



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 محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimî B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

### Intitulé :

**Evaluation de la qualité physicochimique des eaux  
souterraine cas de Bordj Bou Arreridj – Sud-Est**

#### Présenté par :

AMARA Meriem

RAHMANI Soumia

TRAIKIA Hiba Bouchra

Soutenu le 25/06/ 2023, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
<b>Président :</b>	M. BIBAK Mohamed	MAA	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
<b>Encadrant :</b>	M. TIAIBA Mohammed	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.
<b>Examineur :</b>	M. AIT MECHEDAL Mouloud	MCB	Faculté SNV-STU, Univ. de B.B.A.

Année Universitaire 2022/2023

# Remerciements

*Nous remercions avant tout **ALLAH** tous jouissants, de nous avoir guide toute la vie et les années d'étude et sa bénédiction et d'avoir donné à l'être humain ce pouvoir de raisonner et d'exploiter les vérités de l'univers.*

*Nos sincères remerciements à notre encadrant, **TIAIBA Mohammed** pour son aide et suivi constant et précieux et de bien vouloir accepter de nous diriger avec beaucoup de compréhension.*

*Nous remercions **les membres de jury** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous remercions également tous **nos enseignants, nos collègues et les personnels de la faculté** des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers.*

*A tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, à tous ceux que nous aimons et qui nous aiment.*

**MERJEM, SOUMIA ET HIBA**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents avant tout et pour tout*

*A mes grands parents*

*A mes frères : Yasser et sa petite famille, Saber et Fadi*

*A ma belle-famille et mon mari Kadri Akram*

*A mes cousins et mes cousines*

*A toute ma grande Famille*

*A mes amies et mes collègues de la spécialité Aménagement*

*Hydro-Agricole*

*A tous mes enseignants de la faculté de la Science de la Nature*

*et de la Vie et Sciences de la Terre et l'Univers*

*A tous ceux qui me sont chers. A tous ceux qui ont contribué de*

*près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Amara Meriem*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents Nadia et Abdelkader avant tout et pour tout*

*A mes frères : Abdenour et Amine et sa petite famille*

*A mes sœurs : Aya, Malak, Imane et Narimane*

*A mes cousins et mes cousines*

*A toute ma grande Famille*

*A ma copine décédée Belhadad Farah, Dieu repose son âme  
et habitera dans son paradis*

*A mes amies et mes collègues de la spécialité Aménagement  
Hydro-Agricole*

*A tous mes enseignants de la faculté de la Science de la  
Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et l'Univers et  
tous mes enseignants de la base de données*

*A tous ceux qui me sont chers. A tous ceux qui ont contribué de  
près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Rahmani Soumia*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents Lyamine et Leila*

*A mes sœurs : Sara , Itihal , Salsabil et Rache*

*A mes cousins et mes cousines*

*A toute ma grande Famille*

*A ma copine décédée Belhadad Farah, Dieu repose son âme  
et habitera dans son paradis*

*A mes amies et mes collègues de la spécialité Aménagement  
Hydro-Agricole*

*A tous mes enseignants de la faculté de la science de la Nature  
et de la Vie et Sciences de la Terre et l'Univers*

*A tous ceux qui me sont chers. A tous ceux qui ont contribué de  
près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Traikia Hiba Bouchra*

# TABLE DES MATIERES

Introduction générale .....	01
-----------------------------	----

## Chapitre I: Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction.....	02
I.2. Aperçu géographique .....	02
I.3. Données Climatiques .....	03
I.3.1. La température.....	03
I.3.2. Les précipitations .....	04
I.4. Géologie de bassin versant K'sob .....	05
I.5. Caractéristiques morphométriques et physiques du bassin versant d'étude .....	05
I.5.1. Présentation du sous bassin K'sob .....	05
I.5.2. Caractéristiques morphométriques .....	06
I.5.2.1. La surface .....	07
I.5.2.2. Le périmètre.....	07
I.5.2.3. La forme .....	08
I.5.2.4. Rectangle équivalent .....	09
I.5.2.5. Altimétrie et courbe hypsométrique .....	09
I.5.2.6. Les altitudes caractéristiques .....	10
I.5.2.7. Indices de pente .....	12
I.6. Caractéristiques du réseau hydrographique .....	15
I.6.1. Hiérarchisation du réseau .....	15
I.6.2. Profils en long .....	16
I.6.3. La longueur du cours d'eau principal.....	17
I.6.4. La densité de drainage.....	17
I.6.5. La densité hydrographique .....	18
I.6.6. Le rapport de confluence.....	19
I.6.7. Rapport des longueurs.....	19
I.6.8. Coefficient de torrentialité ( $C_T$ ) .....	20
I.6.9. Temps de concentration .....	20
I.6.10. Vitesse d'écoulement de l'eau ( $v_e$ ) .....	20
I.7. Conclusion.....	20

## Chapitre II : Etude hydrochimique des eaux

II.1. Introduction .....	21
II.2. Inventaire des points d'eau .....	21
II.2.1. Caractéristiques des points d'eau étudiés .....	21
II.2.2. Les cartes piézométriques .....	23
II.2.2.1. Etude piézométrique.....	23
II.2.2.2. Interprétation de la carte piézométrique.....	24
II.3. Qualité des données .....	25
II.4. Les principaux paramètres physico-chimiques.....	26
II.4.1. Etude des paramètres physiques .....	27
II.4.1.1. La température de l'eau.....	27
II.4.1.2. Le pH de l'eau.....	28
II.4.1.3. La conductivité électrique (CE) .....	29
II.4.1.4. La dureté de l'eau.....	30
II.4.2. Etude analytique et cartographie des éléments chimiques majeurs .....	31
II.4.2.1. les cations .....	31
II.4.2.2. les anions.....	33
II.5. Faciès chimique des eaux .....	36
II.5.1. Diagramme de Piper .....	37
II.5.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff .....	38
II.6. Qualités des eaux .....	39
II.6.1. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine .....	40
II.6.2. Qualité des eaux destinées aux activités agricoles.....	41
II.7. Analyse en Composantes Principales (ACP).....	43
II.7.1. Etude des valeurs propres .....	44
II.8. conclusion partielle.....	46
Conclusion générale.....	47

# Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>Chapitre I</b>		
Tableau I.1	Caractéristiques de la station de BBA	03
Tableau I.2	Températures moyennes mensuelles dans la région de Bordj Bou Arreridj	03
Tableau I.3	Moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Bordj Bou Arreridj	04
Tableau I.4	Dimensions du rectangle équivalent du bassin Oued K'sob	09
Tableau I.5	Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes	10
Tableau I.6	Classification du relief (Ig)	14
Tableau I.7	Classification du relief (Ds)	14
Tableau I.8	Calcul de la densité Drainage	17
Tableau I.9	Calcul de la densité hydrographique	18
Tableau I.10	Calcul des rapports de confluence	18
Tableau I.11	Calcul des rapports de la longueur	19
<b>Chapitre II</b>		
Tableau II.1	Inventaire et caractéristiques piézométriques des points d'eau	22
Tableau II.2	Résultats du calcul de la balance ionique des eaux souterraines de la zone d'étude	25
Tableau II.3	les éléments et leurs Origine	26
Tableau II.4	Statistiques élémentaires des paramètres physiques	31
Tableau II.5	Statistiques élémentaires des éléments chimiques majeurs	36
Tableau II.6	Norme de potabilité de l'eau de point de vue physico-chimique et les résultats de la potabilité des eaux souterraines de la zone d'étude	40
Tableau II.7	Classification des eaux d'irrigation selon Richards	41
Tableau II.8	statistiques descriptives des variables physicochimiques des eaux souterraines de la zone d'étude	43
Tableau II.9	Matrice de corrélation des paramètres physicochimiques des eaux souterraines	44



## Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>Chapitre I</b>		
Figure I.1	Carte de situation de la zone d'étude	02
Figure I.2	Répartition mensuelles des températures moyennes	03
Figure I.3	Répartition mensuelles des précipitations au niveau de la région de BBA	04
Figure I.4	Carte géologique du bassin de K'sob	05
Figure I.5	(a) Bassin versant Chott Hodna ; (b) Sous bassin Oued K'sob	06
Figure I.6	Localisation du bassin versant Oued K'sob	07
Figure I.7	Influence de la forme de bassin versant sur l'hydrogramme de crue	08
Figure I.8	Variation de l'indice de Gravelius en fonction de la forme du bassin	08
Figure I.9	Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued K'sob	10
Figure I.10	Carte des tranches d'altitudes du bassin versant de l'Oued K'sob	11
Figure I.11	Carte des pentes du bassin versant Oued El k'sob	13
Figure I.12	Hiérarchisation du réseau hydrographique d'Oued K'sob	15
Figure I.13	Profil en long du cours d'eau principal de l'Oued K'sob	16
<b>Chapitre II</b>		
Figure II.1	Carte de positionnement des forages étudiés	23
Figure II.2	La carte piézométrique de la zone d'étude	24
Figure II.3	Variabilité spatiale de la température des eaux souterraines dans la zone d'étude (2022)	27
Figure II.4	Variabilité spatiale du pH des eaux souterraines dans la zone d'étude (2022)	29
Figure II.5	Variabilité spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines dans la zone d'étude	30
Figure II.6	Variabilité spatiale de la dureté des eaux souterraines dans la zone d'étude	31
Figure II.7	Carte iso-teneurs du $\text{Ca}^{2+}$	32
Figure II.8	Carte iso-teneurs du $\text{Mg}^{2+}$	33
Figure II.9	Carte iso-teneurs du $\text{HCO}_3^-$	34
Figure II.10	Carte iso-teneurs du $\text{Cl}^-$	35
Figure II.11	Carte iso-teneurs du $\text{NO}_3^-$	36
Figure II.12	Diagramme de Piper	38
Figure II.13	Diagramme de Schöeller-Berkaloff	39
Figure II.14	Présentation de l'aptitude des eaux de la zone d'étude à l'irrigation d'après le diagramme de Richard	42
Figure II.15	Cercle de corrélation des différentes variables selon le plan factoriel (F1-F2)	45
Figure II.16	Répartition des stations dans le plan factoriel (F1-F2)	45

## Liste d'abréviation

<b>ACP</b>	Analyse en Composantes Principales
<b>ADE</b>	Algérienne Des Eaux
<b>BI</b>	Balance Ionique
<b>BV</b>	Bassin Versant
<b>CE</b>	Conductivité Electrique
<b>CMA</b>	Concentration Maximale Admissible
<b>C<sub>v</sub></b>	Coefficient de Variation
<b>DRE</b>	Direction des Ressources en Eau
<b>F</b>	Forage
<b>K<sub>G</sub></b>	Indice de forme de Gravelius
<b>MNT</b>	Modèles Numériques de Terrain
<b>NTU</b>	Nephelometric Turbidity Unit
<b>OMS</b>	Organisation Mondial de la Santé
<b>ONM</b>	Office National de la Météorologie
<b>SAR</b>	Sodium Adsorption Ratio
<b>T</b>	Température
<b>TAC</b>	Titre Alcalimétrique Complet
<b>TH</b>	Titre Hydrométrique
<b>USGS</b>	United States Geological Survey

# Introduction générale

## **Introduction générale**

L'eau souterraine est la partie invisible du cycle hydrologique et une compréhension claire de son environnement physique dans l'espace et le temps (la qualité, la profondeur, la recharge, la productivité) est nécessaire afin de prendre des décisions pour une exploitation durable et efficace.

Les eaux souterraines sont généralement d'excellente qualité physicochimique et bactériologique. Néanmoins, les terrains traversés en influencent fortement la minéralisation (**Degrément, 1989 ; Tardat, 1992**). Il est évident que l'eau distribuée à des fins de consommation humaine, doit respecter les normes de potabilité (**Cardot, 1999 ; Villant, 1979**).

La nature chimique et la concentration des eaux souterraines dépendent en partie des propriétés des eaux de surface et des eaux des précipitations, mais surtout des processus physicochimiques qui existent dans l'aquifère. Ces processus physicochimiques augmentent ou diminuent la concentration des substances dissoutes dans l'eau le long de son cheminement souterrain.

Plusieurs facteurs conditionnent la qualité physico-chimique des eaux : les concentrations des polluants dans les eaux usées, la nature des sols, la lithologie, la perméabilité de l'aquifère exploité, la profondeur de la nappe et l'influence primordiale des variations saisonnières, ainsi que le rôle bénéfique des précipitations (**El Asslouj, 2007**).

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux. Face à la rareté et à la pollution des eaux, l'étude de la qualité et de l'évolution des ressources en eau constitue un enjeu majeur pour les populations.

Cette étude a pour objectif principal l'étude de données physicochimiques acquises en 2022 des eaux souterraines de la région "Sud Est" de Bordj Bou Arreridj, pour une meilleure compréhension de la qualité de ces eaux selon leurs faciès chimiques, et les phénomènes qui se produisent dans les systèmes aquifères. Cette étude est structurée en deux chapitres principaux :

- Le chapitre I donne une présentation de la zone d'étude.
- Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude hydrochimique des eaux souterraines par l'utilisation des diagrammes (Piper, Schöeller-Berkaloff, Riverside) et l'application d'une méthode statistique en utilisant le logiciel XLSTAT, telle que, l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour une visualisation plus complète des résultats d'analyses.

En fin, nous terminerons ce travail par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus et quelques recommandations utiles pour les travaux futurs.

# Chapitre I

## Présentation de la zone d'étude

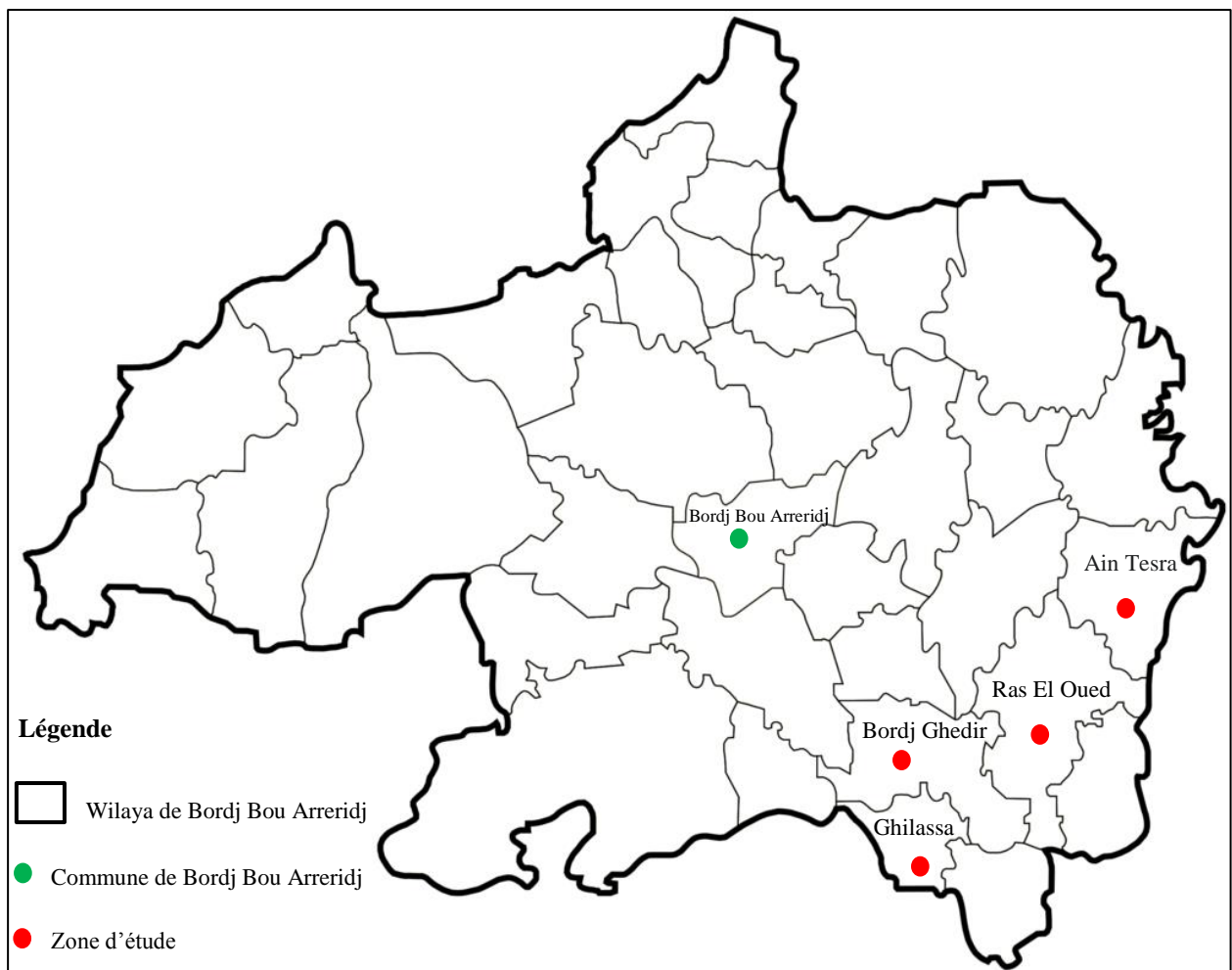
## Chapitre I: Présentation de la zone d'étude

### I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu géographique, climatique, géologique et morphométrique de la zone d'étude.

### I.2. Aperçu géographique

La zone d'étude est située au Sud-Est de la ville de Bordj Bou Arreridj, au lieu-dit Daïra de Bordj Ghedir et la Daïra de Ras El Oued.



**Figure I.1 :** Carte de situation de la zone d'étude (Site Web)

### I.3. Données Climatiques

#### I.3.1. La température

D'une manière générale, le climat de la région est de type semi-aride caractérisé par un été sec et chaud et un hiver froid.

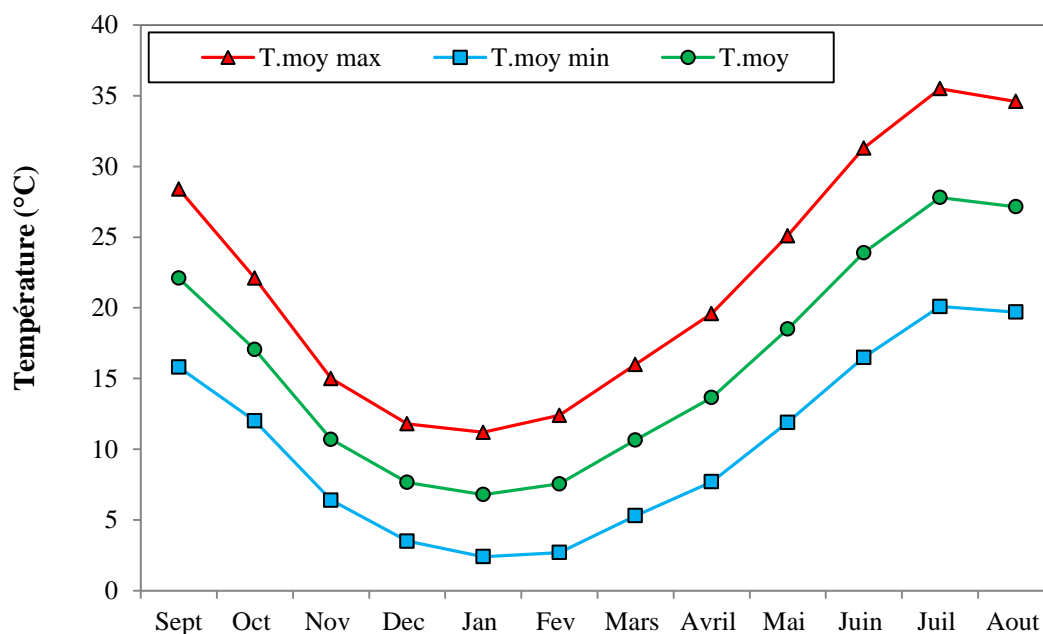
Les températures de la région sont traitées à partir de la station climatologique de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) à savoir la station de bordj Bou Arreridj pour une période d'observation allant de 2010 à 2020. Les caractéristiques de cette station figurent dans le tableau (I.1).

**Tableau I.1 :** Caractéristiques de la station de BBA

Station	Latitude	longitude	Altitude (m)	Période
Bordj Bou Arreridj	36° 04' N	04° 40' E	928	2010 - 2020

**Tableau I.2 :** Températures moyennes mensuelles dans la région de Bordj Bou Arreridj

Température	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
T.moy max	28,4	22,1	15	11,8	11,2	12,4	16	19,6	25,1	31,3	35,5	34,6	21,9
T.moy min	15,8	12	6,4	3,5	2,4	2,7	5,3	7,7	11,9	16,5	20,1	19,7	10,3
T.moy	22,1	17,05	10,7	7,65	6,8	7,55	10,65	13,65	18,5	23,9	27,8	27,15	16,1



**Figure I.2 :** Répartition mensuelles des températures moyennes au niveau de la région de BBA

La température moyenne annuelle est égale à 16.1 °C. Les mois les plus chauds sont les mois d'été, soit juin ; juillet ; août et septembre durant lesquelles les températures moyennes dépassent les 20°C. La saison froide pendant laquelle les températures sont inférieures à 10°C se prolonge de décembre à février.

