

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. MIRA de Bejaia

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme MASTER en hydraulique

Option : *hydraulique urbaine*

Thème

**Caractérisation Hydrochimique des eaux souterraines et
de surface vis-à-vis des métaux lourds, cas des Oueds
Djemaa-Zitouna (Bejaia).**

Réalisé par :

M^r. BOUNAB RABIA

M^r. TAMZAIT KAMEL

Promoteurs :

Dr. SAOU A.

Pr. MAZA M.

Promotion: 2014

Remerciements

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements ainsi que nos profondes gratitudees à nos promoteurs M^r SAOU A., et M^r MAZA M., pour tous leurs conseils judicieux et leurs soutiens tout au long de la préparation de ce travail.

On exprime toutes nos reconnaissances à M^r ZEMOURI M., pour le grand soutien, le temps qu'il nous a consacré et ses conseils précieux.

Nous tenons à remercier les membres de jury qui nous ont honorés par leur présence et d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements pour l'ensemble des enseignants ayant contribué à notre formation durant notre cycle d'étude.

Enfin, nos remerciements sont adressés plus particulièrement à nos familles, nos amis(es) et toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Kamel & Rabia

Abréviations

- ❖ **$\mu\text{S/cm}$** : micro-Siemens par centimètre
- ❖ **AEP** : Alimentation en eau potable
- ❖ **ANRH** : Agence Nationale de la recherche hydraulique
- ❖ **B^+** : ions du Bore
- ❖ **Ca^{2+}** : ions du Calcium
- ❖ **Cl** : ions du Chlorure
- ❖ **Cond** : conductivité
- ❖ **DHW** : Direction d'Hydraulique de la wilaya
- ❖ **DPSB** : Direction de la Programmation et Suivi Budgétaire
- ❖ **Fe^{2+}** : ions du Fer
- ❖ **Hab** : habitant
- ❖ **HCO_3^-** : ions du Bicarbonates
- ❖ **K^+** : ions du Potassium
- ❖ **Li^+** : ions du lithium
- ❖ **Méq/L** : milliéquivalents par litre
- ❖ **Mg/l** : milligramme par litre
- ❖ **Mg^{2+}** : ions du Magnésium
- ❖ **Na^+** : ions du Sodium
- ❖ **NO_3^-** : ions du Nitrates
- ❖ **P** : précipitation
- ❖ **PH** : potentiel hydrogène
- ❖ **S** : superficies de bassin versant
- ❖ **SO_4^-** : ions du Sulfates
- ❖ **Sr^{2+}** : ions du Strontium
- ❖ **T** : température
- ❖ **TDS** : total des solides dissous
- ❖ **TM** : température maximale
- ❖ **Tm** : température minimale
- ❖ **Tmoy** : température moyenne
- ❖ **Zn^+** : ions du Zinc

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

Chapitre I :Présentation du site d'étude.

I.1 Introduction 3

I.2 Caractéristiques naturelles de la région d'étude..... 3

I.2.1 Situation et limites 3

I.2.2. Délimitation du bassin versant de l'oued Djemaa 4

I.3 Caractéristiques dans le plan 5

I.3.1 La surface 5

I.3.2 Le périmètre..... 5

I.3.3 Pédologie 5

I.3.4 Relief 5

I.3.5 Indices de compacité 5

I.3.6 Le réseaux hydrographiques..... 6

I.4 Caractéristiques socio-économiques..... 8

I.4.1 Population 8

I.4.2 Agriculture..... 8

I.5 Aperçu sur la géologie de la région..... 9

I.6 Conclusion.....11

Chapitre II:Cadre climatique.

II.1 Introduction..... 12

II.2 Climatologie..... 12

II.2.1 Les températures 12

II.2.2 L'humidité de l'air.....13

II.2.3 Le vent..... 14

II.2.4 Les précipitations 15

II.3 Synthèse des données climatiques 16

II.3.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен 16

II.3.2 Le Climagramme d'Emberger 17

II.4 Conclusion.....18

Sommaire

Chapitre III :Matiriels et méthodes.

III.1 Principes théoriques	19
III.2 Échantillonnage	19
III.3 Analyses physico-chimiques	19
III.3.1 La Couleur	19
III.3.2 L'Odeur et Saveur	19
III.3.3 LA température	20
III.3.4 La conductivité.....	20
III.3.5 potentiel hydrogène (pH)	20
III.3.6 Salinité	21
III.3.7 Total des solides dissous (TDS).....	21
III.4 Le principe de Spectrométrie d’Absorption Atomique(SAA)	21
III.5 Positionnement des points d’eau d’échantillonnages	21
III.6 Dosage des éléments	22
III.6.1 Dosage des chlorures par la méthode de MOHR.....	22
III.6.2 Dosage de nitrates (Méthode au salicylate de sodium).....	23
III.6.3 Dosage de sulfates.....	23
III.6.4 Dosage de calcium	24
III.6.5 Dosage du magnésium	25
III.7 Dosage des éléments traces métalliques	25

Chapitre IV :analyses hydrochimiques.

IV.1 Introduction	27
IV.2 Caractéristiques des stations de prélèvement	27
IV.3 Analyse des paramètres physiques	29
IV.3.1 Couleurs.....	29
IV.3.2 Odeurs et saveurs.....	29
IV.3.3 Potentiel d’hydrogène.....	30
IV.3.4 Salinité	30
IV.3.5 Conductivité électrique.....	31
IV.3.6 Total des sels dessous	32
IV.4 Analyse des paramètres chimiques	33
IV.4.1Eléments majeure (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^{2-})	33
IV.4.1.1 Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)	33

Sommaire

IV.4.1.1.1 Calcium (Ca^{2+}).....	33
IV.4.1.1.2 Magnésium (Mg^{2+})	34
IV.4.1.1.3 Sodium (Na^+).....	35
IV.4.1.1.4 Potassium (K^+).....	35
IV.4.1.2 Anions (Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, NO_3^-).....	36
IV.4.1.2.1 Chlorures (Cl^-)	36
IV.4.1.2.2 Sulfates (SO_4^{2-})	36
IV.4.1.2.3 Bicarbonates (HCO_3^-).....	37
IV.4.1.2.4 Nitrate (NO_3^-)	38
IV.5 Détermination des principaux facies hydro chimiques.....	38
IV.5.1 Diagramme de PIPER.....	38
IV.5.2 Diagramme de SCHOLER BERKALOFF	39
IV.6 Interactions eau-roche	41
IV.6.1 Relation entre $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$	41
IV.6.2 Relation entre $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$	41
IV.6.3 Relation entre $\text{Ca}^{2+} / \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$	42
IV.6.4 Relation entre $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$	43
IV.6.5 Relation entre $\text{Mg}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$	43
IV.7 Éléments traces (B^+, Li^+, Sr^{2+}, Fe^{2+}, Zn^{2+}).....	44
IV.7.1 Fer (Fe^{2+})	44
IV.7.2 Lithium (Li^+).....	44
IV.7.3 Zinc (Zn^{2+}).....	45
IV.7.4 Strontium (Sr^{2+})	45
IV.7.5 Le Bore (B^+)	46
IV.8 Origines des éléments traces.....	46
IV.8.1 Relations entre B^+ / Cl^-	46
IV.8.2 Relation entre $\text{Li}^+ / \text{SO}_4^{2-}$	47
IV.8.3 Relation entre $\text{Sr}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$	47
IV.8.4 Relation entre $\text{Sr}^{2+} / \text{Ca}^{2+}$	48
VI.9 Conclusion.....	48
Conclusion générale.....	49
Références bibliographiques	50

Je dédie cet humble travail à toutes ma famille que j'ai de plus chère au monde, surtout :

+ Ma très chère grande mère et grand père.

+ Mes parents que j'adore.

+ Mes frères et sœurs.

+ A mes tantes et oncle.

+ A mon binôme Rabia et sa famille.

*Je tiens aussi à dédier ce travail à mes amis(es) sans distinction, dont la liste est très longue surtout sans oublier les
Master I.*

kamel

Liste des tableaux

I.1: Répartition de la population du bassin versant de l'oued Djemaa par communes.....	8
I.2: Occupation des sols par commune.....	9
II.1 : les températures moyennes maximales, minimales et moyennes.....	12
II.1 : courbe de la variation des températures.....	13
II.2 : les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité	13
II.3 : vitesses des vents mensuelles (station météorologique de Bejaia).....	14
II.4: Les précipitations moyennes mensuelles pour la période 2001-2009.....	16
II.5: Tableau représentatif des données de diagramme Ombrothermique	17
IV.1 : Caractéristiques des stations de prélèvement.....	28
IV.2: les résultats d'analyse des paramètres physiques et organoleptiques obtenus lors des analyses.....	30
IV.3 : Les résultats obtenus lors des analyses chimiques	34

Liste des figures

I.1: Carte de la zone d'étude.....	3
I.2: Délimitation des bassins versants Djemaa-Zitouna	4
I.3 : Le réseau hydrographique du bassin Djemaa- Zitouna	7
I.4 : carte géologique du bassin versant d'Oued Djemaa.....	10
II.1 : variations des températures	13
II.2: variations de l'humidité.....	14
II.3 : vitesses des vents mensuelles de l'année2010.....	15
II.4: Les précipitations moyennes mensuelles pour la période 1970-2009.....	16
II.5: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Bejaia.....	17
II.6 : Situation bioclimatique de Bejaia sur Climagramme d'Emberger.....	18
III.1: Photographie du multi-paramètre (inoLAB* pH/ION/Cond 750).....	20
III.2 : Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA).....	21
III.3 : Le GPS GARMIN ETREX H	22
IV.1 : Carte du réseau échantillonné.....	28
IV.2: représentation graphique du Ph	30
IV.3 : représentation graphique la salinité.....	31
IV.4: représentation graphique de la conductivité.....	31
IV.5 : représentation graphique du Total des solides dissous.....	32
IV.6 : représentation graphique du Ca^{2+}	34
IV.7 : représentation graphique du Mg^{2+}	34
IV.8: représentation graphique du Na^{+}	35
IV.9 : représentation graphique du K^{+}	35
IV.10 : représentation graphique du Cl^{-}	36
IV.11 : représentation graphique SO_4^{-}	37
IV.12: représentation graphique du HCO_3^{-}	37
IV.13: représentation graphique NO_3^{2-}	38
IV.14 : diagramme de piper pour les eaux des Oueds Djemaa et Zitouna.....	39
IV.15 : Diagramme de SCHOLER BERKALOFF des Oueds Djemaa et Zitouna.....	40
IV.16 : représentation graphique de $Na^{+} = f(Cl^{-})$	41
IV.17 : représentation graphique de $Ca^{2+} = f(Mg^{++})$	41
IV.18 : représentation graphique de $Ca^{2+} = f(HCO_3^{-} + SO_4^{-})$	42
IV.19 : représentation graphique de $Ca^{2+} = f(SO_4^{-})$	43
IV.20 : représentation graphique de $Mg^{2+} = f(SO_4^{-})$	43
IV.21 : représentation graphique du fer.....	44
IV.22 : représentation graphique de Li^{+}	44
IV.23 : représentation graphique de Zn^{+}	45
IV.24 : représentation graphique de Sr^{2+}	45
IV.25 : représentation graphique du B^{+}	46
IV.26 : représentation graphique de $B = f(Cl^{-})$	46
IV.27 : représentation graphique de $Li = f(SO_4^{2-})$	47
IV.28 : représentation graphique de $Sr = f(SO_4^{-})$	47
IV.29 : représentation graphique de $Sr^{2+} = f(Ca^{2+})$	48

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de
reconnaissance à :*

La mémoire de mon cher et regretté père

Ma chère mère ;

Ma chère fiancée ;

Mes chères frères et sœurs ;

Tous mes amis.

Rabía

INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction générale

L'eau source de la vie et de développement, compte parmi les richesses naturelles les plus précieuses, ayant une importance considérable pour le développement social et économique des pays. L'expansion démographique et l'élévation du niveau de vie ont engendré une demande sans cesse de l'eau.

Bejaia, à l'instar des autres régions, a connu ces dernières années une croissance démographique rapide suivi d'une activité humaine importante couvrant tous les domaines (agriculture, urbanisme, tourisme) et a engendré une forte demande en eau. Afin de subvenir à ses besoins, les autorités ont procédé à la réalisation de plusieurs forages sur les plaines côtières s'ajoutant aux captages traditionnels.

La forte charge minérale de l'eau dans les aquifères côtiers est devenue un phénomène très répandu et détériorant progressivement la qualité de l'eau comme la salinisation des eaux souterraines. Elle a été étudiée intensivement par plusieurs auteurs, notamment dans les bassins méditerranéens avec l'avancée des conditions semi-arides, les surexploitations et la faible recharge des eaux souterraines. Ce phénomène est souvent attribué à l'intrusion de l'eau de mer [1].

Lors de son écoulement, l'eau rentre en contact avec des terrains et se charge de divers éléments qui influent sur sa qualité. Certains de ces éléments se présentent naturellement dans le sol et vont définir la qualité naturelle de l'eau brute ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir des matières organiques solides ou en solutions parvenant de son encaissant à savoir : le calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonate, sulfates, chlorures,... et des matières en suspension.

D'autres éléments sont d'origine anthropique, ou la qualité des eaux est dépendante de certains concentration en éléments traces à savoir : le fer, le zinc, le strontium, le bore, le lithium,...

Sur cette base et dans ce présent travail nous allons contribuer à synthétiser les caractéristiques hydrochimiques de certains éléments influents sur la qualité des eaux de la région côtière des bassins Djemaa-Zitouna. Les détails de ces résultats seront illustrés dans ce mémoire, à travers quatre chapitres:

- Le premier chapitre présente les bassins Djemaa-Zitouna sur les plans géographique, hydrologique, géologique et socio-économique;
- Le deuxième chapitre sera réservé au cadre Climatique;
- Le troisième chapitre sera consacré aux matériels et méthodes utilisés pour la détermination des éléments dissous dans l'eau des échantillons à travers les différentes analyses.

Introduction générale

- Le quatrième chapitre traitera à la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines et de surface. Il mettra en exergue l'évolution et la répartition des éléments chimiques et la variation des faciès hydrochimiques en utilisant les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, les rapports ioniques caractéristiques ainsi que certains traceurs hydrochimiques.

Enfin nous terminons avec une conclusion générale et les perspectives de toutes actions entreprises.

CHAPITRE I

Présentation du site d'étude

I.1 Introduction

Avant d'aborder la problématique de notre sujet, il est nécessaire de définir les caractéristiques morphologiques et géographiques du site d'étude qui constituera une plateforme de base pour mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser la méthode de digitalisation à l'aide du logiciel MapInfo.

I.2 Caractéristiques naturelles de la région d'étude

I.2.1 Situation et limites

La zone d'étude est située à environ 20Km à l'Est de la ville de Bejaia, au lieu dit Djemaa-Zitouna. L'aire prospectée s'inscrit dans la plaine côtière de Bejaia, plus précisément dans la plaine de Djemaa- Zitouna, qui présente une largeur d'environ 500m et une longueur de 15km. Elle est interrompue par le cap TICHY et limitée à l'Est et à l'Ouest par des massifs de bordures, au Sud par des monts relativement élevés (environ 600 m) à pentes raides et au Nord par la mer méditerranéen [17].

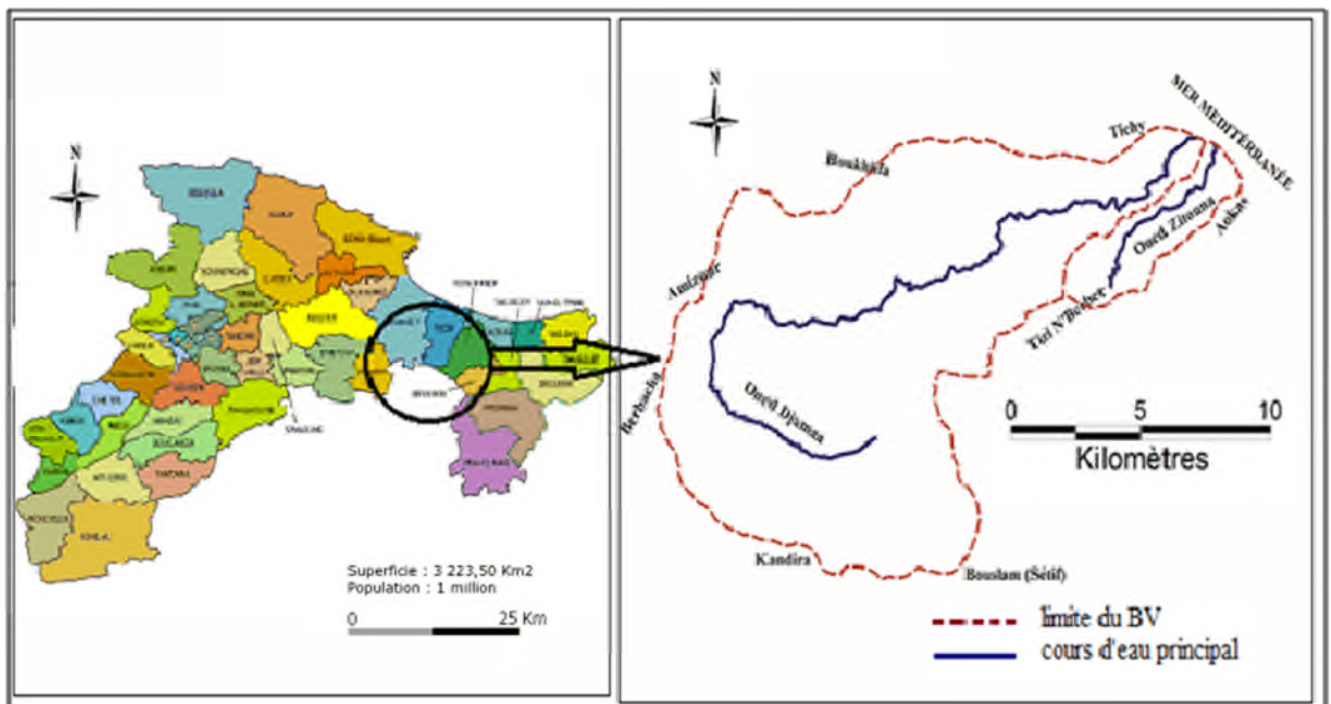


Figure I.1: Carte de situation de la zone d'étude.

