassin s'étend d'est en ouest et s'est formé après la dernière étape tectonique (**ANRH, 2004**).

- Au nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell au nord et est représentée par une série de reliefs parallèles, essentiellement formés par la topographie jurassique et crétacée, que l'on aperçoit

Se rencontre également en plaine (blocs affluents métamorphiques du Dahra et des tranches Doui, Rouina et Témoulga).

- Au sud, le bassin est délimité par des strates méridionales représentant un ensemble de massifs montagneux, les strates sont majoritairement marneuses, correspondant aux strates communes à différentes strates.

Les bassins côtiers de l'ouest algérien sont parallèles à la côte méditerranéenne, créant des zones basses par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les entourent.

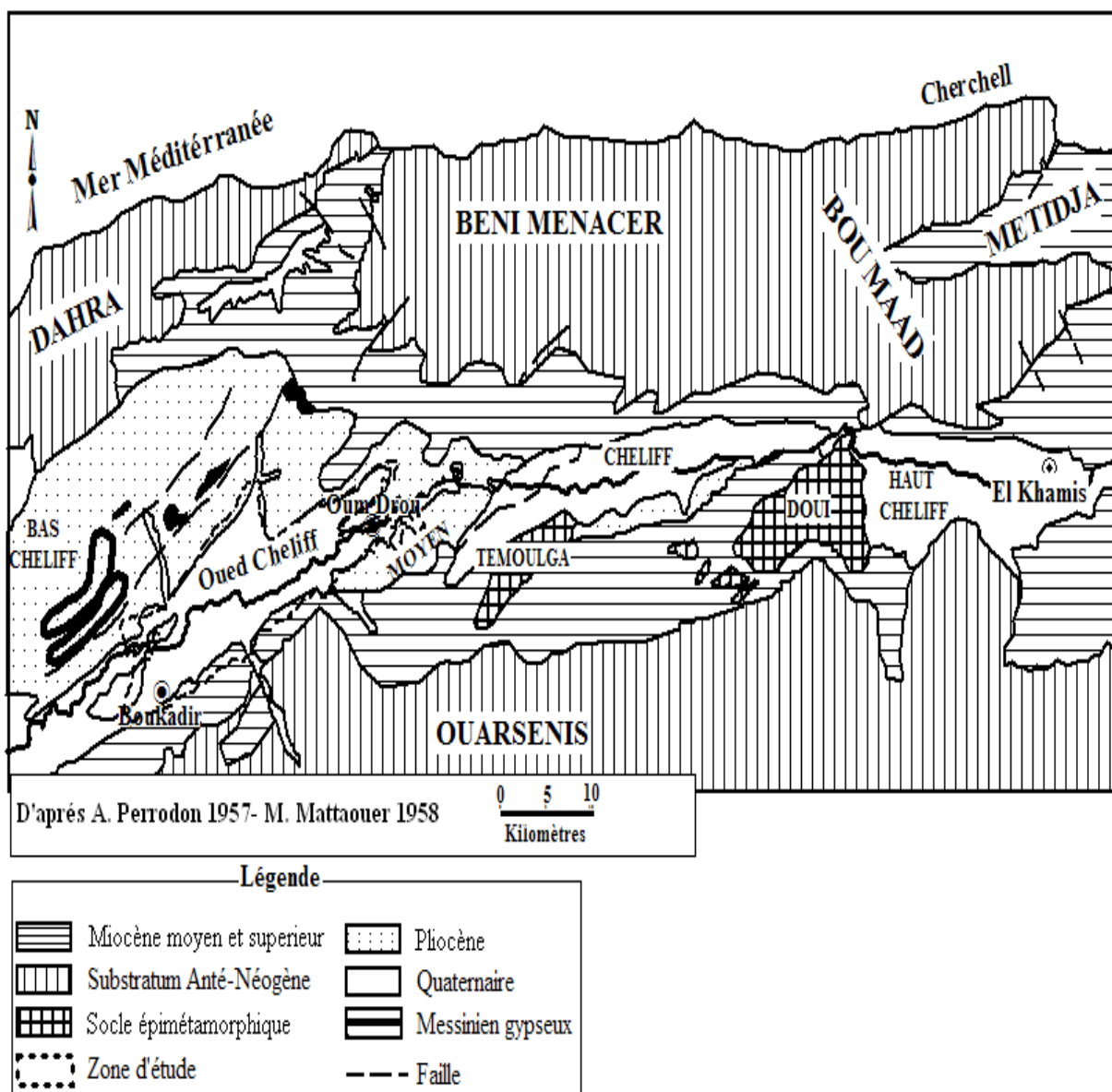


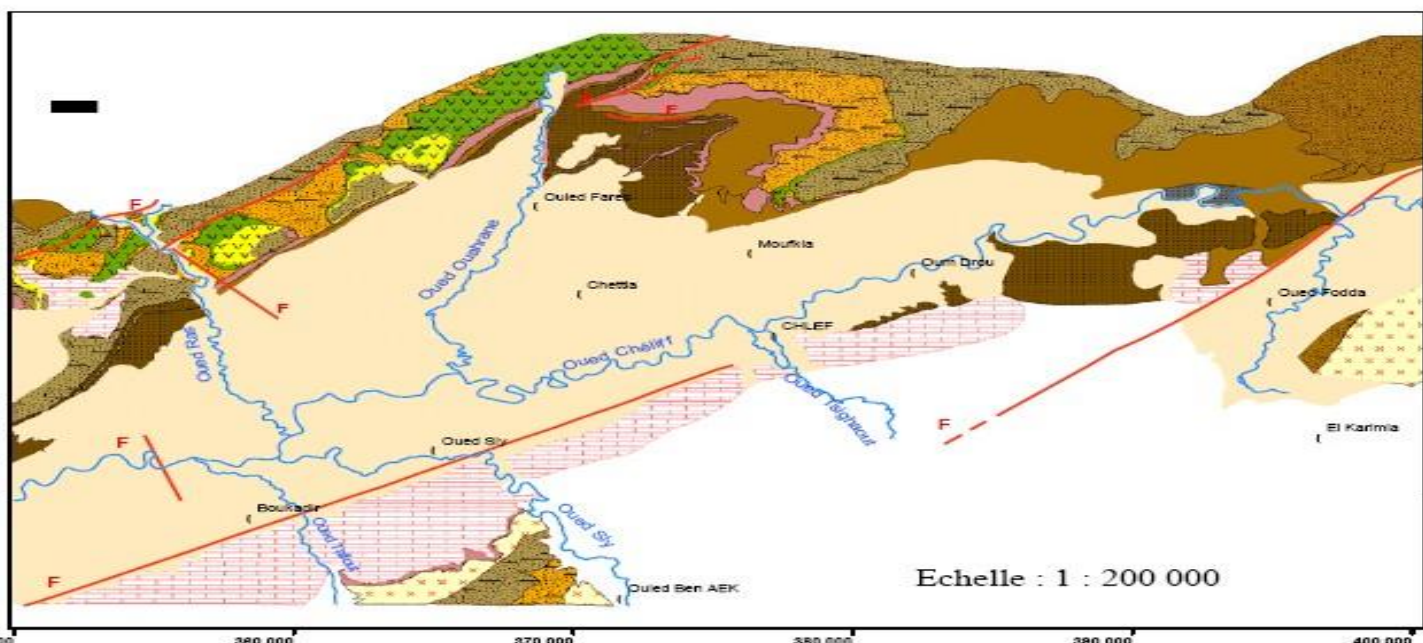
Figure 7. Contexte géologique de la zone d'étude

1.10.2 Cadre géologique local :

Les unités lithologiques rencontrées par la plaine sont : La topographie néogène et quaternaire au milieu du bassin ; la couche de fond, essentiellement secondaire en marge du bassin, se traduit par :

- Au sud se trouvent les monts de l'Ouarsenis, au nord les monts Dahra et à l'est les fragments métamorphiques de Doui, Rouina et Temoulga (Kireche, 1977 in Achour, 1997).

- Topographie hors site établie à différents stades tectoniques alpins (Éocène moyen, Miocène inférieur).



quaternaire	Quaternaire (récent – ancien)
Grès à Hélix	Pliocène Continental
Grès Astiens	Pliocène Marin
Marnes	(Plaisancien – Astien)
grès de base	
Marnes à Gypse	Miocène Supérieur
Gypse massif	(Vindobonien)
Marnes à Tripoli	
Grès Grossier	
Calcaires Recifaux Lithothamnium	
Marnes	
Marnes	Miocène Inférieur
	(Burdigalien)
Substratum Antimiocène	

Communes
Oued
Faille

Figure. 8 : Carte géologique de zone d'étude

***Litho stratigraphie :**

La région d'étude comprend 2 ensembles lithologiques (Figure. 8)

- Les formations néogènes et quaternaires.
- Les formations anténéogènes.

1.10.2.1 Formations néogènes et quaternaires :

Les terrains néogènes correspondent à une épaisse accumulation de dépôts mio-plio quaternaire post nappes reposant en discordance sur les formations plus anciennes.

1.10.2.2 Formations Anténéogènes :

Elles sont d'âges crétacés inférieurs oligocènes, le substratum affleure en îlots dans le bassin du moyen Cheliff occidental (**Mattauer, 1958**).

A/ Le Miocène : il est formé du :

1/ Miocène Inférieur :

Affleurant largement en limite nord du bassin, ainsi qu'en limite sud sur plus de 100 km, le long du massif de l'Ouarsenis dans l'Oued Sly.

Cette série miocène commence par des conglomérats et poudings qui progressent jusqu'à des grès argileux noirâtres d'épaisseur 100 m. Ces grès deviennent plus limoneux lorsqu'ils sont couchés.

En enfilade et évoluant vers une succession épaisse et monotone de marnes argileuses et bleues à noirâtres qui atteignent 700 m d'épaisseur en bordure de la mare.

2/ Miocène Supérieur :

Il comprend les termes clés suivants dans sa série classique :

- Structure de base composée de marnes bleues avec un niveau détritique général.
- Série terminale représentée par des marnes tripolis et des formations gypseuses.

La majeure partie de cet affleurement du Miocène supérieur se trouve au sud de Boukadir et a une base calcaire suivie de grès grossier, de conglomérat et de marne.

A l'ouest de Boukadir, il est représenté par une fine couche de calcaire et d'algues.

A Oued Sly, au sud de la ville de Chlef, il s'est formé à partir de calcaire à mérours dans les formations du Crétacé.

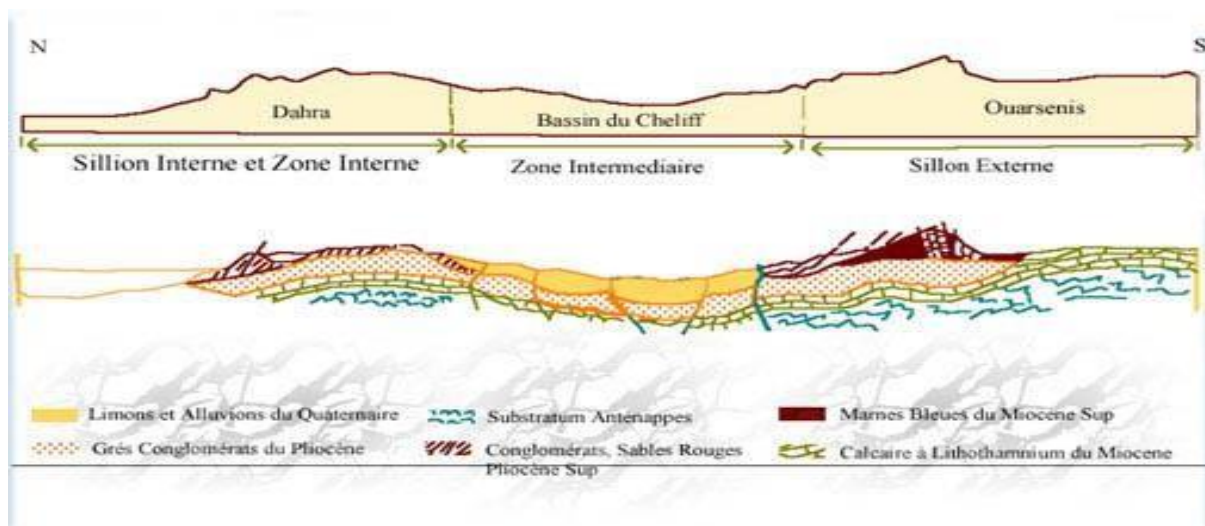


Figure 9. Structure du Tell – Centre Ouest –(Perrodon, 1957 ; Mattauer, 1958)


ERE SYST	ETAGES	DESCRIPTION	LITH	EPAI
QUATERN	Récent	Alluvions à éléments fins		10
	Moyen	Alluvions grossières (galets et graviers)		à
	Ancien	Grès et conglomérants. Limos grisés de base.		120m
PLIOCENE	Villafranchien	Série rouge. Grès et sable rouge parfois argileux.		20
	Astien Plaisancien	Grès marin Série détritiques de base.		à 200m
MIOCENE	Messinien	Gypses		120
	Tortonien	Marnes bleues très épaisses Tripolis et marnes à tripolis		à
	Serravallien Langhien	Calcaires à lithothamniées Séries détritiques et grès de base		1200m
	Burdigalien Aquitanien	Séries conglomératiques sableuses Séries marneuses noires Calcaires gréseux Schistes à passage conglomératiques		150 à 700m
	Eocène	Marnes bitumineuses foncées Argiles à lumachelles et marnes gypsifères Marnes bitumineuses à lentilles de calcaires		400m
CRETACE	SUP	Marnes et calcaire argileux Marnes argileux Schistes argilo-marneuses		400m
	Aptien	Calcaires argileux parfois gréseux Calcaires marneux		100 à
	Barrémien	Marnes grises très épaisses		1400m
	Néocomien	Argiles gréseuses avec des quartzirétiques		
	Malm	Marno-calcaires Marnes compactes (Oxfordien)		300
JURASSI-QUE	Dogger	Calcaires microcristallins/siltstones noduleux		à
	Lias	Calcaires dolométriques		700m
Trias		Gypses, cargneules, dolomies, argilites, et marnes barriolées		
PALEOZOIQUE		Socle métamorphisé...		

Figure.10: La stratigraphie synthétique du moyen-Chélif occidental d'après Mattauer (1958)

B/Pliocène:

Dans le bassin moyen du Cheliff, le Pliocène représente un cycle sédimentaire complet, commençant par la transgression de la série gypseuse à la fin du Miocène et se terminant par la régression astienne. Il est formé par les dépôts successifs de : (**Perrodon.A ,1957**).

- niveau détritique de base.
- marnes bleues et calcaires construites (plaisancien).
- grès marins (astiens).
- grès continentaux (pliocène terminal).

On distingue un pliocène marin et un pliocène continental.

1/Pliocène marin : formé par :

- **le plaisancien** : représenté par une série de marnes bleues plus carbonatées et parfois sableuses. Il passe progressivement dans la partie supérieure à des marnes sableuses et à des sables argileux.

Le plaisancien passe progressivement dans sa partie supérieure à des marnes sableuses et à des sables argileux formant tous les termes de passage aux grès astiens. L'épaisseur de cet ensemble varie de 0 à plus de 700 m des bordures aux zones axiales du bassin.

- **l'astien** : Représenté par la série des faciès marins des sables fins ou des grès, il est jaune fauve, et le grès est souvent poudreux à ciment calcaire, qui peut se transformer localement en calcaire gréseux.

L'astien affleure assez largement sur les plateaux de Medjadja (S.E du Dahra). Il plonge régulièrement sous la plaine du Cheliff, passant d'un pendage de trente degrés à l'horizontal au centre de la plaine.

2/Pliocène continental : On distingue:

- Des argiles avec rares bancs de grès grossiers (Ouest de plaine) ;
- Des grès de limons à Hélix, l'Est du bassin est dominé par les grès grossiers ; des galets alors qu'au centre, les sables, limons, marnes sableuses s'imposent et l'Ouest du bassin est dominé par les sables et les grés.

On remarque que le bassin Cheliff – Boukader contient des sédiments miocènes et pliocènes très salifères. Cette salure proviendrait, Probablement en partie des produits de remaniement des formations triasiques

C/ Les terrains quaternaires :

Ils sont d'origine continentale, on distingue un quaternaire ancien et un quaternaire récent :

1/ Le quaternaire ancien :

Il affleure à Medjadja, les montagnes rouges et la bordure Sud de la dépression Cheliff-Oum Drou. Il est représenté essentiellement par des conglomérats.

L'épaisseur des dépôts du Quaternaire ancien est en moyenne de 100 à 120m, mais peuvent atteindre 200m au synclinal de Boukader-OuledFares.

2/ Le quaternaire récent :

Il correspond à des alluvions caractérisées par la prédominance des éléments fins (limons). Ces limons correspondent à d'anciennes vases asséchées qui recouvrent le centre de la plaine.

Les alluvions actuelles forment surtout le lit moyen de l'Oued Cheliff et de ses affluents. Ils sont formés de galets et cailloux.

Certaines études ont montré que les oueds qui coulent sur les terrains Miocènes apportent à la plaine une grande quantité d'alluvions tantôt sableuses, tantôt marneuses, souvent riches en sels.

L'épaisseur totale des dépôts quaternaires est mal connue, les forages dans la plaine n'ayant généralement pas été poussés jusqu'au substratum. On l'estime entre 300 et 500 m.

Cependant, l'épaisseur du quaternaire récent est de l'ordre de 15 m.

1.11 Cadre Hydrogéologique :**1.11.1 Identification des principaux aquifères :**

Les études géologiques, l'analyse Litho stratigraphique et la structure du bassin nous permettent de distinguer les terrains pouvant constituer les aquifères suivants :

- les grés associés à des conglomérats du Miocène inférieur,
- les calcaires à lithothamnium du Miocène supérieur,
- les grés astiens du Pliocène,
- les alluvions grossières du Quaternaire.

A-Miocène calcaire :

Les affleurements de calcaire miocène le long de la limite sud de la vallée du moyen Cheliff occidental ont un léger pendage N-NW. Les observations d'affleurements et les données de forage indiquent que sous l'influence de l'infiltration des eaux pluviales, notamment le long des points de contact, la dissolution des carbonates a donné lieu à l'existence d'espaces vides et de fractures internes ouvertes. Des aquifères se développent dans ces espaces ouverts (**ANRH, 2004**).

B-Pliocène marin (Astien) :

Le pliocène marin est une suite d'argiles et de marnes, avec des couches minces de grès. Il affleure au Nord de la vallée du Cheliff..

Quaternaire Pliocène continental :

Des sédiments détritiques d'âge sub-pliocène quaternaire ont formé le remplissage de la vallée.

Ces dépôts sont constitués d'argile et de marnes épaisses avec des lits de sable graveleux et de conglomérat.

Les roches du Pliocène et du Quaternaire plus ancien sont plus consolidées.

Ils contiennent du grès et du conglomérat à cimentation argilo-calcaire.

Les descriptions lithologiques des forages (**ANRH, 2004**), ont indiqué que plus de 20 % du matériau traversé était décrit comme du sable, du gravier et du grès.

Ils montrent également des profondeurs allant de 12 à 300 m, avec une profondeur moyenne de 66 m.

L'examen des coupes lithologiques montre également :

- Qu'au-dessous de la zone des sols, on trouve une importante épaisseur de matériaux argileux (souvent décrits comme argile plus plastique ou compacte, argile limoneuse ou sableuse).

Les épaisseurs moyenne et maximale enregistrées sont de 23 m et 50 m. Ce profil argileux épais se trouve dans une grande partie de la zone centrale dans la vallée du Cheliff ;

- Dans la partie supérieure de ces dépôts argileux, on trouve parfois une couche de sable fin de 1 à 3 m d'épaisseur, généralement entre 9 et 15 m de profondeur. On

signale toujours qu'elle contient de l'eau salée, et la distribution de cette couche est irrégulière et semble horizontalement discontinue.

La distribution du sable et du gravier perméables dans une section de forage à travers des sédiments plio-quaternaires a été examinée. Ainsi, l'épaisseur et le pourcentage de matériau de production pouvant être criblé représentent en moyenne 21 % de la coupe et jusqu'à 80 % localement ;

L'intervalle de la surface à une profondeur de 50 m contient très peu de matériau perméable (seulement 12 % de l'épaisseur peut être produite). Par contre, l'intervalle de 50 à 100 m contient en moyenne 60 % de sable et de gravier plissé.

1.11.2 Choix de l'aquifère étudié :

Parmi les trois principaux aquifères (miocène calcaire, pliocène marin et quaternaire) cités précédemment, nous avons choisi la nappe alluviale du quaternaire pour les raisons suivantes:

- Elle représente une ressource souterraine importante car elle mobilise 48 % des besoins en eau potable de la wilaya de Chlef; **(ABH- CZ ,2004)**
- Elle regroupe un nombre important de sources de pollution qui causent la dégradation qualitative de ces eaux ;
- Le réseau d'implantation y est très dense ; nous comptons quatorze (14) forages et soixante et un (61) puits (Fig. n°11) qui font objet de suivis piézométrique et hydro chimique annuels par l'ANRH et l'ABH-CZ.

1.11.3 Identification de la nappe étudiée :

La nappe alluviale du moyen Cheliff occidental est séparé de celle de l'orientale, en amont, par le seuil d'Oum Drou, et à l'aval par le seuil de Boukadir. Elle est limitée au Nord par les monts de Dahra et au Sud par le massif de l'Ouarsenis.

Cette nappe couvre une superficie de 321Km^2 environ et un périmètre de 199 Km. Elle est couverte par les limons qui s'étendent sur toute la plaine et sur la bordure Sud du lit actuel. En profondeur, par contre, se trouvent les alluvions grossières en plusieurs horizons. Elles sont bien développées dans l'axe Nord du Synclinal entre Ouled Fares et Sobha et dans la plaine de Mouafkia.