### I.3.2. Les précipitations

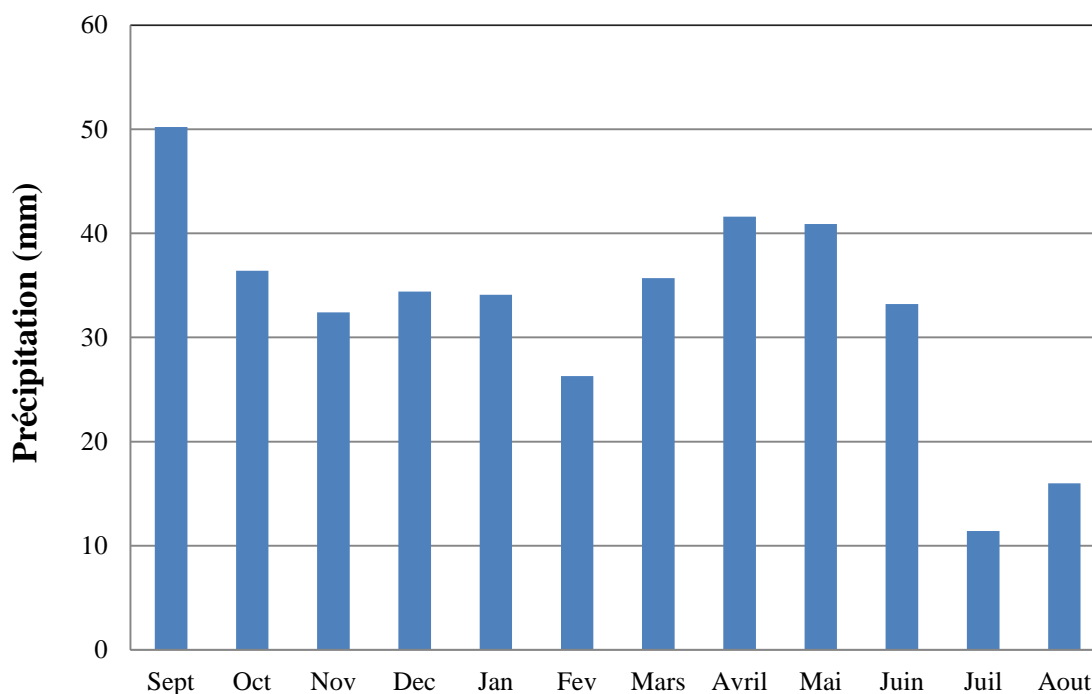
La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par un pluviomètre ou un pluviographe, elle englobe l'ensemble des eaux météorologiques : pluie, grêle ...etc.

**Tableau I.3** : Moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Bordj Bou Arreridj (2010-2020)

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	totale
P (mm)	50,2	36,4	32,4	34,4	34,1	26,3	35,7	41,6	40,9	33,2	11,4	16,0	392,6

(Station météorologique de BBA)

P (mm) : Précipitation mensuelles exprimées en (mm)



**Figure I.3** : Répartition mensuelles des précipitations au niveau de la région de BBA

D'après le tableau nous notons que le mois de Septembre a les précipitations les plus élevées 50.2 mm, par contre la moyenne mensuelle la plus faible est enregistrée pendant le mois de juillet 11.4 mm.



## II.4. Géologie de bassin versant K'sob

D'après (Benkadja *et al.*, 2012) l'analyse de la distribution géologique présente deux zones :

- **La zone 1** est formée par des formations lithologiques, qui sont Continué soumis à l'érosion mécanique. Cette zone est localise au Nord et au centre du bassin (alluvions quaternaires et terrasses, les argiles, marnes et de grès du Miocène).
- **La zone 2** est une zone formée par les formations dures (calcaire et dolomie) et est situé dans la partie sud du bassin.

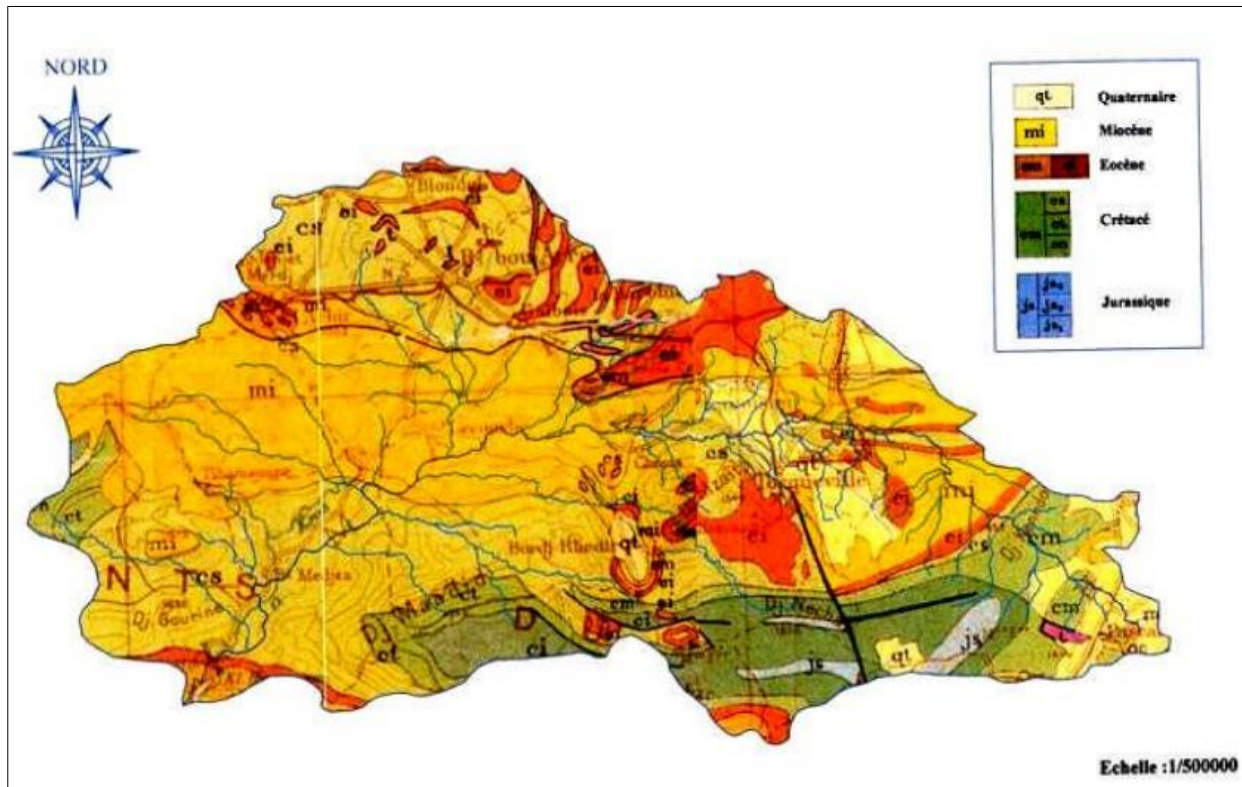


Figure I.4 : Carte géologique du bassin de K'sob (Hattab et Delaladja, 2007)

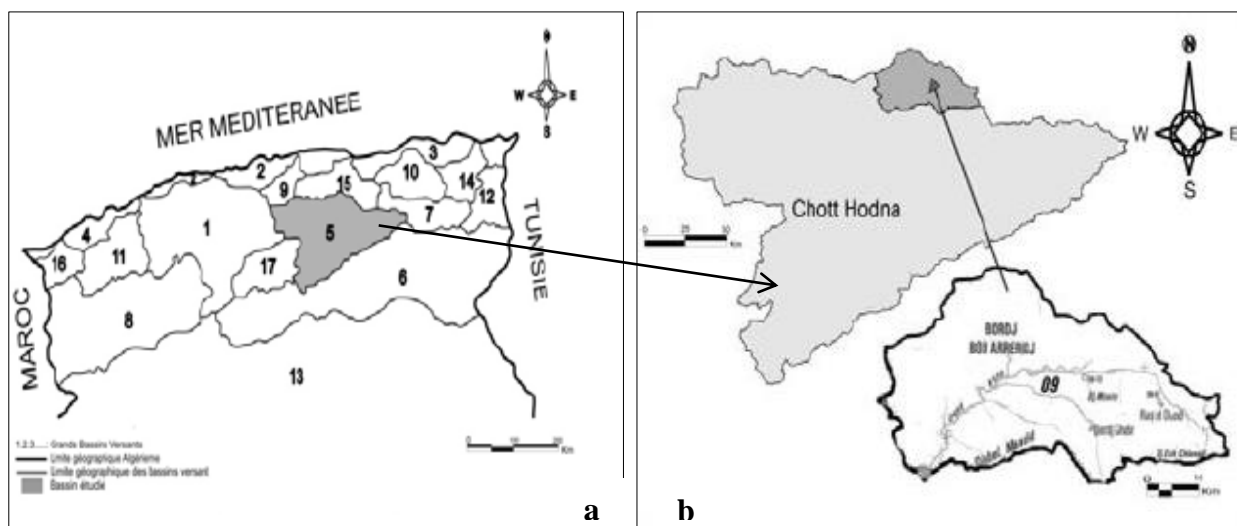
## I.5. Caractéristiques morphométriques et physiques du bassin versant d'étude

Notre zone d'étude est une partie du sous bassin (09) (Figure I.5.a) du grand bassin versant "Hodna" (05) (Figure I.5.b) et se situe dans sa partie septentrionale.

### I.5.1. Présentation du sous bassin K'sob

Le bassin versant de l'oued K'sob est situé dans le grand bassin du Hodna au Nord de l'Algérie. Il est limité au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse des Bibans ; au Sud et au Sud-ouest par les monts du Hodna et à l'Est par les hautes plaines de Sétif. Il se situe aussi entre les méridiens de longitudes 5°6' et 4°34' Est et les parallèles de latitude 35°33' et 36°18' Nord.

Il s'étend sur la totalité de la wilaya de Bordj Bou Arreridj dont son exutoire est à la limite Nord de la wilaya de M'sila.



**Figure I.5 :** Bassin versant Chott Hodna Sous bassin Oued K'sob (Touaibia et Nekkache, 2019)

L'étude ou l'analyse morphométrique du bassin versant sont présentés dans la partie suivante. La méthodologie de calcul inclut les caractéristiques importantes du bassin versant, la superficie, le périmètre, le coefficient de forme, l'ordre des cours d'eau, la densité du drainage, la pente moyenne du bassin versant, la pente du lit principal, etc.

Les différents paramètres sont mesurés à l'aide du logiciel ArcGis, utilisé dans les systèmes d'informations géographiques, et aussi à l'aide des modèles numériques de terrain MNT (avec une résolution de 30 mètres) établis par l'Institut d'études géologiques des États-Unis (USGS).

### ***1.5.2. Caractéristiques morphométriques***

L'étude morphométrique d'un bassin versant est la mesure et l'analyse mathématique qui portent les caractéristiques de la forme (surface, périmètre, longueur, allongement, ...) et du relief (altitude, pente et profils). L'examen quantitatif des attributs morphométriques revêt une importance considérable pour évaluer et organiser le bassin en vue de la préservation des sols et des eaux. De nombreuses méthodes sont utilisées pour extraire les paramètres morphométriques (Gravellius, 1914) ; (Horton, 1945) ; (Strahler, 1957) ; (Roche, 1960) ; (Krishnamurthy *et al.*, 1996). Au cours des dernières décennies, l'augmentation des capacités de calcul informatique a permis la numérisation des images satellitaires. Depuis ce temps-là, les études morphométriques sont de plus en plus faites par les méthodes de télédétection et de Systèmes d'Informations Géographiques (Prakash *et al.*, 2016 ; Rai *et al.*, 2017).

Les attributs géographiques et géomorphologiques d'un bassin versant sont utilisés dans les examens hydrologiques, y compris l'évaluation du potentiel des eaux souterraines (Sreedevi *et al.*, 2005) et la hiérarchisation des bassins versants (Patel *et al.*, 2013), mais aussi pour anticiper des futurs scénarios des réponses hydrologiques combinées avec les paramètres géographiques (Angillieri, 2008).

### I.5.2.1. La surface

Le bassin versant (BV) est l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau. Les débits vont donc être en partie reliés à sa surface, correspondant à l'aire délimitée par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne de partage des eaux. Sa surface (A) exprimée en km<sup>2</sup>, peut être déterminée à l'aide d'un planimètre ou par les techniques de digitalisation (Global Mapper – Map Info, Arc Gis...). La surface du bassin versant étudié a été mesurée grâce au logiciel ArcGis. Elle est de l'ordre **1481 km<sup>2</sup>**.

### I.5.2.2. Le périmètre

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant. Il est exprimé en km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels cités précédemment. Le périmètre mesuré par ArcGis est de **206 km**.

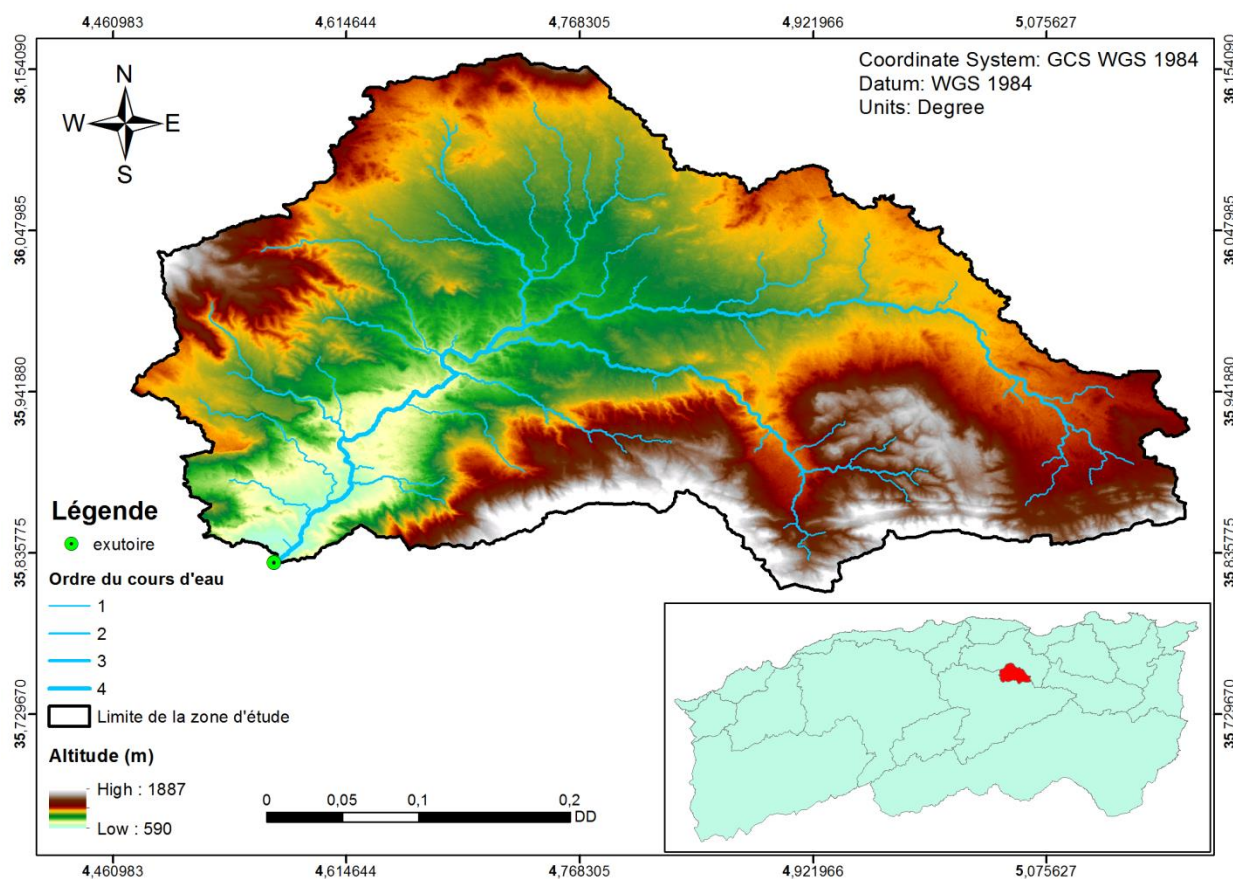
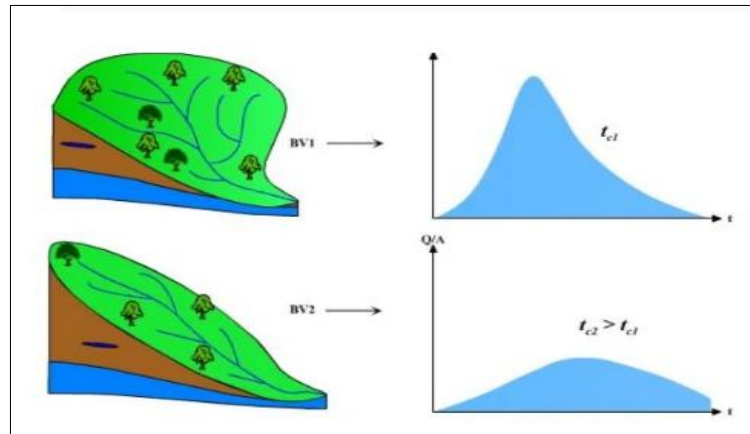


Figure I.6 : Localisation du bassin versant Oued K'sob

### I.5.2.3. La forme

La forme d'un bassin versant influe sur la réponse hydrologique, notamment sur la forme de l'hydrogramme produit à l'exutoire du bassin. Sur un bassin allongé, l'eau ruissellera sur des chemins plus longs et donc aura besoin de plus de temps pour arriver à la sortie du bassin que si le bassin versant à forme ramassée. Inversement, un bassin versant en forme compact a un temps de concentration plus rapide, ce qui entraîne un temps de concentration des eaux plus court et un débit de pointe plus élevé (Sassolas-Serrayet *et al.*, 2018).



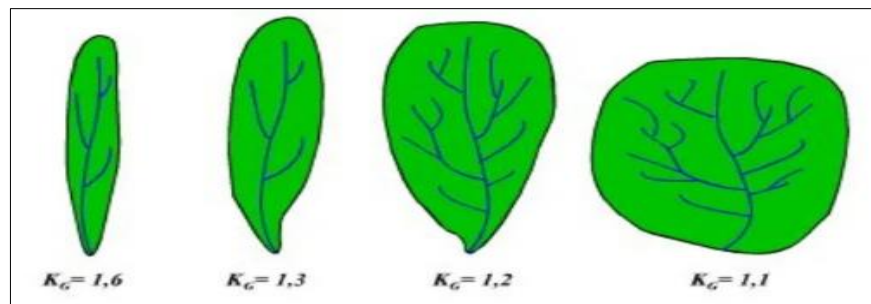
**Figure I.7 :** Influence de la forme de bassin versant sur l'hydrogramme de crue

Divers indices morphologiques peuvent être utilisés pour caractériser les débits et comparer différents bassins versants. L'indice de forme de (Gravelius, 1914),  $K_G$ , compare le périmètre d'un bassin versant au périmètre d'un cercle de même surface. Il est exprimé par l'équation suivante :

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \cong 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Où  $K_C$  est l'indice de forme de Gravelius,  $A$  est la superficie du bassin versant [ $\text{km}^2$ ], et  $P$  est le périmètre du bassin versant [ $\text{km}$ ].

L'indice est proche de 1 pour un bassin versant de forme circulaire et supérieure à 1 pour un bassin versant de forme allongée (figure I.8)



**Figure I.8 :** Variation de l'indice de Gravelius en fonction de la forme du bassin

Pour notre cas, le  $K_C = 1,50 \rightarrow$  le bassin versant est de forme allongée.

#### 1.5.2.4. Rectangle équivalent

C'est le rectangle de longueur  $L_r$  et de largeur  $l_r$  qui a la même surface et le même périmètre que le bassin versant. Le bassin versant rectangulaire résulte d'une transformation géométrique du bassin réel dans laquelle on conserve la même superficie, le même périmètre (ou le même coefficient de compacité), et donc par conséquent la même répartition hypsométrique. Les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petit côté du rectangle. La climatologie, la répartition des sols, la couverture végétale et la densité de drainage restent inchangées entre les courbes de niveau. En 1963, Roche a établi deux relations relatives aux dimensions du rectangle équivalent, dont les dimensions sont données par les relations suivantes :

$$L_r = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left\{ \frac{1,12}{K_c} \right\}^2} \right\}$$

$$l_r = \frac{K_c \sqrt{S}}{1,12} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left\{ \frac{1,12}{K_c} \right\}^2} \right\}$$

Pour notre cas, nous obtenons :

$$L_r = 85,83 \text{ km} \quad l_r = 17,26 \text{ km}$$

**Tableau I.4 :** Dimensions du rectangle équivalent du bassin Oued K'sob

Surface partielles (Xi) (km <sup>2</sup> )	Longueurs partielles Li (km)	Largeur l <sub>r</sub> (km)	Longueur L <sub>r</sub> (km)
113,57	6,58	17,26	85,83
556,47	32,24		
464,76	26,93		
189,96	10,99		
128,06	7,42		
28,19	1,63		

#### 1.5.2.5. Altimétrie et courbe hypsométrique

##### a) Hypsométrie du bassin

Les caractéristiques du système altimétrique jouent un rôle important dans la description d'un bassin versant et la compréhension de son comportement hydrologique, car la principale force qui affecte l'écoulement de surface est la gravité. Et, de ce fait, plusieurs processus hydrologiques dépendent directement des caractéristiques altimétriques. De même, les conditions climatiques locales sont influencées par la variabilité altimétrique et de l'écoulement résultant d'un événement pluvieux (Musy et Higy, 2004).