I.2.2. Délimitation du bassin versant de l'oued Djemaa

Le bassin versant, en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section ; tous les écoulements, prenant naissance à l'intérieur de cette surface, doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur trajet vers l'aval [20].

Pour délimiter les bassins Djemaa-Zitouna, nous avons choisi d'utiliser la méthode de digitalisation (MapInfo version 8.0). Nous avons superposé plusieurs couches (cartes) sur lesquelles nous avons fait ressortir toutes les caractéristiques nécessaires à notre étude du bassin versant Djemaa-Zitouna.

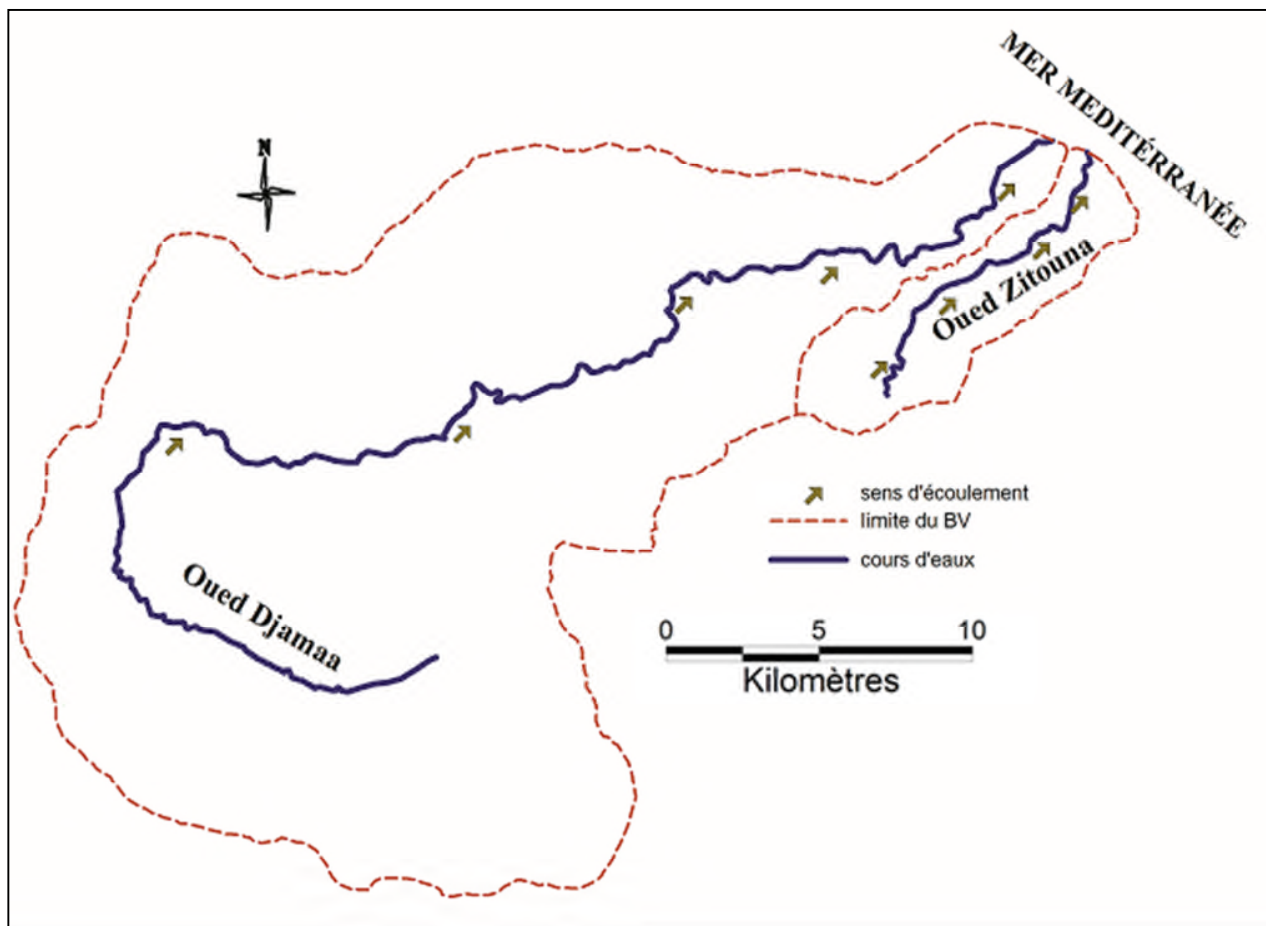


Figure I.2: Délimitation des bassins versants Djemaa-Zitouna (MapInfo).

I.3 Caractéristiques dans le plan

I.3.1 La surface

Le bassin versant est l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau. Les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin peut être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou, mieux encore, par des techniques de digitalisation que nous avons utilisées le logiciel MapInfo.

Les surfaces des bassins versants, concernées par notre étude, sont de 181Km² pour le bassin de L'Oued Djamaa et de 17 Km² pour le bassin de Zitouna.

I.3.2 Les périmètres

Le périmètre d'un bassin versant se mesure à l'aide d'un curvimètre sur une carte topographique à échelle 1/50 000, ou par technique de digitalisation que nous avons utilisée (MapInfo).

Nous n'avons estimé que le périmètre de bassin versant de l'Oued djamaa et de celui de Zitouna ($P_D = 69\text{Km}$ et $P_Z = 20 \text{ Km}$ respectivement).

I.3.3 Pédologie

Une étude pédologique a été entreprise par l'ANRH sur les plaines de Tichy et de l'embouchure de l'Oued Djamaa. Elle a fait ressortir l'importance des zones irrigables. Seules les zones de plages du cordon dunaire et les embouchures des Oueds sont déclarées non irrigables. Toutefois les zones irrigables, dans leurs quasi-totalités, nécessitent l'installation des systèmes de drainage [2].

I.3.4 Relief

Les terrains traversés par l'Oued Djamaa présentent un relief accidenté, avec des pentes dominantes plus ou moins faibles allant entre 0,71 et 4,26%. Le relief est très accidenté avec une variation en altitude.

II.3.5 Indices de compacité

La forme du bassin versant influe directement sur le temps de réponse à une averse quelconque. Un bassin versant allongé aura un temps de réponse plus long que celui d'un bassin versant ramassé ayant une même superficie et soumis à une même averse.

Selon Gravelius, la notion de l'indice de compacité (C) consiste à comparer le périmètre stylisé (P) du bassin versant à celui d'un cercle de même surface (A) [11].

L'indice de compacité se calcule selon la formule suivante :

$$C = 0,28 * P / \sqrt{A} \quad (I.1)$$

- L'indice de compacité pour le bassin versant de l'Oued Djemaa est:

$$C_D = 0,28 * 69 / \sqrt{181}$$

$$C_D = 1.43$$

- L'indice de compacité pour le bassin versant de l'Oued Zitouna est :

$$C_Z = 0,28 * 20 / \sqrt{17}$$

$$C_Z = 1.35$$

Selon la classification des bassins versants, suivante :

- $C \leq 1$ le bassin versant est de forme circulaire ;
- $C = 1.12$ le bassin versant est de forme carrée ;
- $C > 1.12$ le bassin versant est allongé ;

Étant donné que $C_D = 1,43$ et $C_Z = 1.35$ sont supérieurs à 1.12, on peut conclure que le bassin versant des Oueds Djemaa et Zitouna ont une forme allongée ce qui va influencer sur le régime de l'écoulement.

I.3.6 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous affluents permanents ou temporaires, par lesquels s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du bassin versant (Exutoire) [18].

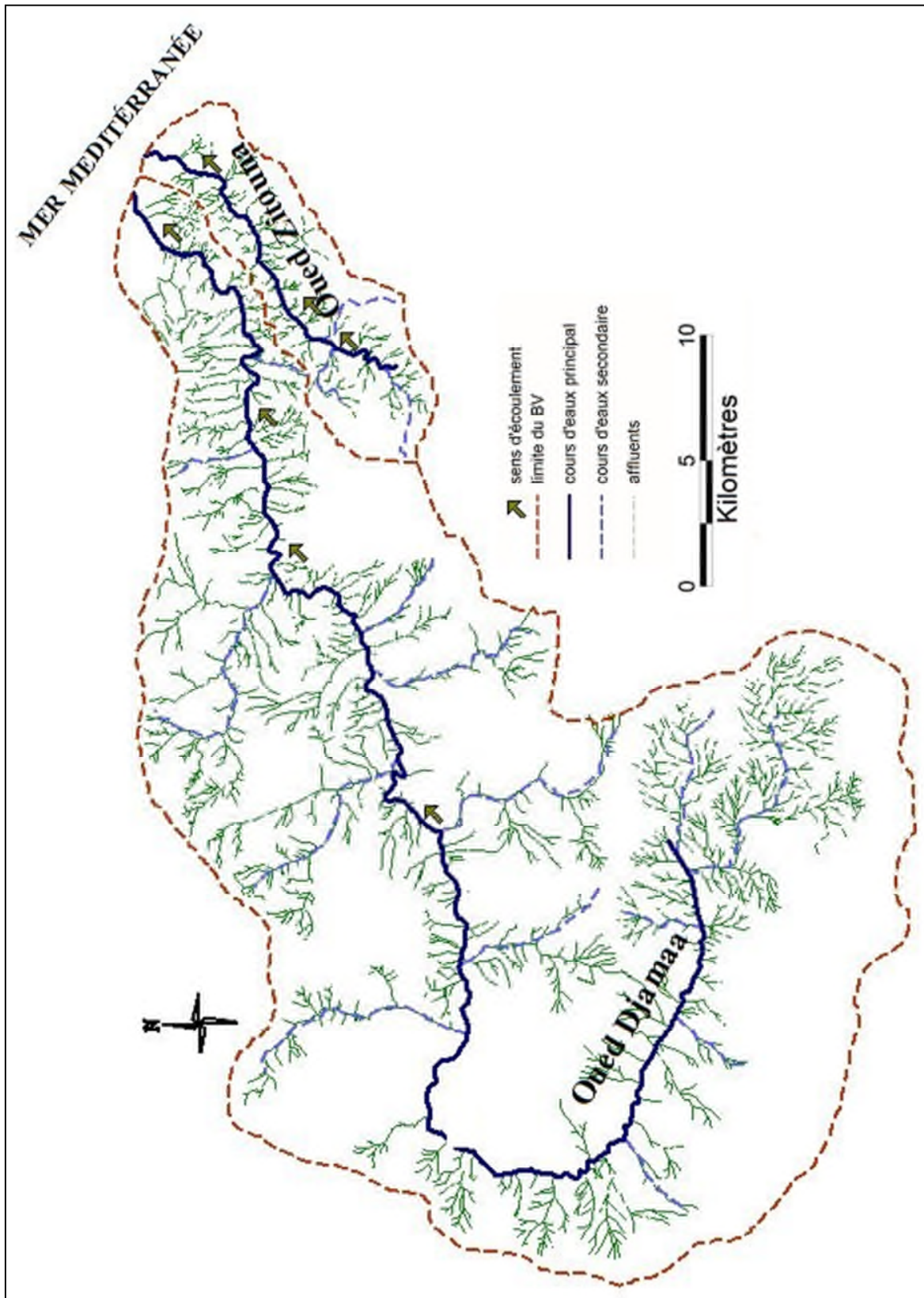


Figure I.3 : Le réseau hydrographique du bassin Djemaa- Zitouna.

I.4 Caractéristiques socio-économiques

I.4.1 Population

La totalité des populations des six communes appartenant au bassin versant Djemaa-Zitouna est de 104291 habitants réparti sur une superficie de 439,6 km². La surface du bassin présente une densité d'environ 237.24 Hab/km², cette répartition est représentée dans le tableau suivant [12] :

Tableau I.1: Répartition de la population du bassin versant de l'oued Djemaa par commune (au 31.12.2012).

Commune	Population	Superficies (Km ²)	Densité (Hab/Km ²)
Tichy	17062	56.66	301
Boukhelifa	9041	116.38	78
Amizour	38737	109.36	354
barbacha	17429	83.77	208
Kendiria	5532	45.56	121
Aokas	16490	27,87	592
Total	104291	439.6	237.24

I.4.2 Agriculture

L'activité agricole dans la zone d'étude n'est pas importante. Elle se limite à une agriculture vivrière composée de jardins familiaux de petites superficies. L'utilisation de la fertilisation par les engrais chimiques et les produits phytosanitaires est très limitée. Nous retrouvons beaucoup plus des formations arbustives et des maquis. Par rapport aux chiffres présentés précédemment, les surfaces emblavées du bassin versant représentent 40 % du total des surfaces des communes de la région [17].

Selon l'annuaire statistique établi par la DPSB de la wilaya de Bejaia. La superficie agricole utile (S.A.U) est de 17774 ha pour les communes du bassin versant et elle est répartie selon le tableau suivant : [12]

Tableau I.2: Occupation des sols par commune.

Commune	Occupation des sols par ha								
	Céréales	Legume	Fourage	Agrumes	Cultures Mariach.	Vigne à Table	Olive	Figuiers	Cult.In
Tichy	10	20	70	9	115	3	150	111	0
Boukhelifa	14	33	121	48	329	6	190	45	0
Amizour	1020	55	1520	416	254	300	2308	480	25
Barbacha	140	50	520	0	42	4	327	1500	0
Kendira	40	6	262	1	24	5	337	794	0
Aokas	10	0	155	55	180	12	391	200	0

I.5 géologie de la région d'étude

Le bassin versant de l'Oued Djemaa est constitué par des calcaires marneux et calcaires à silex du crétacé inférieur. Cette formation est la plus dominante le long de la rive droite, avec des calcaires à silex du lias moyen formant les crêtes et les grès rouges et d'argiles du trias (-230 à -200 millions d'années).

La rive gauche est formée de roches magmatiques du tertiaire tel que le granite. Les roches métamorphiques du tertiaire composées essentiellement de schistes qui sont associées aux conglomérats, marno-calcaire roses et verts ainsi que des calcaires à silex. Cette rive est également constituée de grès rouges et d'argile de trias (-230 à -200 millions d'années). Les terrasses alluviales sont beaucoup plus importantes dans cette dernière rive [13].

I.6 Conclusion

Le site d'étude est caractérisé par un relief accidenté, cours d'eau côtier de type torrentiel avec une forme allongée ($C_D = 1,43$ et $C_Z = 1.35$) et une superficie de 198Km^2 . La population pour les 6 communes appartenant à la limite du bassin versant est égale 104291 habitants présentant une densité d'environ 237.24 Hab/km^2 .

CHAPITRE II

Cadre climatique

II.1 Introduction

Le climat est un ensemble des conditions naturelles en un milieu. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer, on trouve les facteurs énergétiques (lumière et température) et les facteurs hydrologiques (précipitations et hygrométries).

II.2 Climatologie

Selon SELTZER (1946), le climat d'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant de septembre à mai et un été sec et ensoleillé.

L'atlas tellien joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer, l'altitude entraîne une diminution générale de la température, l'éloignement de la mer, une augmentation des amplitudes diurnes et annuelles. Pour l'analyse climatique nous nous sommes basés sur les données climatiques de la station météorologique de Bejaia (latitude 36,7° N, longitude 05,1° E altitude 2m) [14].

II.2.1 Les températures

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces dans le biotope [3].

Les valeurs des températures moyennes maximales, minimales et moyennes mensuelles de la région d'étude sont représentées dans le tableau (II.1) :

Tableau II.1 : les températures moyennes maximales, minimales, moyennes mensuelles pour la période 2001-2010 (station météorologique de Bejaia).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Tmax(C°)	16.6	17.1	19.1	20.7	23.3	27.1	30.1	30.6	28	26.1	20.9	17.5
Tmin(C°)	7.8	7.8	9.6	11.7	14.4	18.1	21.3	21.6	19.1	16.6	11.7	8.7
Tmoy(C°)	12.2	12.5	14.4	16.2	18.9	22.6	25.7	26.1	23.6	21.4	16.3	13.1

Les variations des températures minimales, maximales et moyennes sont illustrées dans la figure (II.1).

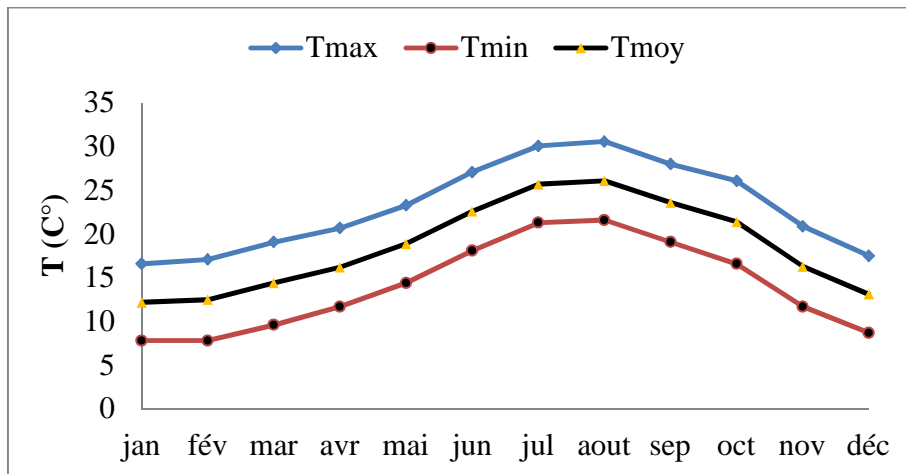


Figure II.1 : variations des températures moyennes minimales, maximales et moyennes mensuelle pour la période 2001-2010 (station météorologique de Bejaia).