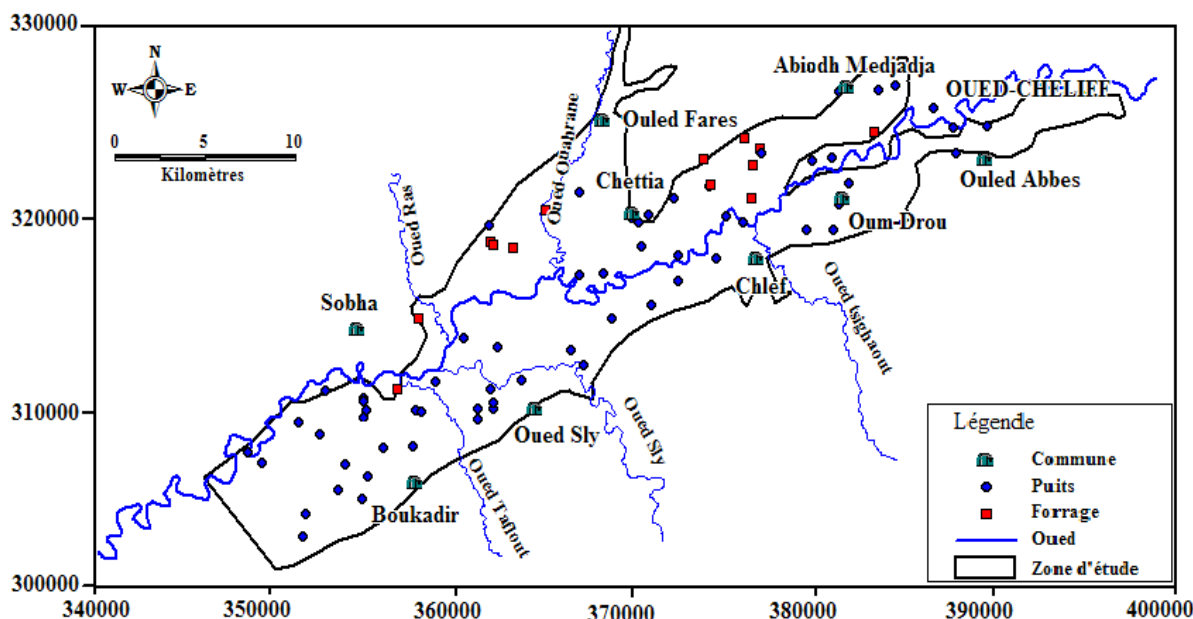


Figure.11: Localisation des forages et des puits paysans dans la zone d'étude

La vallée du moyen Cheliff occidental abrite cette nappe alluviale importante exploitée pour les besoins en eau potable et d'irrigation des principales agglomérations de la zone centrale de la wilaya de Chlef ; le volume exploité en 2004 est de l'ordre de 15.49 Hm³ pour l'A.E.P, l'irrigation et l'industrie (Tabl. 9).

Tableau. 9: Volume d'eau prélevé de la nappe alluviale pour l'année 2004 (Source, ABH-CZ)

Usage	Volume prélevé (en Hm ³) pour l'année
Domestique	10.00
Agricole	4.75
Industriel	0.74
Total	15.49

1.11.4 Hydrodynamique de la nappe étudiée :

A) Piézométrie :

La piézométrie est la synthèse la plus importante dans une étude hydrogéologique, car elle renseigne sur l'état de la nappe et nous permet de mettre en évidence le lien qu'elle peut avoir avec son environnement.

La carte piézométrique représente un document de base de l'analyse et de la schématisation de la capacité et la conductivité du réservoir en plus du comportement hydrodynamique de l'aquifère.

Elle a été établie à partir des données du niveau piézométrique des puits de la campagne effectuée en Septembre 2002 , sur la nappe alluviale.

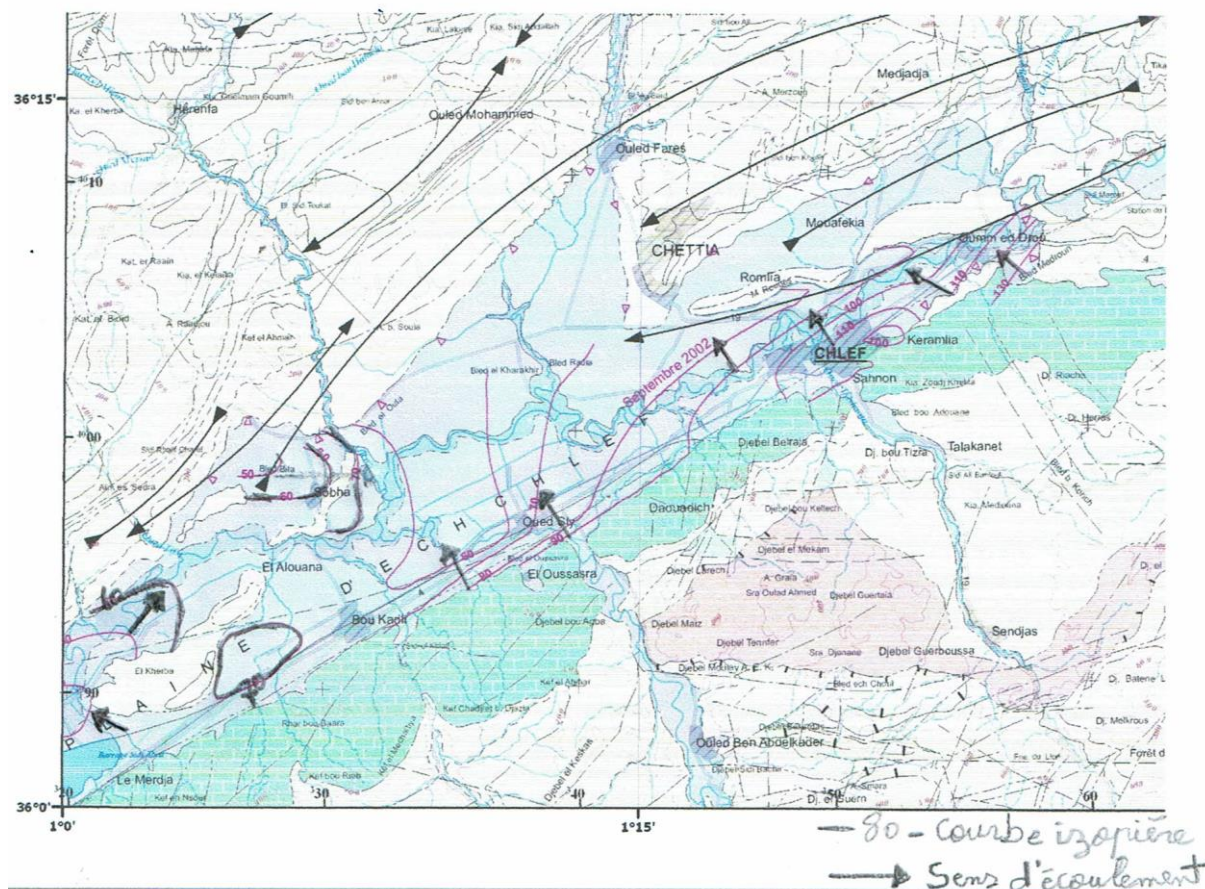


Figure. 12: Cartes piézométriques de la nappe alluviale du Moyen Chelif occidental

Interprétation de la carte piézométrique Septembre 2002 :

La carte piézométrique établie de l'année 2002 montre une tendance globale similaire avec une légère différence dans les niveaux piézométriques. C'est pourquoi, nous avons jugé suffisant de présenter une seule carte (celle Septembre 2002 en figure 12) pour expliquer l'hydrodynamique de la nappe étudiée.

Dans l'ensemble, l'examen de cette carte en fonction de l'allure des courbes iso pièzes et la direction des axes d'écoulement permet de distinguer deux zones :

- * **La Zone Nord-est :** les courbes iso pièzes sont serrées, avec un sens d'écoulement majeur de direction SE vers le NO.
- * **La Zone Sud-ouest :** Les courbes iso pièzes sont espacées à la structure géologique, avec des sens d'écoulement différents (oued Sly) montrent d'un axe de drainage d'une direction S.N.

Le gradient hydraulique est égal $7.5 \cdot 10^{-5}$ dans la zone NE indiquant l'existence d'une zone à faible transmissivité. Et $3,5 \cdot 10^{-5}$ dans la zone SO indiquant l'existence d'une zone à forte transmissivité.

B) Relation Oued-nappe :

Les échanges oued-nappe peuvent avoir lieu dans les deux sens, dans un cas, l'oued a un rôle drainant, dans l'autre, il a un rôle d'alimentation. Les variations du niveau piézométriques dans l'aquifère sont liées à la pluviométrie et au niveau de la rivière associée. Dans la zone d'étude, il existe deux sortes de liaisons (**Achour, 1997**) :

- **Liaison directe** : Parce que l'Oued Cheliff a creusé son lit dans l'aquifère, ce type de liaison directe existe d'une manière certaine car des puits sont implantés dans le lit mineur de l'Oued Cheliff

- **Liaison indirecte** : La vallée du moyen Cheliff occidental est une région à vocation agricole, ainsi une partie des eaux d'irrigation se ré infiltre dans la nappe, ainsi que les pertes dans les canaux d'irrigation et des séguias qui contribuent à la recharge du réservoir.

1.12 Cadre pédologique :

Selon l'inventaire des ressources en sols de l'Algérie, réalisé par l'ANRH en 1963-2001, quatorze (14) analyses de sol ont été réalisées sur le site de Wilaya de Chlef. Cependant, il est à noter que l'on retrouve très clairement de grands ensembles de sols déjà décrits par Boulaine en 1957.

Ces études indiquent la grande précision des limites et présentent de nombreux résultats analytiques caractérisant les unités individuelles, dont la synthèse a permis de dresser une carte des sols présentée à la figure 13 (**Scet Agri, (3), 1985**).

1.12.1 Principaux types de sols de la zone d'étude :

1.12.1.1 Les sols peu évolués :

Ils ont des propriétés physico-chimiques très différentes selon les conditions de dépôt et de migration ; leur granulométrie peut être argileuse, limoneuse ou sableuse, s'ils Il y a un apport alluvial. On les trouve dans la plupart des plaines (80%), surtout au milieu des vallées.

1.12.1.2 Les vertisols :

Les vertisols sont riches en argiles gonflantes (Smectites). Ils sont définis comme des sols avec des profils uniformes ou irrégulièrement différenciés après un mouvement vertical par expansion et contraction pendant les périodes humides et sèches, respectivement. On les trouve rarement dans la vallée du moyen Cheliff occidental (partie nord de la ville de Sobha).

1.12.1.3 Les sols calci-magnésiques :

Ce sont des sols alluviaux et colluviaux. Il s'agit de dépôts plus ou moins différenciés et parfois de calcaires continus et de cuirasses sous forme de croûtes. Ca^{+2} Et Mg^{+2} régissent la formation du sol. Ils sont principalement distribués dans les limites de l'aquifère alluvial du moyen Cheliff occidental.

1.12.1.4 Les sols halomorphes :

Les sols halomorphes groupent un ensemble de sols dont les caractères essentiels d'évolution sont :

- soit la richesse en sels solubles ;
- soit la richesse en sodium échangeable

On les retrouve dans la partie Ouest de la vallée avec petite cadence.

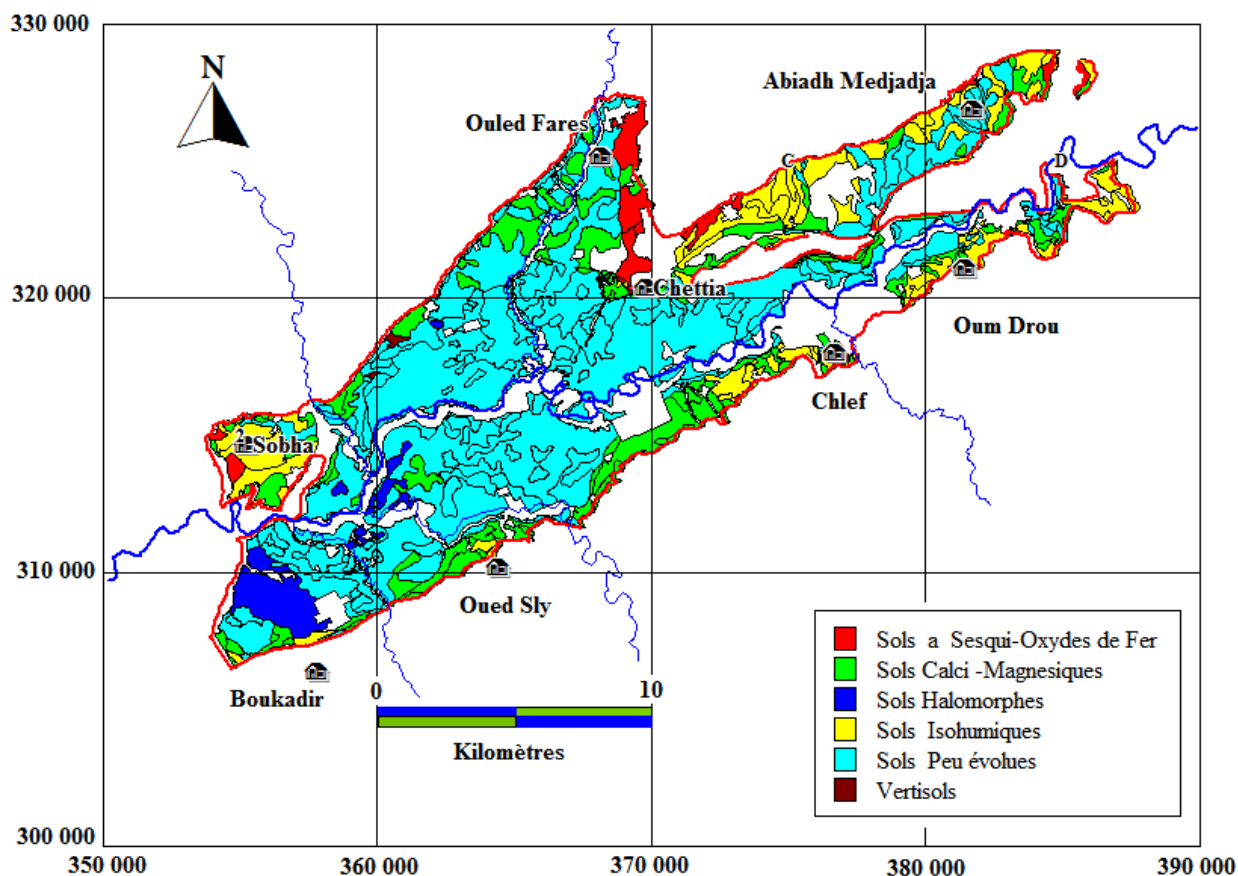


Figure. 13: Carte pédologique de la zone d'étude (Source, ABH-CZ)

1.12.1.5 Les sols sesquioxydes de fer :

Ces sols sont riches en sesquioxydes et sont caractérisés par :

- un complexe argileux constitué par des argiles de néoformation kaolonitique en mélange avec des argiles héritées principalement des illites,
- l'individualisation des sesquioxydes de fer (ou de manganèse) qui leur confère une couleur très accusée (rouge ocre),
- la teneur en matière organique est faible (< 1%), le taux de saturation est supérieur à 50% et les capacités d'échange ne dépassent pas 15 à 20 meq/100 g. Par contre, les perméabilités sont excellentes ainsi que les stabilités structurales et les teneurs en calcaire ne sont jamais très élevées.

La richesse en sesquioxydes résulte de l'hydrolyse des minéraux très poussée mais moins complète que pour les sols fersiallitiques. On trouve ce type de sol, avec petite quantité, dans la partie nord de l'aire d'étude dans les communes d'Ouled Fares et Chettia.

1.12.1.6 Les sols isohumiques :

Ces sols présentent des accumulations profondes de calcaire. La texture est parfois équilibrée avec des tendances sablonneuses (Medjadjas). La perméabilité est élevée (toujours supérieure à 10 cm/h en surface et supérieure à 5 cm/h en profondeur). La teneur en matière organique dépasse 1,5 % au-dessus de 50 cm, puis diminue progressivement. Capacité d'échange supérieure à 20 meq/100 g.

Ces sols sont présents dans le nord-est et le sud-est de la vallée et dans l'extension ouest (ville de Sobha).

1.13 Occupation des sols :

Les renseignements collectés auprès de la direction du service agricole de Chlef font état pour les domaines des terrains agricoles dont 65 % sont effectivement irrigués. L'arboriculture est la spéculation la plus importante du périmètre, plus particulièrement l'agrumiculture. Concentrée dans la partie centrale de la vallée, elle est irriguée à partir des lâchers du barrage de Sidi Yacoub sur l'oued Sly, affluent droit de l'oued Cheliff. Les concentrations moyennes annuelles des nitrates des eaux de ce barrage sont faibles ($< 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) (ABH-CZ, 2004) et peuvent jouer le rôle de diluants. Couvrant une superficie totale de 2 700 ha, le maraîchage occupe une seconde position d'importance et est localisé principalement à proximité des bordures de la vallée (l'Abiadh Medjadja, Ouled Fares, Sobha et Oum Drou). Leur irrigation est assurée par les eaux de puits individuels, de même pour les céréales qui s'étendent sur 1 000 ha (Douaoui et al, 2008).

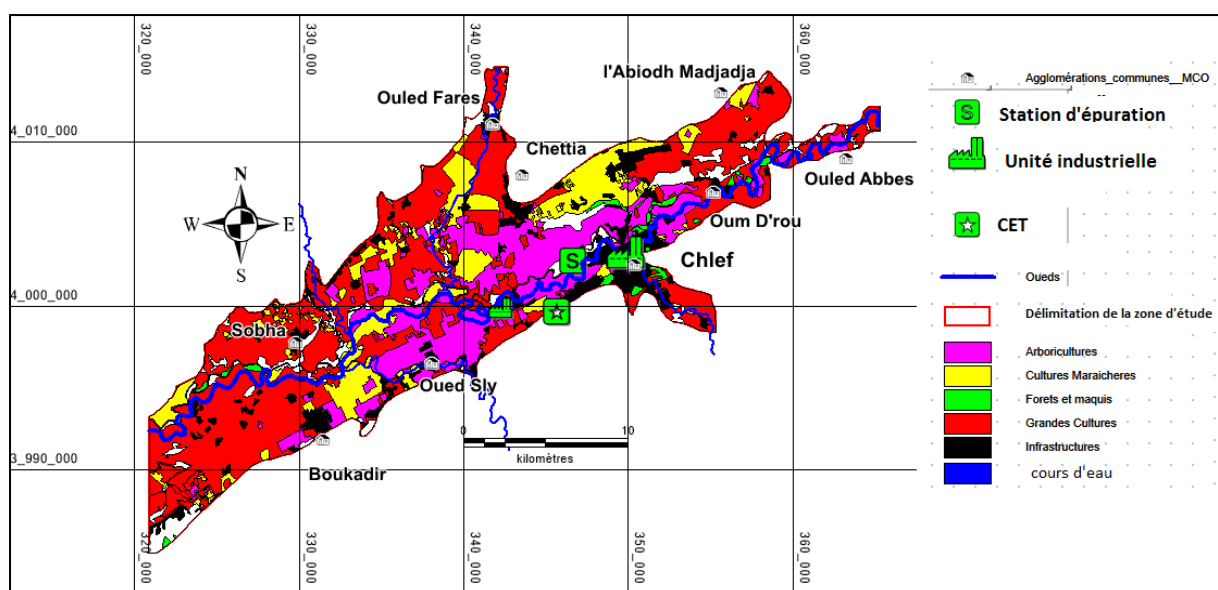


Figure 14: carte de l'occupation des sols de moyen Cheliff occidentale

1.14 Contexte socio – économique :

1.14.1 Population :

Le bassin versant du moyen Cheliff occidental est partagé entre trente (30) communes appartenant aux trois wilayas (Chlef (20 sur 35), Tissemsilt (8 sur 22) et Relizane (2 sur 38)), mais la zone d'étude est partagée entre neuf (09) communes sur trente-cinq (35) de la wilaya de Chlef (Fig. 15): Chlef , Oued Sly , Boukadir , Sobha , Chettia , Ouled Fares , l'Abiadh Medjadja et Oum Drou.

La population est évaluée pour les neuf communes à 772180 habitants en 2022(APC)

Cependant, la distribution de cette population ne se fait pas d'une manière rationnelle, elle est concentrée dans les villes comme Chettia, Chlef, Oued Sly, Boukadir, tandis que les zones rurales sont quasi-exodes.