Tableau I.5 : Répartition des surfaces partielles par rapport aux altitudes

Tranche d'altitude (m)	surface partielle (Km <sup>2</sup> )	Surface partielle (%)	Surface cumulée (%)	(%) au-dessus de la limite inférieure	Altitude (m)
590 - 800	113,57	7,67	7,67	100,00	590
800 - 1000	556,47	37,57	45,24	92,33	800
1000 - 1200	464,76	31,38	76,62	54,76	1000
1200 - 1400	189,96	12,83	89,45	23,38	1200
1400 - 1600	128,06	8,65	98,10	10,55	1400
1600 - 1887	28,19	1,90	100,00	1,90	1600
total	1481	100		0,00	1887

La courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued K'sob présente une forme concave indiquant un état de maturité du bassin versant (figure I.9).

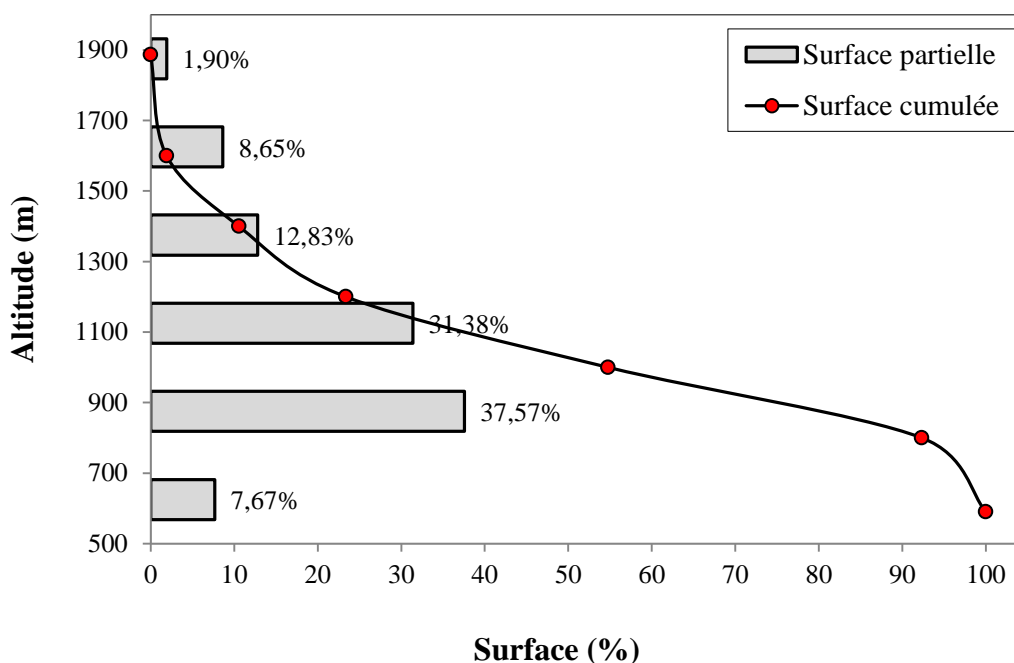


Figure I.9 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued K'sob

### I.5.2.6. Les altitudes caractéristiques

#### a) Les altitudes maximale et minimale

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques tels que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

Pour notre cas :

- L'altitude minimale est : **Hmin = 590 m**
- L'altitude maximale est : **Hmax = 1887 m**

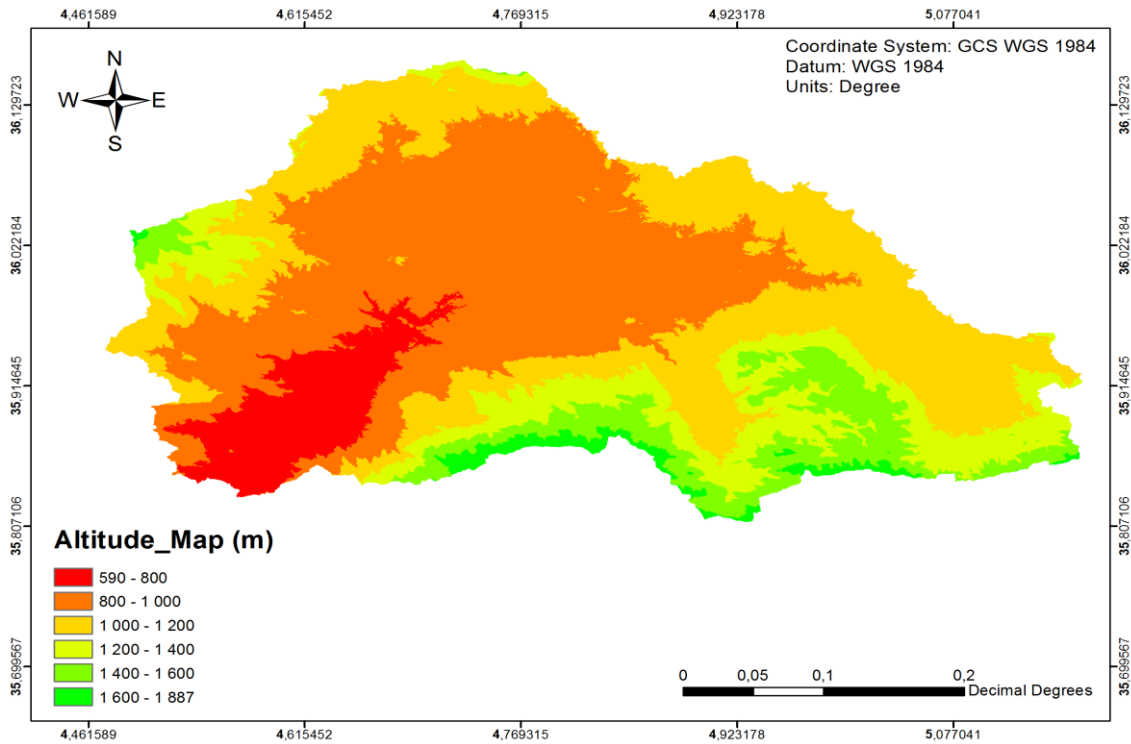


Figure I.10 : Carte des tranches d'altitudes du bassin versant de l'Oued K'sob

**b) Altitude moyenne ( $H_{moy}$ )**

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques. Elle se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \frac{A_i H_i}{A_t}$$

$H_i$  : Altitude moyenne de chaque classe en mètre ;

$A_i$  : Surface partielle des tranches d'altitude en Km<sup>2</sup> ;

$A_t$  : Surface totale sous bassin en km<sup>2</sup>.

Altitudes (m)	$H_i$ (m)	$A_i$ (km <sup>2</sup> )	$(A_i H_i)/A_t$
590 - 800	695	113,57	53,30
800 - 1000	900	556,47	338,17
1000 - 1200	1100	464,76	345,20
1200 - 1400	1300	189,96	166,74
1400 - 1600	1500	128,06	129,70
1600 - 1887	1743,5	28,19	33,19
Somme		1481	<b>1066,29</b>

Pour notre cas,  **$H_{moy} = 1066,29$  m.**

**c) Altitude médiane ( $H_{50\%}$ )**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique (figure I.9). Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière. L'altitude médiane dans le bassin versant de l'Oued K'sob est égale à :  $H_{50\%} = 1030 \text{ m}$

**d) Dénivelée simple (D)**

Sur la courbe hypsométrique tracée, on prend la distance verticale en (m), qui sépare les altitudes ayant 5 % et 95 % de la surface totale du sous bassin versant. Ils peuvent être estimés par interpolation linéaire à partir du tableau altimétrique (Tableau I.5), Pour notre cas :

- La hauteur à 5 % de la surface totale est :  $H_{5\%} = 1500 \text{ m}$
- La hauteur à 95 % de la surface totale est :  $H_{95\%} = 770 \text{ m}$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 730 \text{ m}$$

**I.5.2.7. Indices de pente**

L'objet de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin et de permettre des comparaisons et des classifications.

**a) La pente moyenne**

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct - donc sur le temps de concentration  $t_c$  - et influence directement le débit de pointe lors d'une averse.

Plusieurs méthodes ont été développées pour estimer la pente moyenne d'un bassin. Toutes se basent sur une lecture d'une carte topographique réelle ou approximative. La méthode proposée par (Carlier et Leclerc, 1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante :

$$I_m = (D.L)/A$$

Avec :

$I_m$  : pente moyenne [m/km ou ‰] ;

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m] ;

L : longueur totale de courbes de niveau [km] ;

A : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

Pour notre cas,  $I_m = 162,62 \text{ ‰} = 16,262 \text{ ‰}$



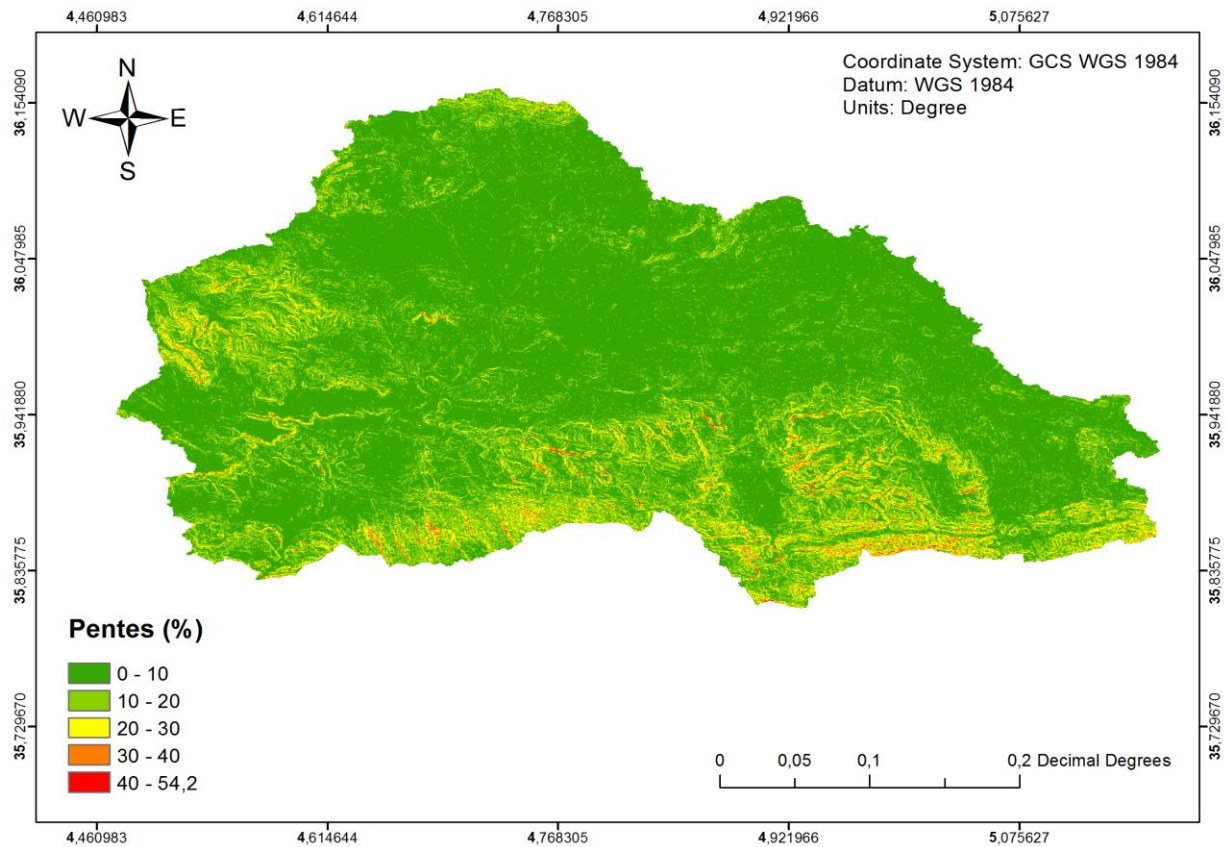


Figure I.11 : Carte des pentes du bassin versant Oued El k'sob

### b) L'indice de pente $I_p$

M. ROCHE a proposé un indice de pente plus facile à calculer que le précédent :  $I_p$  est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces.

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{Lr}} \sum_{i=1}^n \sqrt{X_i (a_i - a_{i-1})}$$

Avec :

$I_p$  : Indice de pente (%) ;

$Lr$  : Longueur du rectangle équivalent (m) ;

$X_i$  : Portion de la surface du bassin comprise entre les courbes de niveau, côte  $a_i$  et  $a_{i-1}$  (%) ;

$(a_i - a_{i-1})$  : Dénivelée entre deux courbes de niveau voisines (m).

Pour notre cas,  $I_p = 1,01 \text{ ‰}$

### c) Indice de pente globale ( $I_g$ )

L'indice de pente globale est déterminé à partir de la courbe hypsométrique en éliminant les valeurs extrêmes, de manière à ne garder que 90 % de l'aire du sous bassin. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = D / L_r$$

Avec :

**D** : Dénivelée simple en (m) ;

**L<sub>r</sub>** : Longueur du rectangle équivalent (km).

Pour notre cas, **I<sub>g</sub> = 8,5051 m/km = 0,0085**

**Tableau.I.6** : Classification du relief (I<sub>g</sub>)

Relief très faible	I <sub>g</sub> < 0,002
Relief faible	0,002 < I <sub>g</sub> < 0,005
Relief assez faible	0,005 < I <sub>g</sub> < 0,01
Relief modéré	0,01 < I <sub>g</sub> < 0,02
Relief assez fort	0,02 < I <sub>g</sub> < 0,05
Relief fort	0,05 < I <sub>g</sub> < 0,1
Relief très fort	0,1 < I <sub>g</sub>

D'après la classification du relief par L'ORSTOM (*Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer*), **I<sub>g</sub>** étant compris entre 5 et 10 m/km, le sous bassin versant présente un relief assez faible.

#### d) Dénivelée spécifique (D<sub>s</sub>)

La dénivelée spécifique permet de se prononcer sur le relief suivant la classification d'ORSTOM (Tableau I.6). L'indice I<sub>g</sub> décroît pour un même bassin, lorsque la surface augmente, il est donc difficile de comparer des bassins de taille différente, d'où la nécessité d'introduire le paramètre (D<sub>s</sub>).

$$D_s = I_g \times [A]^{1/2} \rightarrow D_s = 327,3 \text{ m}$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM, la dénivelée spécifique du BV se trouve dans la classe R6, caractérisée par un relief fort.

**Tableau.I.7** : Classification du relief (D<sub>s</sub>)

R1	Relief très faible	D <sub>s</sub> < 10 m
R2	Relief faible	10 m < D <sub>s</sub> < 25 m
R3	Relief assez faible	25 m < D <sub>s</sub> < 50 m
R4	Relief modéré	50 m < D <sub>s</sub> < 100 m
R5	Relief assez fort	100 m < D <sub>s</sub> < 250 m
R6	Relief fort	250 m < D <sub>s</sub> < 500 m
R7	Relief très fort	500 m < D <sub>s</sub>

## I.6. Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments :

- Sa hiérarchisation ;
- Son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) ;
- Et son profil en long.

### I.6.1. Hiérarchisation du réseau

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strahler :

- Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1 ;
- Au confluent de deux cours d'eau de même ordre  $n$ , le cours d'eau résultant est d'ordre  $n+1$  ;
- Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par :

$$n + n = n + 1 \text{ et } n + m = \max(n, m)$$

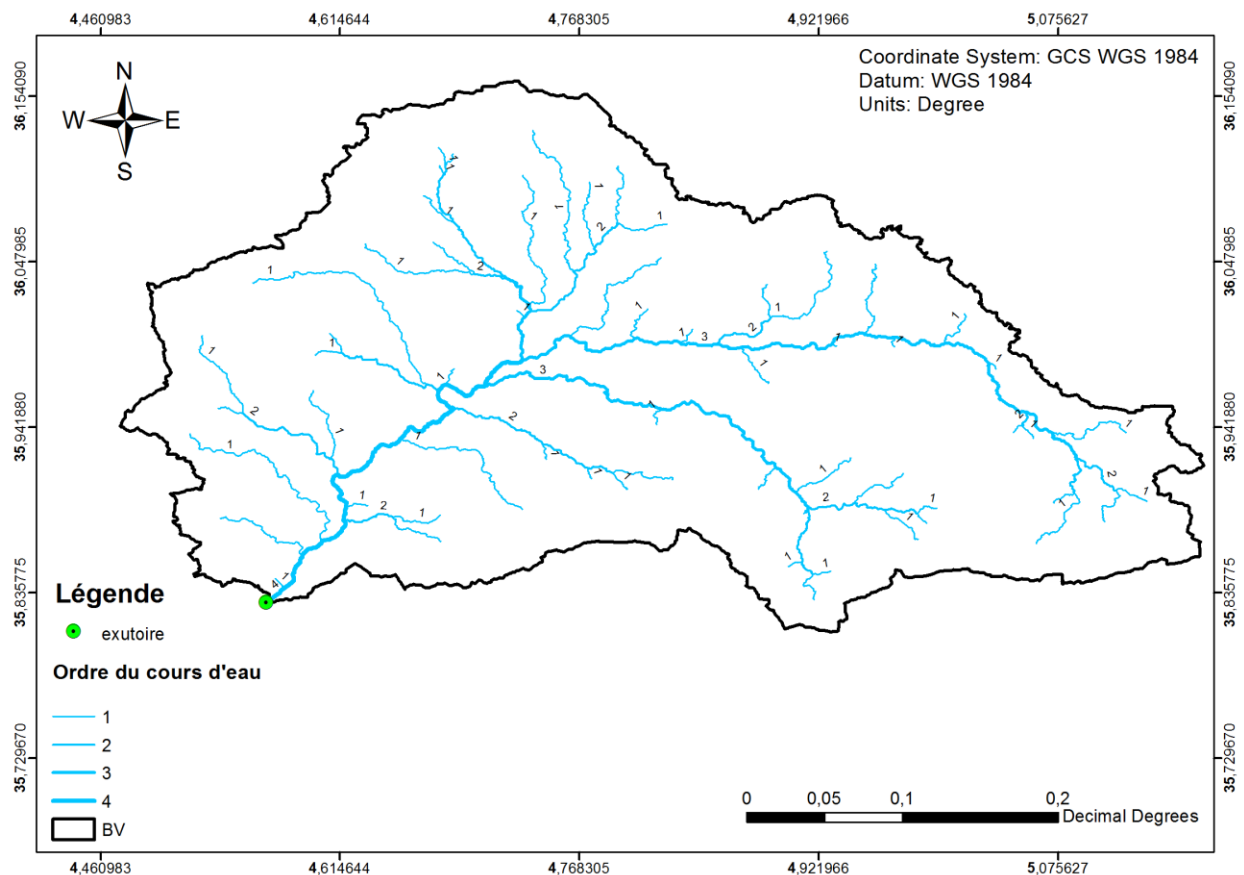


Figure I.12 : Hiérarchisation du réseau hydrographique d'Oued K'sob

### I.6.2. Profils en long

Ces profils sont établis en portant en abscisses les longueurs développées à partir d'un point de référence et en ordonnées les cotes de l'eau dans le cours d'eau principal et dans ces affluents (parfois on donne la cote du fond). Ces profils sont parfois disponibles lorsque la navigation, où les besoins en hydroélectricité ont nécessité des études. Mais dans la plupart des cas, on devra faire ce relevé, soit par nivellement sur le terrain, soit plus sommairement à partir des cartes topographiques.

Les profils en long permettent d'estimer la pente moyenne du cours d'eau. Cette pente moyenne sert surtout dans l'évaluation des temps de concentration d'un bassin versant, ce temps de concentration étant lié à la vitesse de propagation des particules fines ; elle-même proportionnelle à  $i$ . On calcule généralement la pente moyenne  $I$  d'un cours d'eau par la formule suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{I}} = (1/L) \sum_{j=1}^n \frac{\ell_j}{\sqrt{ij}}$$

Dans cette formule, le cours d'eau de longueur totale  $L$  est découpé en  $n$  tronçons  $j$  où la pente  $ij$  est constante sur  $l_j$ . Une longueur  $\ell_j$ .