A travers la figure (II.1), on remarque que :

- Les températures moyennes les plus basses sont enregistrées au mois de janvier (12.2 C°), et le plus élevées en mois d'Aout (26.1 C°) ;
- Les températures moyennes des maximums les plus faibles sont enregistrées au mois de janvier (16.1C°) et les plus importantes au mois d'Aout (30.6 C°) ;
- Les températures moyennes minimum varient de 7.8 C° (janvier) a 21.6 c° (aout) ;
- L'amplitude thermique entre le mois le plus froid (janvier) et le mois le plus chaud (Aout) est de 13.9 C°.

II.2.2 L'humidité de l'air

L'humidité de l'air est un facteur important que les précipitations et la température. Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région de Bejaia sont représentées dans le tableau (II.2) :

Tableau II.2 : les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période 2001-2009 (station météorologique de Bejaia,).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Humidité(%)	77.2	76	78.1	78.4	78.4	76	75.1	75.1	76.4	76.5	75.1	75.9

La figure (II.2) montre les variations de l'humidité durant tous les mois de l'année :

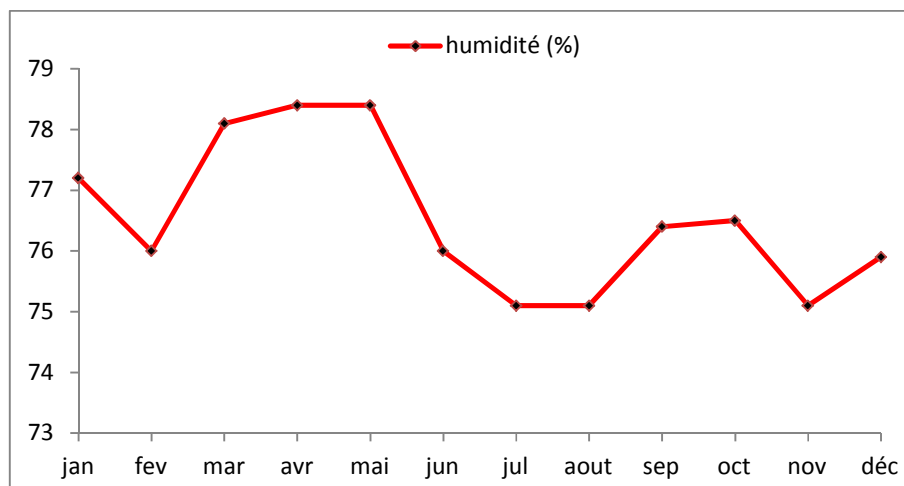


Figure II.2: variations de l'humidité relative pour la période 2005-2010 (station météorologique de Bejaia).

La courbe nous indique que les pourcentages de l'humidité, relative à notre région d'étude, sont élevées du mois de mars à mai avec un maximum de 78.4% en mois de mai, et des taux moins élevées en été et moyens en automne. L'humidité atteste l'influence du milieu marin sur cette région.

II.2.3 Le vent

Selon les données de la station météorologique de Bejaia, la région de Bejaia reçoit dans la majorité du temps des vents modérés, représentés avec 23 % de vents calmes (vents < 1 m/s), avec la dominance des vents soufflants d'Ouest à Sud Ouest (44 %) et dont les vents d'Est ne représentent que (13%). Les vitesses des vents mensuelles sont représentées dans le tableau (II.3) :

Tableau II.3 : vitesses des vents mensuelles (station météorologique de Bejaia,).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
V (m/s)	3.2	3.2	2.9	3	2.6	2.7	2.7	2.6	2.8	3.1	3.3	2.9

La figure (II.3) montre les variations de l'humidité durant tous les mois de l'année :

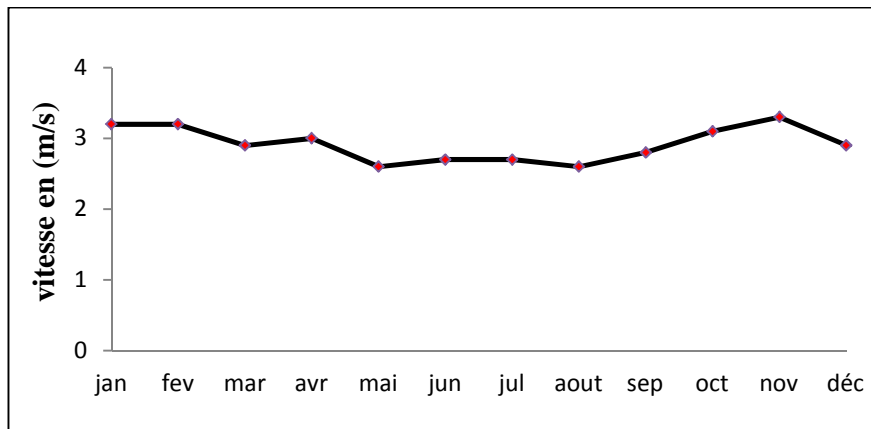


Figure II.3 : vitesses des vents mensuelles de l'année 2010 (station météorologique de Bejaia).

Les vents sont fréquents mais généralement calmes, Ils jouent un rôle important dans la formation des sols comme ils augmentent l'intensité de l'évapotranspiration. La vitesse moyenne des vents est de 3.05 m/s avec un maximum de 3.3 m/s au mois de novembre.

II.2.4 Les précipitations

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale non seulement pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres et aquatiques, mais aussi pour la répartition des êtres vivants [19].

Les précipitations sont exprimées d'après le niveau d'eau recueilli sur une surface plane et se mesurent en millimètre à l'aide d'un pluviomètre. Elles sont considérées faibles si elles ne dépassent pas 2.5mm par heure, fortes si elles dépassent 7.5mm par heure et modérées si elles se situent entre ces deux valeurs.

La répartition des précipitations d'un climat méditerranéen est inégale au cours de l'année; ce qui a engendré l'apparition de quatre saisons différentes [6].

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la région de Bejaia sont représentées dans le tableau (II.4).

Tableau II.4: Les précipitations moyennes mensuelles pour la période 2001-2010 (station météorologique de Bejaia, 2010).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P(mm)	133.7	76.7	75.6	77.3	40.7	8.8	12.5	10.5	74.2	58.3	123.8	150.8

En utilisant ces valeurs, nous avons retracé la courbe montrant les variations des précipitations durant les mois de l'année.

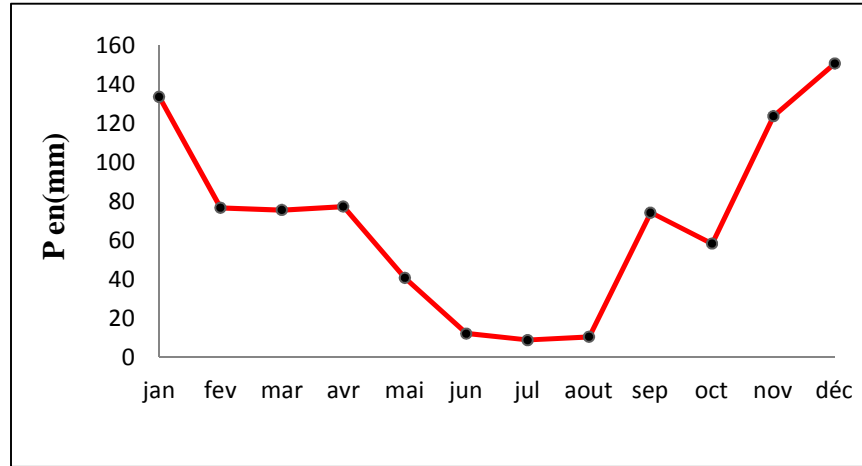


Figure II.4: Les précipitations moyennes mensuelles pour la période 1970-2009 (station météorologique de Bejaia, 2010).

A partir de la figure (II.4), il s'avère que les maximas des précipitations moyennes mensuelles sont observés durant la période de Décembre à janvier avec respectivement 150,8 et 133.7mm. Par contre, les précipitations diminuent très fortement durant la période Juin-Aout donnant sa valeur minimale au mois de Juillet avec une valeur ne dépassant pas 5mm.

II.3 Synthèse des données climatiques

D'après les données climatiques (températures et précipitations) recueillies dans la station météorologique de Bejaia, nous avons établi le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussien et le climagramme d'Emberger.

II.3.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussien

Ce diagramme nous renseigne sur la saison sèche d'une région donnée, on porte sur un même graphe les températures (T °C) et les précipitations (P mm) sur l'axe des ordonnées et les mois sur l'axe des abscisses. Il est conçu de telle sorte que la pluviométrie est égale au double de la température moyenne mensuelle ($P = 2T$).

D'après Bagnouls et Gaussien, la période de sécheresse apparaît lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de celle des températures. [10]

Nous allons dresser dans le tableau (II.5), les valeurs des précipitations annuelles et les valeurs doublées des températures moyennes mensuelles que nous allons utiliser pour l'établissement du diagramme Ombrothermique.

Tableau II.5: Tableau représentatif des données de diagramme Ombrothermique

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2T (°C)	24.4	25	28.8	32.4	37.8	45.2	51.4	52.2	47.2	42.8	32.6	26.2
P (mm)	133.7	76.7	75.6	77.3	40.7	8.8	12.2	10.5	74.2	58.3	123.8	150.8

A partir de ces valeurs, nous avons tracé le diagramme Ombrothermique de la région de Bejaia durant cette période.

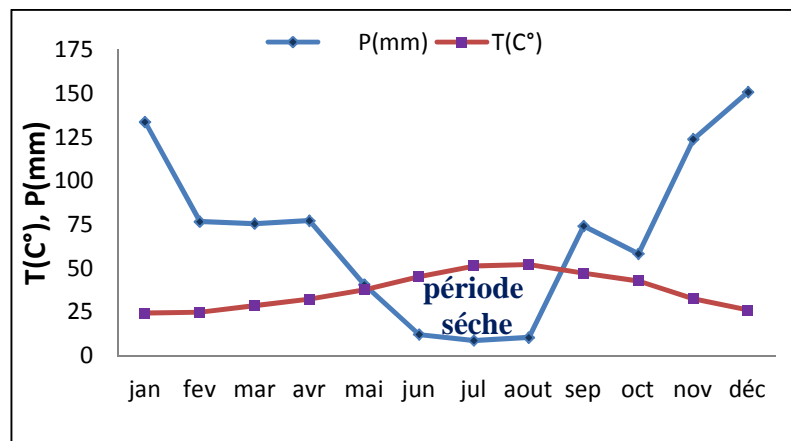


Figure II.5: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Bejaia pour période (2001- 2010).

II.3.2 Le Climagramme d'Emberger

Le Climagramme d'Émerger permet de classer une région donnée sur des étages bioclimatiques en tenant compte du quotient d'Émerger (Q2), Cette formule plus élaborée, qui a été crée pour les climats méditerranéens, tient compte aussi de la variation annuelle de la température. L'équation Q2 se calcule selon la formule suivante: [13]

$$Q2 = 2000 P / (M+m) (M-m) \tag{II.1}$$

Avec :

- P : précipitations annuelles en mm ;
- M : température maximale du mois le plus chaud en °K ;
- m: température minimale du mois le plus froid en °K.

Emberger classe le climat méditerranéen en faisant intervenir les deux facteurs essentiels qui sont la sécheresse (représentée par le quotient pluviothermique) et la température du mois le plus froid qui élimine les espèces les plus thermiques. Le quotient pluviothermique est d'autant plus important que le climat est plus humide. [6]

Stewart (1969), a simplifié ce quotient pour l'Algérie et le Maroc. Il se calcule par la formule suivante :

$$Q_2 = 3,43 * P / M - m \quad (II.2)$$

Dans le cas de notre région d'étude : $P = 842,6 \text{ mm}$

$$M = 30,6 \text{ C}^\circ$$

$$m = 7,8 \text{ C}^\circ$$

$$Q_2 = 3,43 \times 842,6 / 30,6 - 7,8$$

$$Q_2 = 126,75$$

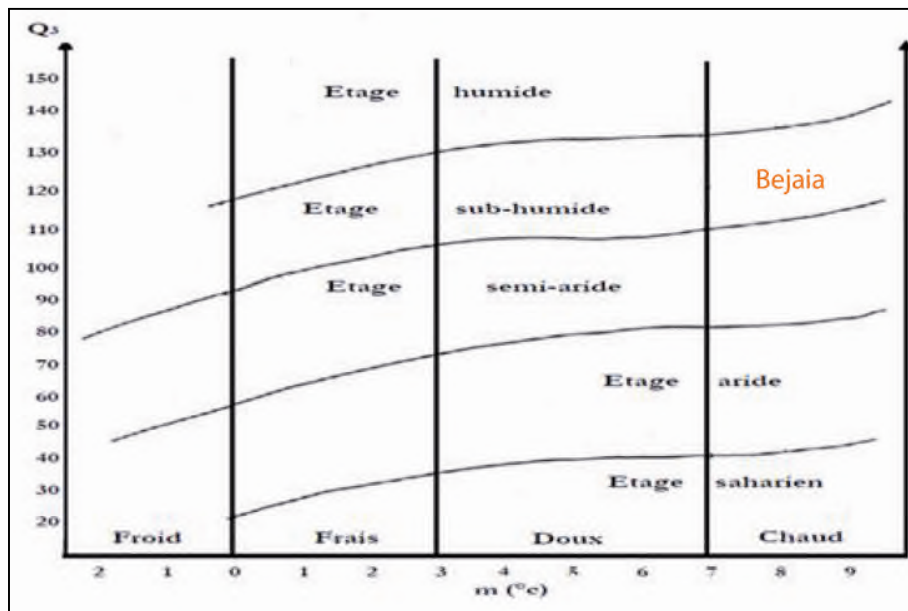


Figure. II.6 : Situation bioclimatique de Bejaia sur Climagramme d'Emberger.

II.4 conclusion

D'après les données climatiques fournies par la station météorologique d'Aéroport de Bejaia nous avons conclu que :

- L'étude des facteurs climatiques nous a permis de distinguer deux saisons à savoir la saison sub-humide et la saison sèche.
- La température moyenne dans la région est de l'ordre de $19,2 \text{ C}^\circ$.
- L'interprétation du climagramme d'Emberger nous a permis de classer la situation bioclimatique de la région de Bejaia (sub-humide)

CHAPITRE III

Matériels et méthodes

III.1 Principes théoriques

Il existe plusieurs façons de déterminer la quantité d'une substance présente dans une portion de solution, c'est-à-dire d'effectuer le dosage de cette substance. Plusieurs réactions chimiques sont en effet spécifiques à un composé donné. Certaines, par exemple, produisent un composé coloré. L'intensité de la coloration peut être reliée à la concentration molaire volumique de la substance dosée, notamment au nombre de moles de la substance qu'on retrouve dans un litre de la solution. D'autres réactions impliquent un faible potentiel électrique (oxydoréduction) dont l'intensité peut être reliée à la concentration d'une substance. C'est ce phénomène qui est à la base du fonctionnement des électrodes spécifiques comme celle qu'on trouve sur un pH-mètre. Alors que d'autres réactions exploitent une variation du PH pendant le dosage ou encore la formation d'un précipité [8].

III.2 Échantillonnage

Nous avons effectués une campagne de prélèvement de 13 stations au total, avec 8 prélèvements sur des stations souterraines et 5 prélèvements sur les eaux de surface.

➤ La campagne s'est effectuée le : 12/02/2014 (en jour pluvieux).

Les eaux souterraines proviennent d'un pompage fait sur des forages situés à l'aval du bassin versant. Les stations de surface, ont été choisies de sorte à nous permettre l'établissement d'une comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Nous avons effectué les prélèvements en profondeur et en utilisant des bouteilles en plastiques rincées avec l'eau de l'échantillon afin d'éliminer toute interaction entre la matière et l'échantillon. Les paramètres physiques ont été mesurés in situ ainsi que les flacons ont été rincés in situ avec l'eau de l'échantillon. En ce qui concerne la conservation des échantillons nous avons utilisé une glacière gardant la température à 4C° et les analyses physico-chimiques ont été effectuées dans les premières 24 à 48 heures au laboratoire afin d'éviter toute altération des eaux échantillonnées.

III.3 Analyses physico-chimiques

III.3.1 La Couleur

Nous avons estimé la couleur des eaux par un simple examen visuel des échantillons placés dans des récipients larges et incolores lors du prélèvement

III.3.2 L'Odeur et Saveur

Nous avons mis en évidence l'odeur et la saveur par simple examen sensorielle lors du prélèvement.

III.3.3 LA température

Nous avons effectué la mesure de la température à l'aide d'un paramètre (inoLAB*PH/ION/Cond 750), après une immersion de l'électrode dans le bêcher contenant de l'eau de l'échantillon.

III.3.4 La conductivité

Elle est mesurée à l'aide d'un multi-paramètre (inoLAB* pH/ION/Cond 750). L'analyse s'est effectuées avec l'émersion la cellule de conductimètre dans le bêcher rempli d'eau à analyser et nous avons attendu la stabilisation de la valeur affichée sur l'écran. Généralement l'unité de mesure est en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).



Figure III.1: Photographie du multi-paramètre (inoLAB* pH/ION/Cond 750).

III.3.5 Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH des eaux est important à connaître car la connaissance des teneurs de CO_2 dissout, permet indirectement l'évaluation de l'agressivité chimique des eaux, il est généralement supérieurs à 7.

Le potentiel hydrogène est mesurée avec le même multi paramètres mais en utilisant une sonde différente (sonde de pH-mètre).