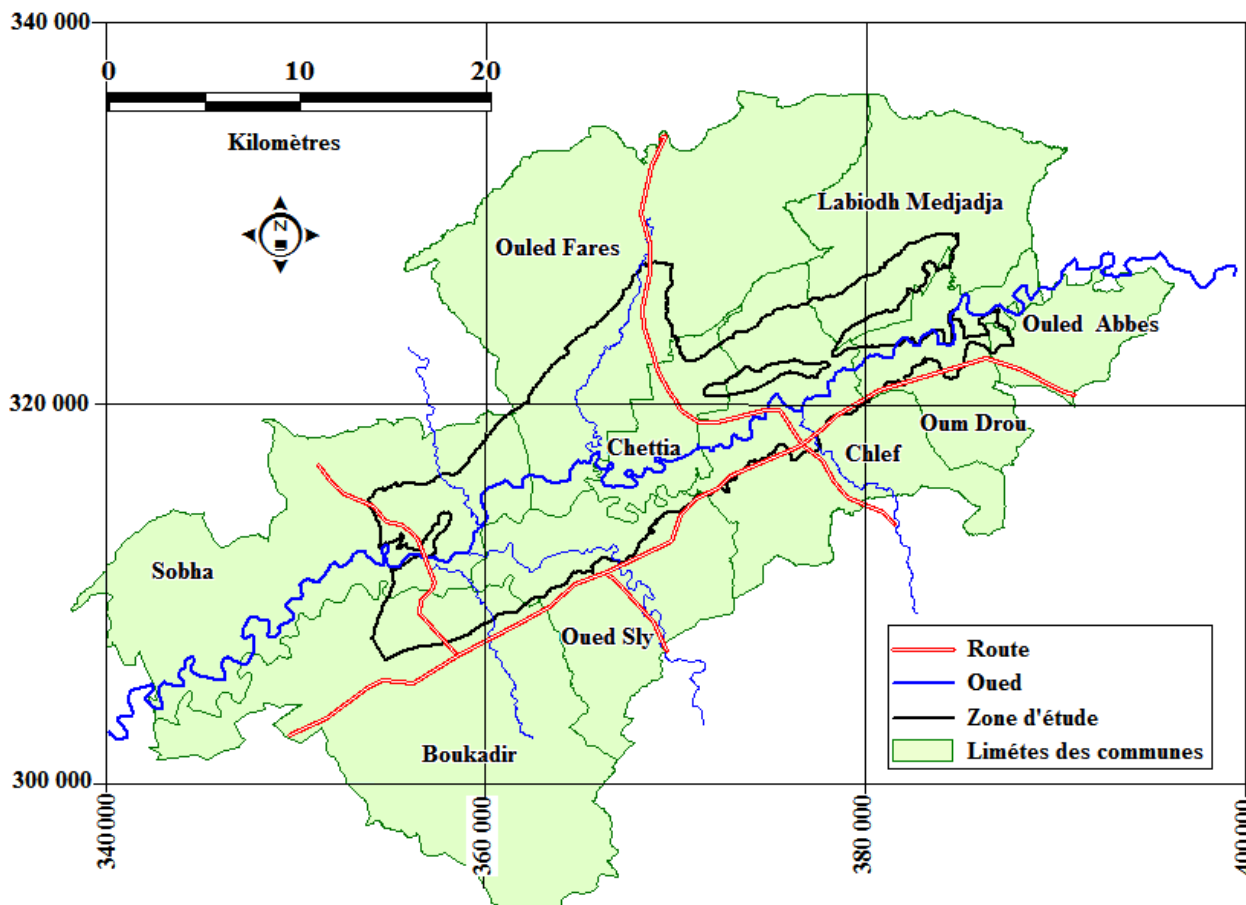


Figure 15. Situation des communes de la vallée du moyen Cheliff occidental

1.14.2 Agriculture et élevage :

L'agriculture caractérise en particulier la plaine du moyen Cheliff occidental, avec une dominance de l'arboriculture fruitière notamment les agrumes, concentrée sur la rive droite de l'oued Cheliff. Le maraîchage vient en seconde position et se pratique dans les parties Nord et Ouest (Sobha, Chettia, OuledFares, l'AbiodhMedjadja et Boukadir). Quant aux céréales et fourrages, leur production est limitée dans la partie Est surtout, dans les communes l'Abiodh Medjadja, Oum Drou, et Ouled Abbes.

La région a connu un développement important dans le domaine agricole (Agriculture & élevage) avec le programme de FNDRA lancé en 2000, ce qui explique l'augmentation de l'élevage pratiqué dans la plaine du moyen Cheliff occidental à partir de l'année 2001 surtout l'aviculture (Fig. n°16) vu la demande accrue sur la viande blanche à cause de la cherté de la viande rouge.

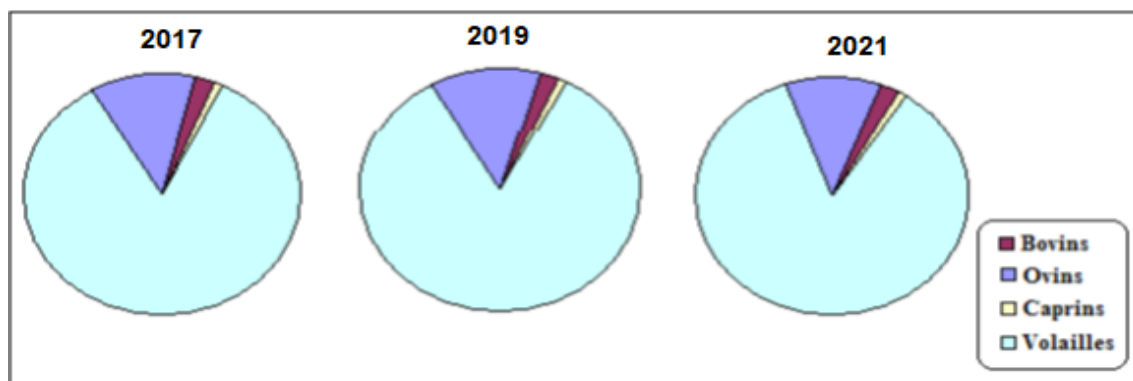


Figure 16. Évolution de l'élevage dans la vallée du moyen Cheliff occidental (source : DSA Chlef)

1.14.3 Industrie :

Les unités industrielles sont concentrées dans trois communes, à savoir les zones industrielles d'Oued Sly, Chlef et Chettia avec un caractère et une production différente. La commune d'Ouled Fares compte plusieurs unités industrielles connues principalement pour la production de boissons gazeuses. Les eaux usées concernées sont rejetées directement dans l'Oued Cheliff.

Chapitre III :
Étude hydro chimique

INTRODUCTION :

Dans la vallée du Moyen Chélif Occidental, la chimie de deux ressources en eaux (eaux de surface et nappe Plio-Quaternaire) est souvent influencée par l'effet des processus du réservoir (dissolution des formations géologiques, phénomène d'hydrolyse), les rejets urbains et industriels et l'activité agricole (**Bettahar et al, 2008**). L'objectif de ce chapitre est de définir la qualité physico-chimique des eaux Moyen Cheliff occidental, et de caractériser la chimie des eaux, ce qui nous permettra d'expliquer l'origine et l'évolution des éléments chimiques pour mieux comprendre le fonctionnement du système aquifère.

Nos recherches permettront d'utiliser des méthodes statistiques unidimensionnelles et multidimensionnelles (ACP et CAH) pour décrire l'état actuel de la chimie de l'eau et son évolution spatio-temporelle.

1.15 Données :

1.15.1 Échantillonnage :

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la zone étudiée est basée sur l'échantillonnage et l'analyse des eaux de (34) points d'eau à partir à la nappe alluviale du Moyen Cheliff occidental pendant le mois octobre.

Les points d'échantillonnage correspondent à des puits et forages répartis captant la nappe étudiée au cours de l'année 2017 ont été recueillis auprès de l'ANRH

Nous avons utilisé des bouteilles en plastiques pour l'ensemble des eaux échantillonnées.

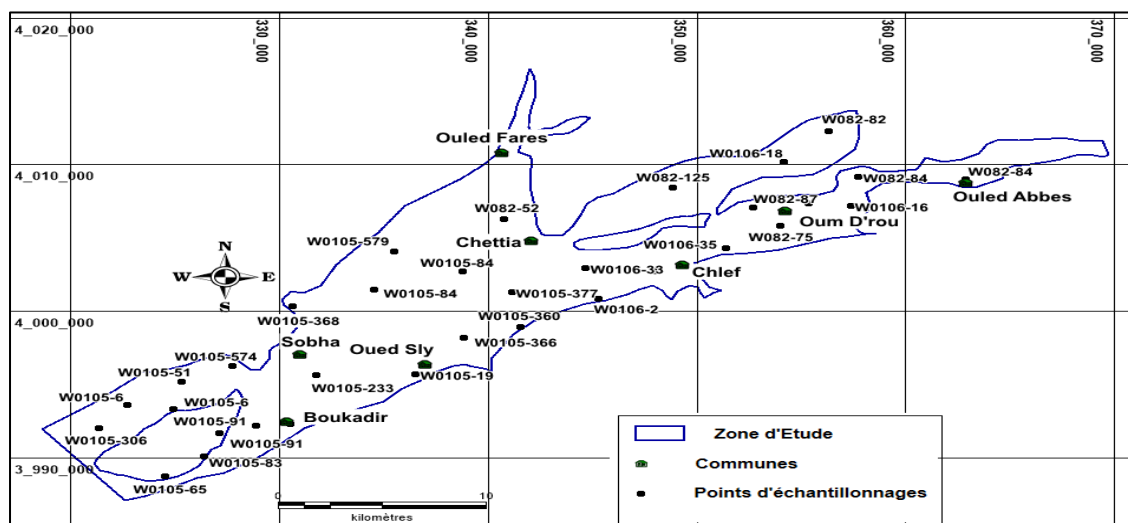


Figure 17. Échantillonnage des points d'eau

1.15.2 Les Analyses physico-chimique :

La détermination physico-chimique de l'ensemble des échantillons prélevés a été effectuée par le Laboratoire de Chimie de l'ANRH.

Les échantillons d'eau sont conservés à une température constante (environ 4°C) pendant le transport au moyen d'une glacière.

Le contrôle de la validité des résultats d'analyse chimique est fait à l'aide de la balance ionique (tableau10).

L'analyse des éléments chimiques a été effectuée par volumétrie (**Rodier, 1996**): le calcium, la dureté $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ le magnésium, les chlorures et le TAC (HCO_3^-) par titrimétrie, le sodium et le potassium par spectrométrie à flamme. Les sulfates (SO_4^{2-}), les nitrates (NO_3^-) sont eux dosés par un spectrophotomètre.

1.15.2.1 In site :

Sur le terrain nous avons mesuré deux paramètres physico-chimiques (pH et conductivité électrique) immédiatement après le prélèvement de l'échantillon d'eau souterraine à l'aide d'un appareil portatif.

1.15.2.2 Laboratoire :

L'analyse chimique a concerné les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et les anions : Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-

- **Contrôle des analyses chimiques par la balance ionique :**

Les analyses peuvent être contrôlées par la formule suivante: (**Rodier, 2009**)

$$BI = \frac{|\sum r^+ - \sum r^-|}{\sum r^+ + \sum r^-} \times 100$$

BI: Balance ionique (%)

r: Quantités en réaction (meq/l).

Les résultats des analyses chimiques effectués sur les échantillons prélevés dans les différents points d'eau sont mentionnés au tableau 10.

Tableau. 10 : Résultats des analyses chimiques (meq/L)

Point d'eau	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σcations	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Σanions	BI
	Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	Meq/l	%
W082-87	4.85	7.30	24.36	0.15	36.66	12.78	4.67	21.66	1.27	40.38	4.82
W0105-6	2.15	2.15	4.30	0.07	8.67	3.10	1.34	5.24	0.24	9.92	6.72
W0105-51	4.05	2.73	6.17	0.07	13.02	3.31	2	5.61	0.27	11.19	7.55
W0105-91	5.7	3.40	7.04	1.96	18.1	5.43	3.42	9.20	0.60	18.65	1.50
W0105-233	16.35	9.62	31.32	0.12	57.41	18.20	3.09	30.80	0.45	52.54	4.42

W0105-360	1.1	1.65	6.35	0.12	9.22	3.08	2.08	5.24	0.14	10.54	6.68
W0105-368	3.05	2.48	4.78	0.10	10.41	2.91	1.98	4.91	0.37	10.17	1.16
W0105-453	4.85	2.40	6.17	0.07	13.49	4.18	2.72	7.08	0.98	14.96	5.16
W0106-33	5.75	5.06	8.78	0.10	19.69	7.03	2.83	11.90	1.48	23.24	8.26
W082-52	9.1	5.22	12.35	0.25	26.92	5.32	7.83	9.02	0.42	22.60	8.72
W082-84	5.45	6.55	19.48	0.12	31.6	11.76	5.78	19.91	0.80	38.25	9.52
W082-125	5	5.89	7.96	0.05	18.9	4	5.16	6.77	0.35	16.28	7.44
W0105-6	3.6	2.65	5.30	0.05	11.6	2.75	3.57	4.65	0.29	11.26	1.48
W0105-19	2.1	1.16	2.91	0.05	6.22	1.75	2	2.96	0.19	6.90	5.18
W0105-91	7.15	4.81	9.43	0.25	21.64	6.37	4.24	10.77	0.46	21.84	0.46
W0105-306	6.75	6.05	12.18	0.05	25.03	8.32	4.13	14.10	0.16	26.71	3.24
W0105-366	1.6	1.57	5.65	0.25	9.07	2.87	2.55	4.85	0.60	10.87	9.02
W0105-377	11.5	6.72	15.83	0.07	34.12	9.39	5.08	15.91	0.35	30.73	5.22
W0105-574	19.5	11.03	32.36	0.25	63.14	19.92	5.01	33.74	0.16	58.83	3.53
W0105-579	10.6	6.80	13.57	0.10	31.07	11.93	3.44	20.20	0.22	35.79	7.05
W0106-2	6.6	5.72	10.78	0.05	23.15	5.83	4.78	9.87	0.74	21.22	4.34
W0106-35	9.7	8.21	14.09	0.05	32.05	10.78	4.73	18.28	0.83	34.62	3.85
W0106-16	3.55	3.07	8.39	0.02	15.03	2.70	5.40	4.57	0.79	13.46	5.51
W0106-18	13	8.54	26.27	0.12	47.93	18.77	5.39	31.82	0.48	56.46	8.17

1.16 Étude hydrochimie :

1.16.1 Méthode statistique :

1.16.1.1 Statistique descriptive :

Tableau .11 : Caractéristiques statistiques physico-chimiques des points d'eau

Élément chimique	Unités	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type	CV
Ca ²⁺	mg/L	22	324	124.18	83,01	1,50
Mg ²⁺	mg/L	14	133	60	30,11	1,99
Na ⁺	mg/L	67	744	293.32	200,17	1,47
K ⁺	mg/L	1	11	4.11	2,91	1,41
SO ₄ ²⁻	mg/L	84	957	395	264,42	1,49
Cl ⁻	mg/L	105	1196	494	330,53	1,49
HCO ₃ ⁻	mg/L	82	478	242	86,72	2,79
NO ₃ ⁻	mg/L	9	92	33	19,65	1,68
pH	sans unité	7,1	7,7	7,5	0,15	50
CE	µS/cm	690	6830	2402	1345,97	1,78

1.16.1.2 Analyse en Composantes Principales (A.C.P) :

L'Analyse en Composantes Principales (A.C.P) est l'une des méthodes d'analyse de données multivariées les plus utilisées. Dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continues ou discrètes) dans lequel n observations (des individus, des produits, ...) sont décrites par p variables (des descripteurs, attributs, mesures, ...), si p est assez élevé, il est impossible d'appréhender la structure des données et la proximité entre les observations en se contentant d'analyser des statistiques descriptives multivariées ou même une matrice de corrélation (**Kouani et al, 2007**).

(ACP) consiste à exprimer un ensemble de variables en un ensemble de combinaisons linéaires de facteurs non corrélés entre eux (**Tomassone, 1974**).

Ces facteurs rendent compte d'une fraction de plus en plus faible de la variabilité des données. Cette méthode permet de représenter les données originelles (individus et variables) dans un espace de dimension inférieure à l'espace originel, tout en limitant au maximum la perte d'information. La représentation des données dans des espaces de faible dimension (2 dimensions) en facilite considérablement l'analyse. Le premier axe factoriel est celui qui explique le plus grand pourcentage de la variance totale, le second explique ensuite le plus grand pourcentage de variance résiduelle et ainsi de suite.

L'interprétation des résultats des variables se fait sur le cercle de corrélation. Les variables qui se situent près du cercle et qui sont proches l'une de l'autre présentent une forte relation linéaire entre elles. Par contre, les points qui sont à l'opposé présentent une relation inverse (**Philippeau, 1986**). Une analyse en composantes principales a été réalisée en utilisant les données hydro-chimiques des eaux de 34 échantillons des puits de la plaine alluviale de moyen Cheliff occidental à l'aide du Logiciel Spad. Les variables sont : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), les anions (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) et CE, pH.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (A.C.P) pour l'étude globale des eaux souterraines permet une différenciation sur leurs particularités chimiques, une détermination de leurs variations d'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux et surtout une caractérisation des différents pôles d'acquisition de la minéralisation.

1.16.1.2.1 - La matrice de corrélation :

La matrice de corrélation indique les valeurs de corrélation, qui mesurent le degré de relation linéaire entre chaque paire de variables. Les valeurs de corrélation peuvent être comprises entre -1 et +1. Si les deux variables ont tendance à augmenter et à diminuer en même temps, la valeur de corrélation est positive.

La matrice de corrélation entre éléments est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau. 12 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques des eaux de la plaine de Moyen Cheliff occidental.

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	CE
Ca	1,00								
Mg	0,82	1,00							
Na	0,60	0,83	1,00						
K	0,24	0,14	0,25	1,00					
Cl	0,64	0,87	0,95	0,19	1,00				
SO4	0,64	0,87	0,95	0,19	1,00	1,00			
HCO3	0,39	0,59	0,43	0,16	0,40	0,40	1,00		
NO3	-0,09	0,12	0,12	-0,13	0,10	0,10	0,13	1,00	
CE	0,79	0,93	0,93	0,32	0,94	0,94	0,49	0,05	1,00
pH	-0,28	-0,35	-0,20	0,26	-0,31	-0,31	-0,19	0,19	-0,29

D'après la matrice de corrélation obtenir a partir de résultats de ACP on peut dire que :

- la minéralisation de l'eau représenté par CE elle est très corrélée par la plupart des éléments chimiques.

- Le calcium Ca est fortement corrélé aux Cl, mg, Na, SO4.

-Le pH est corrélé négativement avec presque les ions constitutifs de la minéralisation.

Le tableau des valeurs propres (tableau 13) donne le pourcentage représenté par chaque facteur, et à partir des pourcentages cumulés de ces différents facteurs, il est possible de se faire une idée du nombre de facteurs nécessaires pour expliquer ces phénomènes.

Tableau. 13 : Valeurs propres

Numéro	Pourcentage	Pourcentage cumulé
1	57,07	57,07
2	12,90	69,97
3	11,68	81,65

Le calcul s'arrête sur trois axes, l'axe 1, 2 et 3. Ainsi, le facteur 1 représente 57,07 % de la variance, le facteur 2 : 12,90 % et le facteur 3 : 11,68 %. Ces trois facteurs expliquent donc 81,65 % de la variance totale. Nous avons donc choisi les 3 premières valeurs propres, qui expliquent ensemble plus de 81% de l'inertie totale du nuage de points.

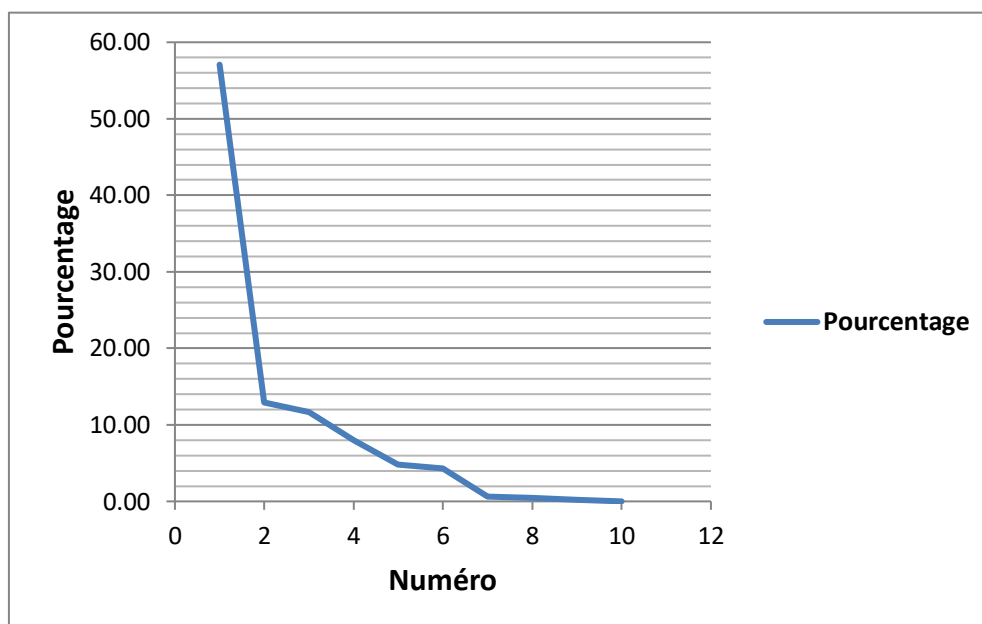


Figure.18 : Valeurs propres de la matrice de corrélation

1.16.1.2.2 - Cercle de corrélation des variables :

La projection des variables sur le plan factoriel respectivement A1-A2 A1-A3 permet d'extraire les figures 19 et 20.

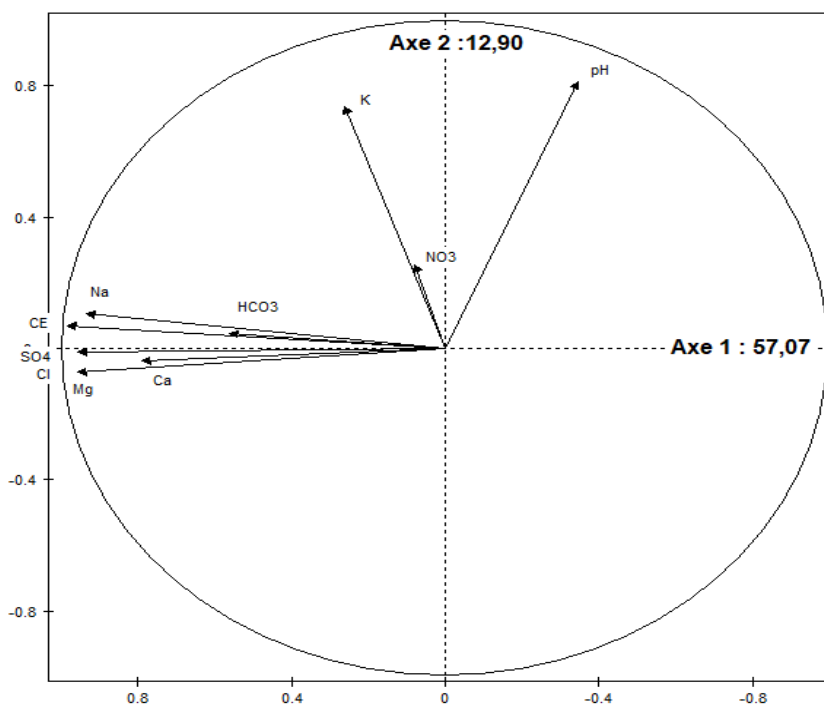


Figure.19 : Cercle de corrélation des axes1et 2

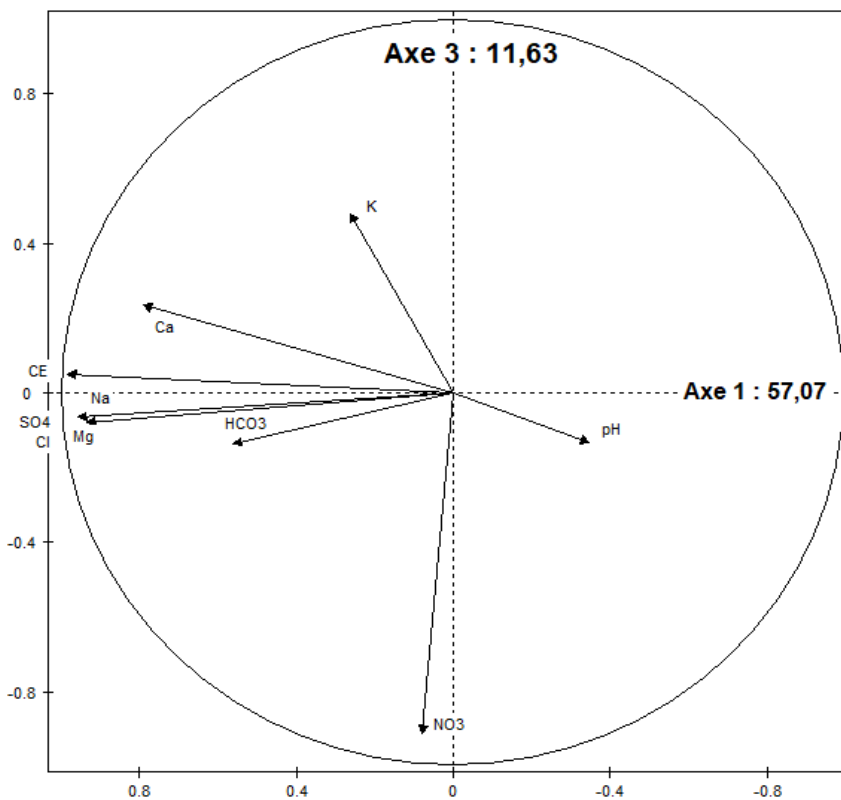


Figure.20 : Cercle de corrélation : axes1 et3

D'après l'espacement des variables sur le cercle de corrélation (Fig.19 et 20) on constate que l'axe 1 regroupe la majorité des éléments chimiques. On dit donc que l'axe 1 c'est l'axe de minéralisation.