Pour notre cas, la pente moyenne du cours d'eau principal est :  $I = 11,7 \text{ ‰}$

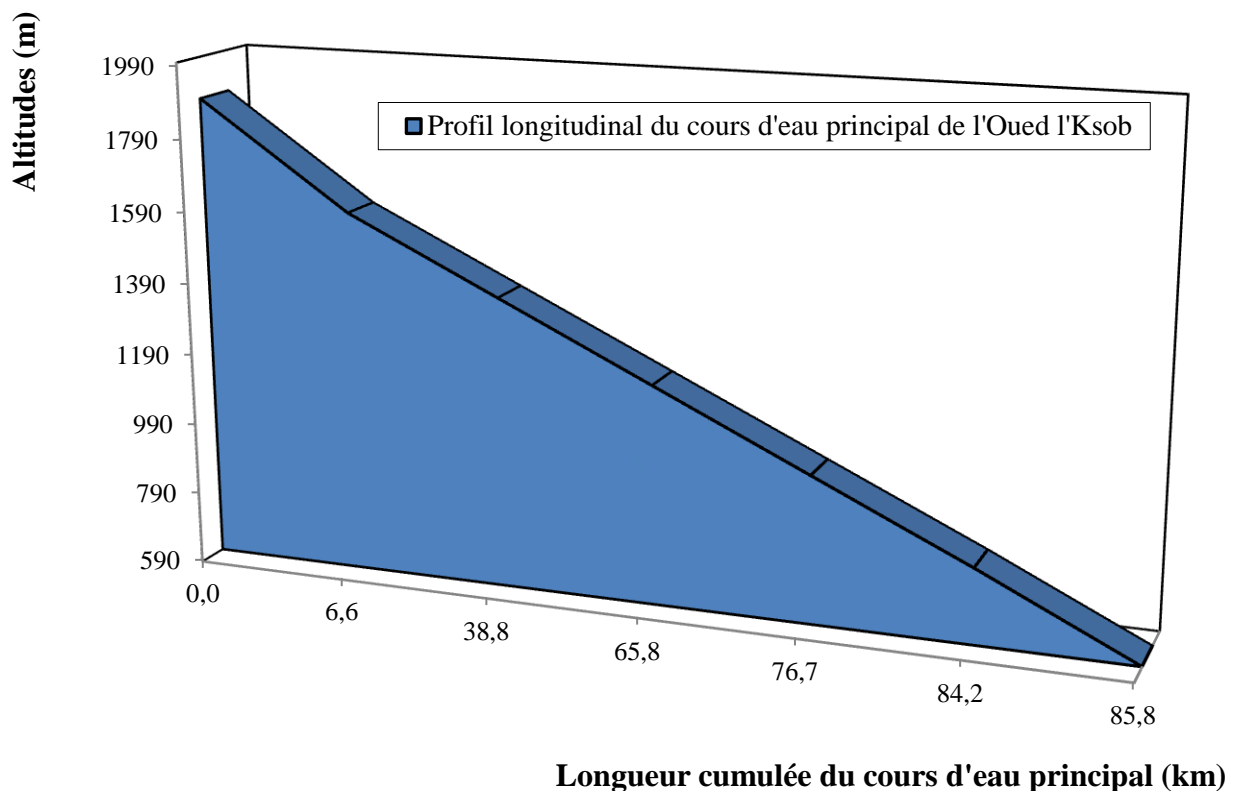


Figure I.13 : Profil en long du cours d'eau principal de l'Oued K'sob

### ***1.6.3. La longueur du cours d'eau principal***

La longueur du cours d'eau principal ( $L_p$ ) est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant. Si les deux segments à l'embranchement sont de même ordre, on suit celui qui draine la plus grande surface.

Le calcul donne pour Oued K'sob une longueur  **$L_p = 81,32$  km**

### ***1.6.4. La densité de drainage***

La densité de drainage, introduite par Horton (1945), est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \sum_1^n Li / A$$

Avec :

$D_d$  : densité de drainage [km/km<sup>2</sup>] ;

$L_i$  : longueur de cours d'eau [km] ;

$A$  : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>].

La densité de drainage dans le bassin versant de l'Oued K'sob est égale à 0,29 km/km<sup>2</sup>, ceci traduit que le bassin présente dans son ensemble une formation géologique perméable, dont l'écoulement est plutôt limité et centralisé ainsi que l'infiltration est augmentée (**Guesri, 2021**).

**Tableau I.8** : Calcul de la densité Drainage

<b>Ordre</b>	<b>Longueur d'ordre <math>N_i</math></b>	<b>Densité de drainage <math>D_d</math></b>
$L_1$	235,370	0,159
$L_2$	84,060	0,057
$L_3$	79,280	0,054
$L_4$	31,040	0,021
Total	429,750	0,290

### ***1.6.5. La densité hydrographique***

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A}$$

Où :

F : densité hydrographique [km<sup>-2</sup>] ;

N<sub>i</sub> : nombre de cours d'eau ;

A : superficie du bassin [km<sup>2</sup>].

**Tableau I.9** : Calcul de la densité hydrographique

Ordre	Nombre d'ordre Ni	Densité hydrographique F
N <sub>1</sub>	108	0,073
N <sub>2</sub>	47	0,032
N <sub>3</sub>	47	0,032
N <sub>4</sub>	22	0,015
Total	224	0,152

La densité hydrographique qui est égale à F=0.152, est une faible densité et donc le bassin d'étude présente une région à substratum perméable, à couvert végétal important et à relief peu accidenté (Guesri, 2021).

#### **I.6.6. Le rapport de confluence**

Sur la base de la classification des cours d'eau, (Horton, 1932) et (Schumm, 1956) ont établi différentes lois : Ces "lois" empiriques relient le nombre, la longueur moyenne et l'ordre des cours d'eau. On constate que pour un bassin versant homogène, le "rapport de confluence" R<sub>c</sub>, rapport du nombre N<sub>i</sub> de cours d'eau d'ordre i au nombre N<sub>i+1</sub> de cours d'eau d'ordre i+1, est sensiblement constant :

$$R_c = N_i / N_{i+1}$$

Avec :

R<sub>c</sub> : rapport de confluence des cours d'eau ("bifurcation ratio") ;

N<sub>i</sub> : nombre d'affluents d'ordre i ;

N<sub>i+1</sub> : nombre d'affluents d'ordre i+1.

**Tableau I.10** : Calcul des rapports de confluence

Ordre	Nombre d'ordre Ni	Rapport de confluence R <sub>c</sub>
N <sub>1</sub>	108	2,30
N <sub>2</sub>	47	1,00
N <sub>3</sub>	47	2,14
N <sub>4</sub>	22	/

### I.6.7. Rapport des longueurs

Sur la base de la classification des cours d'eau, (Horton, 1932) et (Schumm, 1956) ont établi cette loi :

$$R_L = L_i / L_{i+1}$$

Avec :

$R_L$  : rapport des longueurs des cours d'eau ;

$L_i$  : longueur d'affluents d'ordre  $i$  ;

$L_{i+1}$  : longueur d'affluents d'ordre  $i+1$ .

**Tableau I.11** : Calcul des rapports de la longueur

Ordre	Longueur $L_i$	Rapport des longueurs $R_L$
$L_1$	235,370	2,80
$L_2$	84,060	1,06
$L_3$	79,280	2,55
$L_4$	31,040	/

### I.6.8. Coefficient de torrentialité ( $C_T$ )

C'est le rapport entre la fréquence des cours d'eau d'ordre 1 avec la densité de drainage.

$$C_T = F_1 \times D_d \rightarrow C_T = 0,073 \times 0,290$$

Pour notre cas,  $C_T = 0,021 \text{ km/km}^4$

Cette faible valeur traduit que le bassin ne représente pas des caractéristiques morphométriques adaptées à l'écoulement, ainsi qu'il est constitué par des formations perméables dont le taux de l'infiltration est important (Guesri, 2021).

### I.6.9. Temps de concentration

Le temps de concentration est défini comme étant la durée que met une goutte d'eau qui tombe dans le point le plus éloigné du bassin versant, pour atteindre l'exutoire. Il est exprimé par la formule ci-après.

$$T_C = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 \times L_p}{0,8\sqrt{H_{\text{moy}} - H_{\text{min}}}}$$

$L_p$  = Longueur du talweg principal (km), Pour notre cas,  $T_C = 15,80$  heures.

### ***I.6.10. Vitesse d'écoulement de l'eau (ve)***

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_e = L_p/T_C$$

Avec :

L<sub>p</sub> : Longueur du talweg principal = 81,32 km

T<sub>c</sub> : Temps de concentration.

Pour notre cas, **V<sub>e</sub> = 5,15 km/h = 1,43 m/s**

### **I.7. Conclusion**

L'analyse morphométrique nous permet d'évaluer un certain nombre de paramètres très importants qui doivent être étroitement liés à la nature lithologique du terrain et la topographie du bassin.

Le sous bassin de K'sob d'une superficie de 1481 Km<sup>2</sup> est caractérisé par :

\* Une forme allongée (K<sub>c</sub> = 1,50) ce qui fait que les eaux précipitées mettent plus de temps pour atteindre l'exutoire le barrage K'sob, ceci est confirmé par les résultats du temps de concentration qui est de T<sub>c</sub> = 15.80 heures, c'est une importante durée pour l'évaluation des crues.

\* L'altitude moyenne du territoire du bassin est de 1066.3 m, elle donne l'aspect d'une morphométrie assez forte au sous bassin.

\* D'après la classification du relief par L'ORSTOM, L'indice de pente globale (**I<sub>g</sub>**) étant compris entre 5 et 10 m/km, le sous bassin versant présente un relief assez faible.

\* D'après la deuxième classification de l'ORSTOM, la dénivelée spécifique du BV se trouve dans la classe R6 (250 m < D<sub>s</sub> = 327,3 m < 500 m), caractérisée par un relief fort.

La connaissance de la région d'étude est très importante avant toute étude approfondie d'un bassin versant (Hydrologie, érosion, transport solide, inondations, qualité des eaux...). Dans cette étude nous allons nous intéresser à la qualité des eaux souterraine.



# Chapitre II

## Etude hydrochimique des eaux

## Chapitre II : Etude hydrochimique des eaux

### II.1. Introduction

L'hydrochimie étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux. Pour cela, l'hydrochimie se sert essentiellement de la chimie (acides-bases, précipitations-dissolutions, oxydation-réduction, interactions entre différentes phases, etc.), mais aussi de la biologie et de la géologie. L'étude de la chimie des eaux permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et d'estimer l'origine et l'âge de cette eau, d'estimer le temps passé dans les formations géologiques, et d'apprécier la qualité des eaux vis-à-vis de la potabilité et à l'irrigation. Les aspects biochimiques sont également déterminants pour la compréhension des processus physico-chimiques présents dans l'eau souterraine. Pour pouvoir analyser ces données et en ressortir le plus d'information en peu de temps, nous avons utilisé des outils et méthodes efficaces et rapides.

Le principal outil utilisé est le logiciel "DIAGRAMMES" (Piper, Schöeller-Berkaloff, Riverside,...) créé par Roland Simler du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (France). C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau (**Ben Hamiche, 2015**).

Nous avons donc entrepris d'étudier les résultats des analyses chimiques de la campagne d'échantillonnage de l'eau au cours de Février 2022 au niveau de (11) forages situés au Sud-Est de Bordj Bou Arreridj. Pour ce fait, une étude statistique a été menée par la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour la détermination et la classification de la qualité chimique de l'eau de la région.

### II.2. Inventaire des points d'eau

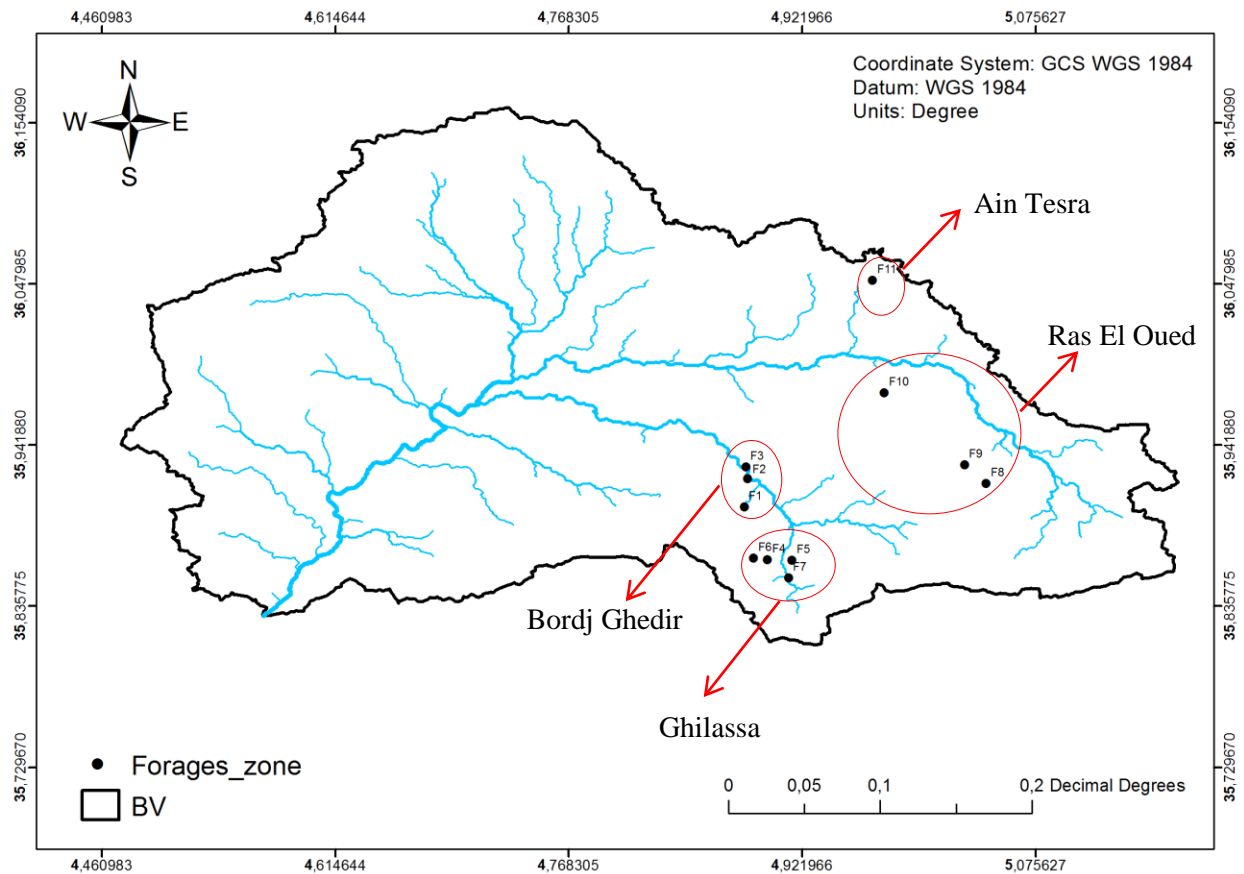
#### II.2.1. Caractéristiques des points d'eau étudiés

Les données utilisées pour notre étude sont les résultats des analyses effectuées sur l'eau de 11 forages par les services de l'Algérienne Des Eaux (ADE) et de la Direction des Ressources en Eau (DRE) de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj durant la campagne Février 2022.

Leurs caractéristiques principales sont les suivantes (Tableau II.1 et Figure II.1).

Tableau II.1 : Inventaire et caractéristiques piézométriques des points d'eau

Nom		Longitude	Latitude	Z	Zp	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	T	pH	Cond	Tur	TAC	TH
		Degré déc	Degré déc	(m)	(m)	mg/L							°C		(µS/cm)	NTU	°F	°F
F. Ouled Makhoulouf	F1	4,884032	35,901312	1113	1053	105,84	29,16	< 0,02	40,9	312,32	26,93	< 0,02	16	7,19	791	0,45	25,6	38,51
Forage Cotta N°1	F2	4,886287	35,919837	1024	894	97,52	27,28	< 0,02	61,34	278,16	25,24	< 0,02	17,9	6,88	741	0,41	22,8	35,57
Forage Cotta N°2	F3	4,885022	35,917532	1030	905	117,60	28,22	< 0,02	47,71	290,36	30,34	< 0,02	15,5	7,77	817	0,50	23,8	41,06
F. Macheta Hamera	F4	4,899361	35,866554	1188	1128	130,93	36,69	< 0,02	40,9	347,7	38,8	< 0,02	18,9	7,55	898	0,42	28,5	47,89
Forage El Haddar	F5	4,915467	35,866194	1162	1052	117,60	37,63	< 0,02	163,58	330,62	16,39	< 0,02	17,3	6,63	805	0,54	29,3	44,95
Forage El Thenia	F6	4,890121	35,917560	1040	940	121,52	30,58	< 0,02	102,24	286,7	37,69	< 0,02	19,2	8	882	0,48	23,5	43,01
F. Ouled Sidi Hcene	F7	4,913222	35,854519	1175	1025	90,16	66,33	< 0,02	81,79	488,9	18,9	< 0,02	20,1	7,48	815	2,50	39,5	49,91
Forage Titast	F8	5,043373	35,916662	1187	1087	76,05	47,04	< 0,02	54,53	287,92	23,1	< 0,02	19,2	7,6	709	0,85	25	38,45
Forage Toumella	F9	5,029141	35,928804	1160	1050	78,40	44,16	< 0,02	104,37	287,92	58,9	< 0,02	14,9	7,04	747	1,49	23,6	38,00
Forage Ayadt	F10	4,976209	35,976489	1040	975	86,24	42,34	< 0,02	102,24	353,8	2,09	< 0,02	15,1	7,47	938	1,66	29,06	39,05
Forage Ain Baresa	F11	4,968349	36,050583	1040	950	101,92	47,07	< 0,02	94,98	97,06	6,68	< 0,02	21,6	7,59	823	0,55	25	44,91



**Figure II.1 :** Carte de positionnement des forages étudiés

### *II.2.2. Les cartes piézométriques*

Les cartes piézométriques constituent la synthèse de l'étude hydrogéologique. Elles schématisent la fonction du réservoir souterrain et le comportement hydrodynamique de l'aquifère, avec la configuration des conditions aux limites.

#### *II.2.2.1. Etude piézométrique*

Afin d'étudier le comportement de la nappe superficielle du Quaternaire de bassin versant K'sob, nous avons établi la carte piézométrique de Février 2022 en se basant sur le traitement des données par le logiciel ArcGis (Figure II.2).

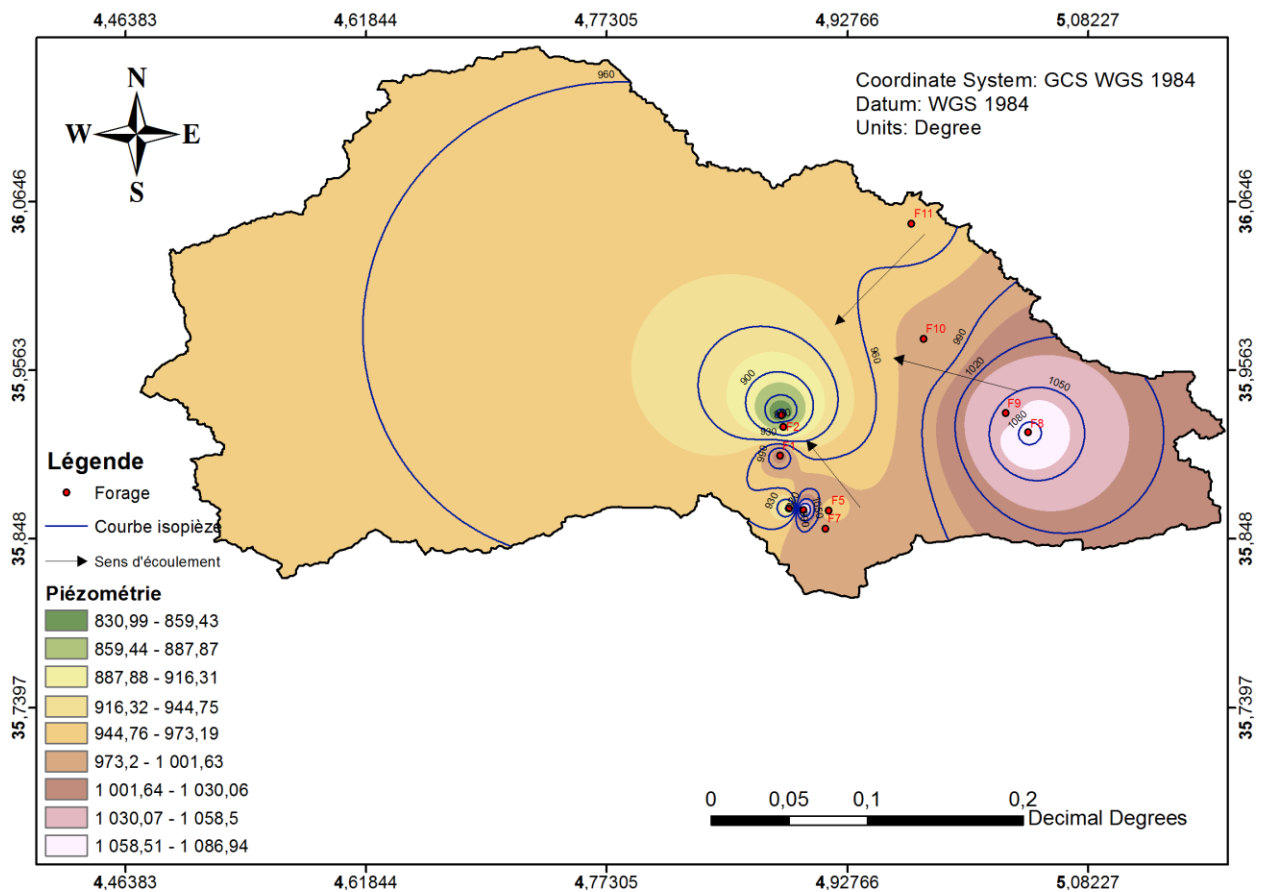


Figure II.2 : La carte piézométrique de la zone d'étude

### II.2.2.2. Interprétation de la carte piézométrique

L'observation de la carte piézométrique (Figure II.2) permet d'analyser le comportement hydrodynamique de la nappe superficielle.

La carte piézométrique pour cette période montre une morphologie de quatre zones :

- Zone Est : Les courbes sont serrées, l'écoulement se fait du l'Est à l'Ouest, du l'Est au Nord-ouest, vers une zone de dépression ;
- Zone Sud : l'écoulement est du Sud au Nord-ouest vers une dépression ;
- Zone Centre : caractérisées par des écoulements convergents à partir de l'Est vers l'Ouest de la zone d'étude suivant l'axe d'écoulement des eaux superficielles ;
- Zone Nord : Les courbes sont moins serrées, l'écoulement est de Nord vers le Sud-Ouest de la zone d'étude suivant l'axe d'écoulement de l'oued de k'sob.

Conformément au sens d'écoulement des eaux superficielles. Le sens d'écoulement caractérise la circulation principale du bassin hydrogéologique du remplissage alluvial, de l'amont vers l'aval.