III.3.6 Salinité

Elle est définie comme la somme des matières solides en solution contenues dans une eau, après conversion des carbonates en oxyde, après oxydation de toutes les matières organiques et après remplacement des iodures par une quantité équivalente de chlorures. [15]

III.3.7 Total des solides dissous (TDS)

Nous avons mesuré le total des solides dissous à l'aide du même multi-paramètres (inoLAB* pH/ION/Cond 750), en plongeant la sonde de la conductivité dans le bécher rempli de l'eau de l'échantillon et nous avons attendu la stabilisation de la valeur affichée sur l'écran. L'unité de mesure est en mg/l.

III.4 Le principe de Spectrométrie d'Absorption Atomique(SAA)

Le principe de base de cette méthode repose sur la mesure d'absorption d'une radiation lumineuse, par une substance ramenée à l'état d'atomes libres. Cette absorption est proportionnelle à la concentration en cation contenue dans l'échantillon d'eau [6].



Figure III.2 : Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA).

III.5 Positionnement des points d'eau d'échantillonnage

Les repères des points d'eau sont positionnés sur place à l'aide d'un GPS GARMIN ETREX H représenté dans la figure (III.3) :



Figure III.3 : Le GPS GARMIN ETREX H

III.6 Dosage des éléments

III.6.1 Dosage des chlorures par la méthode de MOHR :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution traitée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent. [21]

Expression des résultats :

$$[Cl^-] = \frac{N1 \cdot V1 \cdot 35,5 \cdot 1000}{V_e} \text{ mg/L} \quad (\text{III.1})$$

Avec:

- N1: Normalité d'Ag NO₃ (0,1N);
- V1: Volume d'Ag NO₃ titré ;
- V_e : volume d'échantillon d'eau analysée.

❖ Établissement de la courbe d'étalonnage (voir l'annexe A4)

III.6.2 Dosage de nitrates (Méthode au salicylate de sodium)

Principe

En présence de salicylate de sodium. Les nitrates donnent le sel paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune est susceptible d'un dosage colorimétrique. [16]

Mode opératoire

Introduire 10ml d'eau à analyser dans un Erlen Meyer de 100 ml (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg/l opérées à une dilution).

Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium (0,1 ml environ).

Ajouter 1 ml de la solution de salicylate de sodium pour suivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau distillée.

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'ondes de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se rapporter à la courbe d'étalonnage.

- ❖ Établissement de la courbe d'étalonnage (voir l'annexe A1).

III.6.3 Dosage de sulfate

Principe de la méthode

Le dosage des sulfates est basé sur la réaction en milieu acide, entre l'ion sulfate et le chlorure de baryum, qui conduit quantitativement à la formation de sulfate de baryum, sel très peu soluble [2].



Mode opératoire

Dans un Becher de 250 ml place sur un agitateur magnétique, verser 100 ml d'échantillon ou de solution étalon. Ajouter à la pipette 5 ml de la solution stabilisante. Agiter ; la vitesse d'agitation devra être maintenue constante pendant toute la durée de l'expérience. Ajouter environ 0,4 g de $\text{Ba}^{2+} 2\text{Cl}$ et agiter 1 minute, puis verser la suspension dans la cellule de mesure.

Attendre 3 ou 4 minutes pour que la turbidité se développe, puis faire la lecture sur l'appareil, ne pas attendre plus de 10 minutes après l'addition de $\text{Ba}^{2+} 2\text{Cl}$. Commencer par le témoin afin de pouvoir régler le 100% de transmission et faire la soustraction du témoin.

- ❖ Établissement de la courbe d'étalonnage (voir annexe A6)

III.6.4 Dosage de calcium (Ca^{2+})

Le dosage du calcium peut être réalisé de différentes manières (Spectrométrie, absorption atomique). Nous allons utiliser la méthode Spectrométrie à l'E.D.T.A. qui fait l'objet de la norme NFT90 016.

Principe

Le principe du dosage est de complexer les ions calcium avec l'EDTA (Acide éthylène diamine tétraacétique). On utilise comme indicateur coloré qui forme un complexe d'une coloration rouge en présence de l'ion Ca^{2+} et reprend sa teinte bleue lorsque la totalité de ces ions sont sous la forme CaY^{2-} .

Pour que ce dosage se fait dans de bonnes conditions, il faut placer en milieu basique afin que l'EDTA ne soit pas protoné. On se place à un pH compris entre 12 et 13 pour précipiter le magnésium sous forme d'hydroxyde et éviter ainsi qu'il soit pris en compte dans le dosage.

Mode opératoire

A l'aide d'une pipette, introduire 50ml de l'échantillon dans un Erlen- Meyer de 250ml ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde de sodium (2M) et quelque cristaux de l'indicateur acide calcine carboxylique. Dans le cas où le pH reste inférieur à 12, ajouter la quantité de solution d'hydroxyde de sodium nécessaire pour amener le pH entre 12 et 13 (vérifier avec du papier pH). Verser lentement en fin de dosage. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement bleue. La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

Expression des résultats

$$N_{\text{Ca}^{2+}} = \frac{1000 \cdot 40,08 \cdot V_{\text{EDTA}} \cdot C_{\text{EDTA}}}{V_{\text{échantillon}}} \quad (\text{III.3})$$

Avec

- $N_{\text{Ca}^{2+}}$: la concentration en Ca^{2+} (mg/l) ;
- V_{EDTA} : Volume de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage (ml) ;
- C_{EDTA} : Concentration de la solution d'EDTA (M) ;
- $V_{\text{échantillon}}$: Volume d'échantillon dosé (ml) ;

Les échantillons dont la concentration en calcium est supérieure à 100 mg/l doivent être dilués avant le dosage. Il faut alors tenir compte de la dilution dans le calcul des concentrations. [2]

III.6.5 Dosage du magnésium

On utilise la méthode par spectrométrie d'absorption atomique (SAA).

Principe :

Dosage par spectrométrie d'absorption atomique après ajout de chlorure de lanthane (si une flamme acétylène-air est utilisée) ou de chlorure (si une flamme monoxyde de diazoté /acétylène est utilisée) pour réduire les interférences, l'absorbance est mesurée à 285,2

Mode opératoire :

- Avant de mesurer, on effectue les réglages de l'appareil selon les instructions ;
 - Régler les débits en aspirant de l'eau bi distillée ;
 - Régler le 0 de l'appareil avec une solution d'acide nitrique ;
 - Nébuliser successivement dans la flamme du brûleur les solutions d'étalonnage ;
 - Rincer l'ensemble nébuliseur –brûleur après le passage de chaque solution en nébulisant ; de l'eau bi distillée [3].
- ❖ Établissement de la courbe d'étalonnage du magnésium (voir l'annexe A2)

Expressions des résultats :

Déduire de la courbe d'étalonnage tracée à partir des solutions d'étalonnage, les concentrations obtenues pour les solutions de dosage calculées à partir de ces valeurs en tenant compte de dilutions éventuelles lors du traitement de l'échantillon pour essai et lors de la mesure.

III.7 Dosage des éléments traces métalliques

Ces éléments ont été analysés par le SAA du laboratoire de recherche hydraulique appliqué et environnement.

L'établissement des courbes d'étalonnage de chaque élément a été effectué de la manière suivante :

Une solution mère a été préparée pour chaque élément avec des concentrations variant de 1 à 5mg/l, puis une dilution a été faite. Pour enfin obtenir des solutions mères. Pour enfin obtenir des solutions filles en nombre de 5 à 6.

III.7.1 Établissement de la courbe d'étalonnage

Le SAA de laboratoire de recherche hydraulique de type (3500 SC) four et flamme est doté d'un logiciel possédant une interface très conviviale permettant la facilité de l'introduction de la courbe d'étalonnage ainsi les solutions échantillons à analyser.

Pour chaque élément rechercher, il y a lieu de lui créer une méthode qui consiste à sélectionner l'élément à partir de tableau périodique enregistré dans le logiciel et de ce fait un chargement automatique de tous les caractères sera effectué, ainsi la méthode sera appelée automatiquement par rapport à l'élément (hauteur de la flamme, longueur d'ondes)

Il nous reste à suivre les instructions de la méthode à savoir :

- Méthode d'analyse four ou flamme ;
- Absorption ou émission ;
- Nombre d'échantillon d'étalonnage ;
- Facteur de dilution (dans notre cas = 1).

Une fois, les solutions étalons ont été introduites une courbe d'étalonnage sera affichée, elle n'est retenue que la courbe donnant un coefficient de corrélation meilleur, si un des points de mesure semble très éloigné, il est possible d'effectuer la suppression de ce dernier.

Une fois la courbe d'étalonnage établie et approuvées, le logiciel nous demande à introduire les échantillons à analyser. Pour chaque échantillon l'élément est mesuré trois (3) fois est la mesure affichée représente la moyenne arithmétique des trois (3) mesures.

CHAPITRE IV

Analyses hydrochimiques

IV.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif, de définir la qualité physico-chimique des eaux des Oueds Djemaa et Zitouna, et de caractériser le chimisme des eaux qui nous permettra d'expliquer l'origine et l'évolution des éléments chimiques afin de mieux comprendre le fonctionnement du système aquifère. Cette étude a porté sur l'analyse et interprétation de 13 échantillons (8 échantillons d'eaux souterraines et 5 échantillons d'eaux de surface). Les analyses des éléments chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de recherches en hydraulique appliquée et environnement de l'université de Bejaia et ont porté sur les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^{2-}) et certains éléments traces (B^+ , Li^+ , Sr^+ , Fe^+ , Zn^+).

IV.2 Caractéristiques des stations de prélèvement

Les caractéristiques des stations de prélèvement sont illustrées dans le tableau (IV.1):

Tableau IV.1 : Caractéristiques des stations de prélèvement.

	Symbole	Désignation	X	Y	Z
Eaux de surface	S ₁	à proximité de la station	0696832	4057068	16
	S ₂	Amant de la carrière	0696090	4056605	8
	S ₃	Aval d'Oued Zitouna	0698536	4057516	2
	S ₄	Le pont sur mer	0696958	4057913	5
	S ₅	à proximité du forage larbaa	0693086	5056157	36
Eaux souterraine	P ₁	Station d'Oued Djemaa	0696636	4057241	11
	P ₂	Station du pont	0696832	4057627	3
	P ₃	Station de Tabliente	0695672	4056353	12
	P ₄	Station Oued Zitouna(01)	0698688	4057528	2
	P ₅	Station Oued Zitouna(02)	0698554	4057360	6
	P ₆	Station Oued Zitouna(03)	0698531	4057516	9
	P ₇	Station Oued Zitouna(04)	0698043	4056766	13
	P ₈	Station de larbaa	0693361	4056446	39

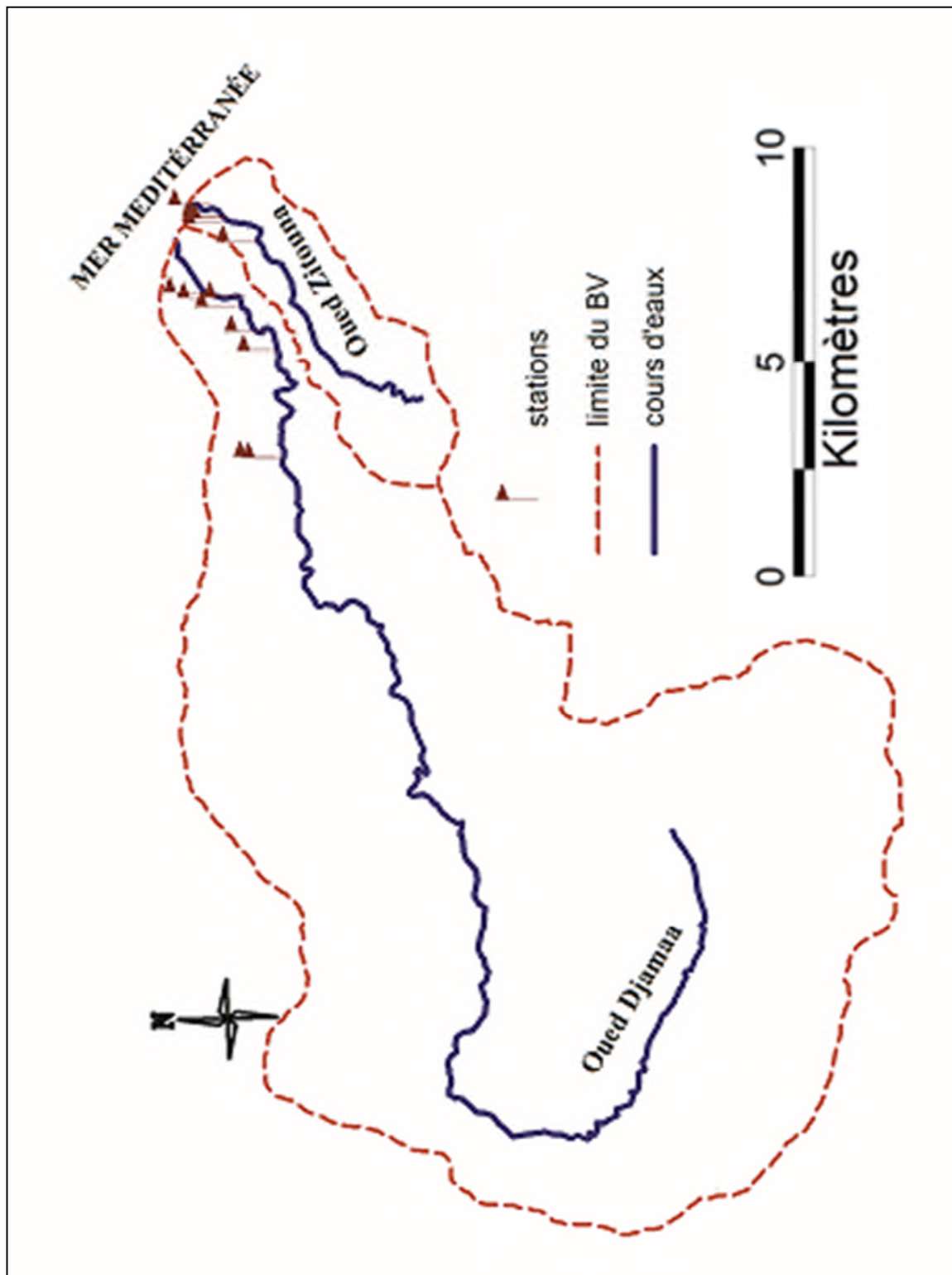


Figure (IV.1) : Carte du réseau échantillonné.

IV.3 Analyse des paramètres physiques

Le tableau (IV.2) montre les résultats des paramètres physiques et organoleptiques obtenus lors des analyses.

Tableau IV.2: les résultats d'analyse des paramètres physiques et organoleptiques obtenus lors des analyses.

Paramètres physiques	Couleur	Odeur	Saveur	PH	Conductivité (µs/cm)	Salinité (‰)	T.D.S (mg/l)	
Eaux souterraines	P1	Incolore	Sans	Absence	7.56	1137	0.3	1123
	P2	Incolore	Sans	Absence	7.51	1278	0.4	1241
	P3	Incolore	Sans	Absence	7.54	1073	0.3	1045
	P4	Incolore	Sans	Absence	7.66	646	0.0	624
	P5	Incolore	Sans	Absence	7.68	618	0.0	599
	P6	Incolore	Sans	Absence	7.82	572	0.0	559
	P7	Incolore	Sans	Absence	7.81	614	0.0	599
	P8	Incolore	Sans	Absence	7.55	1123	0.3	1088
Eaux de surface	S1	Jaunâtre	Sans	Absence	7.91	887	0.2	870
	S2	Jaunâtre	Sans	Absence	8.22	855	0.2	844
	S3	Jaunâtre	Sans	Absence	8.55	481	0.0	466
	S4	Jaunâtre	Sans	Absence	8.45	451	0.2	844
	S5	Jaunâtre	Sans	Absence	8.20	844	0.1	817

IV.3.1 Couleurs

Après un simple examen visuel sur les échantillons placés dans des récipients, nous avons constaté que les eaux souterraines sont transparentes incolores.

La couleur jaunâtre des eaux de surface peut être expliquée du faite que juste avant notre campagne de prélèvement, des creux ont été enregistrés après de fortes précipitations qu'a subies la région.

IV.3.2 Odeurs et saveurs

Les eaux souterraines et les eaux de surfaces étaient inodores est sans gout.

IV.3.3 Potentiel d'hydrogène

Le pH dépend en grande partie de l'effet tampon des terrains traversés qui sont en majorité des terrains calcaire et dépend également de la nature des rejets qui y sont déversés. Les variations du potentiel d'hydrogène sont montrées dans la figure (IV.2) :

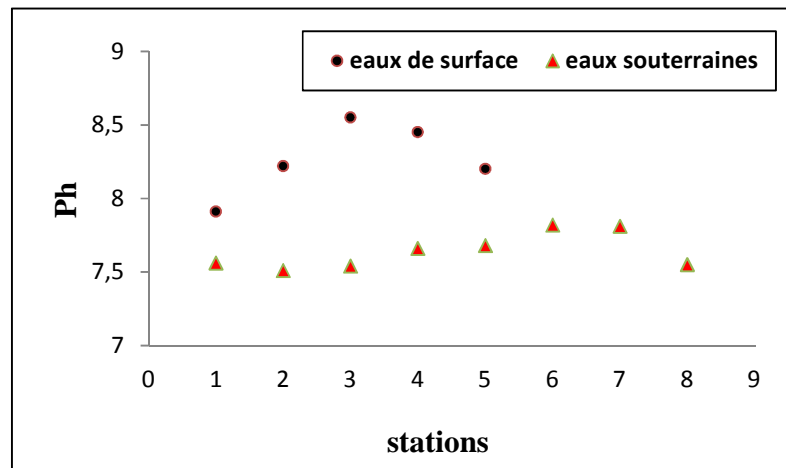


Figure IV.2: représentation graphique du Ph.