Axe 1 et 2 : Nous avons remarqué que les éléments chimiques (Na, Cl, Mg, Ca, SO₄, HCO₃, CE) sont liés les uns aux autres et se regroupent dans l'axe 1 qui est l'axe de minéralisation, ce qui explique la forte relation qui les lie les uns aux autres, et la raison de cette relation est que ces éléments chimiques ont une origine géologique. Et nous avons remarqué la concentration de (K, NO₃, pH) au l'axe 2 et le pourcentage de NO₃ est très faible par rapport aux autres éléments chimiques. La raison de la concentration de ces éléments dans l'axe 2 est qu'ils ont une origine non géologique, qui est une origine externe (engrais chimiques...).

Axe 1 et 3 : Dans ce cas, nous avons observé la survie de (Na, Cl, Mg, Ca, SO₄, HCO₃, CE) dans l'axe 1 ainsi que pour le pH et K. Par contre, NO₃ est bien représenté dans l'axe 3 et la raison car c'est qu'il existe une relation inverse entre le NO₃ et les autres éléments chimiques, plus l'un augmente, plus l'autre diminue, et inversement.

1.16.1.3 Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.) :

C'est une méthode d'analyse de données qui permet d'obtenir une représentation schématique simple d'un tableau de données complexe à partir d'une typologie (segmentation), c'est-à-dire une partition des n individus dans des classes, définies par l'observation de p variables (**Chevalier F. & Le Bellac J. 2012**).

La méthode consiste à regrouper des individus similaires selon certains critères, elle divise n individus, caractérisés par p variables, en un certain nombre de m sous-groupes aussi homogènes que possible, chaque groupe étant distinguable des autres.

Dans ce chapitre, nous allons appliquer cette méthode aux données de chimie de l'eau en utilisant le code SPSS.

1.16.1.3.1 Principe :

La Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) est une méthode de classification itérative avec un principe simple, qui peut être résumé comme suit :

- Calculer d'abord la différence entre n individus,

- Minimiser le regroupement en regroupant deux individus pour un critère d'agrégation donné, créant une classe contenant les deux individus,
- Utilisez ensuite des critères d'agrégation pour calculer la différence entre cette classe et n-2 autres individus. Ensuite, regrouper les deux individus ou classes d'individus par regroupement qui minimise les critères d'agrégation,
- Continuez ainsi jusqu'à ce que tous soient réunis.

1.16.1.3.2 Avantages de la classification ascendante hiérarchique :

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification qui présente les avantages suivants :

On travaille en fonction de la différence entre les objets à regrouper. Par conséquent, nous pouvons choisir un type d'écart qui convient au sujet de recherche et à la nature des données.

Une sortie est un dendrogramme, qui visualise le regroupement progressif des données. Ensuite, vous pouvez apprendre un nombre suffisant de classes pour regrouper les données.

1.16.1.3.3 - Résultats pour la Classification Ascendante Hiérarchique dans le secteur d'étude :

Nous allons utiliser la C.A.H. pour la chimie des eaux de l'aquifère plio-quadernaire de la plaine de moyen Cheliff occidental, pour essayer de regrouper ces eaux en un nombre limité de groupes (classes), ces derniers auront deux propriétés :

- L'homogénéisation dans chaque classe et disparité entre les classes,
- Classes non prédéfinies mais découvertes au cours de l'opération.

Pour ce faire, nous avons utilisé le code de calcul SPSS, afin de regrouper les puits ayant des profils chimiques similaires. Le nombre d'individus est de 34 (puits) et les variables de 10 (ions majeurs : décrits au chapitre précédent).

La méthode du lien complet a été choisie pour cerner la plus grande distance entre deux groupes et pour la distance entre ces groupes c'est la distance euclidienne qui a été prise en considération vu sa fréquente utilisation dans ce genre de données.

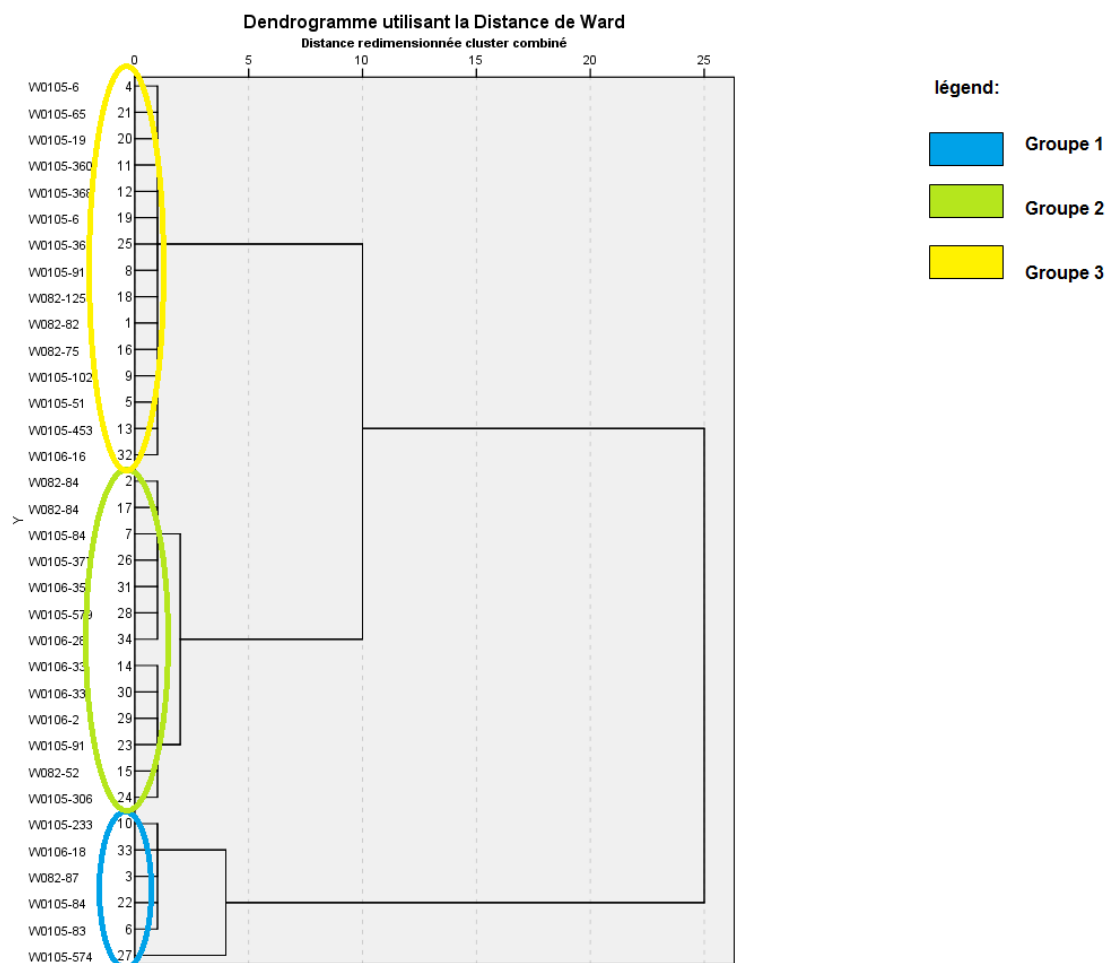


Figure.21 : Dendrogramme des points d'eau de la plaine de Moyen Cheliff Occidental

Tableau. 14 : Classification des eaux selon C.A.H

Groupe	Les Point d'eau	Les éléments										WQI
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CE	pH	
G1	W0105-574 W0105-83 W0105-84 W082-87	77	76	544	2	768	614	189	10	3040	7,4	101,89
	W0106-18 W0105-233	390	133	744	10	1196	957	329	79	6830	7,6	155,51

G2	,W082-84, , W0106-33,W082-52, ,W082-84, ,W0105-91,W0105-306,W0105-377,W0105-579,W0106-2,W0106-33,W0106-35, ,W0106-28	48	53	202	2	320	256	173	9	2050	7,1	58,66
	W0105-84,	230	97	452	11	988	790	478	92	4060	7,7	105,94
G3	W0105-6, W0105-51, W0105-360, W0105-368, W0105-6, W0105-19, W0105-65, W0105-366	22	14	97	1	105	84	82	9	690	7,2	27,87
	W0106-16 W0105-453 W0105-102 W082-75 W082-82 W082-125 W0105-91	126	71	193	10	326	261	330	61	1770	7,7	66,29

Nous avons remarqué dans le Dendrogramme 3 groupes qui sont représentés dans le tableau suivant :

Nous remarquons dans le tableau que les éléments chimiques du tableau ont de faibles concentrations et sont conformes aux normes algériennes dans le groupe 3 plus, puis le groupe 2 puis le groupe 1, et en conséquence nous concluons que :

Groupe 3: qualité de l'eau Excellent.

Groupe 2: qualité de l'eau bonne.

Groupe 1: qualité de l'eau mauvaise.

- **Interprétation des analyses physico-chimiques :**

Potentiel d'hydrogène (pH) :

Ce paramètre est caractérisé par un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend de plusieurs facteurs, dont la provenance de l'eau. Le pH détermine l'acidité, l'alcalinité et La neutralité de la solution. Cela tient à la nature du terrain.

Tableau .15 : Classification des eaux selon le pH. (JORA, 2011)

pH	Qualité des eaux
pH<5	Acidité forte
pH=7	Neutralité (eau pure)
pH de 7 à 8	Neutralité rapprochée (eau de surface)
pH > 8	Alcalinité, évaporation intense
pH de 5.5 à 8	Majorité des eaux souterraines

Selon le tableau .24 (annexe1) et la figure 22, presque toutes les eaux analysées se situaient dans la plage standard, car leurs valeurs de pH se situaient entre 7,1 et 7,7.

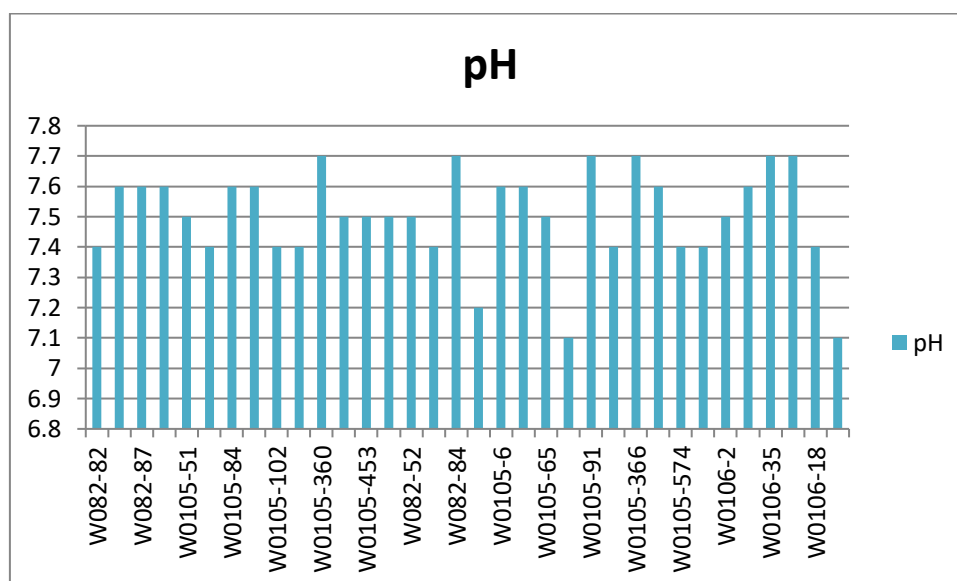


Figure.22: Variations du pH

Conductivité électrique (CE) :

Tant que la plupart des substances dissoutes dans l'eau sont sous forme d'ions chargés, la conductivité permet d'évaluer le degré de minéralisation de l'eau.

Électriquement.

L'évolution de la conductivité illustrée à la Fig. 23 montre que la conductivité des majorités des points d'eau est très élevée, dépassant les 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ stipulés par la norme algérienne sur l'eau potable et classe ses eaux souterraines comme à haute salinité selon le tableau 25 (annexe 1).

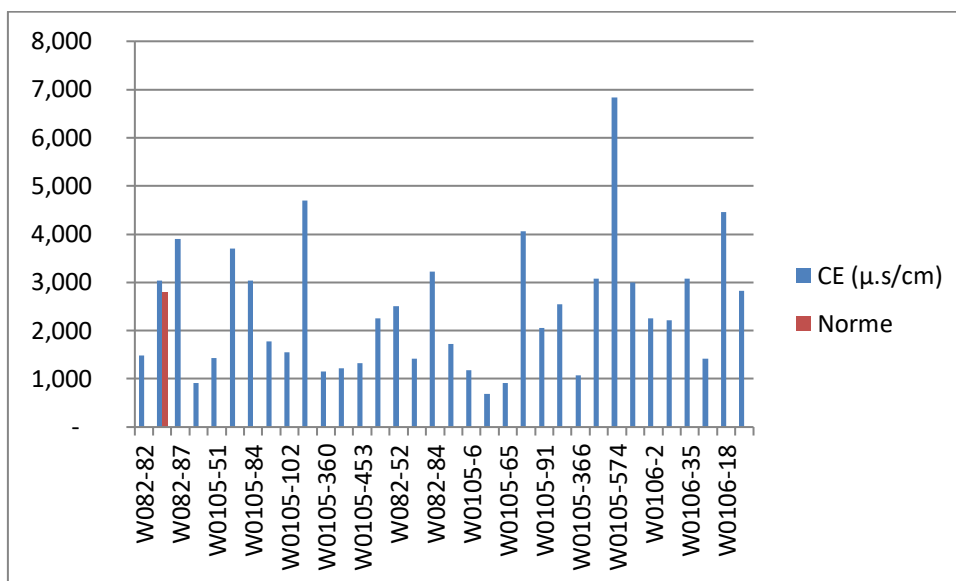


Figure.23 : Variation de la conductivité électrique au niveau des points d'eau de la plaine de moyen Cheliff occidental.

a- L'ion Calcium (Ca²⁺):

La présence des ions Ca²⁺ dans les eaux de la nappe du Plio Quaternaire est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃) ainsi que les formations gypseuses (Trias) (CaSO₄). Les teneurs de l'ion Ca²⁺ sont comprises entre 22 mg/L comme valeur minimale et atteignent une valeur maximale de 324 mg/L au niveau du point d'eau situé à la plaine (fig.24).

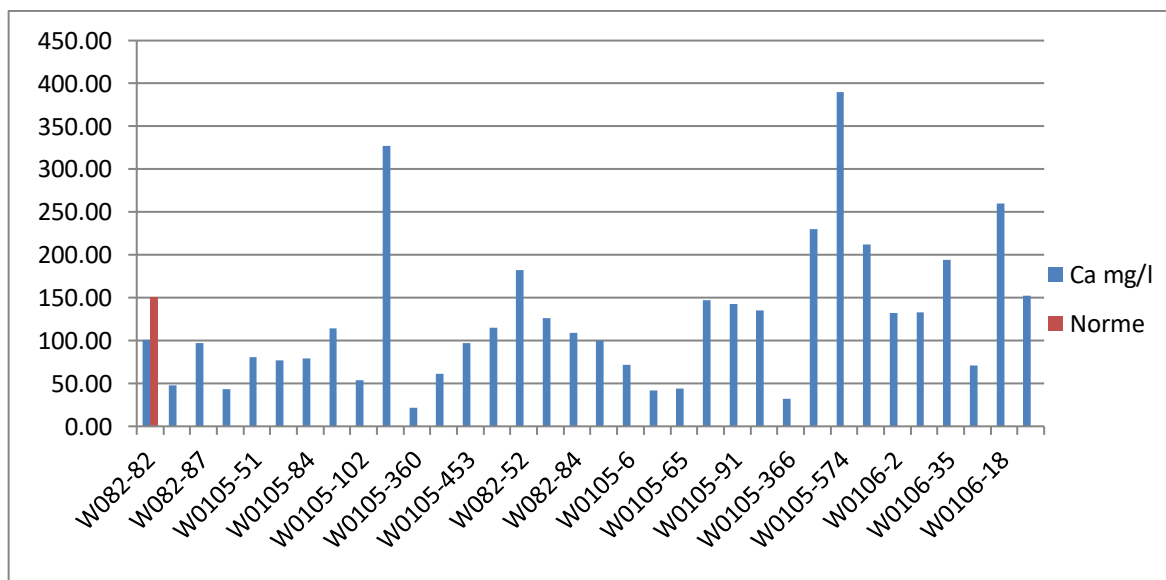


Figure.24 : Variation de l'ion calcium au niveau de la plaine de moyen Cheliff occidental

b- L'ion Magnésium (Mg^{2+}) :

La norme algérienne fixe sa concentration maximale admissible (C.M.A.) à 150 mg/L valeur au-delà de laquelle il confère à l'eau une saveur désagréable. Dans cette étude la teneur de cet élément est comprise entre 14 et 133 mg/L. (Fig.25)

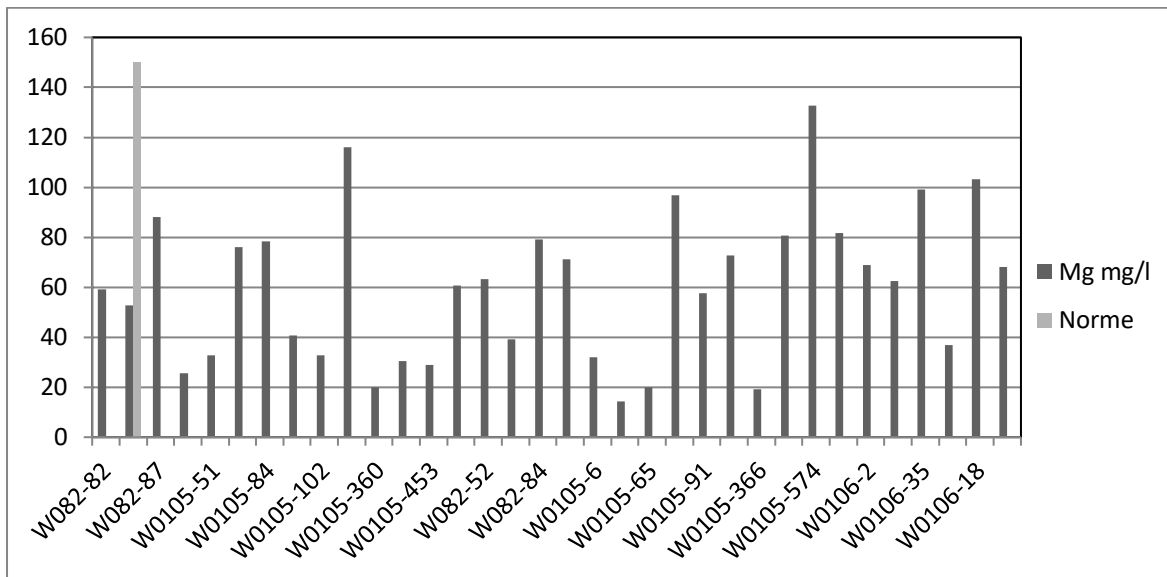


Figure.25 : Variation de l'ion magnésium au niveau de la plaine de moyen Cheliff occidental

c- L'ion Sodium (Na^+):

La teneur de l'ion Sodium est comprise entre 67 et 744 mg/L, la plupart des points dépassent la CMA fixée à 200 mg/L (fig.26)