### II.3. Qualité des données

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différents forages, il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques). En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$BI = \frac{|\sum[Cations] - \sum[Anions]|}{\sum[Cations] + \sum[Anions]} \times 100$$

Cette relation permet de définir trois classes :

- **BI < 2%** : Bonnes analyses ;
- **2 < BI < 5** : Analyses acceptables ;
- **5 < BI** : Mauvaises analyses (douteuses).

Le calcul de cet indice (Tableau III.1) nous a donné les résultats suivants :

- **27.27 %** des analyses sont acceptables (2<BI<5)
- **72.73 %** des analyses sont douteuses (BI>5).

**Tableau II.2** : Résultats du calcul de la balance ionique des eaux souterraines de la zone d'étude

Nom de point d'eau	Somme des cations (meq/L)	Somme des anions (meq/L)	Balance ionique (%)	Fiabilité des analyses
F1	7,72	6,72	6,92	Mauvaise
F2	7,15	6,72	3,10	Acceptable
F3	8,23	6,61	10,91	Mauvaise
F4	9,60	7,49	12,34	Mauvaise
F5	9,02	10,36	6,93	Mauvaise
F6	8,62	8,23	2,35	Acceptable
F7	10,04	10,66	3,00	Acceptable
F8	7,72	6,65	7,46	Mauvaise
F9	7,60	8,65	6,47	Mauvaise
F10	7,84	8,75	5,51	Mauvaise
F11	9,02	4,41	34,29	Mauvaise

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

## II.4. Les principaux paramètres physico-chimiques

Les concentrations des éléments chimiques qu'on peut rencontrer dans les eaux souterraines, ainsi que leurs origines sont reportées dans le Tableau (II.3) En effet, on peut relier entre ces éléments et la géologie ou une origine anthropique.

**Tableau II.3:** les éléments et leurs Origine (Mansouri, 2011).

Elément	Concentrations habituellement rencontrées hors pollution	Sources potentielles
Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )	Centaines de mg/L	Le calcium $\text{Ca}^{2+}$ et le magnésium $\text{Mg}^{2+}$ sont présents dans les roches cristallines et les roches sédimentaires. Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux.
Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )	Dizaines de mg/L	
Sodium ( $\text{Na}^+$ )	Dizaines de mg/L	Le cation sodium ( $\text{Na}^+$ ) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). La roche Halite (évaporite $\text{NaCl}$ ) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau
Potassium ( $\text{K}^+$ )	Inférieur à 10 mg/L (hormis pour les eaux ayant traversé des formations évaporitiques)	Le potassium ( $\text{K}^+$ ) 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.
Bicarbonates ( $\text{HCO}_3$ )	Centaines de mg/L	Roches carbonatées (calcaires, dolomies)
Chlorures (Cl)	Quelques mg/L (la dissolution d'halite ou la présence d'un biseau salé peut engendrer des valeurs de quelques centaines de mg/L)	Origine atmosphérique : dans les aquifères libres, la concentration en chlorures est directement liée à la teneur en chlorure des précipitations. Dépend finalement plus de la distance à la mer que de la lithologie
Sulfates ( $\text{SO}_4$ )	Quelques mg/L à quelques dizaines de mg/L (quelques centaines de mg/L dans le cas de lessivage de roches évaporitiques)	Origine atmosphérique (eau de pluie), la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et la pyrite, pollution agricole (engrais)
Nitrates ( $\text{NO}_3$ )	Inférieure à 5 mg/L pour l'origine naturelle	Sources naturelles : précipitations, interactions sol/végétation Sources anthropiques dès lors que les concentrations excèdent 10 mg/L : lessivage d'engrais, rejets domestiques ou industriels

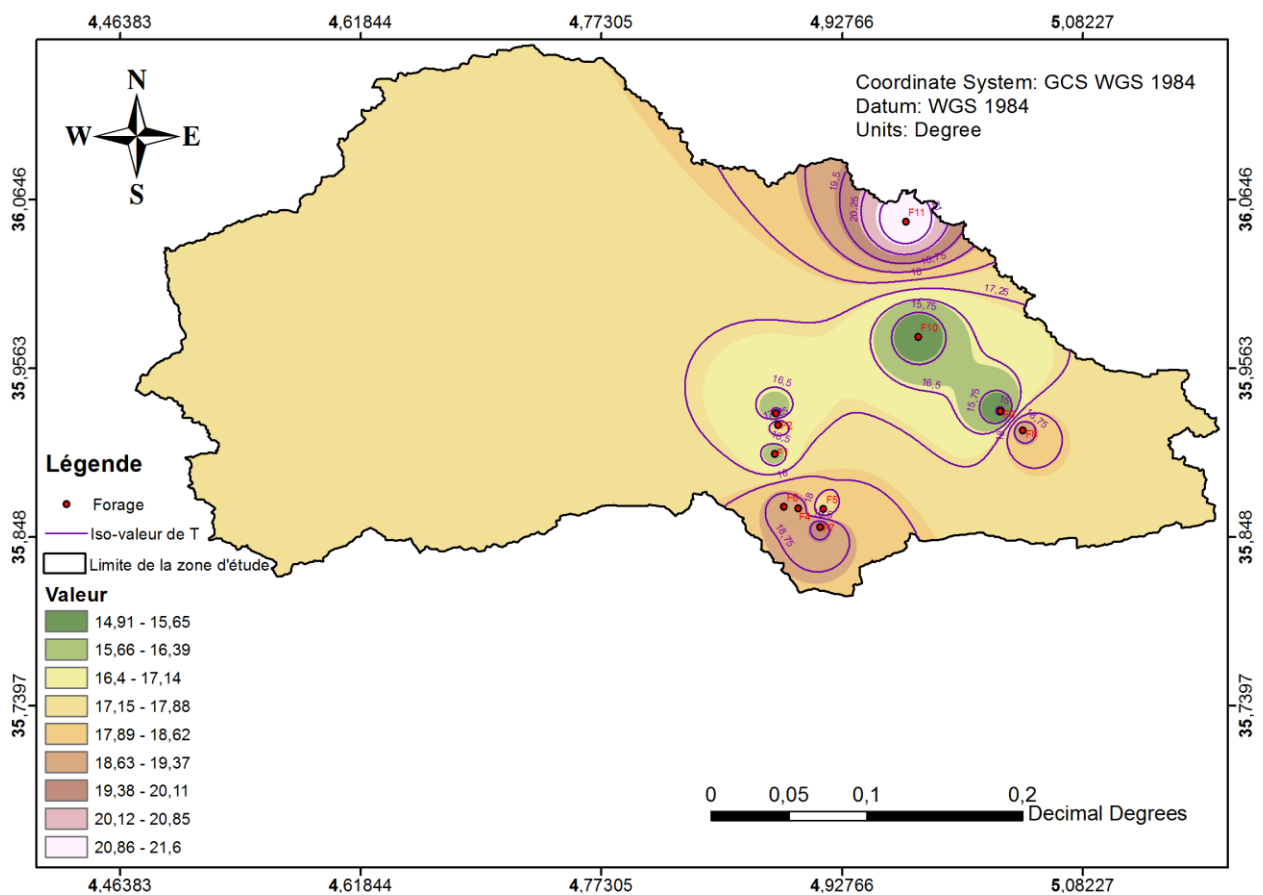
Dans le but de voir cette évolution et répartition des éléments chimiques dans notre zone d'études on a essayé d'établir une carte pour chaque élément chimique.

### II.4.1. Etude des paramètres physiques

#### II.4.1.1. La température de l'eau

La température de l'eau est un paramètre d'une grande utilité pour les études hydrogéologiques. Elle est indispensable pour la détermination des équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence. La concentration de certains éléments dissous ou les rapports des concentrations d'éléments entre eux, sont l'image de conditions d'équilibre qui sont, elles même, fonction de la température atteinte par l'eau souterraine. On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère (Les eaux souterraines sont influencées par les propriétés thermiques de la roche), ainsi que son origine (**Chabour, 2006**).

Les températures enregistrées au niveau des eaux souterraines de la zone d'étude sont relativement moyennes (entre 14.9 et 21.6°C). La valeur la plus élevée a été enregistrée au Nord-Est au niveau du forage (F11 : 21.6°C).



**Figure II.3 :** Variabilité spatiale de la température des eaux souterraines dans la zone d'étude (2022)



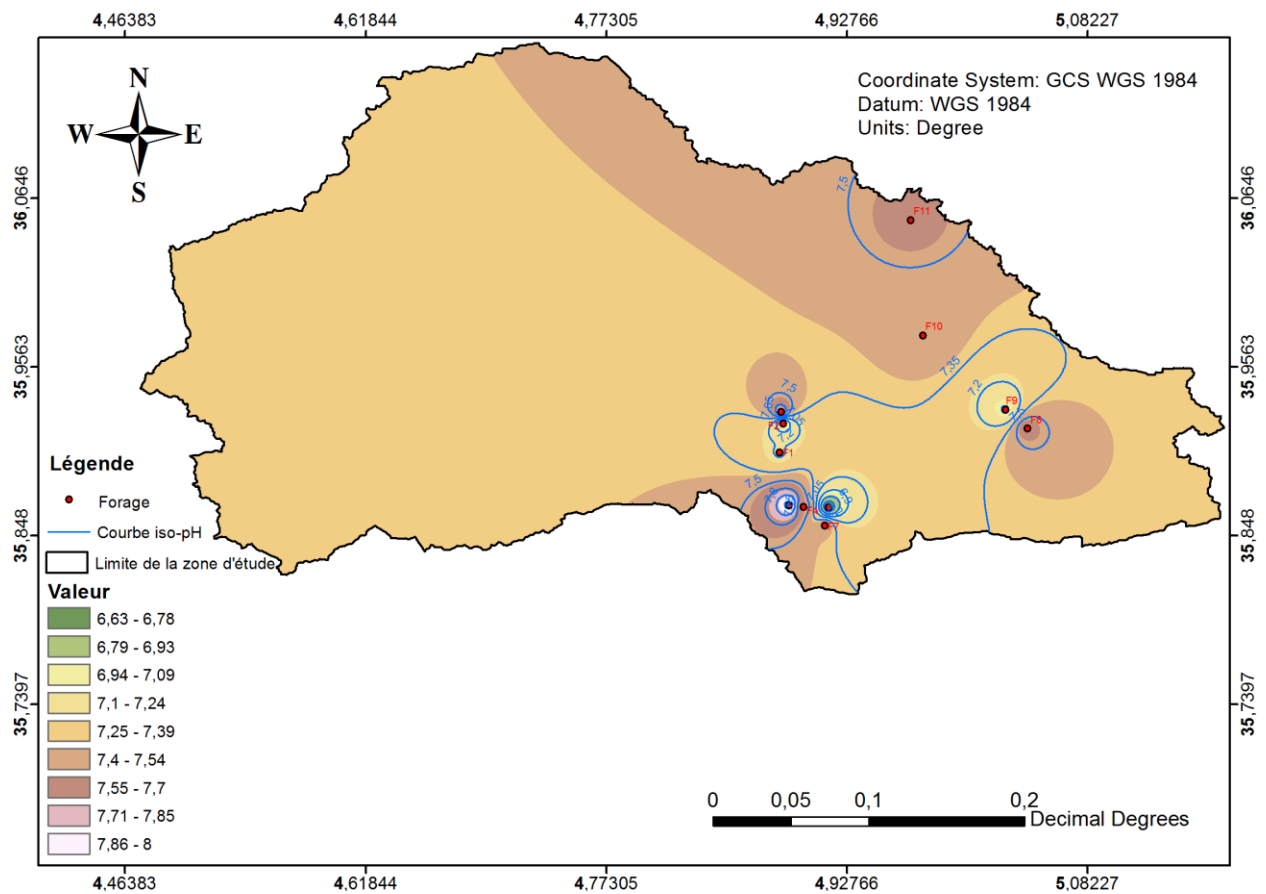
### III.4.1.2. Le pH de l'eau

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 ; c'est également un élément important qui renseigne sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau. Le pH des eaux naturelles est généralement varié de 7,2 à 7,6 (**Rodier et al., 2009**). La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes du pH (**Nouayti et al., 2015**).

Le pH de l'eau souterraine s'inscrit dans l'intervalle de 6.63 à 8, avec une valeur moyenne de  $7,4 \pm 0,4$ . Ces valeurs sont caractéristiques d'un aquifère peu profond dans les zones arides (**Benabderrahmane, 1988**). Il est connu que les processus de calcite et de dolomite tampon sont dominants pour la plage de pH de 6,5 à 7,5 (**Geller et al. 2000**).

En outre, les formations lithologiques contiennent des calcaires, un environnement où plusieurs réactions redox peuvent se produire, induisant la dissolution des carbonates. En général, l'eau souterraine est légèrement alcaline, mais la qualité se trouve dans la limite de la norme algérienne de l'eau potable.

L'augmentation générale du pH dans un terrain sédimentaire est liée à l'altération du feldspath plagioclase dans les sédiments. Ceci est aidé par le dioxyde de carbone atmosphérique dissous, ce qui entraîne la libération du sodium et du calcium, ce qui augmente progressivement le pH et l'alcalinité de l'eau souterraine.

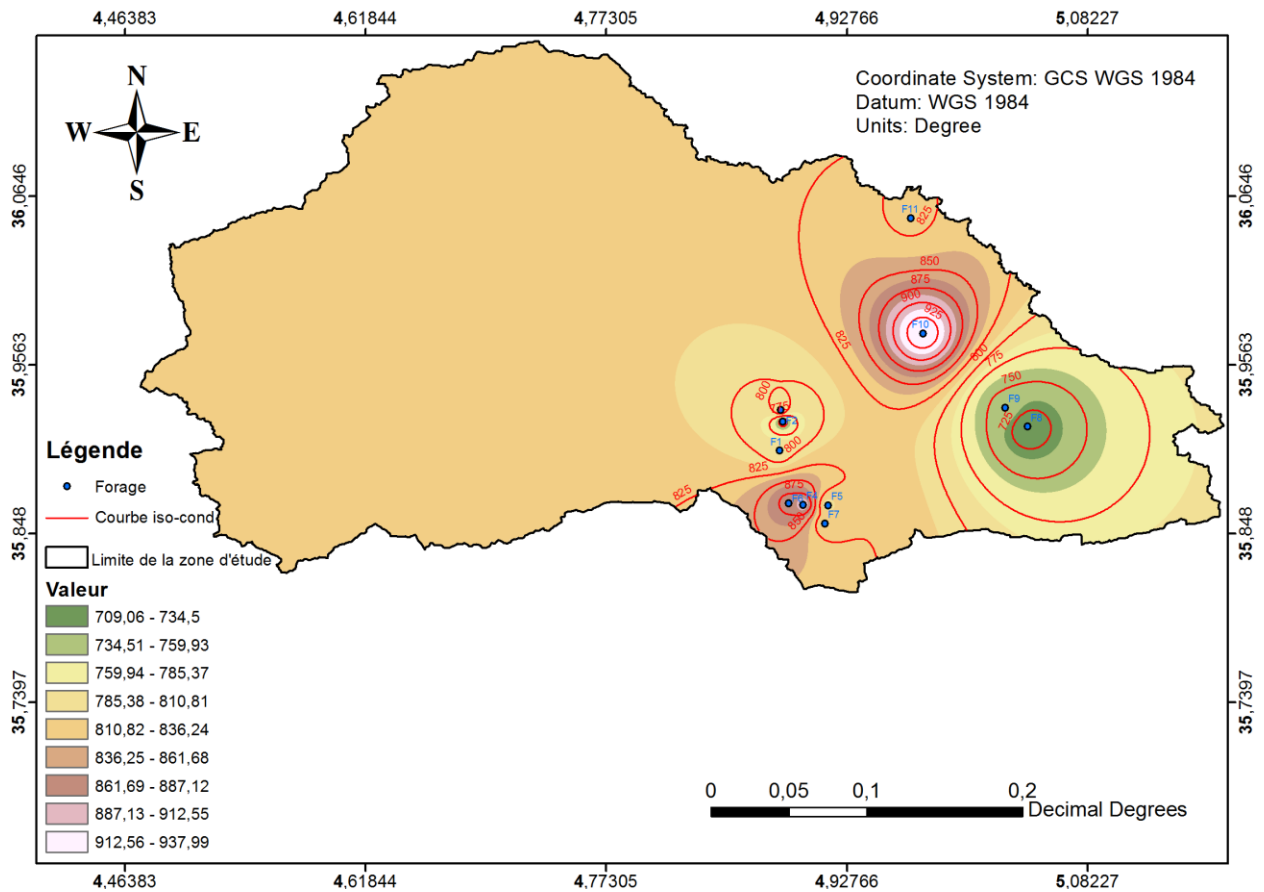


**Figure II.4 :** Variabilité spatiale du pH des eaux souterraines dans la zone d'étude (2022)

#### II.4.1.3. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau caractérise sa faculté de laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et de la température. Elle correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface, et séparé l'une de l'autre de 1 cm, exprimés en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Généralement les valeurs sont ramenées à 25° C (Rodier, 2009). La conductivité ou son inverse la résistivité permet donc une estimation de la minéralisation des eaux.

Les conductivités enregistrées au niveau des eaux souterraines sont relativement moyennes (entre 709  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 938  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). La valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau du forage (F10 : 938  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), mais elle est dans la norme de potabilité ( $\leq 2800 \mu\text{S}/\text{cm}$ ).



**Figure II.5 :** Variabilité spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines dans la zone d'étude

#### II.4.1.4. La dureté de l'eau

Le TH est l'indicateur de minéralisation de l'eau. Cela représente la somme des ions calcium magnésium contenus dans l'eau. C'est l'un des indicateurs principaux de la qualité de l'eau. Il indique sa dureté.

Les dureté enregistrées au niveau des eaux souterraines de la zone d'étude sont relativement moyennes (entre 35,57 et 49,91 °F). La valeur la plus élevée a été enregistrée au Nord-Est au niveau du forage (F7 : 49,91 °F), mais elle est dans la norme de potabilité ( $\leq 50$  °F).

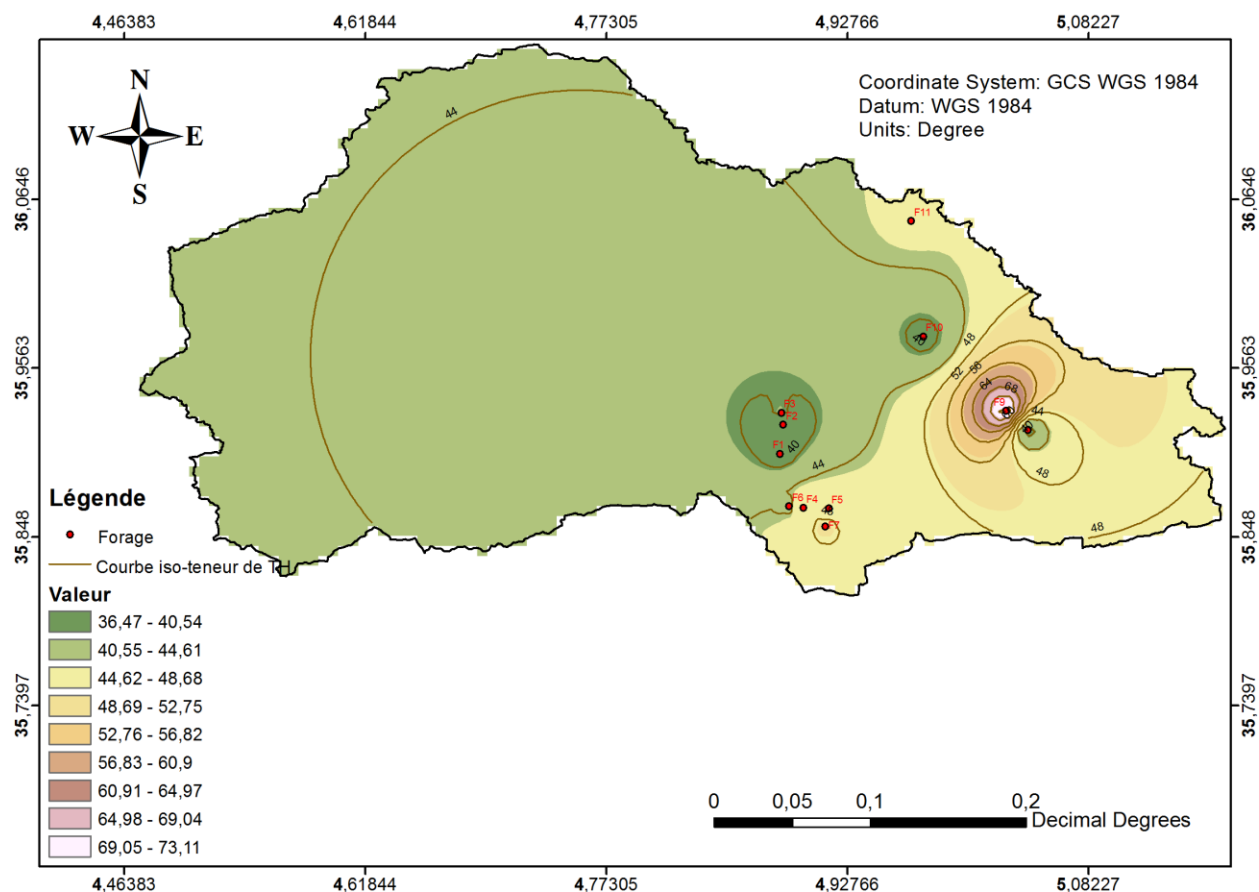


Figure II.6 : Variabilité spatiale de la dureté des eaux souterraines dans la zone d'étude

Tableau II.4 : Statistiques élémentaires des paramètres physiques

	T (°C)	pH	CE (µS / cm)	TH (°F)
Min	14,9	6,63	709	35,57
Moy	17,8	7,4	815,1	41,94
Max	21,6	8	938	49,91
σ	2,2	0,40	69,7	4,55
Cv	0,12	0,05	0,085	0,11

Min: valeur minimale; Moy: valeur moyenne; Max: valeur maximale; σ: écart type; Cv: Coefficient de variation

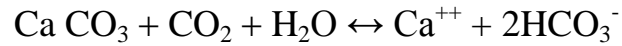
### II.4.2. Etude analytique et cartographie des éléments chimiques majeurs

L'établissement des cartes des principaux éléments chimiques nous permet d'apprécier la répartition des concentrations et d'expliquer leur origine. Pour cela nous avons dressé des cartes d'iso-teneurs en  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$  et  $NO_3^-$ .