Les eaux souterraines ont un pH très proche du neutre avec une tendance plus ou moins alcaline, néanmoins toutes les valeurs sont conformes à la norme des eaux de consommation (6,5 - 8,5). Par contre, Les valeurs de pH obtenues pour les eaux de surfaces lors de prélèvement varient entre 7,91 et 8,55. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la S3 (8,55) et la valeur minimale est enregistrée au niveau de la S1 (7,91).

Cette variation peut être expliquée par la nature géochimique des roches affleurant dans le bassin versant. Toutes les valeurs sont conformes à la norme de l'OMS (voir l'annexe B1).

IV.3.4 Salinité :

La figure (IV.3) représente les variations des valeurs de la salinité des eaux souterraines et de surface enregistrées lors des analyses des échantillons de prélèvement :

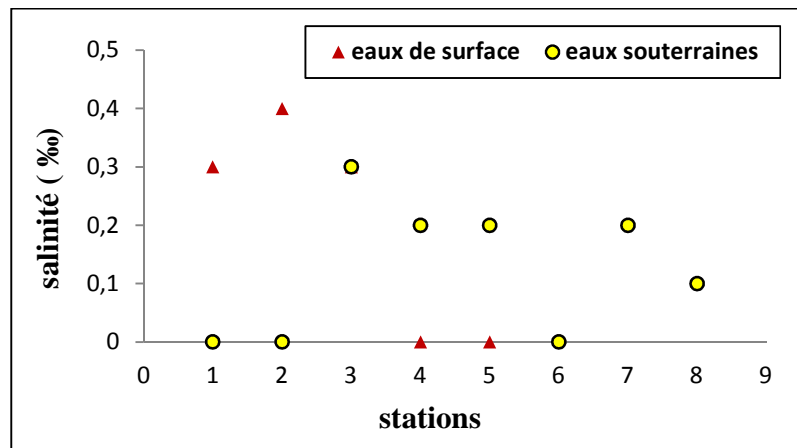


Figure IV.3 : représentation graphique la salinité.

Les valeurs de la salinité des eaux souterraines enregistrées lors de l'analyse varient entre 0 et 0,4‰ ; dont la valeur maximale a été enregistrée dans la station P2 (0,4‰), et les valeurs minimales ont été enregistrées dans les stations P4, P5, P6 et P7 (0,0‰).

Toutes les valeurs de la salinité des eaux de surface obtenues lors de prélèvement varient entre 0 et 0,2‰, les valeurs maximales ont été enregistrées au niveau des stations S1, S2 et S4 (0,2‰) et la valeur minimale a été enregistrée au niveau de la station S3 (0,0 ‰).

Cette variation ne peut être expliquée que par les rejets domestiques et la proximité de ces stations de la mer. Il est à signaler que certaines stations ne répondent pas à norme de salinité de (voir annexe B1).

IV.3.5 Conductivité électrique

La figure (IV.4) représente les valeurs de la conductivité des eaux de surface et les eaux souterraines lors de prélèvement.

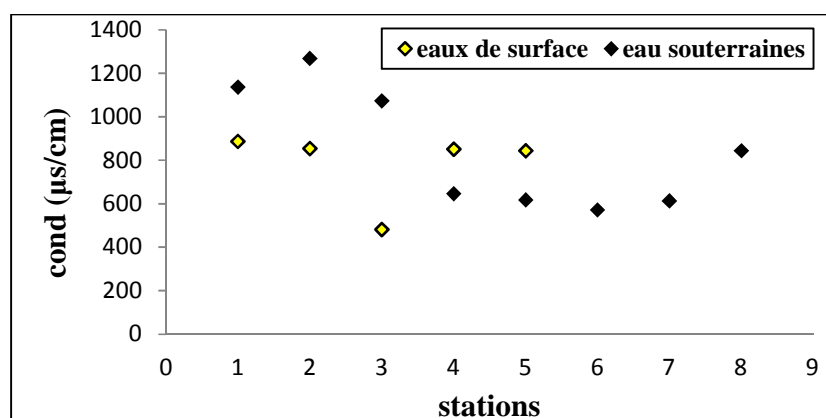


Figure IV.4: représentation graphique de la conductivité.

Les valeurs de la conductivité des eaux souterraines varient entre 572 et 1278 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La valeur maximale a été enregistrée au niveau de la station P2 (1278 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et la valeur minimale a été enregistrée au niveau de la station P6 (572 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

Les valeurs obtenues lors des analyses des eaux de surfaces varient entre 481 et 887 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La valeur maximale est enregistrée au niveau de la station S1 (887 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et la valeur minimale a été enregistrée au niveau de la station S3 (481 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

Cette variation de la conductivité indique qu'il y a une minéralisation importante, ceci peut être expliqué par la nature géochimique des roches traversées par les eaux dans cette région. Les valeurs sont conformes à la norme de (3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$).

IV.3.6 Total des sels dessous :

La figure (IV.5) représente les variations des valeurs de la salinité des eaux souterraines lors des analyses.

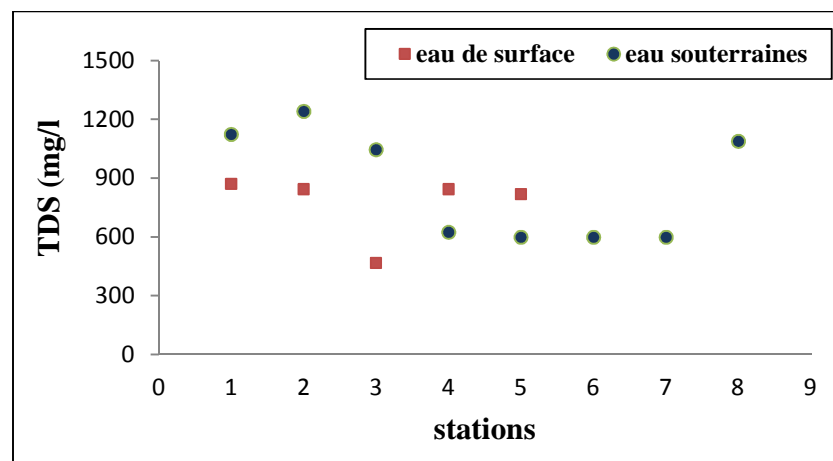


Figure IV.5 : représentation graphique du Total des solides dissous.

Les valeurs de TDS pour les eaux souterraines varient entre 559 et 1241 mg/l. la valeur maximale est enregistrée à la station P2 (1241 mg/l), les valeurs minimales ont été enregistrées au niveau des stations P6, P7 et P8 (559 mg/l).

Les valeurs des eaux de surfaces varient entre 466 et 870 mg/l. la valeur maximale a été enregistrée au niveau du S1 (870 mg/l) et la valeur minimale a été enregistrée au niveau du S1 (466 mg/l).

IV.4 Analyse des paramètres chimiques

IV.4.1 Eléments majeure (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^{2-} , NO_3^{2-})

Tableau IV.3 : Les résultats obtenus lors des analyses chimiques

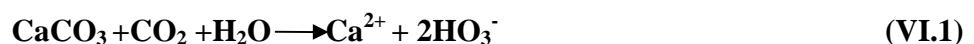
Éléments majeurs	Les cations				Les anions				
	Ca^{2+} (Még/L)	Mg^{2+} (Még/L)	Na^+ (Még/L)	K^+ (Még/L)	Cl^- (Még/L)	SO_4^{2-} (Még/L)	HCO_3^{2-} (Még/L)	NO_3^{2-} (Még/L)	
Eaux souterraines	P1	6.77	3.48	2.65	0.00	2.61	6.23	4.36	0.00
	P2	7.26	3.70	3.26	0.00	3.68	6.52	4.47	0.00
	P3	6.04	3.23	2.42	0.00	2.21	5.50	4.16	0.00
	P4	5.59	1.38	0.63	0.02	0.57	3.61	3.26	0.05
	P5	4.29	1.5	0.71	0.02	0.64	3.22	3.36	0.07
	P6	4.17	1.43	0.62	0.02	0.53	2.89	3.29	0.6
	P7	4.62	1.56	0.62	0.02	0.52	2.85	3.37	0.05
	P8	6.63	3.32	2.67	0.00	2.29	6.07	4.39	0.06
Eaux de surface	S1	5.11	2.75	1.45	0.03	1.24	4.65	3.77	0.03
	S2	5.21	2.81	1.45	0.03	1.36	4.75	3.78	0.03
	S3	3.29	1.32	0.52	0.02	0.41	1.86	2.95	0.03
	S4	5.35	2.89	1.50	0.04	1.29	4.83	4.05	0.03
	S5	5.26	2.71	1.36	0.00	1.17	4.68	3.78	0.02

IV.4.1.1 Cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)

IV.4.1.1 Calcium (Ca^{2+})

Les résultats des analyses des Oueds (Djemaa et Zitouna) ont montré des concentrations en calcium variant entre 5.35 et 5.11 Még/L pour les eaux de surface et entre 7.26 et 4.17 Még/L pour les eaux souterraines.

Ces concentrations proviennent principalement de la dissolution des formations carbonatées, ainsi que les formations gypsifères ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



Dans la figure (IV.6) on illustre une représentation des variations du calcium par rapport à l'exutoire.

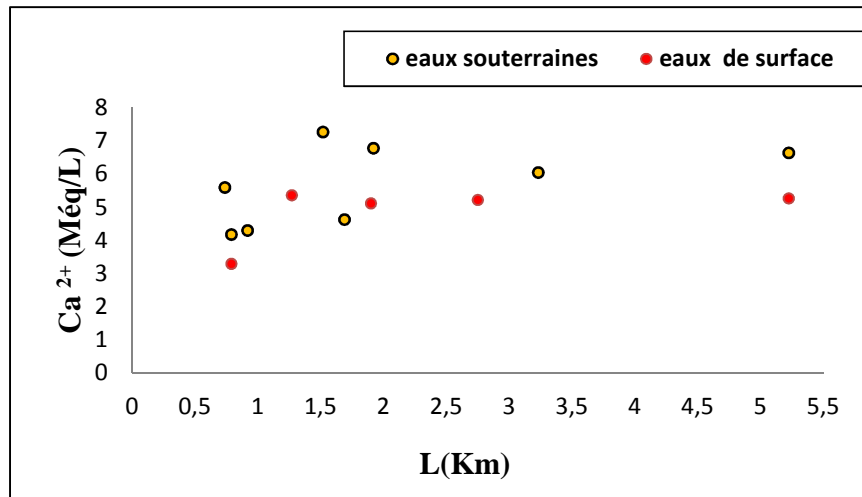


Figure IV.6 : représentation graphique du Ca²⁺.

IV.4.1.2 Magnésium (Mg²⁺)

Les ions Mg²⁺ proviennent de la dissolution des formations riches en magnésium, des calcaires dolomitiques. On remarque que les concentrations en magnésium enregistrées lors des analyses varient entre 2.89 et 1.32 Méq/L pour les eaux de surface et entre 3.70 et 1.43 Méq/L pour les eaux souterraines.

La figure (IV.7) donne une représentation des variations du magnésium le long des cours d'eau.

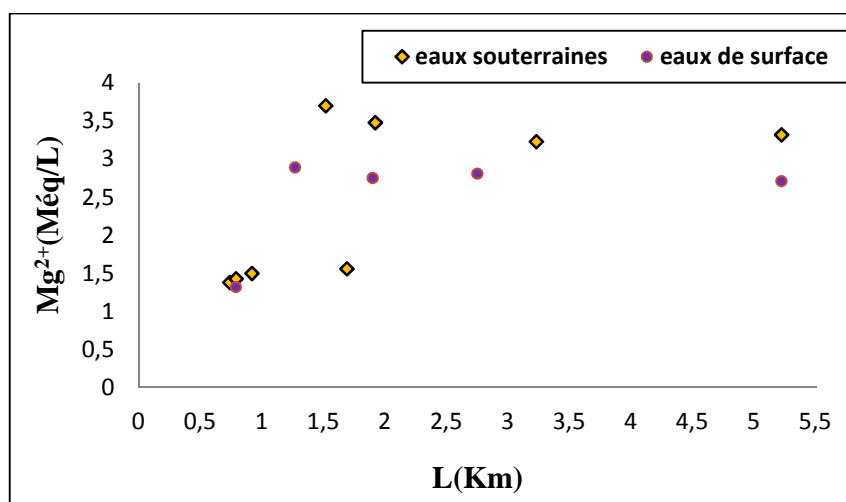


Figure IV.7 : représentation graphique du Mg²⁺.

IV.4.1.3 Sodium (Na^+)

Les ions de sodium sont de faibles concentrations, les résultats des analyses varient entre 1.45 et 0.52 Mécq/L pour les eaux de surface et entre 3.26 et 0.62 Mécq/L pour les eaux souterraines les résultats des analyses des variations du sodium sont représentés dans la figure (IV.8) :

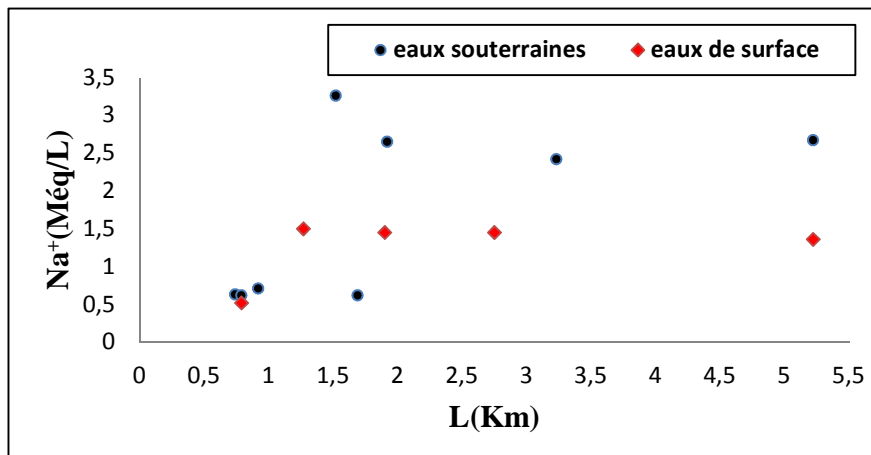


Figure IV.8: représentation graphique du Na^+ .

IV.4.1.4 Potassium (K^+)

Le potassium résulte de l'altération des certains argiles et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques. Les variations du potassium sont entre 0.03 et 0.00 Mécq/L (absences des engrais chimiques). les résultats des analyses des variations du sodium sont représentés dans la figure (IV.8) :

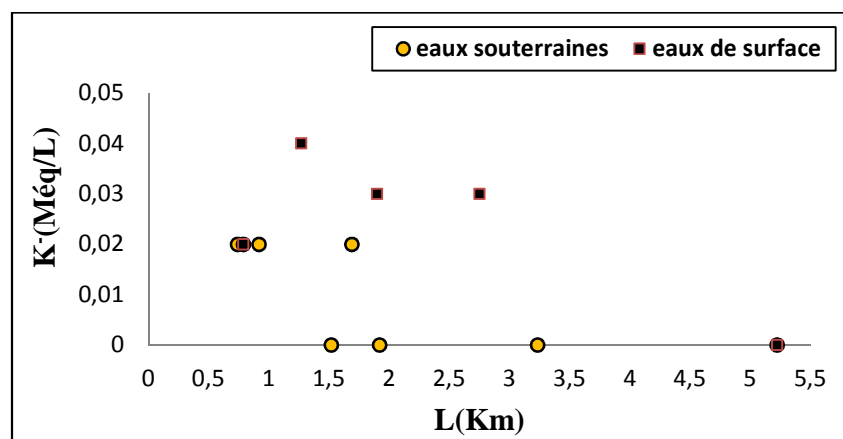


Figure IV.9: représentation graphique du K^+ .

IV.4.2 Anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^{2-})

IV.4.2.1 Chlorures (Cl^-)

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines. Ils sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels est très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine, ou par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de l'O.M.S) [14].

Les teneurs du chlorure varient entre 0.41 et 1.36 Méq/L pour les eaux de surface et entre 3.68 et 0.52 Méq/L pour les eaux souterraines.

Les résultats des analyses des variations du chlorure sont représentés dans la figure (IV.10) :

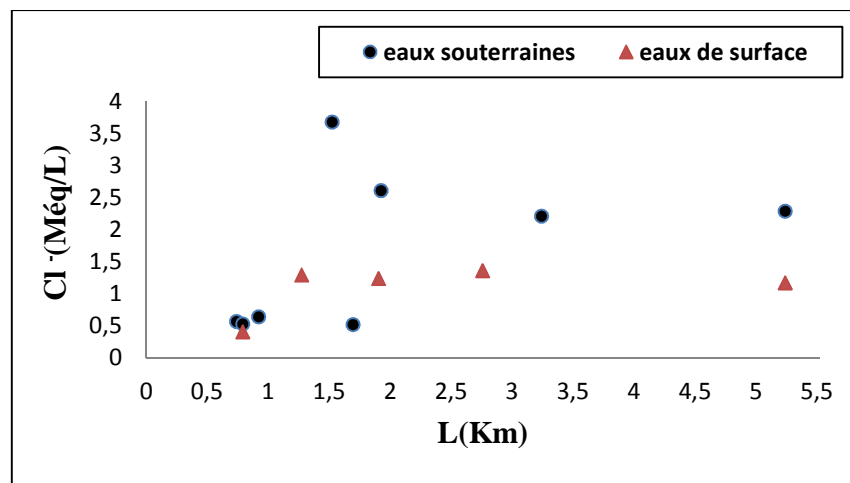
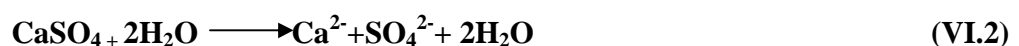


Figure IV.10 : représentation graphique du Cl⁻.