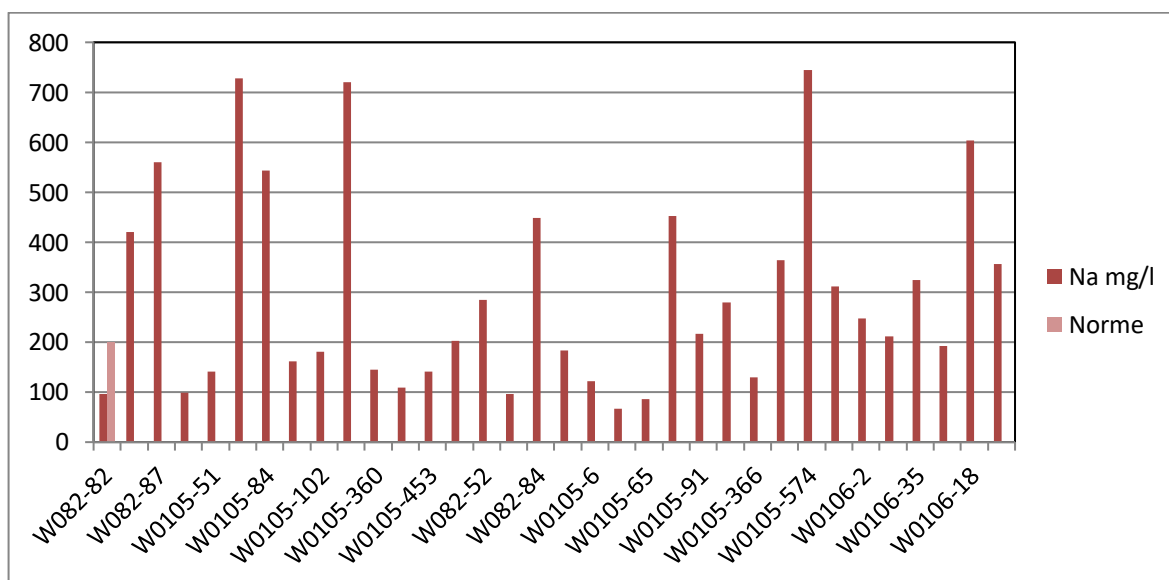


Figure.26 : Variation de l'ion sodium au niveau de la plaine de moyen Cheliff occidental

d- L'ion Potassium (K^+) :

Les normes algériennes fixent sa concentration maximale à 12 mg/L. Les analyses montrent que les eaux de la plaine de moyen Cheliff occidental présentent des teneurs comprises entre 1 et 11 mg/L. (fig.27)

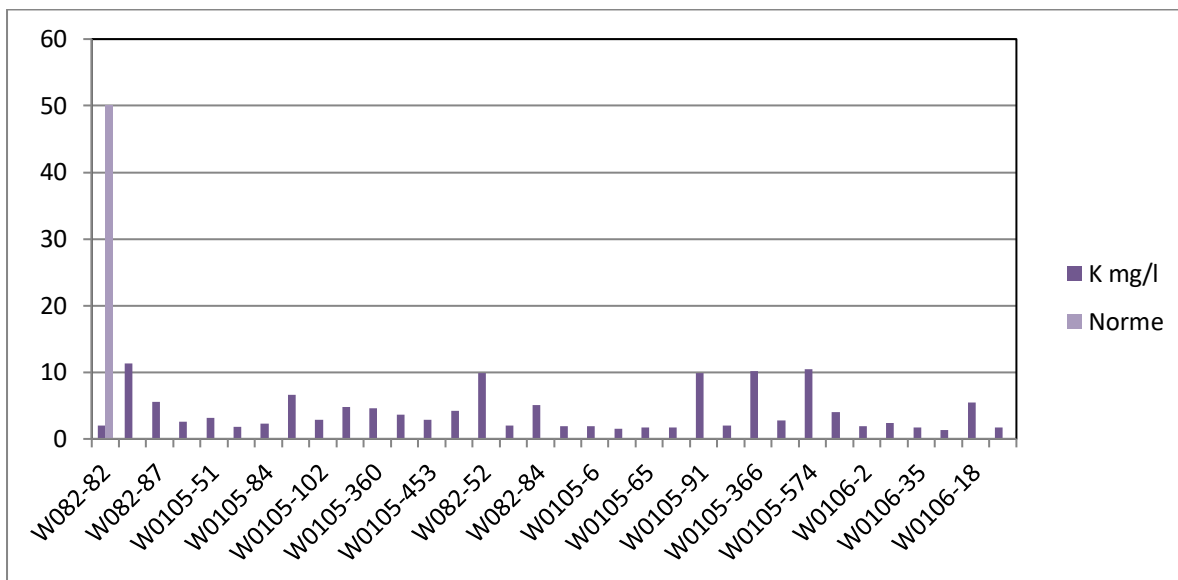


Figure.27 : Variation de l'ion potassium au niveau de la plaine de moyen Cheliff occidental

e- L'ion Chlorure (Cl^-) :

Les teneurs en Cl^- sont très élevées, elles sont comprises entre 105 et 1196 mg/L. Les normes algériennes fixent sa concentration maximale à niveau guide à 500 mg/L. Le point W0105-574 présente la plus forte valeur (fig.28).

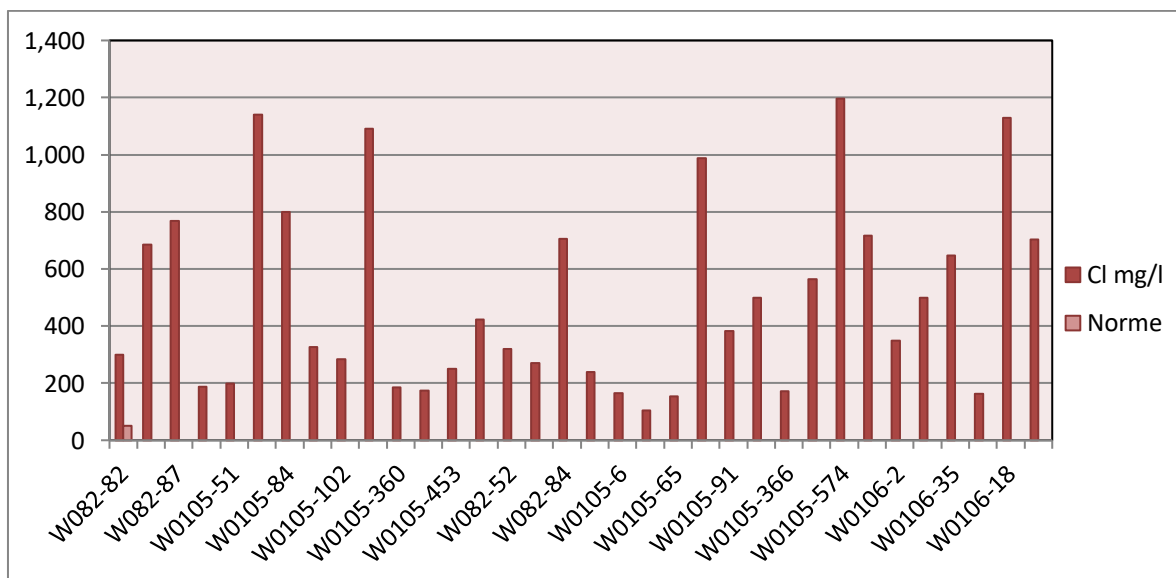


Figure.28 : Variation des ions chlorures au niveau de la plaine de moyen Cheliff occidental

f- Les ions Sulfates (SO_4^{2-}) :

La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable. Les normes fixent algérienne 400 mg/L . Les teneurs sont comprises entre 84 et 957 (fig.29).

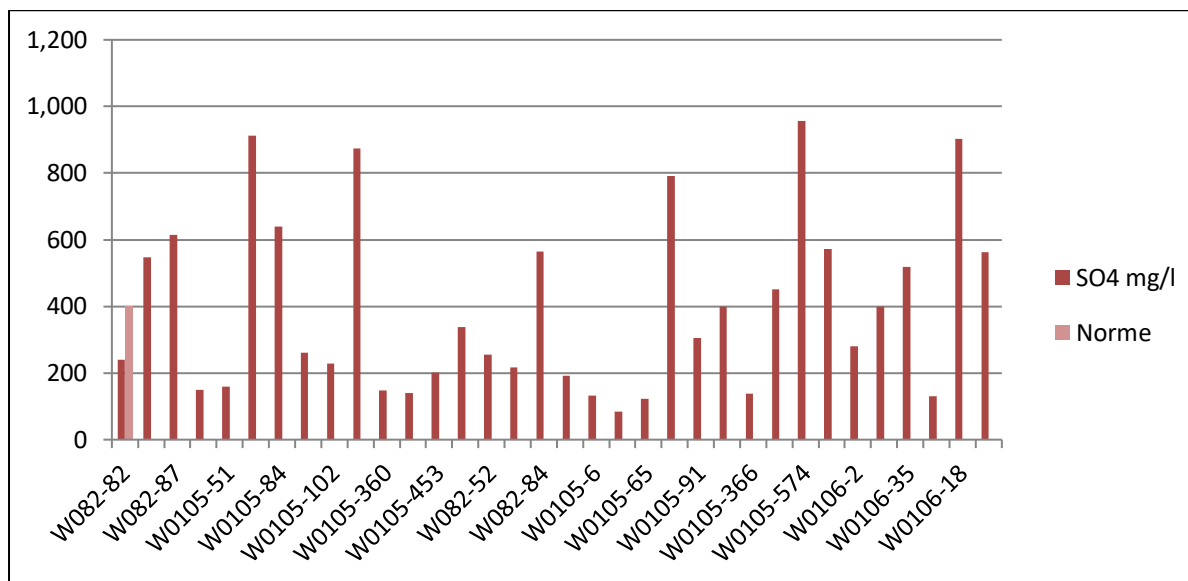


Figure.29 : Variation des ions sulfates au niveau de la plaine de moyen Cheliff occidental

g- L'ion Bicarbonate (HCO_3^-) :

Formés en dissolvant des minéraux carbonatés dans l'eau météorique, ils transportent avec eux du dioxyde de carbone libre lorsqu'ils s'infiltrent dans le sol.



Les concentrations varient entre 82 et 478 mg/L (fig.30).

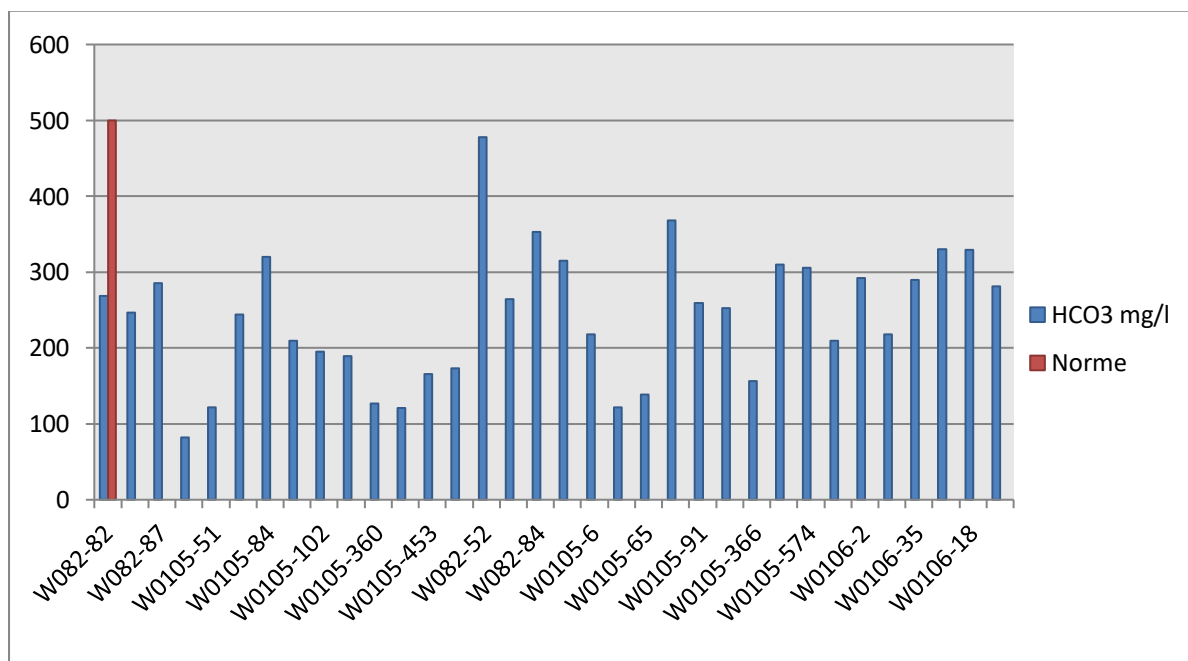


Figure.30 : Variation de l'ion bicarbonate au niveau de la plaine de MCO

h- Les ions Nitrates (NO_3^-) :

La norme algérienne fixe sa concentration maximale admissible (C.M.A.) à 50 mg/L .

Dans cette étude la teneur de cet élément est comprise entre 9 et 92 mg/L. (Fig.31)

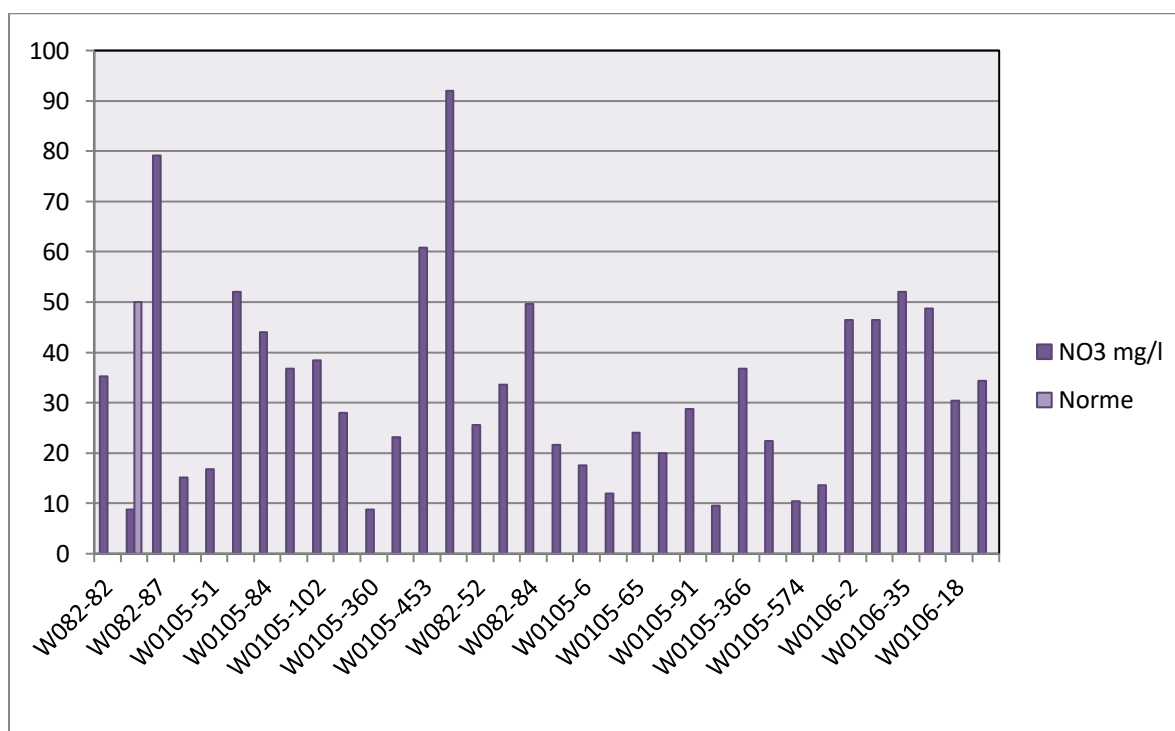


Figure.31 : Variation de l'ion Nitrate au niveau de la plaine de Moyen Cheliff occidental.

Pour identifier correctement les phases hydro-chimiques et indiquer les aspects qualitatifs des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats analytiques est un outil incontournable. Pour ce faire, nous avons utilisé les diagrammes de Piper, Durov et diagramme Binaire.

1.16.2 Méthode graphique :

1.16.2.1 Diagramme de Piper :

Ce type de diagramme permet de représenter simultanément plusieurs échantillons de différentes eaux (surface et souterraine). Il est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants. Le faciès global est obtenu à partir des deux triangles représentant les faciès cationiques et anioniques.

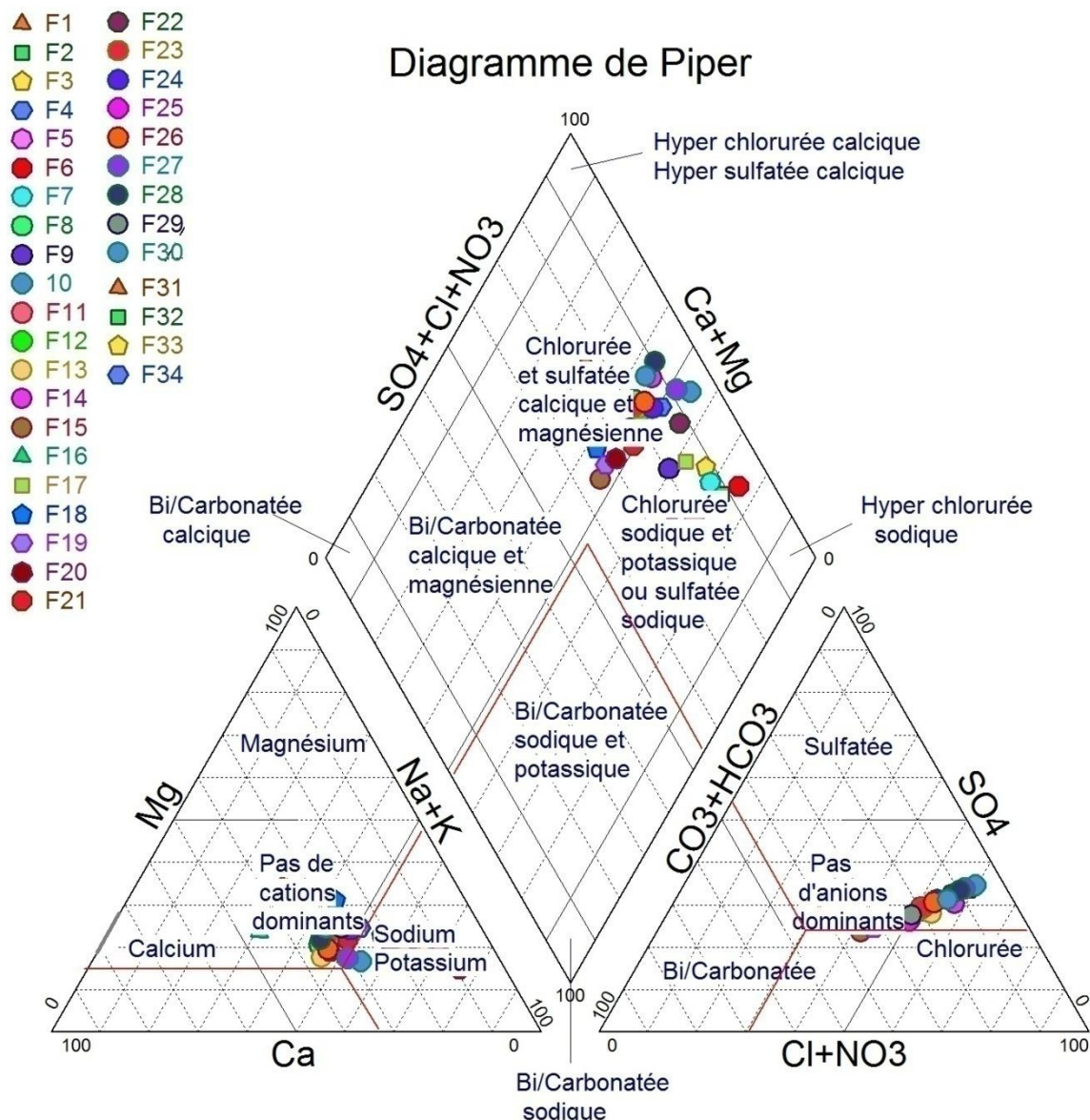


Figure.32 : Diagramme de piper

Ce diagramme présente l'avantage de regrouper un grand nombre d'analyses sans en faire une subdivision précise. Permet de déterminer les tendances chimiques des eaux prélevées.

Le diagramme de Piper (figure 32) montre que les eaux souterraines de la plaine étudiée appartiennent essentiellement à deux familles d'eau :

- Chloruré et sulfaté calcique et magnésien.
- Chloruré sodique et potassique.

1.16.2.2 Classification des eaux selon le diagramme de STABLER :

La méthode STABLER consiste à classer les anions et les cations séparément par ordre décroissant de valeurs (r%) et ainsi déterminer le faciès chimique.

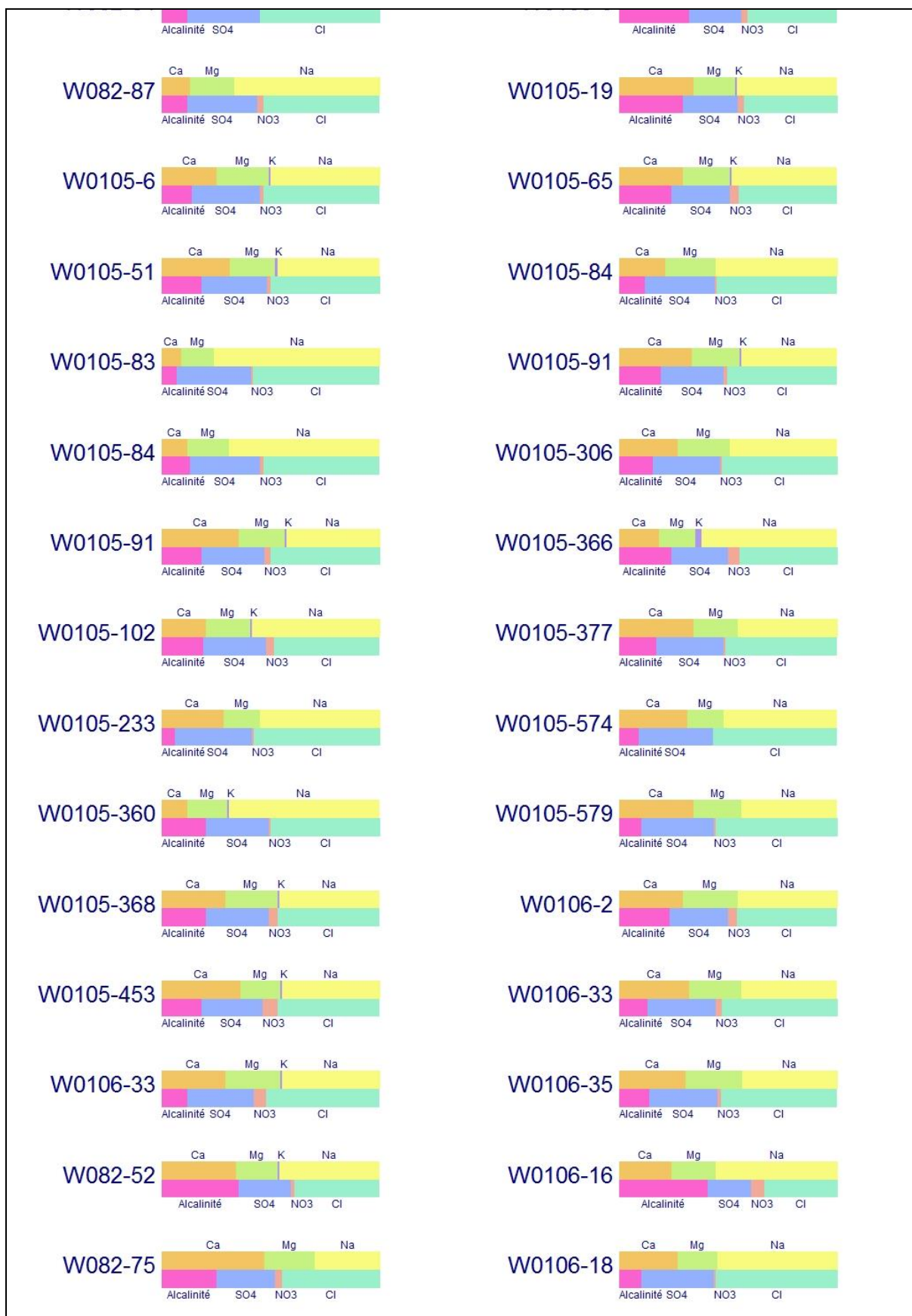


Figure. 33 : Diagramme de Stabler

Ce diagramme est très utile pour étudier les bilans carbonatés. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle de la calcite et les alcalinités résiduelles généralisées. Classer séparément les anions et les cations par ordre décroissant (**Hadad, 2014**).