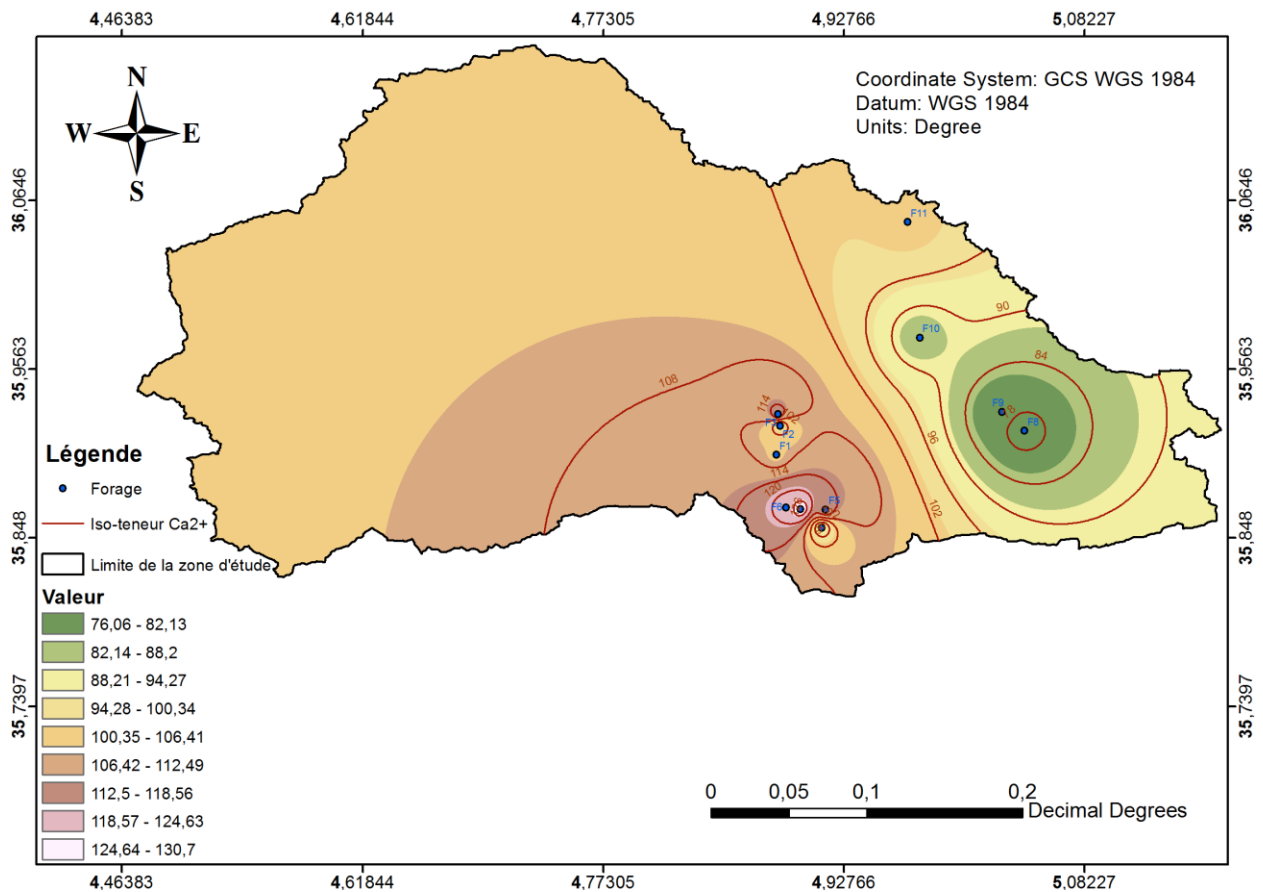
#### II.4.2.1. les cations

### a) Le calcium $\text{Ca}^{2+}$

Cet élément est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



L'examen de la carte de répartition du calcium au niveau de la zone d'étude montre que les fortes concentrations se situent dans la zone de Bordj ghedir et Ghilassa (F1 – F7 : > 105 mg/l), tandis que la zone de Ras El Oued (F8 - F10) est caractérisée par des teneurs inférieures à 90 mg/l.



**Figure II.7 :** Carte iso-teneurs du  $\text{Ca}^{2+}$

### b) Le magnésium $\text{Mg}^{2+}$

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens.

Dans les points d'eau analysés, les teneurs en magnésium varient de 27.28 mg/l (F2) à 66.33 mg/l (F7), avec une valeur moyenne de  $39.68 \pm 11.57$  mg/l (Tableau II.5).

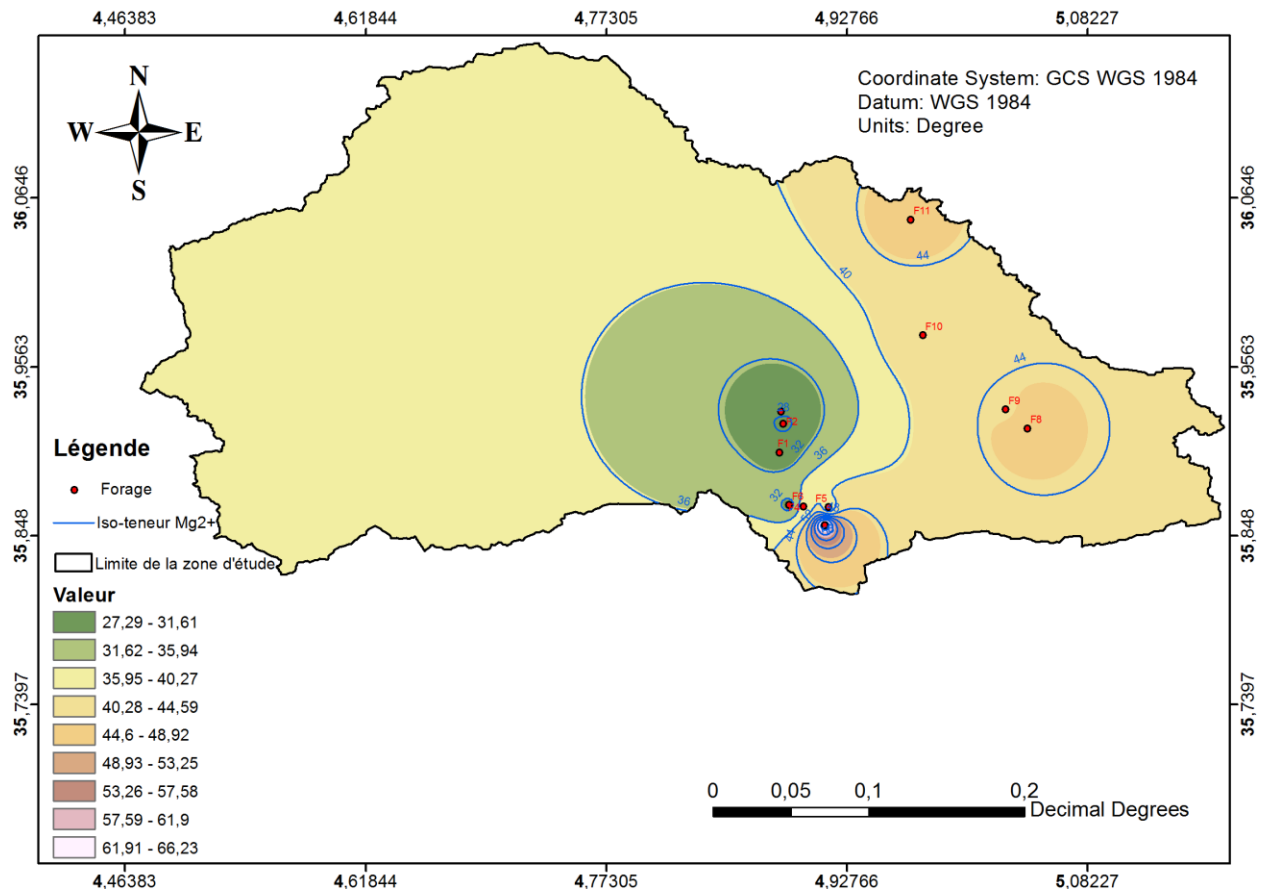
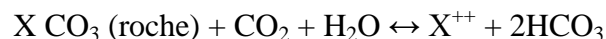


Figure II.8 : Carte iso-teneurs du Mg<sup>2+</sup>

#### II.4.2.2. les anions

##### a) Les bicarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique selon l'équation générale suivante :



Où : l'élément (X) peut être le (Ca<sup>++</sup>), ou le (Mg<sup>++</sup>) (**Beaudry et Henry, 1984**).

Les teneurs en bicarbonates dans la zone d'étude varient de 97.06 mg/l à 488.9 mg/l, avec une valeur moyenne de 305,59 ± 91.55 mg/l (Tableau II.5).

D'après la figure II.10, les fortes teneurs se localisent dans la partie Sud (Le calcaire marneux affleure largement au Sud du bassin notamment sur le Djebel Maâdid) Cela renseigne sur la dissolution des formations carbonatées, représentées par l'Aptien calcaire, alors que les faibles teneurs se trouvent à l'opposé, dans la zone Nord (Ain Tesra).

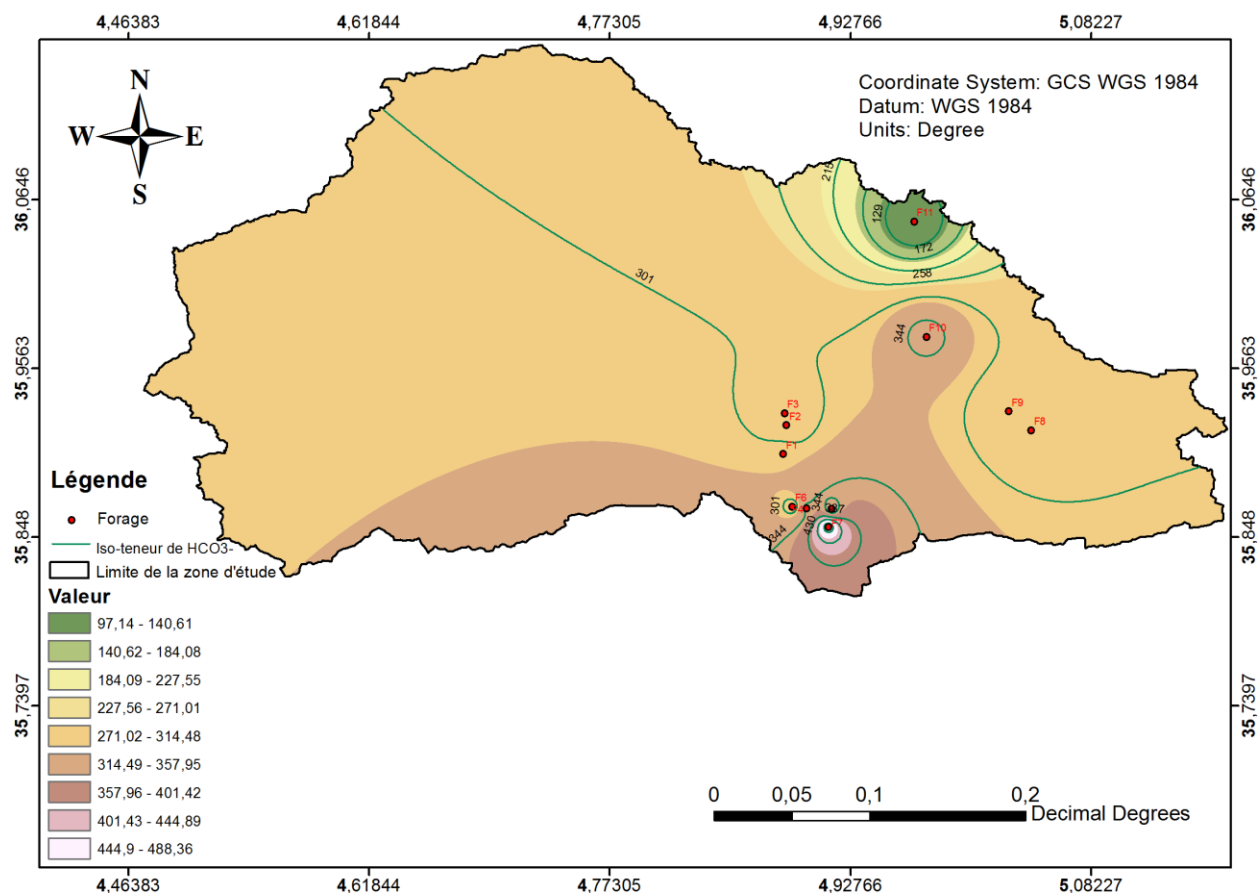


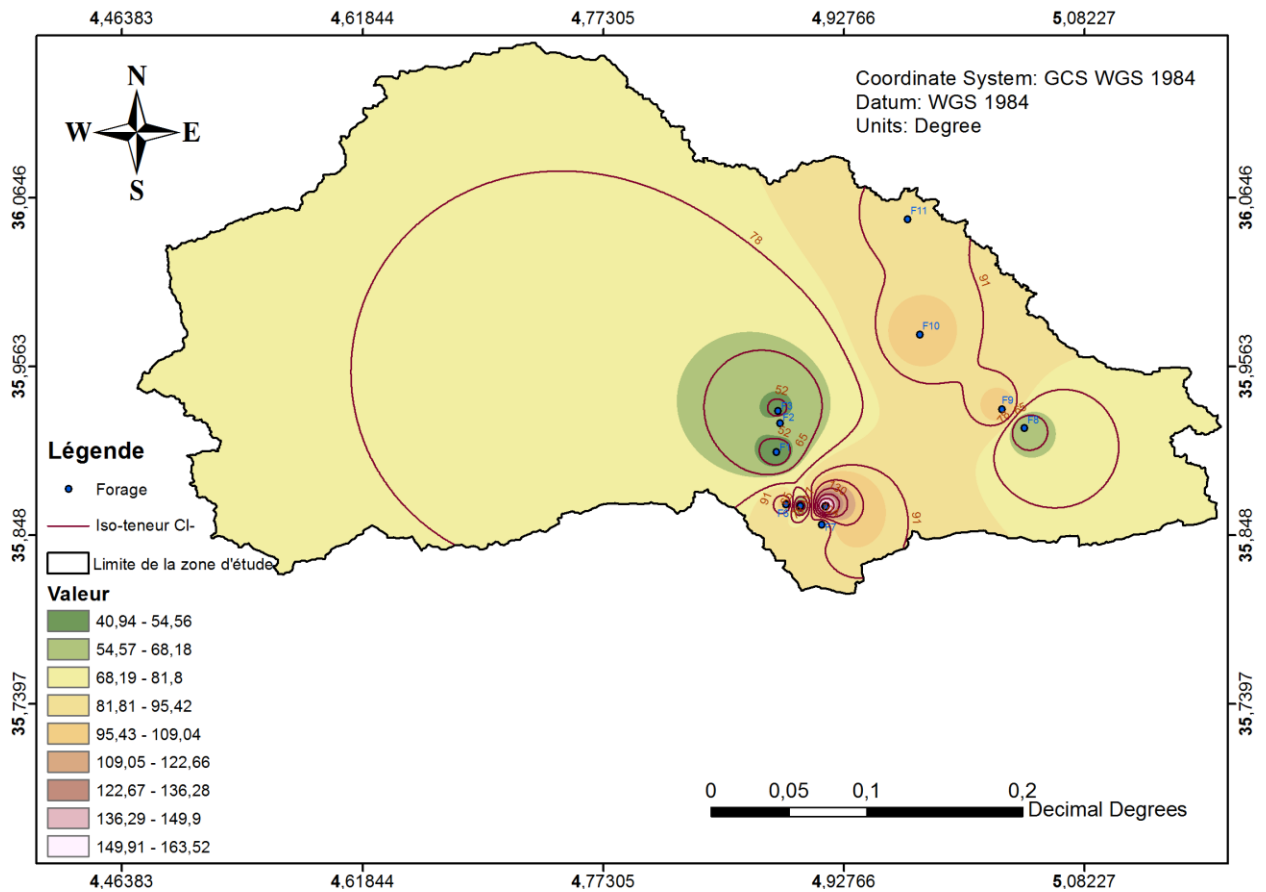
Figure II.9 : Carte iso-teneurs du  $\text{HCO}_3^-$

### b) Les chlorures $\text{Cl}^-$

Les chlorures peuvent avoir une origine multiple. Ainsi, ils peuvent provenir d'une intrusion d'eau marine, ou suite à une contamination par les eaux usées. Ils peuvent provenir également de la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo sableuses ou argileuses (**Beaudry et Henry, 1984**). Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de corrosion des canalisations et des réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de l'O.M.S).

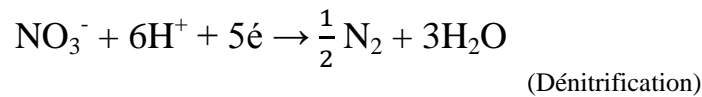
La teneur moyenne en chlorures est de  $81.33 \pm 37.25$  mg/l (minimum = 40.9 mg/ l, maximum = 163.58 mg/ l) (Tableau II.5).

La carte de la variabilité spatiale des teneurs en chlorures montre que les faibles teneurs (< 65 mg/l) se trouvent au centre de la plaine (Bordj ghedir), alors que les fortes teneurs sont localisées au Sud (Ghilassa).

Figure II.10 : Carte iso-teneurs du Cl<sup>-</sup>

### c) Les nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites) sont susceptibles d'être à l'origine des formations des nitrites par un processus d'oxydation biologique des nitrates, soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action bactérienne (phénomène de dénitrification). Ces formations azotées peuvent également être d'origine agricole (**Beaudry et Henry, 1984**).



Les nitrates varient de 2.09 à 58.9 mg/l, avec une valeur moyenne de 25.91 ± 0.61 mg/l (Tableau II.5). La valeur la plus élevée a été enregistrée à l'Est au niveau du forage (F9 : 58.9 mg/l), il est à signaler que cette valeur dépasse la norme de potabilité (≤ 50 mg/l).



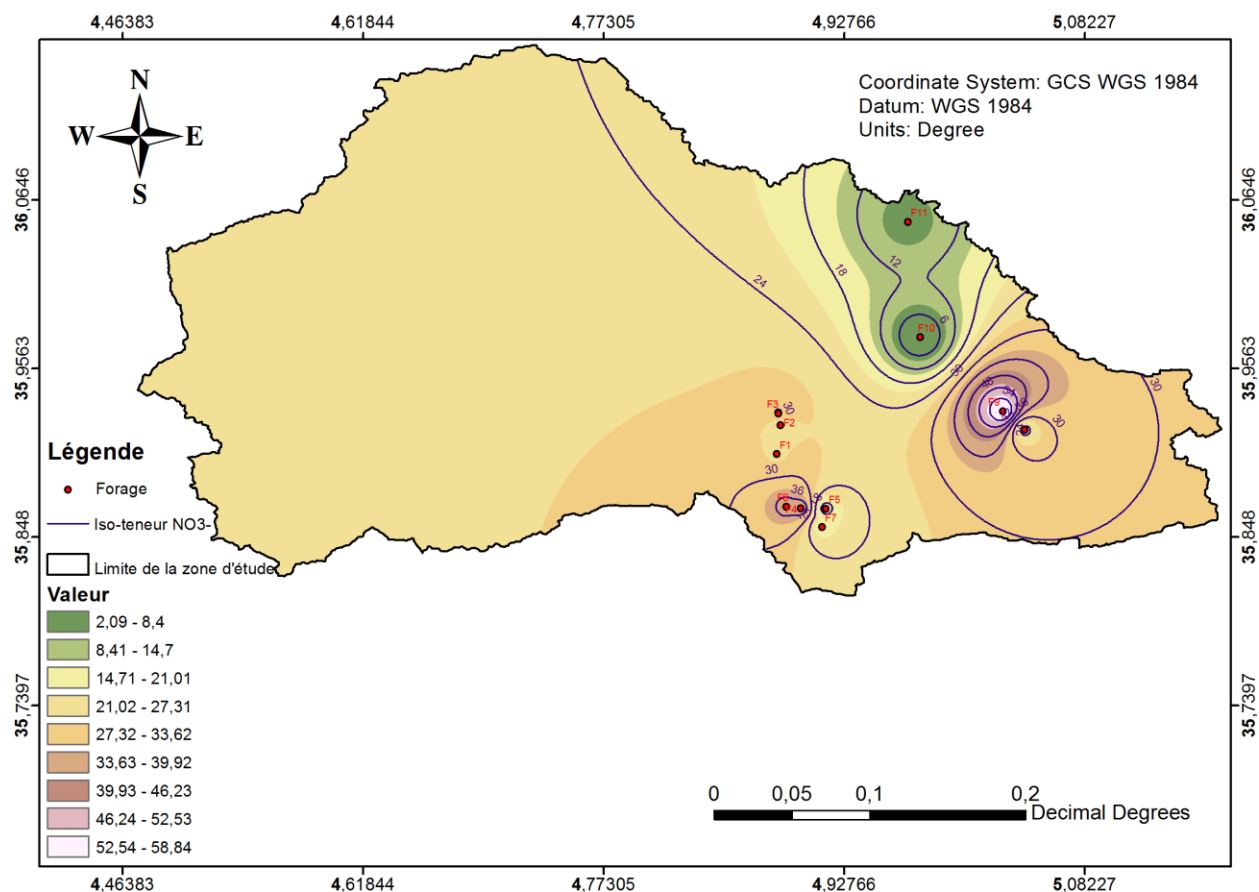


Figure II.11 : Carte iso-teneurs du NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Tableau II.5 : Statistiques élémentaires des éléments chimiques majeurs

	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
Min	76.05	27.28	97.06	40.9	2.09
Moy	102.16	39.68	305.59	81.33	25.91
Max	130.93	66.33	488.9	163.58	58.90
σ	18.33	11.57	91.55	37.25	15.81
Cv	0.18	0.29	0.3	0.46	0.61

Min: valeur minimale; Moy: valeur moyenne; Max: valeur maximale; σ: écart type; Cv: Coefficient de variation

### II.5. Faciès chimique des eaux

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

De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées parmi lesquelles on peut citer :

- Le diagramme de Piper,
- Le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff,
- Le diagramme de Riverside / Wilcox
- Le diagramme de Stiff,
- Le diagramme à coordonnées rayonnantes...