IV.4.2.2 Sulfates (SO_4^{2-})

Les résultats des analyses varient entre 1.86 et 4.83 Méq/L pour les eaux de surface et entre 2.85 et 6.52 Méq/L pour les eaux souterraines. La présence des sulfates dans l'eau est probablement liée au lessivage des dépôts évaporitiques, de nature essentiellement gypseuse affleurant dans la zone d'étude selon la relation suivante :



Les résultats des analyses des variations du sulfate sont représentés dans la figure (IV.11) :

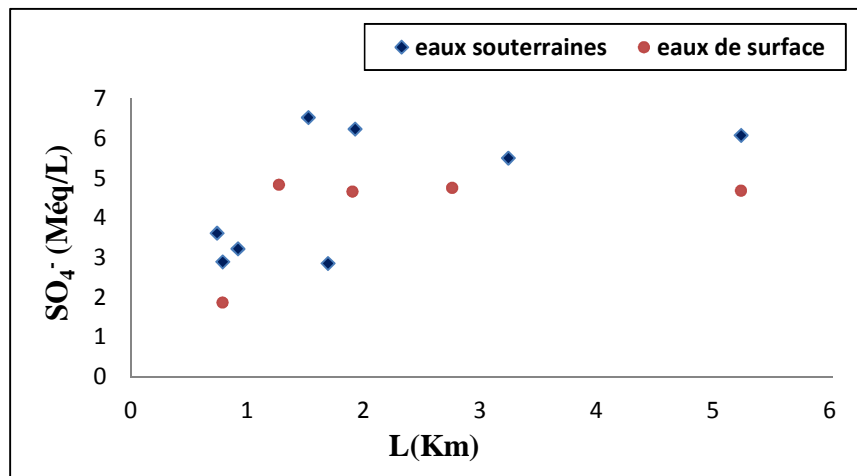


Figure IV.11 : représentation graphique SO₄²⁻.

IV.4.2.3 Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les résultats des analyses varient entre 2.95 et 4.05 Méq/L pour les eaux de surface et entre 3.26 et 4.47 Méq/L pour les eaux souterraines. La présence des bicarbonates dans l'eau est due essentiellement à la dissolution des formations carbonatées affleurant dans les monts du bassin, selon la réaction suivante :



Les résultats des analyses des variations du bicarbonate sont représentés dans la figure (IV.12):

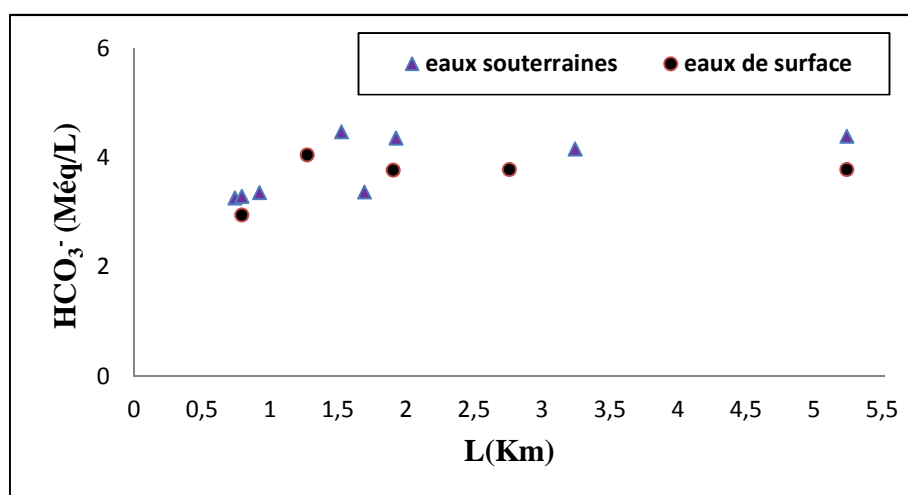


Figure IV.12: représentation graphique du HCO₃⁻.

IV.4.2.4 Nitrate (NO_3^{2-})

Les teneurs des nitrates obtenues varient entre 0.0 et 0.6 Mécq/L et sont toutes des teneurs conformes à la norme fixée par l’OMS (voir l’annexe B2).

Cette variation peut être expliquée par la présence d’un apport en nitrates exogène (utilisation des pesticides pour les agricultures installées sur les rives) ou la présence d’un rejet domestique directement dans l’oued.

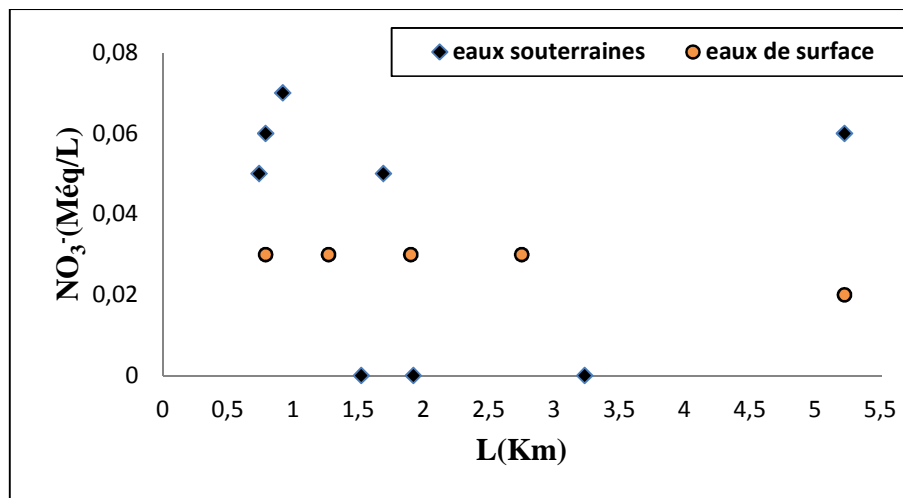


Figure IV.13: représentation graphique NO_3^{2-}

IV.5 Détermination des principaux faciès hydrochimiques

Les faciès hydrochimique sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en (Mécq/L) et en tenant compte de la classification des ions. [15]

IV.5.1 Diagramme de PIPER

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

L’interprétation des résultats d’analyses hydrochimiques pour toute la période d’observation a permis d’avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux de surface et souterraines et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles à l’origine de ces faciès [01].

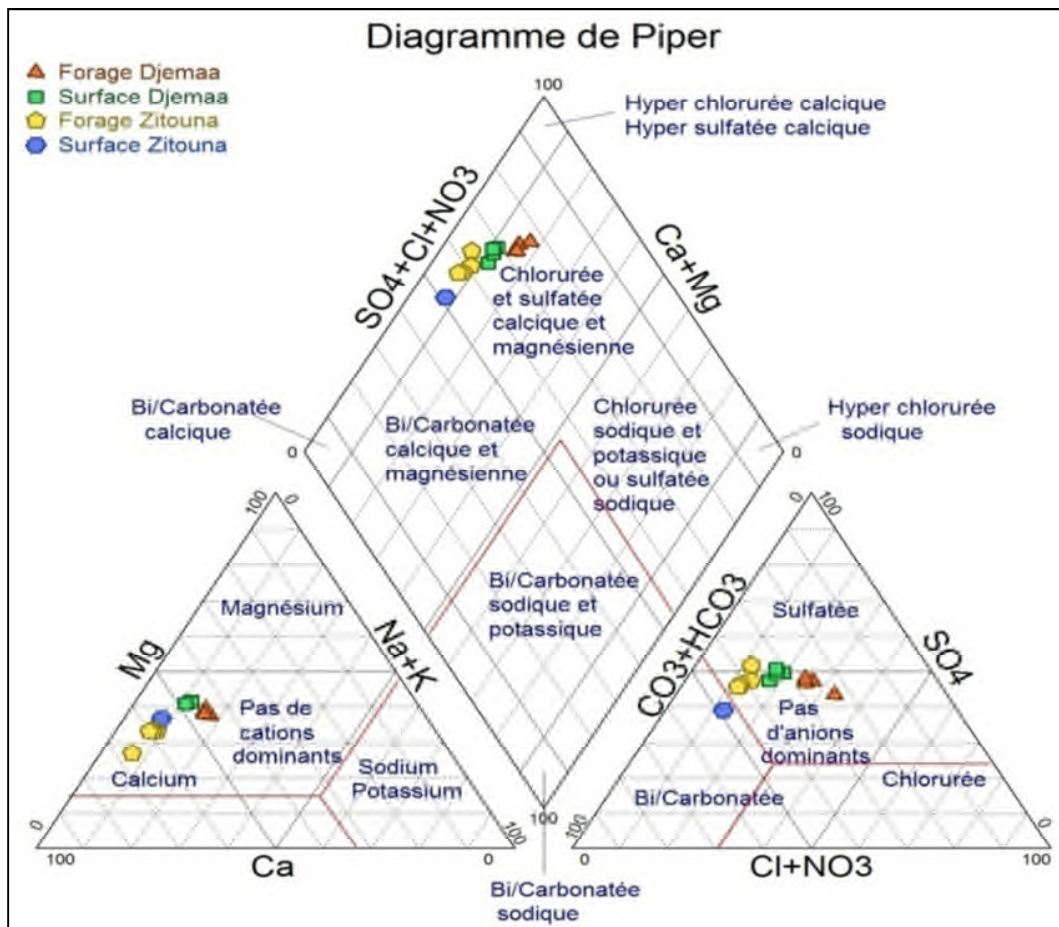


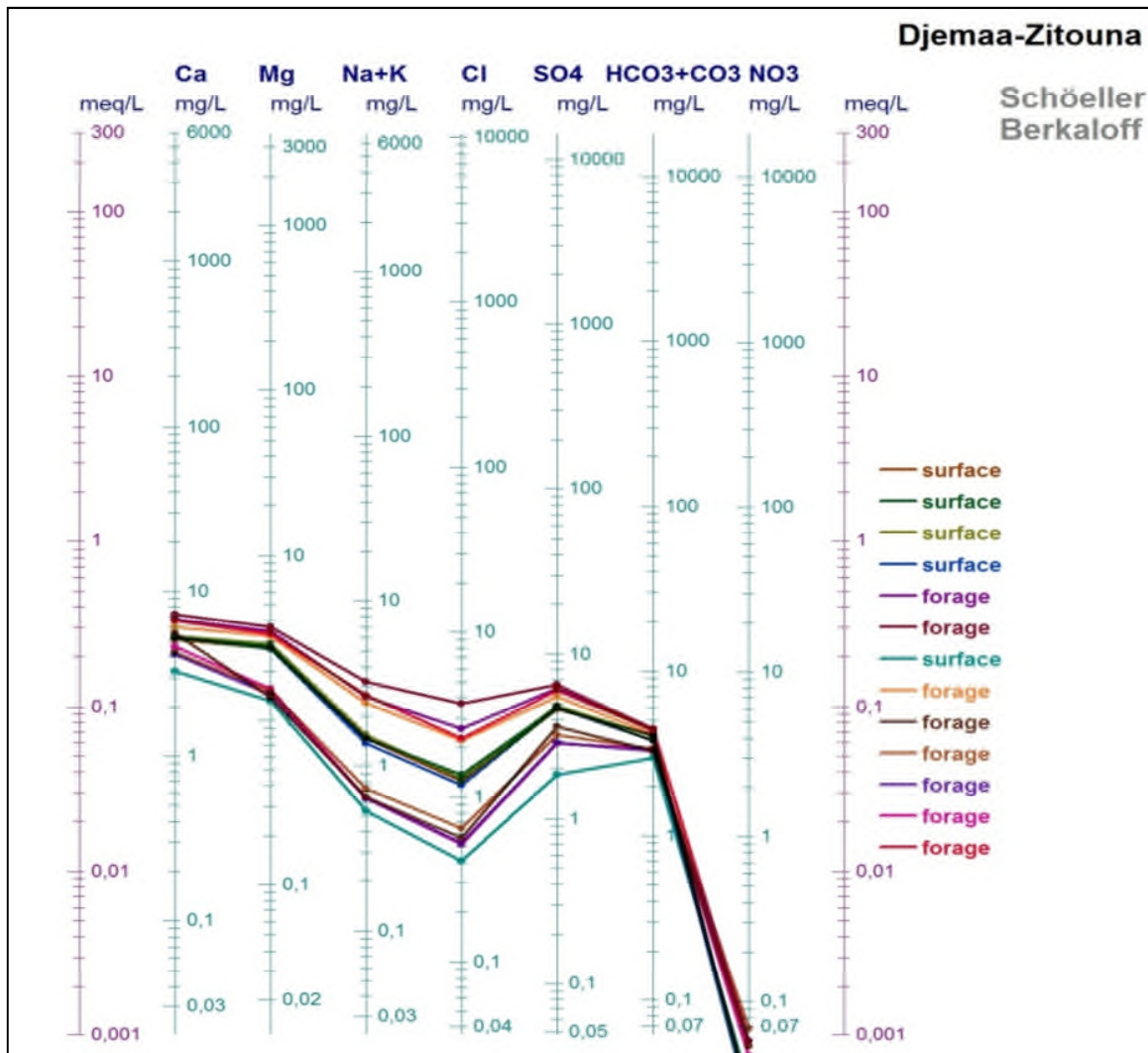
Figure IV.14: diagramme de piper pour les eaux des Oueds Djemaa et Zitouna.

On remarque à partir du diagramme de piper que pour les eaux de l'Oued Zitouna, le nuage des points montre une dominance cationique du calcium et du magnésium et sans dominance pour les eaux de Oued Djemaa. Ainsi qu'une absence anionique ou à bicarbonatée pour les eaux de surface de Zitouna.

Le diagramme global met en relief deux faciès dominants, le faciès hyper chloruré calcique et hyper sulfaté calcique pour les eaux de Zitouna et un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de l'Oued Djemaa.

IV.5.2 Diagramme de SCHOLER BERKALOFF

On utilise le diagramme semi logarithmique "SCHOLER BERKALOFF" pour la représentation graphique des analyses chimique des eaux. La classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux. Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs points des eaux sur un même diagramme [9].



IV.15 : Diagramme de SCHOLER BERKALOFF des Oueds Djemaa et Zitouna.

Le diagramme de la figure (IV.15), confirme la domination du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne qui est due à la dissolution combiné de la calcite, la dolomite et le gypse. Secondairement, le faciès chloruré calcique et sulfaté calcique peut provenir des facteurs anthropiques.

IV.6 Interactions eau-roche

IV.6.1 Relation entre Na^+ / Cl^-

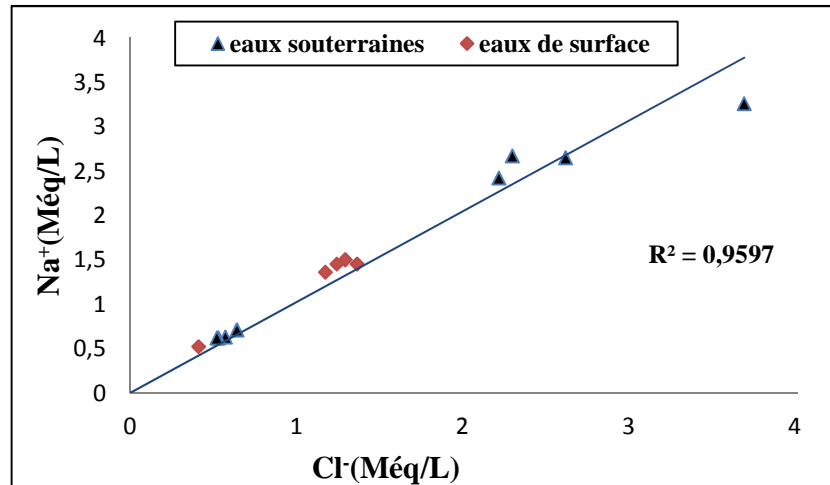


Figure IV.16 : représentation graphique de $\text{Na}^+ = f(\text{Cl}^-)$.

Les fortes concentrations de Na^+ et Cl^- , détectées dans la plupart des échantillons d'eaux souterraines et de surface, ainsi que les fortes corrélations entre eux suggèrent la dissolution de la halite liée à la présence de blocs salifères selon la réaction :



IV.6.2 Relation entre Ca^{2+} / Mg^{2+}

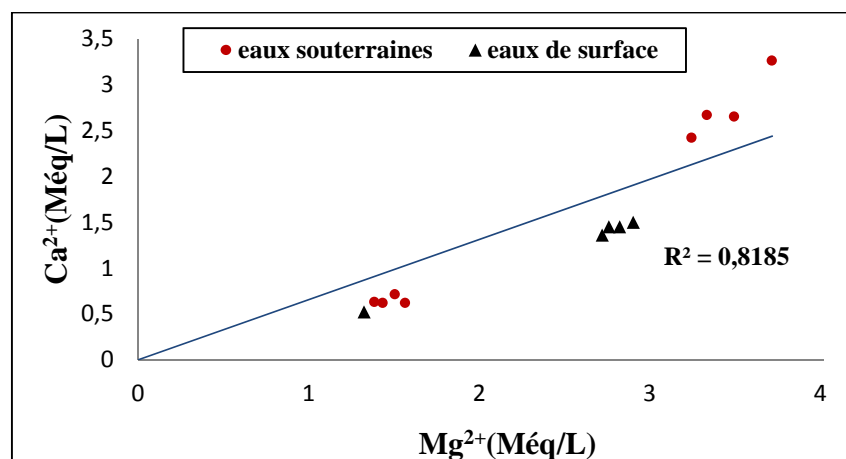


Figure IV.17 : représentation graphique de $\text{Ca}^{2+} = f(\text{Mg}^{2+})$.

La bonne corrélation entre les concentrations de Ca^{2+} et de Mg^{2+} ($r = 0,9$) ne peut être expliquée que par les origines du calcium qui sont comparables à celle du magnésium, ils peuvent provenir aussi de la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse selon les réactions suivante :



L'altération des minéraux sulfurés peut également contrôler les concentrations de Mg^{2+} et Ca^{2+} [01].