La présentation des analyses chimiques des eaux étudiées sur ce type de diagramme (figure 33) permet d'aboutir aux mêmes conclusions que précédentes ont une dominance des ions Chloruré-Sodique au niveau des points d'eau.

1.16.2.3 Classification des eaux selon le diagramme de Chadha :

Le diagramme de Chadha utilisé est une version légèrement modifiée du diagramme de Piper et du diagramme de Durov étendu. La différence est que dans le diagramme Chadha, le triangle équilatéraux ont été divisés en quatre régions principales (Fig. 34) pour déterminer les processus hydrochimiques impliqués dans le processus de minéralisation (**mahdi, 2021**).

La représentation des points d'eau sur le diagramme Chadha a donné se que suite :

- **Anion** : toute les points d'eau se située dans la zone 2 et 3 caractérise par la dominance des faciés Chloruré sulfaté.

- **Cations** : cette points d'eau (W082-82, W082-87, W0105-6, W0105-51, W0105-83, W0105-84, W0105-91, W0105-102, W0105-233, W0105-360, W0105-368, W0105-453, W0106-33, W082-52, W082-75, W082-84, W082-125, W0105-6, W0105-19, W0105-65, W0105-84, W0105-91, W0105-306, W0105-366, W0105-377, W0105-574, W0105-579, W0106-2, W0106-33, W0106-35, W0106-16, W0106-18, W0106-28) caractérisé par la dominance des faciés calsico-magnétique et quelque points d'eau (W082-84, W082-87, W0105-83, W0105-84, W0105-102, W0105-233, W0105-360, W082-84, W0105-84, W0105-366) caractérise par la dominance des faciés sodique-potassique

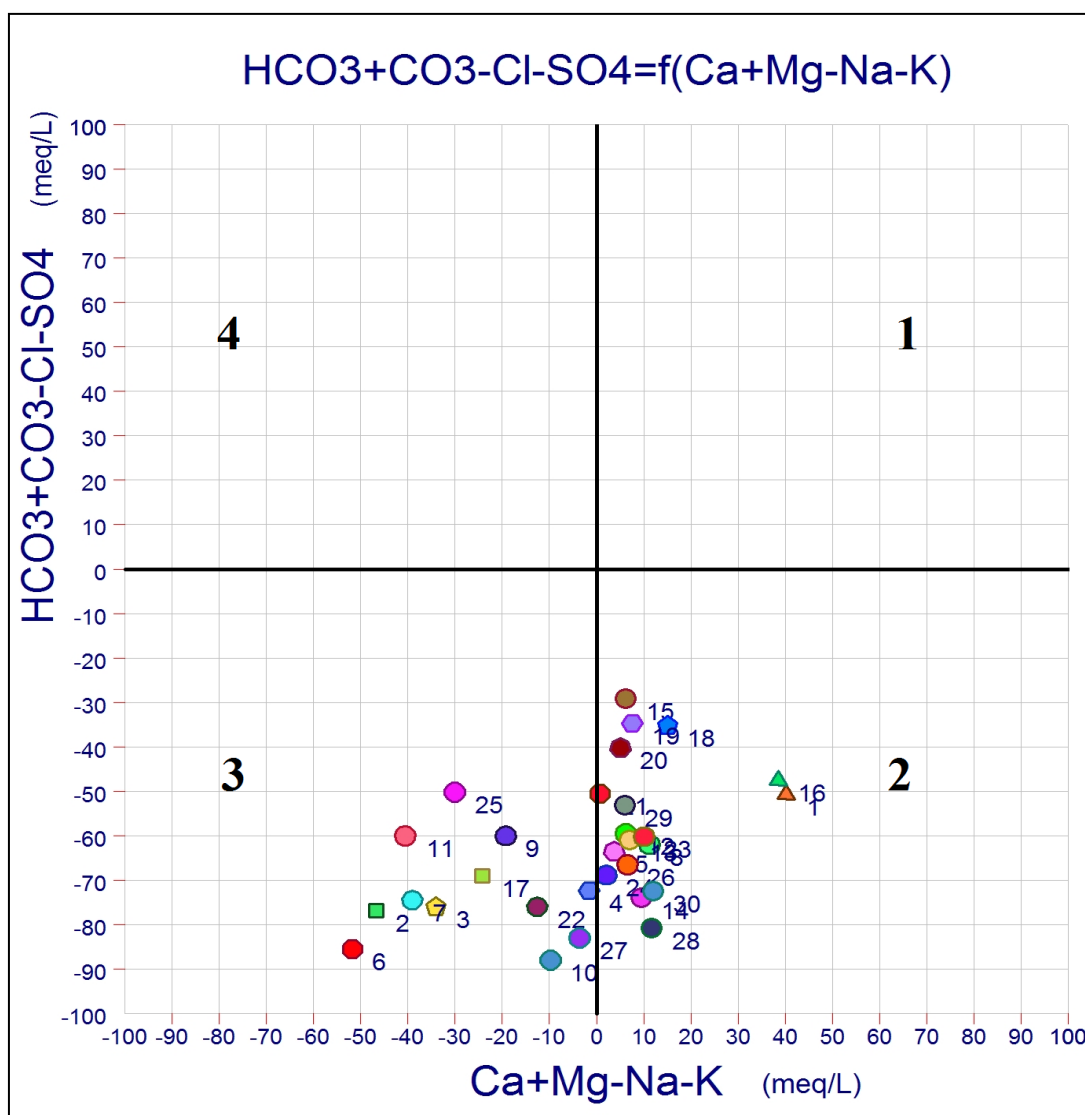


Figure. 34 : Diagramme de Chadha

1.16.2.4 Classification des eaux selon le diagramme de Durov :

Diagramme de Durov est un graphique composite composé de 2 ternaires des diagrammes où les pourcentages en milliéquivalents des cations d'intérêt ont été tracés par rapport à ceux des anions d'intérêt ; les côtés forment un graphique binaire central rectangulaire des concentrations totales de cations par rapport aux anions totaux. Car ceux qui ont des qualités similaires auront tendance à se regrouper en groupes (Todd, 2001).

L'intersection des lignes prolongées des points sur les diagrammes ternaires et projetées sur les subdivisions du tracé binaire du diagramme de Durov définit les processus hydrochimiques impliqués avec le type d'eau.

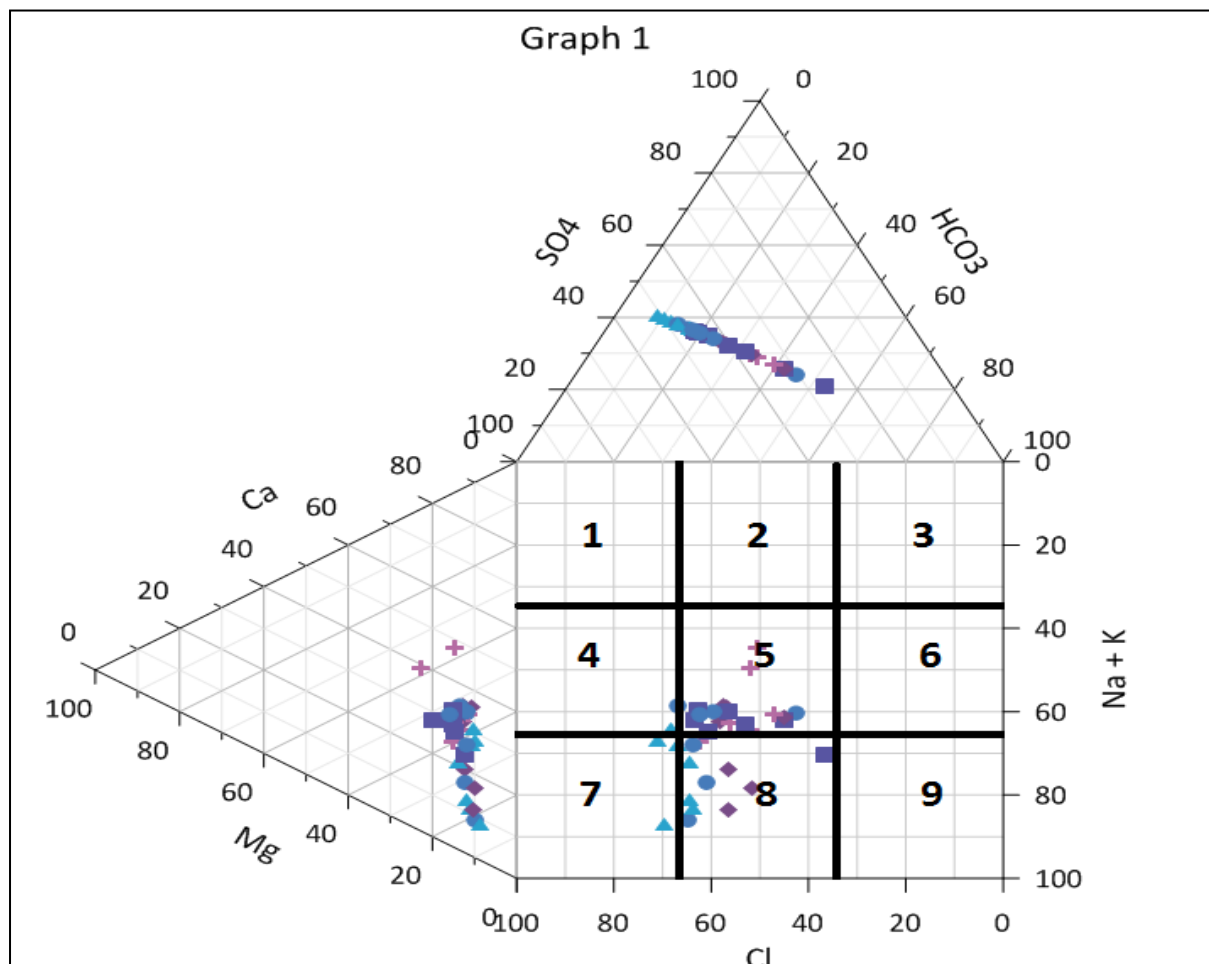


Figure. 35 : diagramme de Durov

On remarque sur la figure ci-dessous que la plupart des échantillons rentrent dans le champ 5 du diagramme de Durov (Fig. 35) et se situent le long de la ligne de dissolution selon la classification de Lloyd et Heathcoat (1985).

Aussi, on s'aperçoit qu'il y a une abondance de chlore du fait des prélèvements qui s'y trouvent et donc on dit dans ce cas que l'eau est chlorurée. Il a son origine dans l'évaporation dans des dépressions fermées d'où précipitation de CaCO_3 , $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$ et CaSO_4 dans les roches sédimentaires Grande profondeur par dissolution CaSO_4 et CaCO_3 .

1.16.2.5 Classification des eaux selon le diagramme de Stiff :

Ce diagramme permet de configurer les analyses. Il présente trois axes horizontaux gradués exprimant les concentrations en mg/l et un axe vertical à l'origine, dont les cations sont présentés à gauche de l'axe verticale, il s'agit des cations : Calcium, Magnésium, sodium et potassium. Les anions représentés à droite de l'axe sont : Chlorure, Bicarbonate et Sulfate.

Ce genre de diagramme permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine.

La figure ci-dessous (figure.36) représente le diagramme de Stiff des forages prélevés dans la plaine de moyen Cheliff occidental. On remarque que la plupart de forage a tendance au chlore, au sodium et au potassium et donc on dit que les faciès chimiques du forage sont chloruré sodique et potassique.

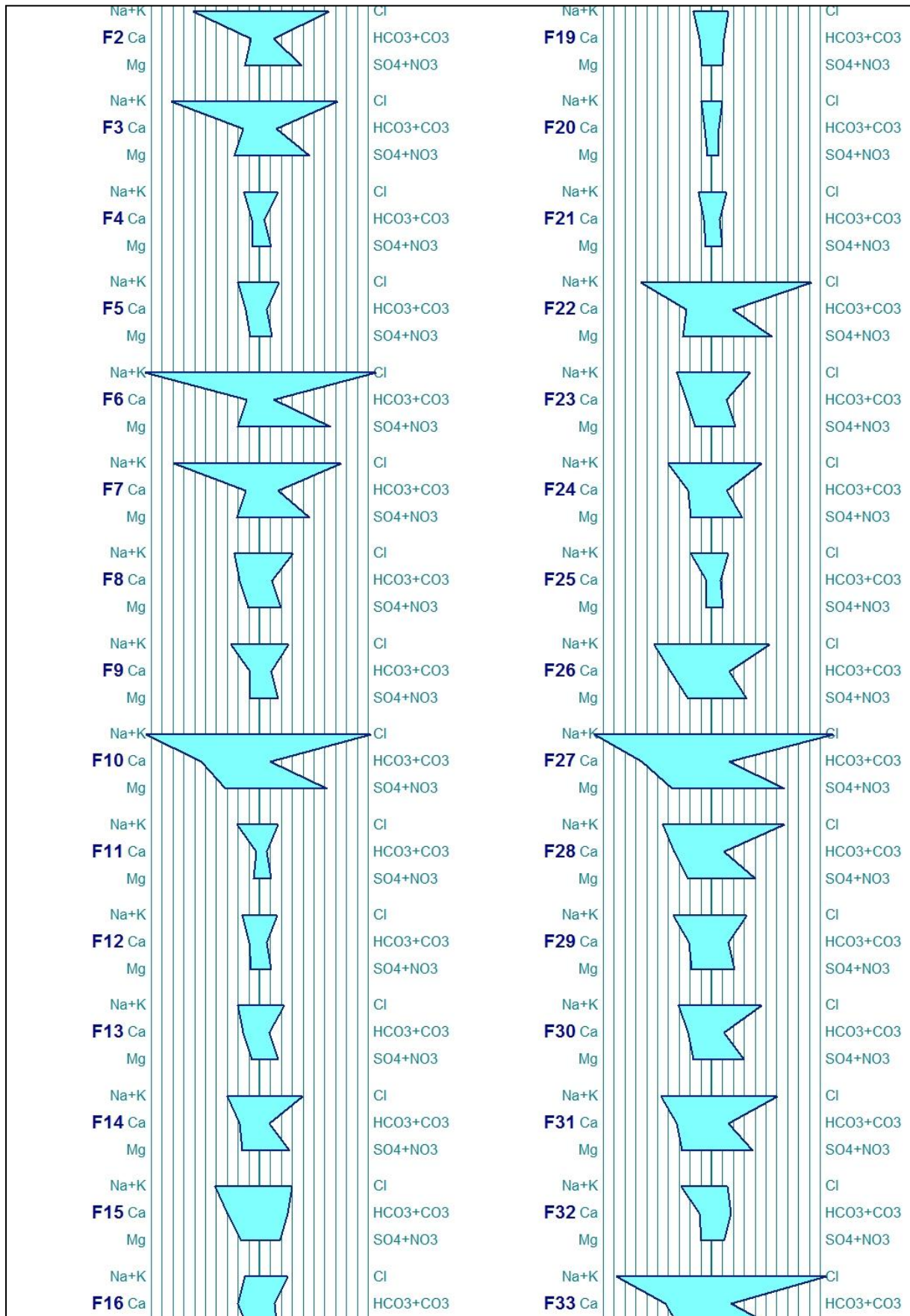


Figure. 36 : Classification des eaux des forages selon Stiff

CONCLUSION :

Notre étude hydrochimique des eaux de la nappe de l'Alluviale de la plaine de moyen Cheliff occidental montre que les eaux sont généralement :

-Chloruré sodique et potassique.

Et aussi la présence de certains de :

-Chloruré magnésien.

-sulfaté calcique.

Et notre étude statistique montre ce qui suit :

- Le NO_3 a une relation inverse avec la plupart des éléments chimiques, plus le NO_3 ne diminue et vice versa.

- La plupart des éléments chimiques ont une origine commune, qui est la géologie.

- La qualité de l'eau dans la plupart des points d'eau est d'excellente à bonne.

Chapitre IV :
Évaluation de la qualité
des eaux

INTRODUCTION :

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale. C'est une richesse nécessaire à toutes activités humaines car elle est indispensable pour assurer la vie sur notre planète.

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade dans des bassins d'importance vitale sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales. Les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline.

La salinité est considérée comme un facteur provoquant la dégradation de la qualité des eaux naturelles. Ce problème de salinité est posé généralement dans les zones arides et semi-arides faute de la nature lithologique des roches réservoirs, à l'évaporation intense et au régime pluviométrique faible.

Dans ce chapitre, nous aborderons l'étude de la qualité de l'eau à l'aide de WQI et également l'étude de l'eau irrigable à l'aide de la méthode de Wilcox.

1.17 L'indice de qualité de l'eau (water quality index WQI) :

Un indice de la qualité de l'eau (WQI) est un moyen par lequel les données sur la qualité de l'eau sont résumées pour être communiquées au public de manière cohérente. Il s'apparente à l'indice UV ou à un indice de la qualité de l'air et nous indique, en termes simples, quelle est la qualité de l'eau potable provenant d'un approvisionnement en eau potable (HENNIA.K, et AI ,2022).

1.17.1 . Les étapes de calcul WQI :

Etape I :

On a calculé la pondération relative « W_i » pour chaque paramètre selon la formule suivante :

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

où, W_i = Pondération (Poids) relative

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

n = nombre des paramètres physico-chimique.

Tableau 16. Poids relatifs de paramètres chimiques

Paramètres (i)	Poids (wi)	Poids relatifs (Wi)	Normes Algérienne
Ca ²⁺ (mg/l)	4	0,1053	200
Mg ²⁺ (mg/l)	4	0,1053	150
Na ⁺ (mg/l)	4	0,1053	200
K ⁺ (mg/l)	1	0,0263	12
Cl ⁻ (mg/l)	5	0,1316	500
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	5	0,1316	400
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1	0,0263	500
NO ₃ ⁻ (mg/l)	5	0,1316	50
CE (µS/cm)	5	0,1316	2800
pH	4	0,1053	6.5-9
Somme	38	1	

En raison de leur importance dans la qualité de l'eau, NO₃⁻, CE, Cl⁻, et SO₄²⁻ ont un poids maximum de 5, tandis que K⁺ et HCO₃⁻ ont un poids minimum de 1, car leur impact sur la qualité de l'eau est négligeable. Pour d'autres paramètres, tels que le pH, Ca²⁺, Mg²⁺, et Na⁺, leur poids a été attribué à 4 en raison de leur importance relative dans la qualité de l'eau.

Étape II :

Le degré de qualité est obtenu par la formule suivante :

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

Où, Q_i = degré de qualité ;

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

S_i = Valeur admissible de chaque paramètre selon les normes algériennes (journal officiel de la république algérienne N° 13).

Étape III :

Le sous-indice « S_{li} » est calculé par la formule suivante :

$$S_{li} = W_i \times Q_i$$

Où, S_{li} = Sous-indice du i^{ème} paramètre

Q_i = degré de qualité du paramètre i^{ème}

Étape IV :

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

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

Tableau 17. La classification de la qualité de l'eau à des fins de consommation selon WQI

Classes	Type de qualité d'eau
< 50	Eau de qualité Excellente
50 - 100	Eau de qualité Bonne
100,1 - 200	Eau de qualité mauvaise
200,1 - 300	Eau de qualité très mauvaise
> 300	Eau impropre à la consommation humaine

Les résultats :

Tableau.18 : Résultats de calcul de WQI pour la plaine de moyen Cheliff occidental

Groupe	Les Point d'eau	Les éléments										WQI
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	CE	pH	
G1	W0105-6, W0105-51, W0105-360, W0105-368, W0105-6, W0105-19, W0105-65, W0105-366	22	19	67	2	105	84	82	9	690	7,5	Excellente
		81	33	146	10	199	159	218	37	1430	7,7	
G2	W082-82,W082-84,W0105-91,W0105-102,W0105-453,W0106-33,W082-52,W082-75,W082-84,W082-125,W0105-91,W0105-306,W0105-377,W0105-579,W0106-2,W0106-33,W0106-35,W0106-16,W0106-28	48	29	96	1	162	130	166	9	1320	7,1	Bonne
		230	99	448	11	716	573	478	92	3220	7,7	
G3	W082-87, W0105-83, W0105-84, W0105-233, W0105-84, W0105-574, W0106-18	77	76	452	2	768	614	189	10	3040	7,1	Mauvaise
		390	133	744	10	1196	957	368	79	6830	7,6	

Nous notons que la qualité de l'eau dans les points d'eau suivants centrés de la plaine de moyen Cheliff occidental, la majorité de celle-ci est bonne à excellente, et les résultats enregistrés varient entre 27,87 et 98,78, et ils sont potable, l'irrigation et l'industrie, ce qui représente 79,41% de nos points d'eau. Nous notons également qu'il y a un petit pourcentage de mauvaise eau 20,59%, et les résultats enregistrés varient entre 101,89 et 155,51, et il convient à l'irrigation et à l'industrie.