Dans notre étude, trois représentations graphiques ont été retenues et utilisées : le diagramme de de Piper, le diagramme de Schöeller-Berkaloff, et le diagramme Riverside/Wilcox. La réalisation de ces diagrammes a été faite à l'aide du logiciel "Diagrammes"

### *II.5.1. Diagramme de Piper*

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée.

La projection des résultats des analyses des eaux prélevées pendant la campagne de 2012 sur le diagramme de Piper (Figure II.13) montre que le chimisme des eaux analysées des aquifères de notre zone d'étude (F1 – F10) est caractérisée par un faciès chimique **Bi/Carbonatée calcique**, à l'exception du forage (F11) située à Ain Tesra représente un faciès chimique **Hyper chlorurée calcique Hyper sulfatée calcique**.

Le rôle de la géologie est primordial dans l'interprétation des résultats hydrochimiques, car l'eau est constamment en contact avec les formations géologiques. Ceci est à mettre en liaison avec les formations dures (calcaire et dolomie) situé dans la partie sud du bassin (y compris notre zone d'étude.).

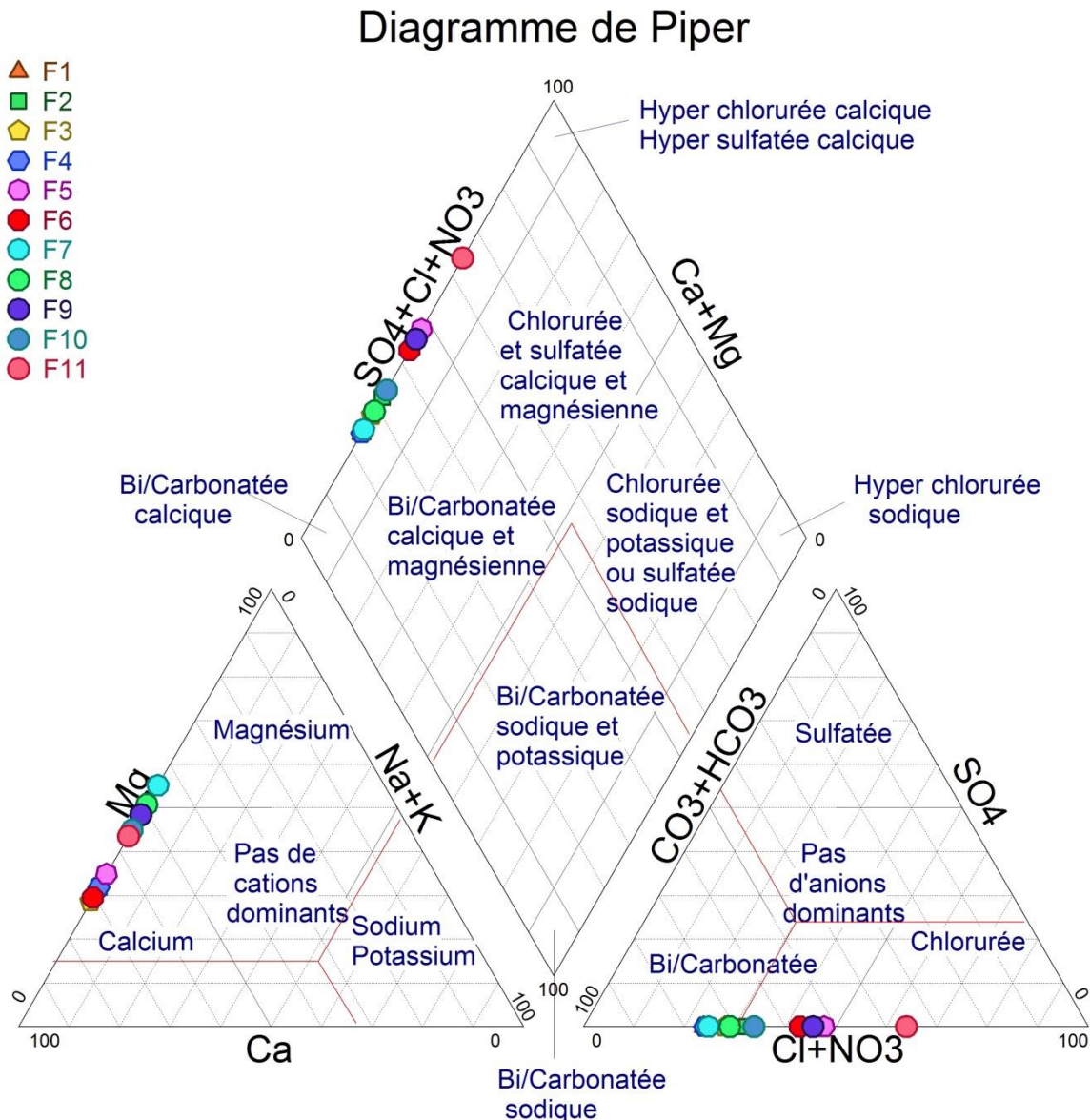


Figure II.12 : Diagramme de Piper

### II.5.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées. Cette représentation permet aussi la détermination du faciès d'une eau. En effet, le diagramme de Schöeller-Berkaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments majeurs de ces eaux, de comparer des éléments en traces et d'établir les faibles variations entre les éléments chimiques.

Les deux représentations Piper et Schöeller-Berkaloff ont été utilisées car elles sont complémentaires.

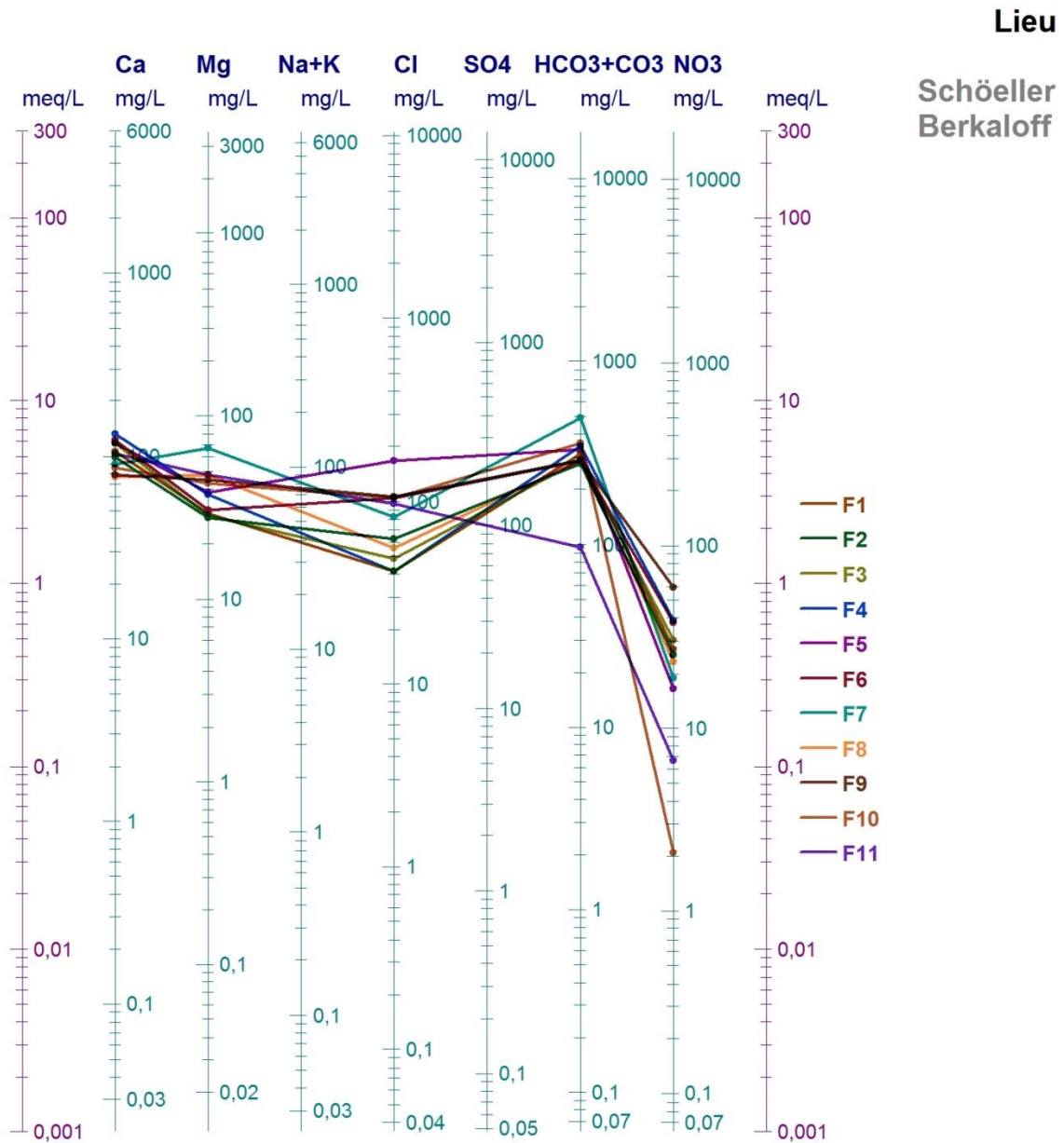


Figure II.13 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff

### II.6. Qualités des eaux

Lors de l'utilisation de l'eau hors de son milieu, sa qualité est souvent mentionnée, elle est fonction du type d'usage. Ainsi, les exigences relatives à la qualité sont différentes d'une utilisation à l'autre. Dans ce travail, seule la qualité d'eau destinée à la consommation humaine et aux activités agricoles sont soulevées.

Dans cette optique, nous allons profiter des données analytiques disponibles pour évaluer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et aux activités agricoles. En effet, la quasi-totalité des eaux mobilisables dans la région sont utilisées pour ces deux activités.

### II.6.1. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine

L'appréciation de la qualité des eaux de la zone étudiée se fait à partir des normes de qualité basées sur les paramètres physico-chimiques, chimiques, bactériologiques et organoleptiques. A chaque paramètre est affecté une valeur guide ou idéale et une valeur maximale admissible (CMA). On parle de non-conformité à la norme lorsque cette dernière est dépassée.

La qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais également par son usage. Ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture. La mauvaise qualité des eaux peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels.

La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation.

Dans ce travail, la potabilité de point de vue physico-chimique a été prise comme critère de potabilité tout en se référant aux normes algériennes. Le tableau ci-après montre que tous les forages sont de bonne qualité.

**Tableau II.6 :** Norme de potabilité de l'eau de point de vue physico-chimique (Normes Algériennes de potabilisation, 2000) et les résultats de la potabilité des eaux souterraines de la zone d'étude

	Paramètres physico-chimiques						Substance indésirable	Paramètre organoleptique	Remarque
	pH	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Turb (NTU)	
<b>Norme</b>	<b>6.5 - 8.5</b>	<b>2800 (µS/cm)</b>	<b>50 (°F)</b>	<b>200 (mg/L)</b>	<b>150 (mg/L)</b>	<b>200 (mg/L)</b>	<b>50 (mg/L)</b>	<b>5 (NTU)</b>	<b>Potable</b>
F1	7,19	791	38,51	105,84	29,16	40,9	26,93	0,45	<b>Potable</b>
F2	6,88	741	35,57	97,52	27,28	61,34	25,24	0,41	
F3	7,77	817	41,06	117,60	28,22	47,71	30,34	0,50	
F4	7,55	898	47,89	130,93	36,69	40,9	38,8	0,42	
F5	6,63	805	44,95	117,60	37,63	163,58	16,39	0,54	
F6	8	882	43,01	121,52	30,58	102,24	37,69	0,48	
F7	7,48	815	49,91	90,16	66,33	81,79	18,9	2,50	
F8	7,6	709	38,45	76,05	47,04	54,53	23,1	0,85	
F9	7,04	747	38,00	78,40	44,16	104,37	58,9	1,49	
F10	7,47	938	39,05	86,24	42,34	102,24	2,09	1,66	
F11	7,59	823	44,91	101,92	47,07	94,98	6,68	0,55	

### II.6.2. Qualité des eaux destinées aux activités agricoles

Notre zone d'étude caractérisée par un climat semi-aride, où la salinisation et l'alcalinisation des eaux sont les principaux risques qui peuvent encourir les eaux destinées à l'irrigation. Dans le but d'évaluer ces deux risques, les résultats des analyses physicochimiques ont été projetées sur le digramme Riversids (U.S salinity Laboratory staff, 1954 *In* Hem, 1985). Sur cette représentation graphique, le risque de salinité est estimé par la conductivité exprimé en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Alors que le risque d'alcalinisation des sols est quantifié par le S.A.R (sodium Adsorption Ratio). Ce dernier coefficient est calculé ainsi :

$$\text{SAR} = \frac{\text{NA}}{\sqrt{\frac{\text{Ca}+\text{Mg}}{2}}}$$

Tous les ions sont exprimés en **méq/l**.

Dans la plupart des cas et pour la prédiction de l'effet des eaux d'irrigation en considérant les deux critères en même temps (salinisation et sodium), la classification de Riverside de l'USSL (1954) est la plus utilisée. Le diagramme de Riverside repose sur le croisement des deux critères : Le premier est la conductivité électrique (CE) en abscisse, les eaux sont classées de C1 à C4 selon le risque croissant de salinisation. Ce critère vise à quantifier la charge en sels de la solution et par voie de conséquence le risque de salinisation (accumulation de sel dans les sols).

Le second est le SAR. (Sodium Adsorption Ratio) de l'eau en ordonnées, les eaux sont classées de S1 à S4 selon le risque croissant d'alcalinisation.

La figure II.15 présente la répartition des forages dans le diagramme de Richards (Riverside). Selon ce diagramme, la majorité des eaux des forages de notre zone d'étude appartient à la classe C3S1 de qualité moyenne à médiocre. Avec la présence des forages appartient à la classe C2S1 de qualité moyenne à bonne (tableau II.7).

**Tableau II.7 :** Classification des eaux d'irrigation selon Richards

Classes	Qualité	Appréciation
C1-S1	Bonne	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
C1-S2, C2-S1	Moyenne à bonne	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles.
C2-S2, C1-S3, C3-S1	moyenne à médiocre	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1	médiocre à mauvaise	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.

C2-S4, C4-S2, C3-S3	mauvaise	Eau de qualité mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.
C3-S4, C4-S3	très mauvaise	Qualité très mauvaise à n'utiliser que pour les circonstances exceptionnelles.
C4-S4	Inutilisable	Déconseillée pour l'irrigation.

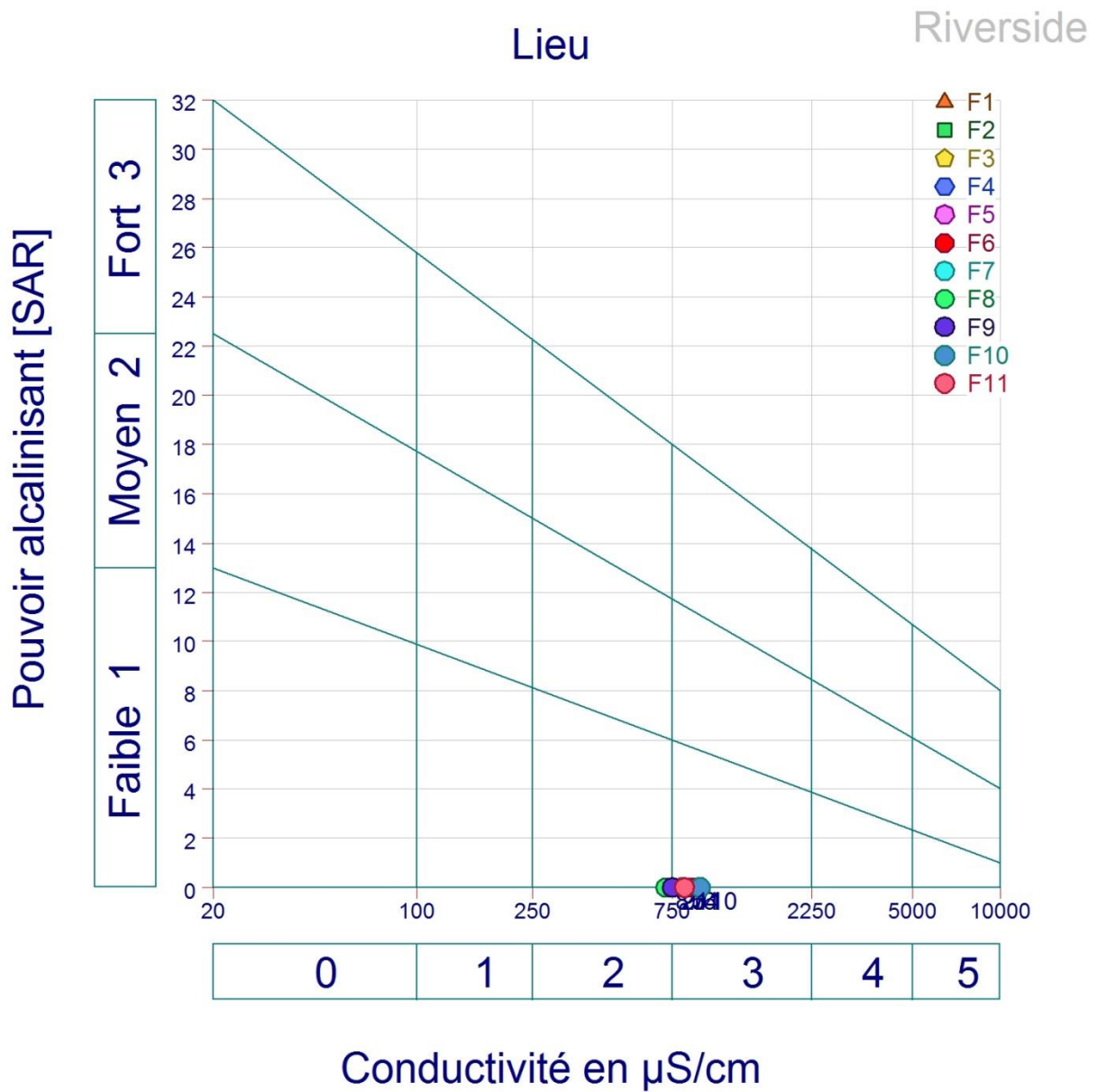


Figure II.14 : Présentation de l'aptitude des eaux de la zone d'étude à l'irrigation d'après le diagramme de Richard

## II.7. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Cette analyse multidimensionnelle des données est une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques (dans notre cas, les résultats des analyses chimiques).

Les résultats de l'analyse physico-chimique ont été traités en utilisant l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Cette analyse fut introduite par **(Pearson, 1901)** et développée par **(Hotelling, 1933)**. Elle a pour objectif de résumer de grands ensembles de données quantitatives. Ces données sont rangées dans un tableau comportant un grand nombre d'individus et/ou un grand nombre de variables et la simple lecture de ce tableau ne permet pas de saisir l'essentiel des informations qu'il contient. Cette analyse permet de synthétiser les données en construisant un petit nombre de variables nouvelles, les composantes principales. L'essentiel du tableau de données peut alors être saisi rapidement, à l'aide des représentations graphiques établies à partir de ces composantes principales. L'ACP contient ici 11 descripteurs (Forages) et 11 variables qui sont :  $\text{Ca}^{++}$  (mg/L),  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , T (°C), pH, Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Turbidité (NTU), TAC (°F), TH (°F). Elle a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT.