IV.6.3 Relation entre Ca^{2+} / $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^-$

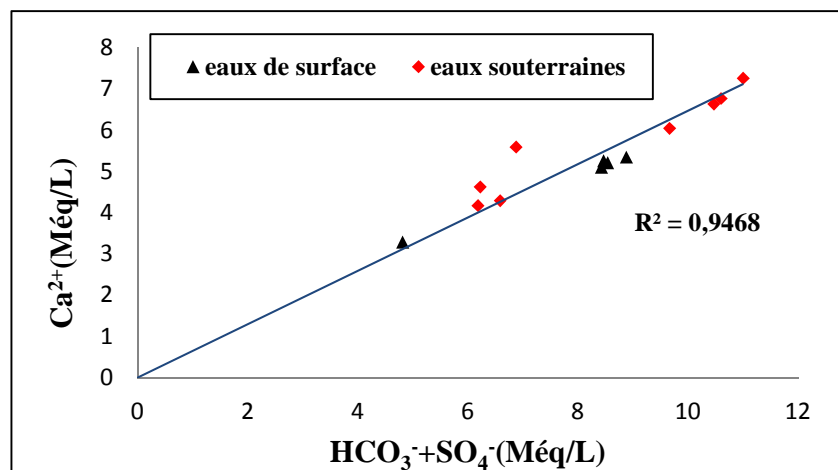


Figure IV.18: représentation graphique de $\text{Ca}^{2+} = f(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^-)$.

Tous les points sont regroupés autour de la droite de la droite de corrélation, ce qui montre que le phénomène de dissolution simultanée de la calcite, dolomite et de gypse est omniprésent, mais aussi peuvent provenir des facteurs anthropiques tels que les rejets des eaux usées à ciel ouvert se trouvant dans nos bassins (Djemaa-Zitouna).

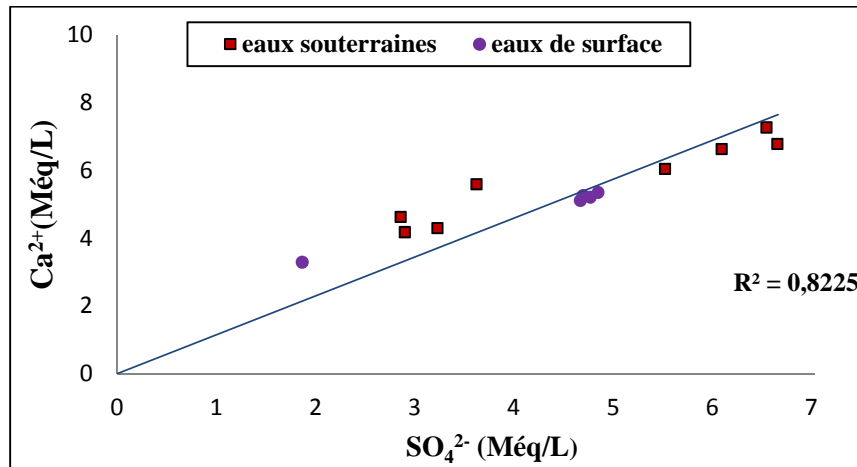
IV.6.4 Relation entre $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^-$ 

Figure IV.19 : représentation graphique de $\text{Ca}^{2+} = f(\text{SO}_4^{2-})$.

La relation de Ca^{2+} et SO_4^{2-} ($r=0,91$) montre que la plupart des eaux souterraines des échantillons sont à proximité de la ligne 1:1, indiquant que la présence des ions sulfatés et calcium dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation :

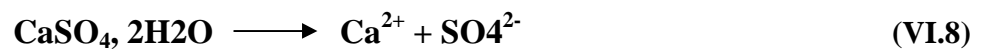
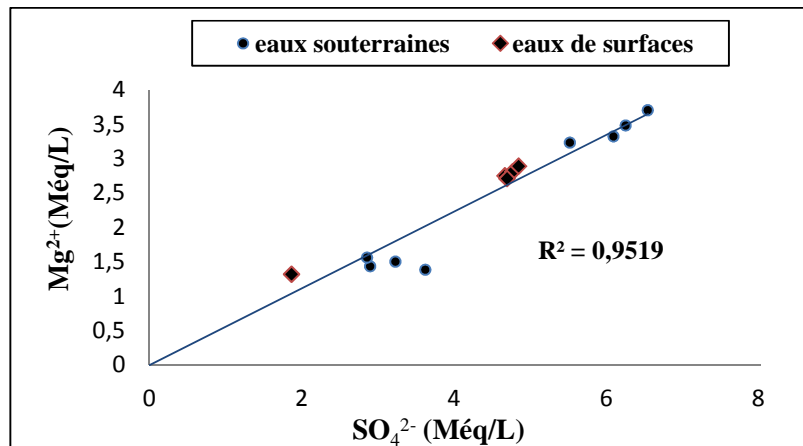
IV.6.5 Relation entre $\text{Mg}^{2+}/\text{SO}_4^-$ 

Figure IV.20 : représentation graphique de $\text{Mg}^{2+} = f(\text{SO}_4^{2-})$.

L'enrichissement en Mg^{2+} et SO_4^{2-} donnant une forte corrélation ($r=0,97$) résulte de la dissolution combinée entre le gypse, le calcaire et la dolomite.

IV.7 Éléments traces (B^+ , Li^+ , Sr^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+})

IV.7.1 Fer (Fe^{2+})

Le fer est un élément lourd, il peut avoir une origine naturelle provenant des terrains traversés, d'un lessivage des sols, des rejets industriels et de la corrosion des canalisations métalliques [4].

Les analyses chimiques donnent des valeurs variant de 0.05mg/l au niveau la station de Larbaa à 0.01 mg/l à la station du pont. Les résultats des analyses des variations du fer sont représentés dans la figure (IV.21) :

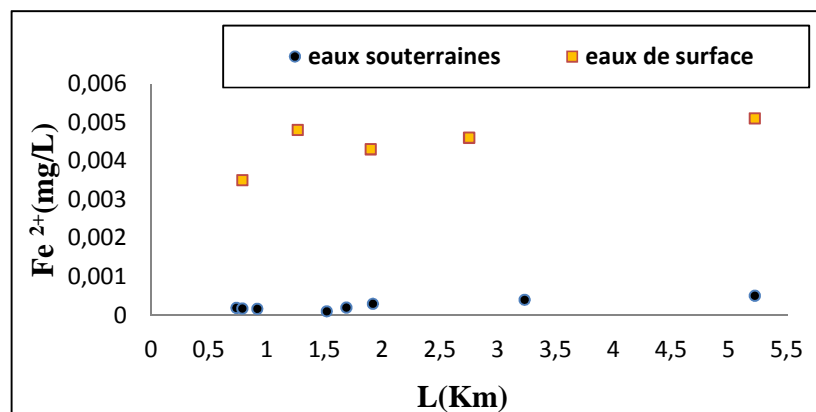


Figure IV.21: représentation graphique du fer.

IV.7.2 Lithium (Li^+)

Le lithium provient de la dissolution des évaporites, du granite et des pegmatites, les concentrations anormales sont toujours liées à une élévation de la température (les eaux thermales). Les concentrations de lithium varient de 0.0003mg/l au niveau de la station de zitouna (04) à 0.0132 mg/l enregistrée au niveau de la station du pont. Les variations du lithium sont représentées dans la figure (IV.22) :

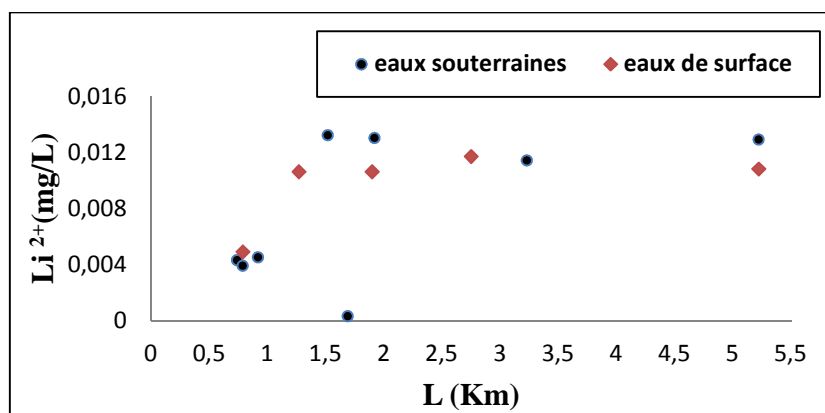


Figure IV.22 : représentation graphique de Li^+ .

IV.7.3 Zinc (Zn^{2+})

Le zinc est un élément lourd et toxique, les résultats des analyses chimiques donnent des teneurs qui varient de 0.051 mg/l au niveau de la station de l'Oued Djemaa à 0.00012 mg/l au niveau du forage de l'Oued Zitouna (03). Les résultats des analyses des variations du zinc sont représentés dans la figure ci-dessous :

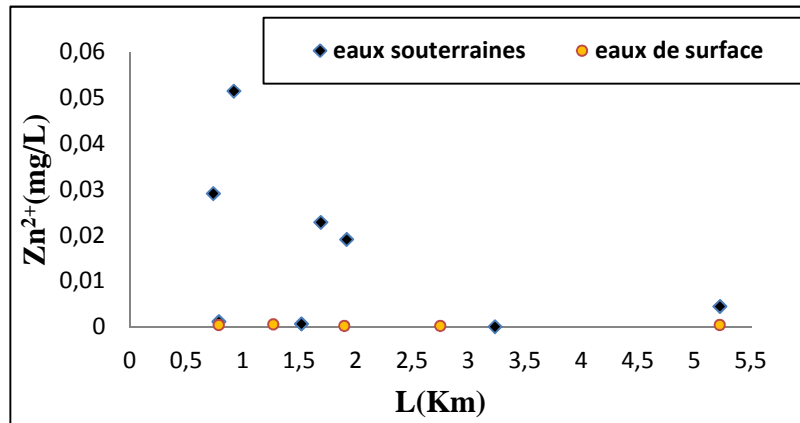


Figure IV.23 : représentation graphique de Zn^{2+}

IV.7.4 Strontium (Sr^{2+})

Le strontium dérive principalement des minéraux riches en calcium, tels que la calcite les feldspaths calciques, le gypse et anhydrite [7].

Les résultats des analyses donnent des valeurs qui varient de 1.657mg/l au niveau du forage du pont à 0.5552mg/l enregistré au niveau de la station amont de la carrière(S2). Les résultats des analyses des variations du strontium sont représentés dans la figure ci-dessous :

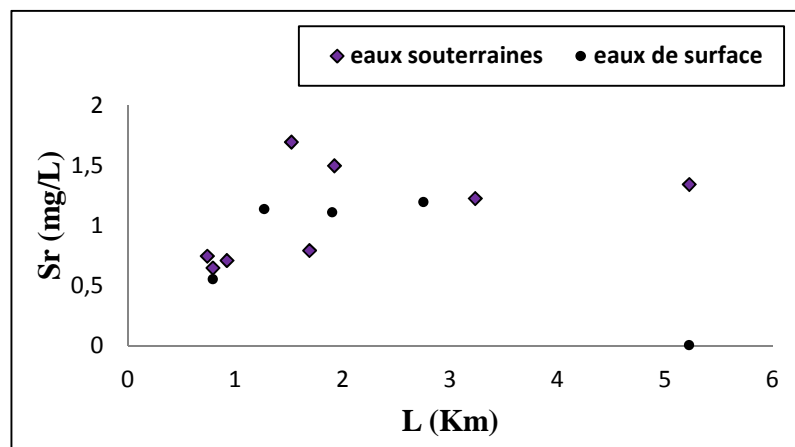


Figure IV.24: représentation graphique de Sr^{2+}

IV.7.5 Le Bore (B^+)

Le bore est un élément trace existant naturellement dans un grand nombre de roches. Il peut également être présent dans de l'eau de mer résiduelle dans certains milieux géologiques.

Les teneurs du bore varient entre 0.017mg/L enregistrées au niveau de la station avale de Zitouna et 0.0469mg/L enregistré au niveau du forage de Larbaa. Les résultats des analyses des variations du bore sont représentés dans la figure (IV.25) :

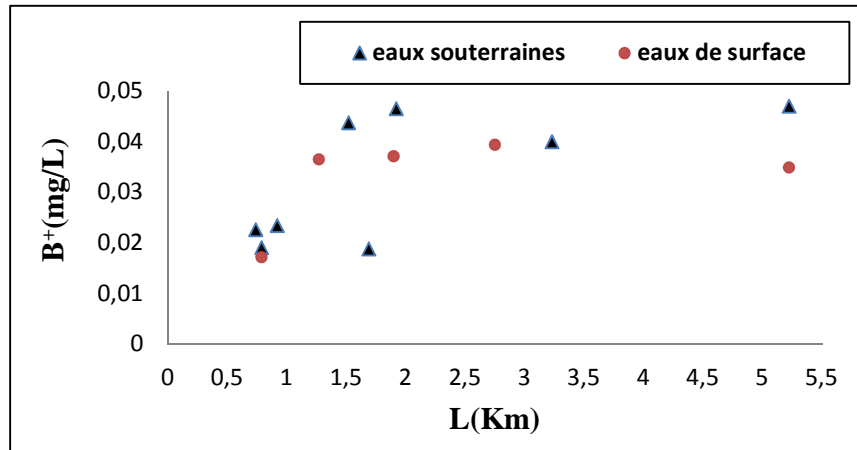


Figure IV.25 : représentation graphique du bore.

IV.8 Origines des éléments traces

IV.8.1 Relations entre B^+/Cl^-

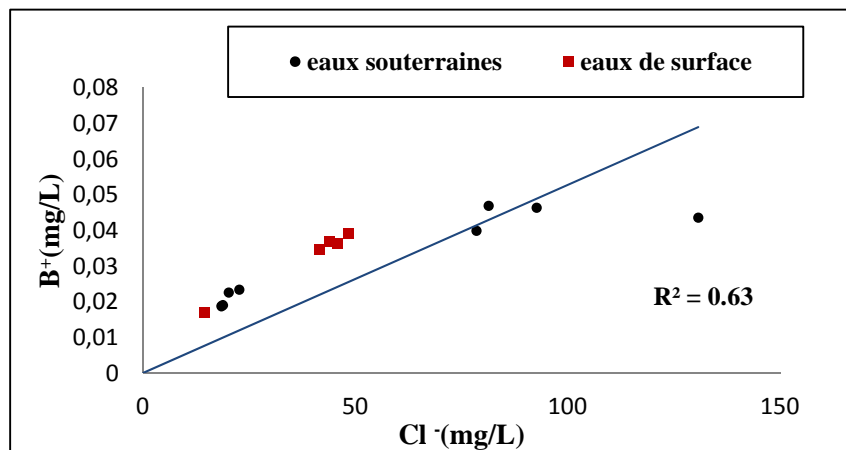


Figure IV.26 : représentation graphique de $B^+ = f(Cl^-)$

Pour mieux contraindre cette influence, nous avons pris en considération Cl^- . Le rapport B^+/Cl^- a été employé pour déterminer l'influence marine. La concentration élevée en bore dans les eaux côtières est généralement considérée comme un indice des processus d'intrusion marine. Néanmoins, dans certains cas, les valeurs élevées du bore sont liées à l'influence d'autres types de salinisation, ou de contamination d'origine anthropique associée aux eaux usées.

IV.8.2 Relation entre $\text{Li}^+/\text{SO}_4^{2-}$

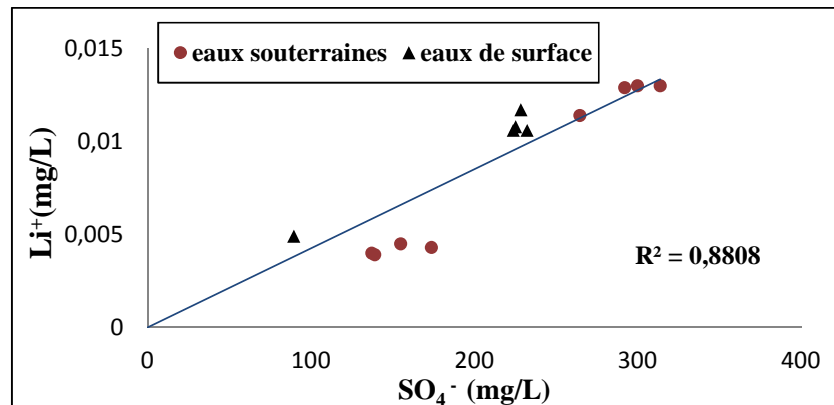


Figure IV.27 : représentation graphique de $\text{Li}^+ = f(\text{SO}_4^{2-})$

La représentation graphique de Li^+ versus SO_4^{2-} révèle une bonne corrélation ($r=0.93$), le comportement de Li^+ et de SO_4^{2-} dans les systèmes hydrogéologiques à fort potentiel évaporitiques en fait distinction, de ce fait, le rapport $\text{Li}^+/\text{SO}_4^{2-}$ semble être un outil intéressant pour l'étude de tels systèmes. D'une part, il y a un enrichissement en Li^+ au détriment des phases précipitées durant l'évaporation des eaux et d'autre part, la mobilisation de Li^+ est due aux contacts eau-roche à hautes températures.

IV.8.3 Relation entre $\text{Sr}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$

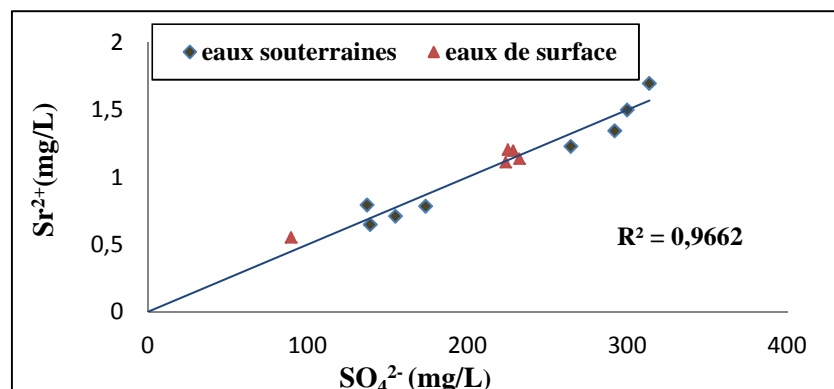


Figure IV.28 : représentation graphique de $\text{Sr}^{2+} = f(\text{SO}_4^{2-})$.