1.18 L'irrigation des eaux :

1.18.1 Indice de Kelly's Ratio (KR) :

L'indice de Kelly's Ratio (KR) est représenté par le rapport des concentrations de Na^+ et la somme de Ca^{2+} et Mg^{2+} . Il constitue une base pour déterminer la pertinence de l'eau pour l'irrigation [Paliwal, 1967]

Des concentrations élevées de Na^+ dans l'eau d'irrigation sont considérées comme impropres à son utilisation. Cet indice est donné par la relation suivante :

$$\text{KR} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$$

-Si, $\text{KR} < 1 \Rightarrow$ L'eau est bonne pour l'irrigation,

-Si, $\text{KR} > 1 \Rightarrow$ L'eau est considérée mauvaise pour l'irrigation.

Les résultats de cette étude sont reportés dans le tableau .19 et la figure .37.

Tableau .19 : Valeurs de KR des eaux de la plaine de moyen Cheliff occidental

Point d'eau	KR	Résultats	Point d'eau	KR	Résultats
W082-82	0,60	Bonne	W082-125	1,07	Bonne
W082-84	4,17	Mauvaise	W0105-6	1,17	Bonne
W082-87	3,03	Mauvaise	W0105-19	1,19	Bonne
W0105-6	1,45	Bonne	W0105-65	1,34	Bonne
W0105-51	1,24	Bonne	W0105-84	1,85	Bonne
W0105-83	4,76	Mauvaise	W0105-91	1,08	Bonne
W0105-84	3,46	Mauvaise	W0105-306	1,35	Bonne
W0105-91	1,04	Bonne	W0105-366	2,53	Mauvaise
W0105-102	2,08	Mauvaise	W0105-377	1,17	Bonne
W0105-233	1,63	Bonne	W0105-574	1,42	Bonne
W0105-360	3,47	Mauvaise	W0105-579	1,06	Bonne
W0105-368	1,20	Bonne	W0106-2	1,24	Bonne
W0105-453	1,13	Bonne	W0106-33	1,08	Bonne
W0106-33	1,15	Bonne	W0106-35	1,11	Bonne
W082-52	1,16	Bonne	W0106-16	1,79	Bonne
W082-75	0,58	Bonne	W0106-18	1,66	Bonne
W082-84	2,38	Mauvaise	W0106-28	1,62	Bonne

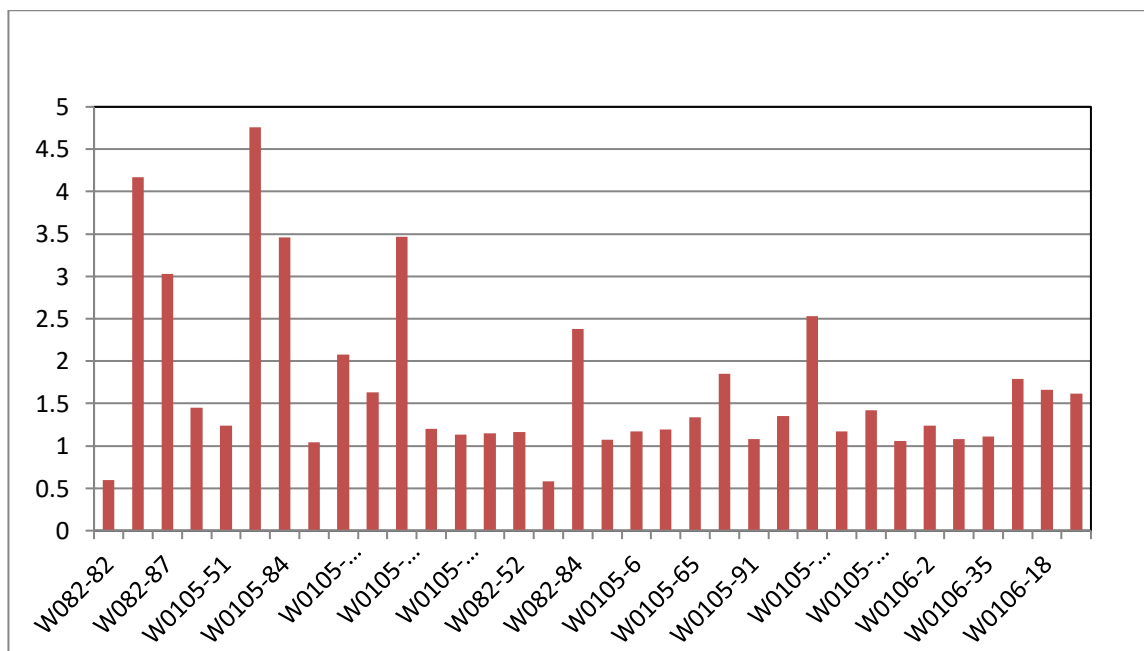


Figure .37 : Variation du Kelly's Ratio

La figure .36 montre que les valeurs de KR sont supérieures à 1 au niveau des points d'eau (W082-84, W082-87, W0105-83, W0105-84, W0105-102, W0105-360, W082-84, W0105-366) donnant lieu à des eaux de mauvaise qualité pour l'irrigation.

Le reste des échantillons est considéré comme apte à être utilisé pour l'irrigation.

1.18.2 Pourcentage de Sodium (% Na) et classification des eaux par la méthode Wilcox :

Les plantes ne tolèrent généralement pas les sols saturés de sodium.

Il est basé sur la concentration totale de sels dissous et le pourcentage de sodium par rapport aux autres sels dans l'eau (Wilcox, 1955).

$$Na^+ = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100$$

Tableau .20 : Classification des eaux d'irrigation selon le %Na

Paramètre	Classe 1 Très bonne	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 Mauvaise
Na %	< 20	20-40	40-60	60-80	> 80

En prenant en considération le % Na, nous pouvons déduire trois classes d'eau pour la région d'étude : la classe1 (bonne), la classe 2 (Admissible) et la classe 3 (Médiocre) comme le montre le tableau 20.

Le tableau 21, représente la classification des eaux de la région en fonction du pourcentage en Sodium, dont les valeurs varient entre 37.23% (W082-75) et 82,67% (W0105-83) (tableau 21 et figure .38).

Tableau. 21 : Classification des eaux de la plaine de moyen Cheliff occidental selon le %Na

Point d'eau	Na ⁺	Résultats	Point d'eau	Na ⁺	Résultats
W082-82	37,96	Bonne	W082-125	51,95	Admissible
W082-84	81,06	Mauvaise	W0105-6	54,29	Admissible
W082-87	75,35	Médiocre	W0105-19	54,92	Admissible
W0105-6	59,73	Admissible	W0105-65	57,69	Admissible
W0105-51	55,98	Admissible	W0105-84	65,05	Médiocre
W0105-83	82,67	Mauvaise	W0105-91	53,05	Admissible
W0105-84	77,63	Médiocre	W0105-306	57,57	Admissible
W0105-91	52,08	Admissible	W0105-366	73,19	Médiocre
W0105-102	67,91	Médiocre	W0105-377	54,13	Admissible
W0105-233	62,07	Médiocre	W0105-574	59,07	Admissible
W0105-360	78,14	Médiocre	W0105-579	51,84	Admissible
W0105-368	55,34	Admissible	W0106-2	55,45	Admissible
W0105-453	53,46	Admissible	W0106-33	52,22	Admissible
W0106-33	54,03	Admissible	W0106-35	52,63	Admissible
W082-52	54,52	Admissible	W0106-16	64,30	Médiocre
W082-75	37,23	Bonne	W0106-18	62,66	Médiocre
W082-84	70,65	Médiocre	W0106-28	61,92	Médiocre

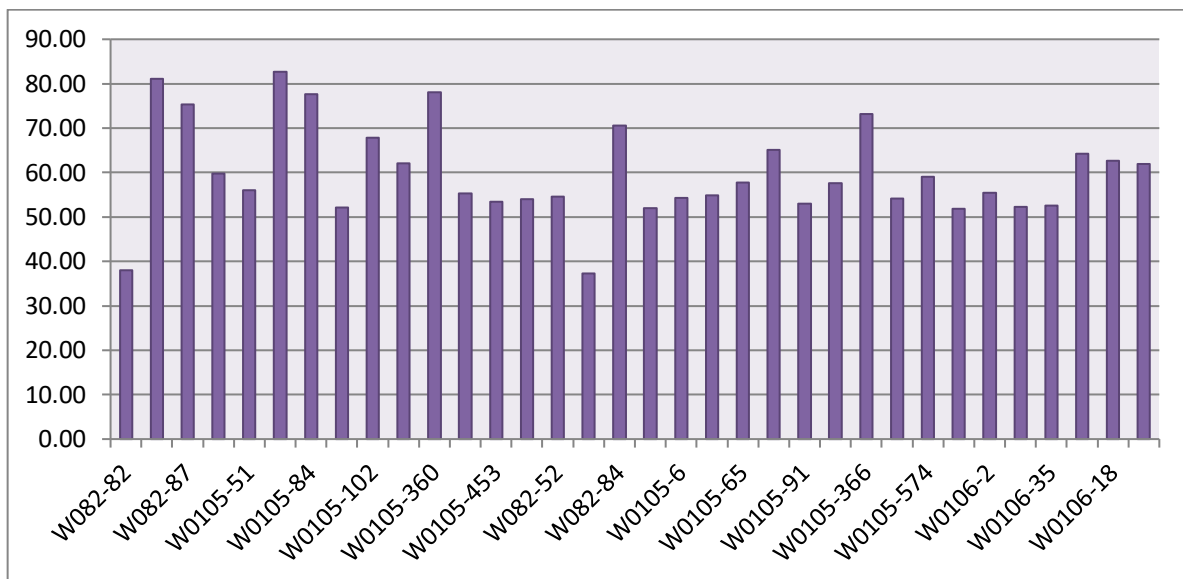


Figure. 38 : Variation du pourcentage en Sodium

La classification de Wilcox est basée sur la conductivité électrique et la teneur en Sodium dans l'eau exprimée en pourcentage.

Le report des valeurs du pourcentage en Sodium en fonction de celles de la conductivité sur le diagramme de Wilcox, (fig.39), permet de voir une autre classification des eaux Souterraines concernant leur aptitude à l'irrigation.

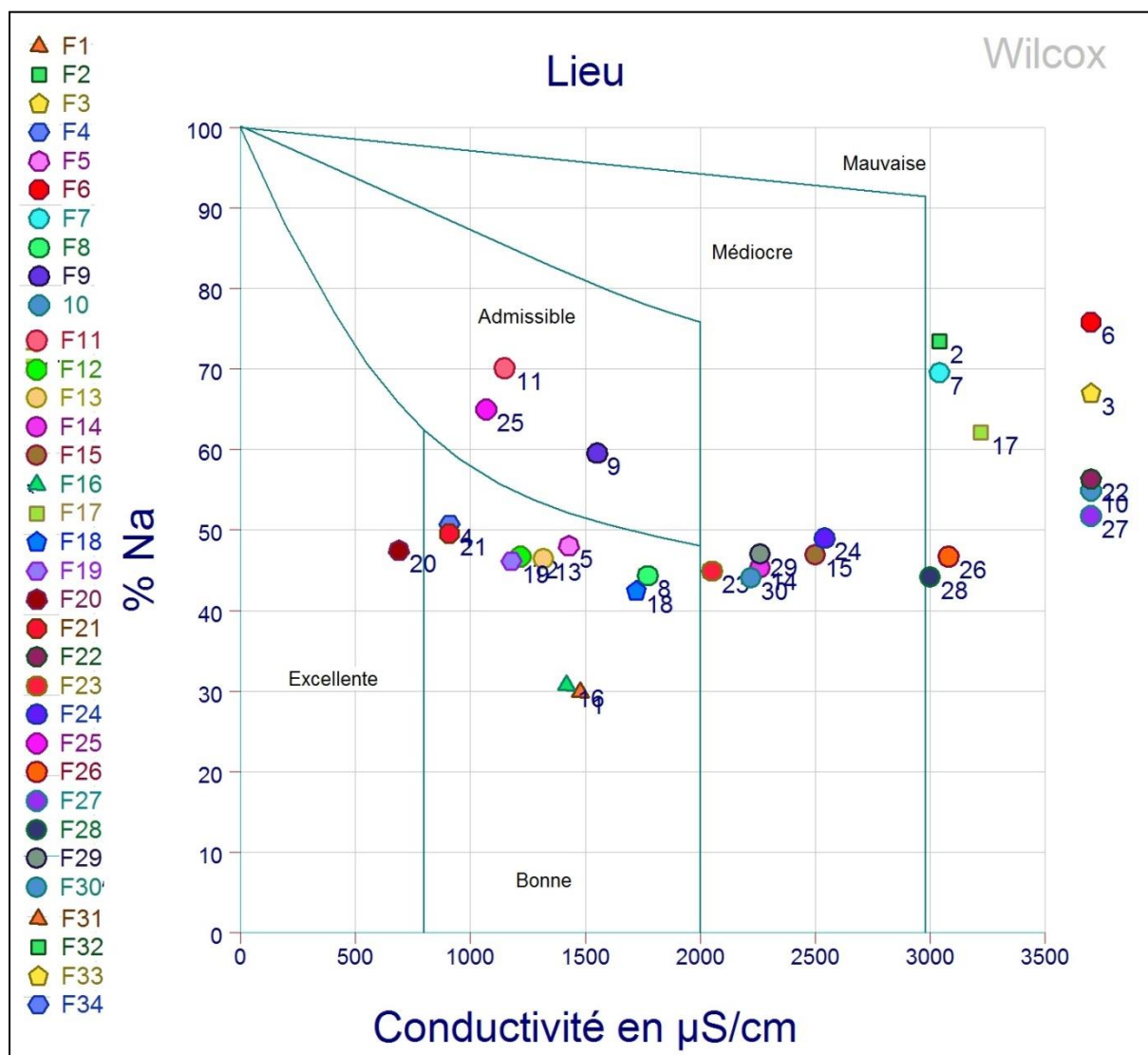


Figure. 39 : Diagramme de Wilcox

Le diagramme ne montre que la plupart des échantillons sont bonne à Médiocre pour l'irrigation.

1.18.3 Sodium Absorption Ratio (SAR) :

Les sols à grandes concentrations en Na^+ (en solution) sont connus pour avoir une mauvaise structure physique (Appelo et Postma, 1993). La toxicité en Na^+ a lieu avec l'accumulation du Sodium dans les tissus des plantes. Une augmentation du SAR des eaux d'irrigation augmente celle des solutions du sol et de ce fait le sodium échangeable du sol (Isaac et al. 2009 in Moudjib, 2010).

Le SAR peut être déterminé par l'équation suivante :

$$SAR : \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+} / 2}}$$

- SAR < 10 =>Eaux Excellentes.
- 10 <SAR <18 =>Eaux Bonnes.
- 18 <SAR <26 =>Eaux convenables.
- SAR > 26=>Eaux Médiocres.

Tableau .22 : Classification des eaux d'irrigation selon le SAR

Point d'eau	SAR	Résultats	Point d'eau	SAR	Résultats
W082-82	10,73	Bonnes	W082-125	19,79	Convenables
W082-84	59,10	Médiocres	W0105-6	16,91	Bonnes
W082-87	58,22	Médiocres	W0105-19	12,66	Bonnes
W0105-6	16,85	Bonnes	W0105-65	15,20	Bonnes
W0105-51	18,80	Convenables	W0105-84	40,92	Médiocres
W0105-83	83,23	Médiocres	W0105-91	21,64	Convenables
W0105-84	61,39	Médiocres	W0105-306	27,45	Médiocres
W0105-91	18,40	convenables	W0105-366	25,74	Convenables
W0105-102	27,44	Médiocres	W0105-377	29,19	Médiocres
W0105-233	48,37	Médiocres	W0105-574	46,00	Médiocres
W0105-360	31,85	Médiocres	W0105-579	25,73	Convenables
W0105-368	16,30	Bonnes	W0106-2	24,73	Convenables
W0105-453	17,89	Bonnes	W0106-33	21,36	Convenables
W0106-33	21,53	Convenables	W0106-35	26,76	Médiocres
W082-52	25,65	Convenables	W0106-16	26,26	Médiocres
W082-75	10,56	Bonnes	W0106-18	44,83	Médiocres
W082-84	46,20	Médiocres	W0106-28	33,94	Médiocres

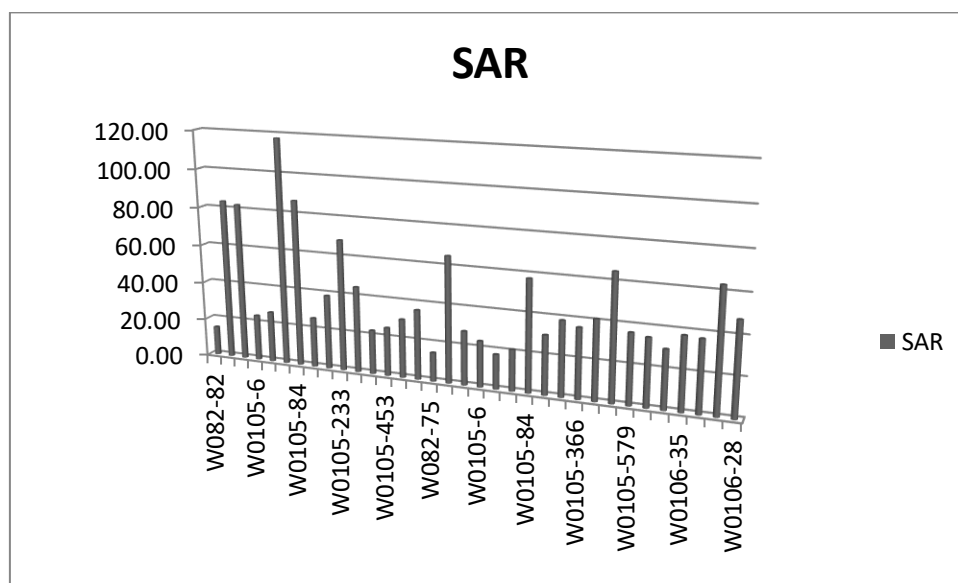


Figure .40 : Variation du Sodium Absorption Ratio

D'après la classification et la figure.40 nous constatons que les points d'eau ont majoritairement des valeurs de SAR supérieur à 26 qualifiant les eaux de médiocres, comme pour les puits (W082-84, W082-87, W0105-83, W0105-84, W0105-102, W0105-233, W0105-360 , W082-84, W0105-84, W0105-306, W0105-377, W0105-574, W0106-35, W0106-16, W0106-18, W0106-28) Exception faite pour quelque points où le SAR inférieur 26 et ainsi les eaux sont considérées comme bonne et convenables (W082-82, W0105-6, W0105-51, W0105-91, W0105-368, W0105-453, W0106-33, W082-52, W082-75 ,W0105-6, W0105-65, W0105-19, W0105-6, W082-125 , W0105-91, W0105-366, W0105-579, W0106-2).

1.18.4 Classification des eaux selon diagramme de richards :

Cette classification a été proposée en 1954 par le chercheur de l'USDA RICHARDS de Riverside, Californie, et elle a été largement utilisée et l'est encore aujourd'hui. Il est très utile et fiable pour caractériser l'eau d'irrigation. Cependant, il ne peut pas être utilisé pour estimer le risque de salinisation ou de sodomisation.

En effet, cette classification ne tient pas compte de l'évolution des caractéristiques de l'eau à mesure que la teneur en minéraux de l'eau augmente dans les sols des régions arides ou semi-arides qu'elle cible. Il donne une vision de l'état actuel de ces éléments, mais ne peut prédire l'avenir de cette eau.

Tableau. 23 : Classification des eaux selon le diagramme de Richards

1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger dans l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et sols à forte
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant et recontrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au

4	Médiocre	C4-S1	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
		C4-S2	
		C3-S3	
5	Mauvaise	C3-S4	En général, eau forte ment minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
		C4-S3	
		C4-S4	

Une eau avec un SAR entre 0 et 6 est généralement acceptable pour tout type de sol pauvre en sodium. Le risque de problèmes liés à la perméabilité du sol augmente lorsque le SAR est compris entre 6 et 9. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol **(Person, 1978)**.