**Tableau II.8:** statistiques descriptives des variables physicochimiques des eaux souterraines de la zone d'étude

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
$\text{Ca}^{++}$	11	3,8025	6,5465	5,1081	0,9163
$\text{Mg}^{++}$	11	2,2733	5,5275	3,3068	0,9639
$\text{Cl}^-$	11	1,1686	4,6737	2,3236	1,0642
$\text{HCO}_3^-$	11	1,5911	8,0148	5,0096	1,5009
$\text{NO}_3^-$	11	0,0337	0,9500	0,4180	0,2550
T (°C)	11	14,9000	21,6000	17,7909	2,2215
pH	11	6,6300	8,0000	7,3818	0,4050
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	11	709,0000	938,0000	815,0909	69,7043
Turb (NTU)	11	0,4100	2,5000	0,8955	0,6892
TAC (°F)	11	22,8000	39,5000	26,8782	4,7908
TH (°F)	11	35,5700	49,9100	41,9373	4,5511

La corrélation entre deux éléments est très bonne si elle est proche de 1. Le Tableau II.9 donne les différentes corrélations qui existent entre les éléments chimiques analysés dans les eaux



Tableau II.9 : Matrice de corrélation des paramètres physicochimiques des eaux souterraines

Variables	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	Turb (NTU)	TAC (°F)	TH (°F)
Ca <sup>++</sup>	1										
Mg <sup>++</sup>	-0,5258	1									
Cl <sup>-</sup>	-0,0371	0,2078	1								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,0529	0,3496	-0,0275	1							
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0983	-0,2431	-0,1975	0,0748	1						
T (°C)	0,1357	0,4225	-0,0194	-0,2197	-0,2880	1					
pH	0,1699	0,0783	-0,3975	-0,0966	-0,0033	0,3228	1				
CE (µS/cm)	0,4885	-0,0482	0,1371	0,1748	-0,2760	-0,0204	0,4181	1			
Turb (NTU)	-0,6096	0,8247	0,1918	0,6159	-0,1156	-0,0482	0,0164	0,0786	1		
TAC (°F)	-0,0837	0,7579	0,1683	0,7397	-0,3451	0,2602	-0,0406	0,2652	0,7343	1	
TH (°F)	0,4510	0,5220	0,1838	0,3130	-0,1484	0,5743	0,2519	0,4393	0,2549	0,7090	1

**Corrélation  
significative**

**Corrélation non  
significative**

- A l'analyse de ce tableau, on constate qu'il existe une corrélation significative entre la turbidité et le magnésium (0,824), la turbidité et les bicarbonates (0,615). Cette corrélation indique que l'essentiel de la turbidité des eaux provient de ces deux sels minéraux.
- Une corrélation significative entre le titre alcalimétrique complet (TAC) et les bicarbonates (0,739). Cette corrélation indique que l'essentiel de l'alcalinité des eaux provient des bicarbonates.

### II.7.1. Etude des valeurs propres

Les valeurs propres nous renseignent sur la fraction de l'inertie totale prise en compte par chaque axe, ces valeurs nous ont permis d'estimer le nombre d'axes qui forme le plan de projection de l'information. Selon le critère de Kaiser (**Kaiser, 1960**) qui a été appliqué afin de déterminer le nombre total de facteurs (F) significatifs, seuls les facteurs ayant une valeur propre supérieure ou égale à 1 seront acceptés comme sources possibles de variance dans les données.

Pour les puits étudié, la variation totale (100%) est répartie selon les nombre valeurs propres. Cependant, deux seulement ont été retenus (F1 et F2). Ces facteurs représentent 55 % de la variance totale, ce qui est assez bon et peut être utilisée pour identifier de l'influence des paramètres physico-chimiques sur les sites. L'axe F1 exprime 33,61% de la variance et l'axe F2 exprime 21,39% de la variance.

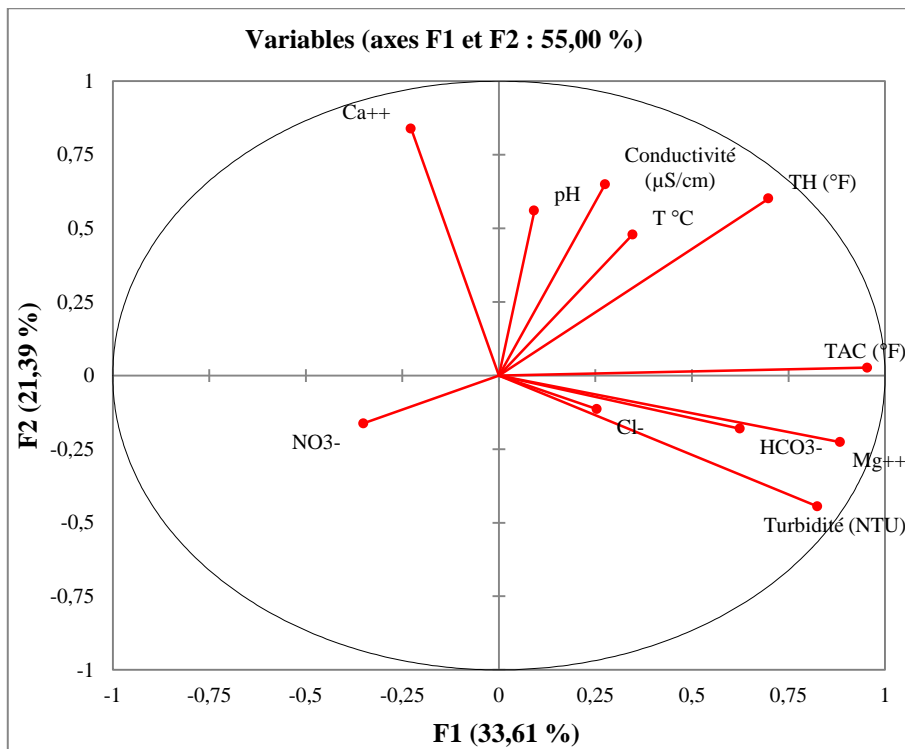


Figure II.15 : Cercle de corrélation des différentes variables selon le plan factoriel (F1 et F2)

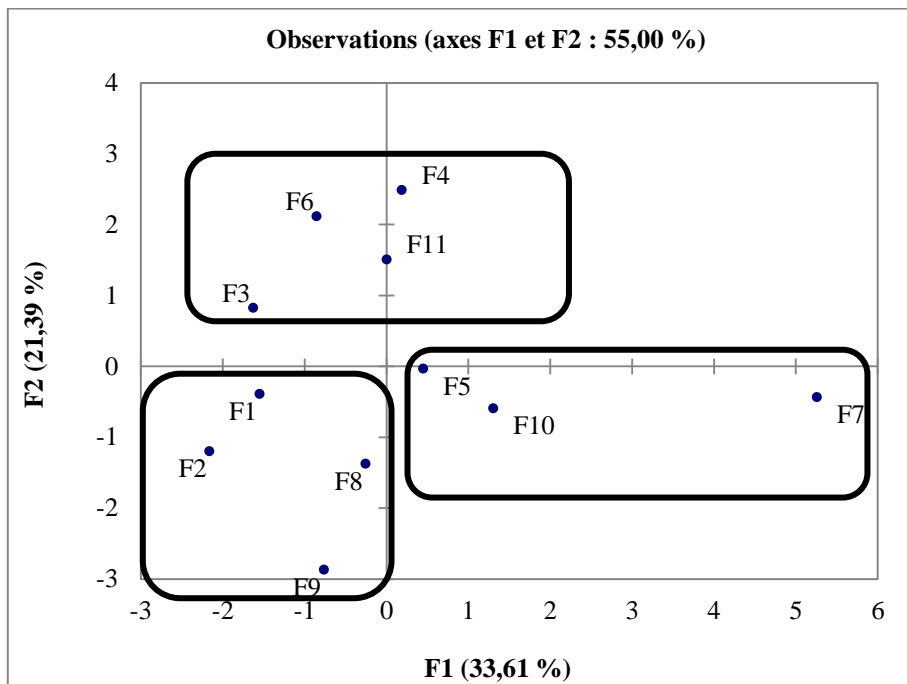


Figure II.16 : Répartition des stations dans le plan factoriel (F1-F2)

Dans le plan formé par les composantes principales F1 et F2 (Figure II.16), les variables les plus corrélées à la CP 1 sont : TAC (°F), TH (°F),  $HCO_3^-$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$  et la turbidité opposé aux  $NO_3^-$ . Parmi ces variables, celles qui contribuent de plus à la formation des groupes de l'axe F1, qui sont divisés en deux. Le premier regroupe : Titre Alcalimétrique Complet, magnésium, les bicarbonates, la dureté totale qui est fortement corrélés entre elles et positivement à l'axe F1,

puisque'ils définissent des vecteurs propres de même direction et le deuxième groupe qui est rassemblé par les nitrates, qui sont corrélée négativement avec cet axe.

En effet, l'axe F2 est défini par la température, la CE, le pH et le calcium vers son pôle positif.

La carte factorielle (Figure II.17) présente une distribution des 11 stations d'échantillonnage en trois groupes à savoir: 1, 2 et 3 selon leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Les axes factoriels montrent que le groupe (1) formé par les forages F5, F7 et F10, sa localisation dans cet ensemble est liée à sa composition élevées de turbidité,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , TAC et TH, Ces variables décrivent généralement la forte minéralisation des eaux analysées et les eaux carbonatées d'origine profonde.

Le groupe 2 formé par les sites suivants : F3, F11, F4, F6 qui correspond aux paramètres CE, pH, T et  $\text{Ca}^{+2}$  Cet axe regroupe les alcalinoterreux issus de l'infiltration par lessivages des minéraux riches en calcium (Moussa *et al.*, 2018).

En outre les stations : F1, F2, F8, F9 (groupe 3) sont caractérisées par des valeurs élevées de Nitrates, qui sont principalement d'origine humaine (Moussa *et al.*, 2018).

## II.8. conclusion partielle

Cette étude permet de visualiser la situation des eaux souterraines de notre zone d'étude, de point de vue hydro chimique et qualité.

- Les résultats obtenus de l'analyse chimique de l'eau souterraine montrent l'évolution des principaux paramètres de qualité chimique tant du point de vue hydrologique (précipitations, infiltration) et géologique. Les caractéristiques minérales des eaux de la région d'étude sont apparues globalement potables, toutefois il existe un forage (F9) qui présente une concentration de nitrates de 58.9 mg/l (> 50 mg/l).
- Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff ont mis en évidence que la qualité des eaux souterraines est caractérisée par un faciès chimique dominé par le bicarbonate calcique. À l'exception du forage (F11) représente un faciès chimique hyper chlorurée calcique hyper sulfatée calcique.
- En termes de qualité de l'eau pour l'irrigation, le diagramme de Riverside a montré que la majorité de l'eau des forages dans notre zone d'étude appartient à la classe C3S1 de qualité moyenne à mauvaise, cependant il y a quelques forages appartenant à la classe C2S1 de qualité moyenne à bonne.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

La présente étude, qui a porté sur la connaissance de qualité des eaux souterraines de la région de Sud-Est de Bordj Bou Arreridj (Bassin versant K'sob), a abouti aux conclusions suivantes :

- La qualité chimique des eaux de la région montre que les eaux souterraines sont globalement potables, toutefois il existe un forage (F9) qui présente une concentration de nitrates de 58.9 mg/l (> 50 mg/l).
- La détermination des différents réservoirs est basée sur une bonne connaissance de la géologie locale de la zone d'étude. L'analyse de la distribution géologique de la région nous a permis d'identifier deux zones, *la zone 1* Cette zone est localise au Nord et au centre du bassin (alluvions quaternaires et terrasses, les argiles, marnes et de grès du Miocène), *la zone 2* est une zone formée par les formations dures (calcaire et dolomie) et est situé dans la partie sud du bassin.
- L'étude hydrogéologique (Carte piézométrique) de la zone d'étude, nous a permis de connaître le sens général d'écoulement de la nappe qui est de sud-est vers le sud-ouest conformément au sens d'écoulement des eaux superficielles.
- L'utilisation des différentes méthodes de classifications des eaux souterraines telles que, les diagrammes chimique (Piper et Schöeller-Berkaloff) a montré que le faciès bicarbonate de calcium est le plus dominant. Cette composition chimique est le résultat de la dissolution des carbonates, lors de l'infiltration des précipitations dans l'aquifère et à la présence des évaporites dans l'aquifère. Ces résultats ont été vérifiés par des analyses statistiques multivariées (ACP).
- En termes de qualité de l'eau pour l'irrigation, le diagramme de Riverside a montré que la majorité de l'eau des forages dans notre zone d'étude appartient à la classe C3S1 de qualité moyenne à mauvaise, cependant il y a quelques forages appartenant à la classe C2S1 de qualité moyenne à bonne.

A partir de ces résultats obtenus, nous proposons les recommandations :

- Réaliser des études spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines pour comprendre leur évolution et suivre en continu la qualité de l'eau.
- La réalisation du traitement préalable des rejets urbains et industriels avant qu'ils atteignent le milieu récepteur (recharge de la nappe) et surveiller en permanence la qualité des eaux.
- L'installation d'un réseau de piézomètres bien répartis à travers la nappe pour contrôler la fluctuation de la surface piézométrique.

## Références bibliographiques

- Angillieri M. Y. E. (2008).** Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. *Environmental geology*, 55(1), 107-111.
- Benabderrahmane A. (1988).** Numerical simulations of salt pollution of an aquifer system in a semi-arid to arid -Sample aquifer systems of the plain of M'Sila- (Hodna, Algeria), PhD thesis, UFR Applied Geology. Franche Comte. France.
- Beaudry T et Henry TM. (1984).** Chimie des eaux, Edition: Les griffons d'argiles, 1ère édition, INC Canada.
- Ben Hamiche N. (2015).** Contribution à l'étude de l'influence climatique, lithologique et anthropique sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'un aquifère du Nord-est algérien : Cas de la basse Soummam, Bejaia. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Béjaia.
- Benkadja R., Benhadouga M. & Benkadja A. (2013).** Quantification des matières en suspension et valorisation des sédiments de dragage à l'échelle d'un bassin semi-aride: Cas du barrage du K'sob (Algérie). *Bull Eng Geol Environ* 72, 523–531.
- Cardot C. (1999).** « Les traitements de l'eau, procédés physico-chimique et biologique », Paris.
- Chabour N. (2006).** Hydrogéologie des domaines de transition entre l'atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie. Thèse de doctorat, Université de Constantine.
- Degrément. (1989).** « Mémento technique de l'eau », cinquantenaire, Paris.
- El Asslouj J., Kholtei S., El Amrani-Paaza N. & Hilali, A. (2007).** Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc), *Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science*.
- Geller W., Friese K., Herzsprung P., Kringel R. & Schultze M. (2000).** Limnology of sulphur-acidic mining lakes. II Chemical properties: The main constituents and buffering systems. *Verhandlungen des Internationally Verein Limnologie* 27: 2475–2479.
- Gravelius H. (1914).** Grundrifi der gesamten Geweisserkunde. Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German). Goschen, Berlin.
- Guesri M. (2021).** Influence de la variabilité climatique sur la production des sédiments. Thèse doctorat, Université de Tlemcen.
- Hattab A. & Delaladja H. (2007).** Modélisation des écoulements du bassin versant du K'sob par l'analyse corrélatoire et spectrale (ACS) et les ondelettes des pluies et débits. Mémoire de l'ingénieur d'état en hydraulique : Université de M'sila.
- Horton R. (1932).** Drainage Basin Characteristics. *Transactions, American Geophysical Union*, 13, 350-361.
- Horton R. E. (1945).** Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-3 70.
- Hotelling H. (1933).** Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24, 417-441.
- Kaiser H.F. (1960).** The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol. Meas.*, 20: 141-151.

**Krishnamurthy N. Venkatesa K, Jayaraman V & Manivel M. (1996).** An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and a geographical information system, *International Journal of Remote Sensing*, 17:10, 1867-1884.

**Mansouri F. (2011).** Étude de la qualité des eaux souterraines de la région de chemora wilaya de Batna East Algérien. Mémoire de master en ouvrage hydraulique et aménagement. Université de M'sila.

**Moussa R. S., Alma M. M. M., Laouli M. S., Natatou I. & Habou, I. (2018).** Caractérisation physico-chimique des eaux des aquifères du Continental Intercalaire/Hamadien et du Continentalsiems Terminal de la région de Zinder (Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(5), 2395-2411.

**Musy A. & Higy C. (2004).** Hydrologie: Une science de la nature (Vol. 21). PPUR presses polytechniques.

**Nouayti N, Khattach D. & Hilali M. (2015).** Evaluation de la qualité physicochimique des eaux souterraines des nappes du Jurassiques du haut bassin de Ziz (haut Atlas central, Maroc), *Journal of Materials and Environmental Science* 6(4) (2015) 1068-1081.

**Patel D. P., Gajjar, C. A. & Srivastava, P. K. (2013).** Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective. *Environmental earth sciences*, 69(8), 2643- 2656.

**Pearson K. (1901).** LIII. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2, 559-572.

**Prakash K., Singh S. & Shukla U. K. (2016).** Morphometric changes of the Varuna river basin, Varanasi district, Uttar Pradesh. *Journal of Geomatics*, 10(1), 48-54.

**Rai P. K., Mohan K., Mishra S., Ahmed A. & Mishra V.N. (2017).** A Gis-based approach in drainage morphometric analysis of kanhar river Basin, India. *Applied Water Science*, 7(1), 217-232.

**Rodier J., Legube B. & Merlet N. (2009).** L'analyse de l'eau. 9ème édition, Dunod, Paris, France.

**Sassolas-Serrayet T., Cattin R. & Ferry, M. (2018).** The shape of watersheds. *Nature communications*, 9(1), 1-8.

**Schumm S.A. (1956).** Evolution of Drainage Systems & Slopes in Badlands at Perth, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597-646.

**Sreedevi P. D., Subrahmanyam K. & Shakeel A. (2005).** Integrated approach for delineating potential zones to explore for groundwater in the Pageru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, India 13:534–543.

**Strahler A. (1957).** Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38, 913-920.

**Tardat Henry M. (1992).** « Chimie des eaux », le griffon d'argile, Canada.

**Touaibia I. & Nekkache Ghenim A. (2019).** Estimation du biais du modèle régressif puissance « concentration-débit » : cas du bassin versant du K'sob. *Revue scientifique et technique. LJEE N°19*.

**Villant J.R. (1977).** « Accroissement et gestion des ressources en eau », Ed. Eyrolles, Paris.

**Site web:** <https://gifex.com/fr/fichier/carte-vierge-de-la-wilaya-de-bordj-bou-arrerdj/>

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة نوعية المياه الجوفية في المنطقة الجنوبية الشرقية من برج بوعريريج (مستجمعات مياه القصب). مكننا ذلك من توصيف كيمياء المياه الجوفية لاستخدامها في إمدادات مياه الشرب و السقي ، وأظهرت النتائج أن الجودة الكيميائية في المنطقة جيدة بشكل عام ، ولكن يوجد بئر (F9) به تركيز نترات يبلغ 58.9 مجم / لتر (< 50 مجم / ل) ، واستخدام الرسوم البيانية الكيميائية (بايير وشولر-بيركالوف) وتطبيق الأساليب الإحصائية مثل تحليل المكونات الرئيسية (ACP)، باستخدام البرنامج الإحصائي XLSTAT 2016 . أظهر أن سحنات بيكربونات الكالسيوم هي الأكثر انتشارًا. فيما يتعلق بجودة مياه السقي ، أظهر مخطط ريفرسايد أن غالبية مياه الآبار في منطقة دراستنا تنتمي إلى فئة C3S1 ذات الجودة المتوسطة إلى الرديئة ، ولكن هناك بعض الآبار التي تنتمي إلى فئة C2S1 ذات الجودة المتوسطة إلى الجيدة.

**الكلمات المفتاحية :** المياه الجوفية، سحنة كيميائية، مستجمعات مياه، تحليل المكونات الرئيسية .

## Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité des eaux souterraines dans la région sud-est de Bordj Bou Arreridj (bassin versant du k'sob). Ce qui permet de caractériser le chimisme des eaux souterraines en vue de leur utilisation dans l'alimentation en eau potable et l'irrigation, les résultats ont montré que La qualité chimique des eaux de la région est globalement bonne, toutefois il existe un forage (F9) qui présente une concentration de nitrates de 58.9 mg/l (> 50 mg/l), l'utilisation de diagrammes chimiques (Piper et Schöeller-Berkaloff) et l'application de méthode statistique telle que l'Analyse en Composantes Principales (ACP) à l'aide du logiciel statistique XLSTAT 2016 a montré que le faciès bicarbonate de calcium est le plus dominant. En termes de qualité de l'eau pour l'irrigation, le diagramme de Riverside a montré que la majorité de l'eau des forages dans notre zone d'étude appartient à la classe C3S1 de qualité moyenne à mauvaise, cependant il y a quelques puits appartenant à la classe C2S1 de qualité moyenne à bonne.

**Mots clés :** eaux souterraines, Facies chimique, Bassin versant, ACP.

## Abstract

The objective of this work is to study the quality of groundwater in the south-eastern region of Bordj Bou Arreridj (k'sob watershed). This enabled us to characterize groundwater chemistry for use in drinking water supply and irrigation, results showed that chemical quality in the region is generally good, however there is a well (F9) which has a nitrate concentration of 58.9 mg/l (> 50 mg/l), the use of chemical diagrams (Piper and Schöeller-Berkaloff) and the application of statistical method such as Principal Component Analysis (PCA) using the statistical software XLSTAT 2016 showed that the calcium bicarbonate facies is the most dominant. In terms of water quality for irrigation, Riverside diagram showed that the majority of wells water in our study area belongs to C3S1 class of medium to poor quality, however there are some wells belonging to C2S1 class of medium to good quality.

**Keywords:** Groundwater, Chemical facies, Watershed, PCA.