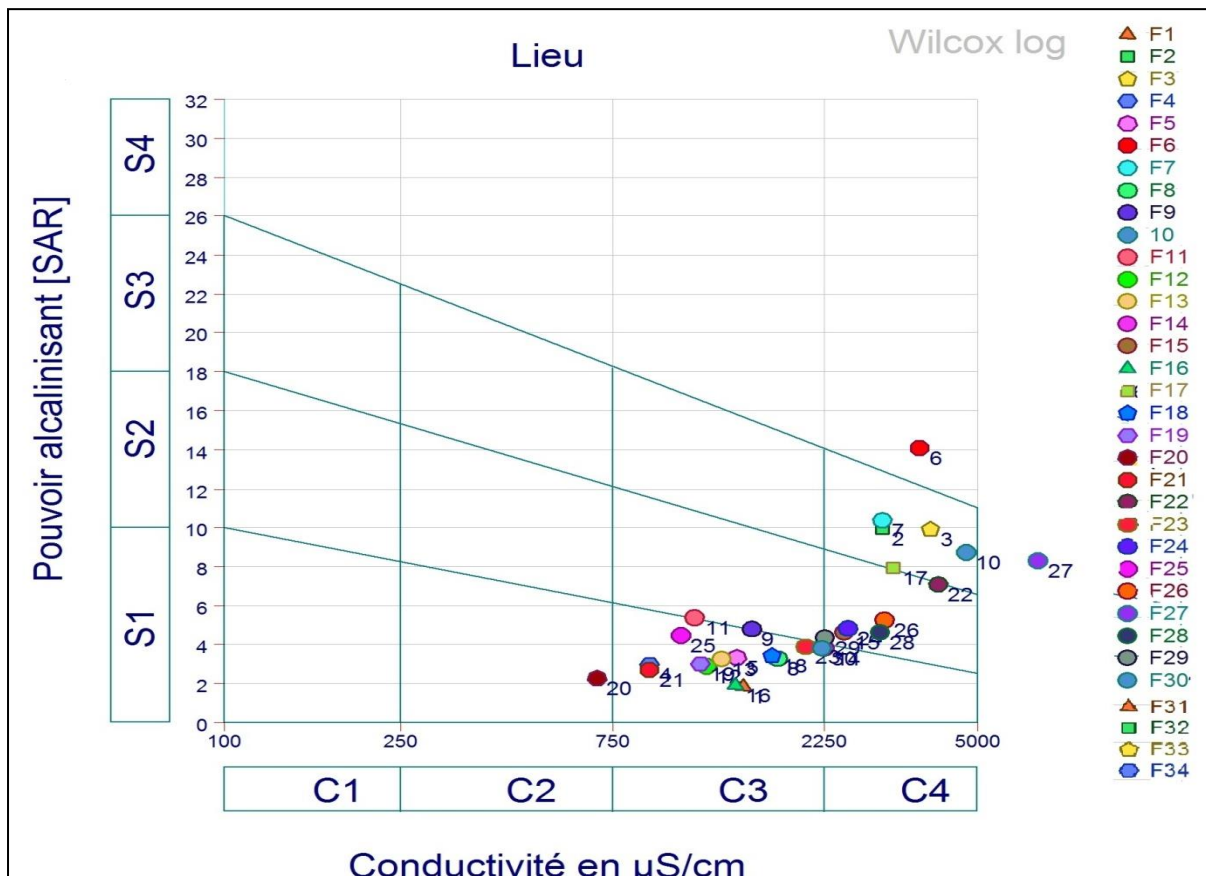


Figure. 41 : Diagramme de Richards appliqué aux eaux de la plaine de Moyen Cheliff occidental

On observe la majorité des points dans C3-S1. Donc En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés.

CONCLUSION :

Dans la région du Moyen Cheliff occidental la quantité d'eaux utilisées s'accroît en raison du développement de la population et de l'amélioration des modes de vie. En conséquence, le pourcentage d'eau prélevée s'élève aussi. A cela s'ajoute l'évolution des paramètres de la qualité au cours du temps.

La qualité de notre eau étudiée est bonne à excellente et convient à la consommation, à l'irrigation, à l'industrie et la qualité de l'eau a été déterminée par l'indice de qualité de l'eau(WQI). Et aussi la qualité de l'irrigation a été étudiée par Wilcox, Richard...etc. Et les résultats ont donné que la qualité est admissible à bonne.

CONCLUSION GENERALE :

La présente étude, axée sur la nappe alluvionnaire de la plaine de Moyen Cheliff occidental, conclut ce qui suit:

La plaine de moyen Cheliff occidental est soumise à un climat méditerranéen de type semi-aride à la limite d'un régime désertique, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations annuelles de l'ordre de 298,05 mm. La température moyenne interannuelle est de 21,6°C et L'humidité de l'air en 64,83%.

- L'étude géologique a pu mettre en évidence l'extension des formations alluvionnaires d'ag Plio-Quaternaire à l'intérieur de la plaine. Ces formations sont indiquées qu'en dessous de la zone des sols, d'importantes couches de matériaux argileux, cette couche argileuse épais se trouve dans une grande partie de la zone centrale de la vallée du moyen Cheliff occidental, Ceci offre une faible perméabilité ne permettant pas une recharge suffisante de l'horizon aquifère.

Les études hydrochimique dans ce travail sont divisées en deux méthodes:

Méthode graphique et méthode statistique.

- La méthode graphique, dans laquelle nous avons utilisé plusieurs diagrammes dont (Piper, Stabler, chadha, Durov et Stiff), qui nous a montré que les faciès chimiques prédominant est Chloruré sodique.

La majorité des eaux souterraines fortement minéralisées

La qualité de l'eau dans général est potable et convient à l'irrigation.

- La méthode statistique, dans laquelle nous avons utilisé deux méthodes (Analyse en Composantes Principales et Classification Ascendante Hiérarchique)

*A.C.P : Cette méthode permet de mettre en évidence les liaisons entre les éléments chimiques et ainsi de faciliter leur interprétation, et il nous apparaît dans cette étude qu'il existe une relation entre la majorité des éléments chimiques (Na, Cl, Mg, Ca, SO₄, HCO₃, CE) qui est qu'ils partagent une origine (origine géologique) et pour les éléments chimiques restants (k, NO₃, pH) ils partagent une origine externe (engrais chimiques...) et aussi nous avons trouvé qu'il y a une origine inverse relation entre NO₃ et éléments chimiques (Na, Cl, Mg, Ca, SO₄ HCO₃, CE).

* C.H.A : Cette méthode nous permet de collecter l'eau dans un nombre limité de groupes (classe), ce qui donne les résultats suivants :

Groupe 3 : qualité de l'eau Excellente.

Groupe 2 : qualité de l'eau bonne.

Groupe 1 : qualité de l'eau mauvaise.

Enfin, nous avons abordé l'étude de la qualité de l'eau et la connaissance de sa qualité pour l'usage humain et l'irrigation.

Pour l'usage humain, l'étude a été menée par (indice de qualité de l'eau WQI), qui nous a donné des valeurs comprises entre 34,86 et 155,51, qui indiquent une qualité acceptable et potable selon les Normes algériennes.

Pour l'irrigation, plusieurs méthodes ont été employées (Wilcox, Richard et Kr) et l'eau dans ce cas est appropriée pour l'irrigation.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques :

- * **Beaux JF., (2003)** : L'environnement. Edition Paris : Nathan, ISBN 2-09-182431-3. 160 p.
- * **Bernard D., (1966)** : Limnologie - Étude des eaux continentales. Paris : Gauthier-Villars. 678 p.
- * **Boudjadja.A et Messahel. M,(2003)** -“www.algerie- dr.com /article 99 htm.13K”.
- * **Bremond R, Vuichard R, (1973):** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la protection de la nature et de l'environnement. OSPEPE, Paris. 179 p.
- * **De Villers J., Squilbin M., Yourassowsky C., (2005):** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.
- * **Debieche T.H, (2002):** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. (application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-est Algérien). Thèse Doctorat ; université de Franche-Comté. France. 235 p.
- * **DRASS. (2001)** – La qualité des eaux destinées à la consommation humaine, Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de Poitou-Charente, France.
- * **Chekroud H., (2007)** : Étude de la pollution des eaux de la plaine de Telezza due aux activités agricoles et commerciales. Mémoire de Magister. Université du 20 Août 1955 - Skikda. 56 p.
- * **Dib I., (2010):** L'impact de L'activité Agricole et Urbaine sur la Qualité des Eaux Souterraines de la Plaine de Gadaine - Ain Yaghout (Est- Algérien). Thèse de magister ; Université Hadj Lakhdar Batna, Algérie. 144 p.
- * **El Wartiti M., Malaki A., et El Mahmoudi N., (2012)** : Évaluation effective de la Vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine de Gharb à laide du SIG et la méthode DRASTIC (NW du Maroc). Chapitre IV : Hydrochimie et Vulnérabilité des aquifères souterrains. 25 p.
- * **Faurie C., Medori P., Ferra C., et al, (2003)** : Écologie : Approche scientifique et pratique. 5ème Edition Lavoisier doc et Tec, Paris, p.312.
- * **GALLEY et al. (1996)** – Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Agence de l'Eau de Seine-Normandie, France.
- * **Gaujous D, (1995)** : La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Édition2, Éditeur Tec & Doc Lavoisier, 220 p.

- * **Gouaidia L., (2008)** : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi des zones arides, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien; Université Badji Mokhtar-Annaba Algérie. 199 p.
- * **Guillemin C., et Roux J.C., (1992)**: Pollution des eaux souterraines en France. Manuels et Méthodes n° 23, éd. BRGM, 262 p.
- * **(HADJ HENNI et RAHNI, 2004)** : Gestion qualitative des eaux souterraines de la nappa Alluvial do M.C.O – mémoire de master – Université Hassiba BEN BOUALI – CHLEF Faculté des Sciences et sciences de l'ingénieur , 2004.
- * **Kankou M., (2004)** : Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie- étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de doctorat, Université de Limoges, (2004), pp 23-24.
- * **(LARACHICHE et TALBI, 2016)** : Evaluation de la qualité des eaux naturelles potables de quelques points d'eau dans la wilaya de Ain Defla – mémoire de master – Faculté des Sciences et de la Technologie Département de la Technologie, 2016.
- * **Merabet S., (2010)**: Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun, thèse de magister, université de Constantine.
- * **Rodier J., (1996)** : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8e édition Dunod, Paris.
- * **Rodier J., Legube B., Merlet M., Brunet R., (2009)** : L'analyse de l'eau. Ed. Dunod, Paris, 1600 p.
- * **TROMBE, F. (1977)** -- Les eaux souterraines - QUE SAIS-JE ?-, 3e édition : 4 e trimestre, presses universitaires de France, 128 P.
- * **F. Boucenna (2009)**, "Hydrogéologie environnemental et modélisation cartographie par les différentes méthodes de Vulnérabilité a la pollution d'une nappe côtière Cas de la plaine alluviale de l'oued djendjen (Jijel, nord-est algérien) ", Mémoire de Magister, 2009.
- * **M. Kahoul et al**, "Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de puits dans la région de berrahal (Algérie) ", J. larhyss, 18, 2014, 169-178.
- * **Touhari.F**, "Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff", Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, 2015.

* **(mahdi ,2021)**. Evaluation et Cartographie de L'indice de qualité des eaux souterraines (WIQ) –mémoire de master–Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre.

***ABH -CZ . (2004)** – Cadastre Hydraulique du bassin hydrographie du Cheliff-Aval du barrage de Boughzoul – Première partie : Haut et moyen Cheliff, 62 p. et Deuxième partie : Bas Cheliff et Mina, 52 p.

***Achour F. (1997)**. Conditions hydrologiques et disponibilité en eau en région semi aride : Application de méthodologies nouvelles au bassin du Cheliff, Algérie. Thèse de Doctorat, Univ. Franche-Comté, France, 261 p.

***ANRH (2004)**. Annuaire hydrogéologique de la nappe alluviale du haut et moyen Cheliff, rapport réalisé par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, 13 p.

***BETTAHAR,N.(2009)** : Pollution d'Origine azotée dans les plaines du Moyen Cheliff – thèse doctorat d'état en hydraulique – Université des sciences et de technologie Mohamed Boudiaf d'Oran, 2009.

***BOULAIN, J. (1957)** – Etude des sols des plaines du Cheliff -Thèse Doctorat, Université d'Alger, 582 p.

***Debieche T.H. (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, 199 p.

***Hennia K. (2007)**. Contribution à la gestion qualitative des eaux souterraines dans les zones semi-arides: Application au moyen Cheliff occidental. Mémoire de Mag., Univ. HBB Chlef, 110 p.

***(HENNIA.K, et Al ,2022)**. Hydrogeochemical characterization and groundwater quality assessment: a case study of the alluvial aquifer in the Middle Western Cheliff (Algeria). International Journal of Environmental Analytical Chemistry. (DOI:10.1080/03067319.2022.2059361)

***Mattauer M. (1958)**. Etude géologique de l'Ouarsenis oriental (Algérie). Th. Doct. Es sciences, Besançon, France, 343 p.

***Perrodon A. (1957)**. Etude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie Nord Occidentale, Thèse de Doctorat, 115 p.

- ***KIRECH.O (1977)** – « Etude géologique et structural des massifs de la plaine du Cheliff (Dom, Rouina – Temoulga) Thèse de doctorat 3ème cycle. Univ.SC et tech.Alger »
- ***SCET-AGRI (3), 1985**, rapport de synthèse, étude du réaménagement et de l'extension du périmètre de moyen Chélif, ministère de l'hydrologie. 17 p.
- ***Douaoui et al ; 2008** : Risque de pollution nitratée des zones semi-arides : cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien) – Laboratoire Eau et Environnement – Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie, BP 151, 02000, Chlef, Algérie .
- ***Appelo C.A.J. & Postma D., (1993)**: Geochemistry, Groundwater and pollution 2eme edition CRC press Denmark 2004.
- ***Paliwal, K.V. (1967)** Effect of Gypsum Application on the Quality of Irrigation Waters. The Madras Agricultural Journal, 59, 646-647.
- ***Wilcox L.V., (1948)** .The quality of water for agricultural use .US Dept Agriculture Tech. Bull.962, Washington DC, USA.
- ***MOUDJIB A. (2010)** – L'aptitude des eaux de la région d'Ain-Sefra à des fins d'irrigations, Mémoire d' Ingénieur d' Etat, univ. Tlemcen, p. 15-32.
- ***Person J., (1978)** : Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. *Bulletin du BRGM*, 2ème série, section III, n° 2, pp 143-151.
- ***Rodier J., (2009)**.L'analyse de l'eau « eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer » Ed. Paris Bordas, France. 56p.
- ***Journal Officiel de la République Algérienne (JORA).2011**.Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif :la qualité de l'eau de consommation humaine .Ed.Les Vergers, Alger.Algérie.
- ***Bettahar N., Hennia k., Kettab A. et Koudri-Mostefa S. (2008)**. Origine de la minéralisation des eaux de la nappe alluviale du moyen Cheliff occidental. *Algerian Journal Of Technology -AJOT, ISSN 1111-357X, Number Special – An International Publication of Engineering Sciences*, 1, 307-313.

ANNEXES

ANNEXE 1 :

Tableau .24: Analyses chimiques des échantillons prélevés au niveau de points d'eau de la nappe alluvionnaire de la plaine de moyen chelif occidental.

Point d'eau	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	CE ms/cm	pH
W082-82	101,00	59	96	2	300	240	268	35	1 480	7,4
W082-84	48,00	53	420	11	684	547	246	9	3 040	7,6
W082-87	97,00	88	560	6	768	614	285	79	3 900	7,6
W0105-6	43,00	26	99	3	186	149	82	15	910	7,6
W0105-51	81,00	33	142	3	199	159	122	17	1 430	7,5
W0105-83	77,00	76	728	2	1 140	912	244	52	3 700	7,4
W0105-84	79,00	78	544	2	800	640	320	44	3 040	7,6
W0105-91	114,00	41	162	7	326	261	209	37	1 770	7,6
W0105-102	54,00	33	181	3	285	228	195	38	1 550	7,4
W0105-233	327,00	116	720	5	1 092	874	189	28	4 700	7,4
W0105-360	22,00	20	146	5	186	148	127	9	1 150	7,7
W0105-368	61,00	30	110	4	174	140	121	23	1 220	7,5
W0105-453	97,00	29	142	3	251	201	166	61	1 320	7,5
W0106-33	115,00	61	202	4	422	338	173	92	2 260	7,5
W082-52	182,00	63	284	10	320	256	478	26	2 500	7,5
W082-75	126,00	39	96	2	271	217	264	34	1 420	7,4
W082-84	109,00	79	448	5	706	565	353	50	3 200	7,7
W082-125	100,00	71	183	2	240	192	315	22	1 720	7,2
W0105-6	72,00	32	122	2	165	132	218	18	1 180	7,6
W0105-19	42,00	14	67	2	105	84	122	12	690	7,6
W0105-65	44,00	20	86	2	154	123	139	24	910	7,5
W0105-84	147,00	97	452	2	988	790	368	20	4 060	7,1
W0105-91	143,00	58	217	10	382	306	259	29	2 050	7,7
W0105-306	135,00	73	280	2	500	400	252	10	2 540	7,4
W0105-366	32,00	19	130	10	172	138	156	37	1 070	7,7
W0105-377	230,00	81	364	3	564	451	310	22	3 080	7,6
W0105-574	390,00	133	744	10	1 196	957	306	10	6 830	7,4
W0105-579	212,00	82	312	4	716	573	210	14	3 000	7,4
W0106-2	132,00	69	248	2	350	280	292	46	2 260	7,5
W0106-33	133,00	62	211	2	500	400	218	46	2 220	7,6
W0106-35	194,00	99	324	2	648	518	289	52	3 080	7,7
W0106-16	71,00	37	193	1	162	130	330	49	1 420	7,7
W0106-18	260,00	103	604	5	1 128	902	329	30	4 460	7,4
W0106-28	152,00	68	356	2	704	563	282	34	2 820	7,1

ANNEXE 2 :

Tableau .25: CLASSIFICATION DE DUROV

Classe	Type	Caractéristiques	Origine
1	Eaux primaires	TDS = 100 à 300 mg/L SO ₄ ⁺⁺ , Cl ⁻ peu abondants Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺ = 0.2 à 0.1	Action de l'eau atmosphérique sur la surface du sol et lessivage des sels solubles
2	Eaux secondaires	TDS = 500 à 1000 mg/L Mg ⁺⁺ /Ca ⁺⁺ = 0.3 à 0.7	Enrichissement de 1 en Na ₂ SO ₄ , NaCl, MgCl ₂
3	Eaux sulfatées	[Cl ⁻] peu abondant	Appauvrissement de 2 en HCO ₃ ⁻ par transformation en carbonate
4	Eaux chlorurées	Riche en [Cl ⁻] Peu de bicarbonate [HCO ₃ ⁻] Peu de sulfate [SO ₄ ⁻]	Evaporation dans des dépressions fermées d'où précipitation de CaCO ₃ , (Ca, Mg) CO ₃ et CaSO ₄ dans les roches sédimentaires Grande profondeur par dissolution
5	Eaux bicarbonatées sodiques	Privées de SO ₄ ⁻ en général Riche en bicarbonate Riche en sodium [Na ⁺]	Par échange de base à partir de 2 Peu avoir la même origine que 1

ANNEXE 3 :

Tableau .26 : Résultats de calcul SLI et WQI de la plaine de moyen Cheliff occidental

Point d'eau	Sli Ca	Sli Mg	Sli Na	Sli K	Sli Cl	Sli SO4	Sli HCO3	Sli NO3	Sli CE ms/cm	Sli pH	WQI
W082-82	5,32	4,16	5,05	0,44	7,90	1,58	1,41	9,26	6,96	10,07	52,14
W082-84	2,53	3,71	22,11	2,41	18,00	3,60	1,30	2,32	14,29	10,33	80,59
W082-87	5,11	6,18	29,48	1,32	20,21	4,04	1,50	20,85	18,33	10,33	117,34
W0105-6	2,26	1,80	5,21	0,66	4,91	0,98	0,43	4,00	4,28	10,33	34,86
W0105-51	4,26	2,30	7,48	0,66	5,24	1,05	0,64	4,42	6,72	10,20	42,97
W0105-83	4,05	5,34	38,33	0,44	30,00	6,00	1,28	13,69	17,39	10,07	126,59
W0105-84	4,16	5,50	28,64	0,44	21,06	4,21	1,68	11,58	14,29	10,33	101,89
W0105-91	6,00	2,86	8,53	1,53	8,58	1,72	1,10	9,69	8,32	10,33	58,66
W0105-102	2,84	2,30	9,53	0,66	7,50	1,50	1,03	10,11	7,29	10,07	52,81
W0105-233	17,22	8,14	37,91	1,10	28,74	5,75	0,99	7,37	22,09	10,07	139,38
W0105-360	1,16	1,40	7,69	1,10	4,88	0,98	0,67	2,32	5,41	10,46	36,05
W0105-368	3,21	2,13	5,79	0,88	4,59	0,92	0,64	6,11	5,73	10,20	40,20
W0105-453	5,11	2,02	7,48	0,66	6,61	1,32	0,87	16,00	6,20	10,20	56,47
W0106-33	6,05	4,27	10,64	0,88	11,11	2,22	0,91	24,21	10,62	10,20	81,11
W082-52	9,58	4,44	14,95	2,19	8,42	1,68	2,52	6,74	11,75	10,20	72,47
W082-75	6,63	2,75	5,05	0,44	7,14	1,43	1,39	8,84	6,67	10,07	50,42
W082-84	5,74	5,56	23,59	1,10	18,58	3,72	1,86	13,05	15,13	10,46	98,78
W082-125	5,27	5,00	9,63	0,44	6,32	1,26	1,66	5,69	8,08	9,81	53,15
W0105-6	3,79	2,25	6,42	0,44	4,34	0,87	1,15	4,63	5,55	10,33	39,76
W0105-19	2,21	1,01	3,53	0,44	2,76	0,55	0,64	3,16	3,24	10,33	27,87
W0105-65	2,32	1,40	4,53	0,44	4,04	0,81	0,73	6,32	4,28	10,20	35,06
W0105-84	7,74	6,80	23,80	0,44	26,00	5,20	1,94	5,26	19,08	9,68	105,94
W0105-91	7,53	4,04	11,43	2,19	10,05	2,01	1,36	7,58	9,64	10,46	66,29
W0105-306	7,11	5,11	14,74	0,44	13,16	2,63	1,33	2,53	11,94	10,07	69,05
W0105-366	1,68	1,35	6,84	2,19	4,53	0,91	0,82	9,69	5,03	10,46	43,49
W0105-377	12,11	5,67	19,16	0,66	14,84	2,97	1,63	5,90	14,48	10,33	87,74
W0105-574	20,53	9,32	39,17	2,19	31,48	6,30	1,61	2,74	32,10	10,07	155,51
W0105-579	11,16	5,73	16,43	0,88	18,85	3,77	1,10	3,58	14,10	10,07	85,66
W0106-2	6,95	4,83	13,06	0,44	9,20	1,84	1,53	12,21	10,62	10,20	70,88
W0106-33	7,00	4,38	11,11	0,44	13,16	2,63	1,14	12,21	10,43	10,33	72,84
W0106-35	10,21	6,96	17,06	0,44	17,06	3,41	1,52	13,69	14,48	10,46	95,28
W0106-16	3,74	2,58	10,16	0,22	4,27	0,85	1,74	12,84	6,67	10,46	53,54
W0106-18	13,69	7,24	31,80	1,10	29,69	5,94	1,73	8,00	20,96	10,07	130,22
W0106-28	8,00	4,77	18,74	0,44	18,53	3,71	1,48	9,05	13,25	9,68	87,66