La représentation graphique de Sr^{2+} versus SO_4^{2-} révèle une forte corrélation entre eux, ceci montre bien l'origine évaporitique des eaux. Le strontium est un métal alcalino-terreux, dans la nature, on le trouve sous forme de strontianite SrCO_3 et de célestite SrSO_4 . La célestite accompagne généralement les formations évaporitiques et se dissout selon la relation suivante [1]



IV.8.4 Relation entre $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$

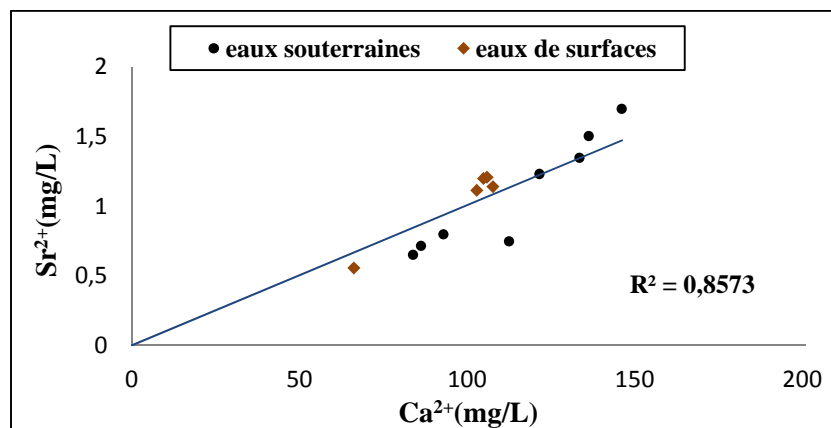


Figure IV.29: représentation graphique de $\text{Sr}^{2+} = f(\text{Ca}^{2+})$

La représentation graphique de Sr^{2+} versus Ca, montre une forte corrélation ($r = 0.92$), ce phénomène ne peut être expliqué du fait que pendant la période de crue, le lessivage des formations évaporitiques est le principal facteur, responsable de la salinisation de toutes les eaux, pendant la période sèche, avec l'abaissement du niveau d'eau, les eaux marines participent à la salinisation des eaux.

Conclusion

Les interprétations des diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff ont montré que les eaux de la région sont majoritairement chlorurée calcique et hyper sulfatée calcique pour les eaux de Zitouna et un faciès chlorurée et sulfatée calcique et magnésien pour les eaux de l'Oued Djemaa.

L'étude hydrochimique montre que les rapports de Na/Cl mettent en évidence la dissolution de la halite, qui est liée à la présence de blocs salifères. La représentation du Ca vs Mg montre la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse, la représentation du Ca vs SO_4 ne peut être expliquée que par la dissolution de sulfate et calcium liée à la dissolution des formations gypseuses, et Ca vs $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ montre la dissolution simultanée de la calcite, dolomite et de gypse).

Les rapports Li/SO_4 , $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, B/Cl , Sr/SO_4 se sont révélés très pertinents dans la détermination des eaux d'origine évaporitique ou géothermale et marine.

CONCLUSION
GÉNÉRALE

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de cette étude hydrochimique était la connaissance des origines et l'évolution des éléments chimiques des eaux des Oueds Djemaa et Zitouna.

A travers nos différentes investigations et après avoir élaboré la cartographie du site en utilisant un système d'informations géographiques via le logiciel MapInfo, il s'est avéré que le bassin versant est du type allongé. La localisation sur la carte de toutes les stations de mesure (Forage et station sur l'oued) a contribué grandement à la compréhension de la minéralisation des eaux de surface et souterraine.

L'étude hydrochimique a montré que :

La composition chimique des eaux est dominée par Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , Mg et SO_4^{2-} ; minéralisation acquise en grande partie par la dissolution chimique naturelle des carbonates, des formations gypseuses ainsi que par les activités anthropiques tout au long du bassin (Djemaa-Zitouna), correspondant à des apports d'engrais agricoles, de rejets domestiques à ciel ouvert.

L'interprétation des données hydrochimiques a montré que l'abondance des ions majeurs de l'eau de surface est comme suit $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$; dans les eaux souterraines, elle correspond à $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$. Les représentations graphiques des points d'eaux analysés sur les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff ont montré que les eaux de la région sont majoritairement chlorurées calciques et hyper sulfatées calciques pour les eaux de Zitouna et un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de l'Oued Djemaa.

La composition chimique des eaux de surface et souterraines est caractérisée par de forts rapports de Na/Cl (la halite liée à la présence de blocs salifères), Ca/Mg (dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse), Ca/SO_4 (sulfate et calcium liée à la dissolution des formations gypseuses), et $\text{Ca}/\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ (dissolution simultanée de la calcite, dolomite et de gypse).

L'approche par des traceurs hydrogéochimiques d'un aquifère côtier avec une géologie complexe a permis de mettre en évidence la contribution de plusieurs pôles géochimiques dans les eaux chlorurées, elle a permis aussi de mettre en évidence les pôles dominants de ces eaux (évaporitique et marin).

L'utilisation des éléments majeurs et traces les plus couramment utilisés dans l'étude des environnements salins (Cl , SO_4 , Ca^{2+} , B , Li , Sr) confirme l'intérêt de ces éléments en tant que traceurs naturels des eaux à signature évaporitique et marine. Les rapports Li/SO_4 , $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, B/Cl , Sr/SO_4 se sont révélés très pertinents dans la détermination des eaux d'origine évaporitique ou géothermale et marine.

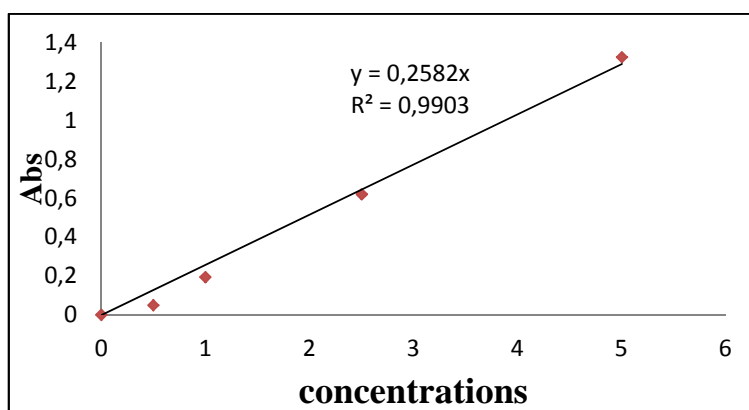
ANNEXES

Annexe A

Établissement de la courbe d'étalonnage des nitrates

❖ **Annexe A1:** Établissements de la courbe d'étalonnage.

Numéros des fioles	T	I	II	III	IV
Solution étalon d'azote nitrique à 0,005g/l	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5
Solution de salicylate de sodium	1	1	1	1	1
Abs(%)	0	0,051	0,195	0,62	1,324



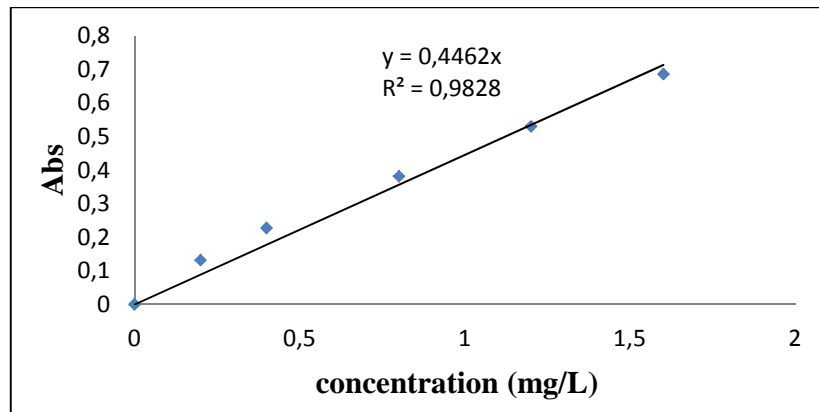
Courbe d'étalonnage des nitrates.

Établissement de la courbe d'étalonnage du Magnésium

❖ **Annexe A2:** établissement de la courbe d'étalonnage

Concentration (mg/l)	0	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6
Absorbance (%)	0	0,132	0,228	0,382	0,531	0,687

Annexes

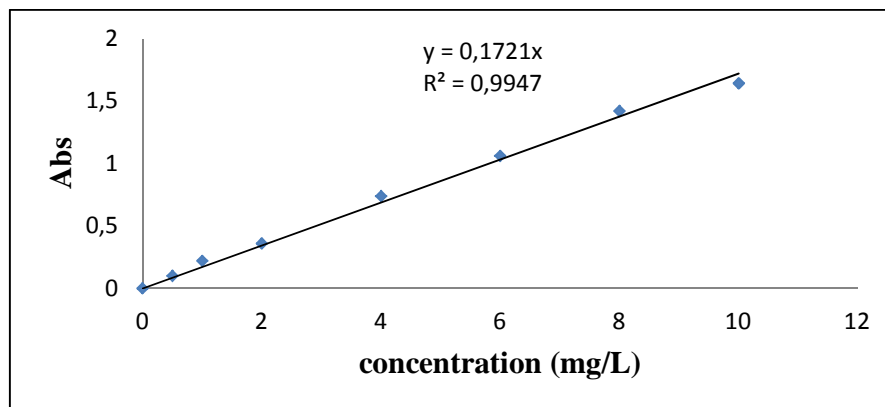


Courbe d'étalonnage du Mg.

Établissement de la courbe d'étalonna du Potassium

❖ **Annexe A3** : établissement de la courbe d'étalonnage.

Concentration (mg/l)	0	0,5	1	2	4	6	8	10
Absorbance (%)	0	0,1	0,22	0,36	0,74	1,06	1,42	1,64



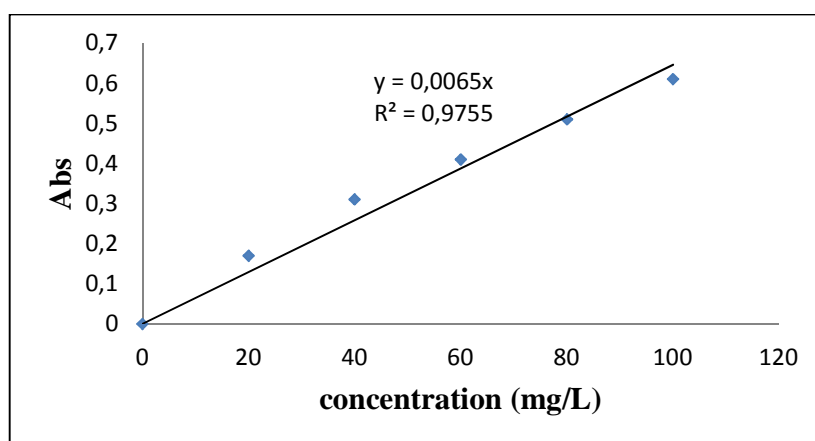
Courbe d'étalonnage de potassium.

Annexes

Établissement de la courbe d'étalonnage du chlorure

❖ **Annexe A4** : établissement de la courbe d'étalonnage.

Concentration (mg/l)	0	20	40	60	80	100
Absorbance (%)	0	0,17	0,31	0,41	0,51	0,61

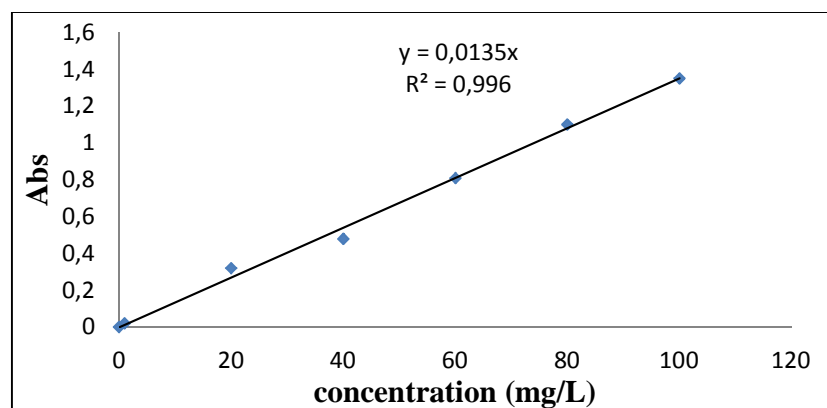


Courbe d'étalonnage du chlorure.

❖ **Établissement de la courbe d'étalonnage du sodium**

Annexe A5 : établissement de la courbe d'étalonnage.

Concentration (mg/l)	0	100	80	60	40	20	1
Absorbance (%)	0	1,35	1,1	0,81	0,43	0,32	0,02



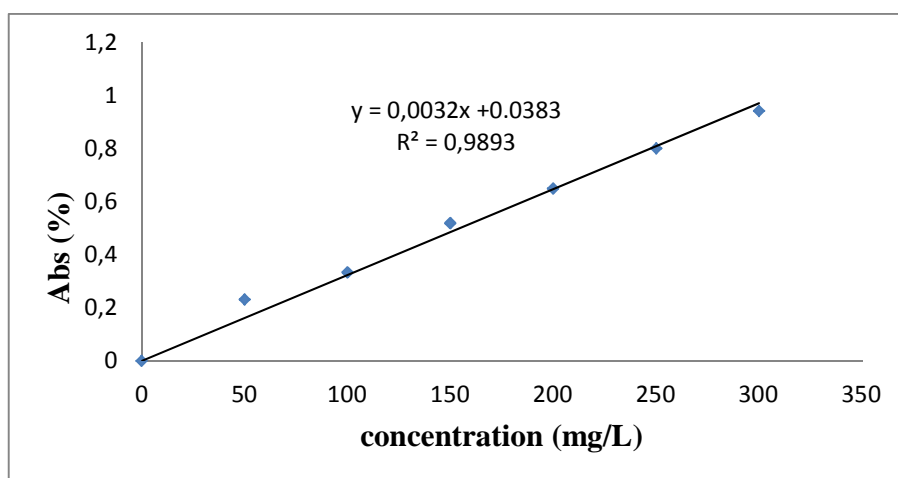
Courbe d'étalonnage du sodium.

Annexes

❖ Établissement de la courbe d'étalonnage du sulfate

Annexe A5 : établissement de la courbe d'étalonnage.

Concentration (mg/L)	0	50	100	150	200	250	300
Absorbance (%)	0	0.232	0.334	0.520	0.650	0.802	0.943



Courbe d'étalonnage du sulfate.

Annexes B

- ❖ **Annexe B1:** Normes de potabilité des eaux pour les paramètres physiques selon l'organisation mondiale de la santé (OMS).

Paramètres	unité	OMS
Ph	–	6.5-9
Conductivité	µs/cm	–
Salinité	‰	0
T D S	mg/L	1200
température	C°	20-30

- ❖ **Annexe B2:** Normes de potabilité des eaux pour les éléments chimiques selon l'organisation mondiale de la santé (OMS).

élément	unité	OMS
Calcium	mg/L	–
magnésium	mg/L	–
chlorure	mg/L	200
sulfate	mg/L	400
nitrate	mg/L	40

Annexe C

Tableau : distance cumulées des stations.

Noms des stations	Symbole	Distance cumulées en Km
La mer	-	00
Pont sur mer (Djema)	S4	0.74
Oued Zitouna	S3	0.79
Zitouna (03)	P6	0.79
Zitouna (02)	P5	0.92
Zitouna (01)	P4	1.27
Station du pont (Djema)	P2	1.52
Zitouna (04)	P7	1.69
À proximité forage Oued Djema	S1	1.9
Forage Oued Djema	P1	1.92
Carrière	S2	2.75
Tabliénte	P3	3.23
Iarbaa	S5	5.22
Forage Iarbaa	P8	5.22

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **A. SAOU, 2013 :** << *Hydrochimie des eaux de la vallée de la basse Soummam Bejaia Algérie. Thèse de Doctorat en sciences, Université de Bejaia.* >>
- [2]. **ANONYME III, 2007:** << *World health organization. Total dissolved solids in Drinking-water: Back ground document for development of who guide lines for Drinking- water Quality.* >> <http://www.gl.com>.
- [3]. **AYAD A. & MEGHZZELE H., 2012 :** << *Étude Hydrochimique des eaux souterraines et de surface de l'Oued Djamaa de la région de Bejaia. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie et environnement. Université de Bejaia.* >>
- [4]. **BAKALOWICZ M., 1979 :** << *contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère KARASTIQUE et de la KARASTIFICATION. Thèse de Doctorat d'état en sciences. Université P., M., Curie. Paris VI.* >> <http://www.gl.com>.
- [5]. **BOULOULA A., 2008 :** << *inventaire floristique et faunistique au niveau des falaises (escarpements Rocheux) – parc national de Belezma.* >>
- [6]. **BOUSSA W., & BOUGHANI S., 2010 :** << *contribution à l'étude hydrochimique des eaux de l'Oued Djamaa, wilaya de Bejaia. Mémoire d'ingénieur d'état en écologie et l'environnement. Université de Bejaia.* >>
- [7]. **CELICE P., 2011 :** << *Étude Hydrochimique des système aquifère de la vallée de var. Apport des éléments traces et des isotope (Sr, Pd, ¹⁸O, ^{226, 228}Ra).* >> <http://www.gl.com>.
- [8]. **COLLECTIF AFNOR, 1999 :** << *La qualité de l'eau édition Afnor, Paris, Tome I.* >>
- [9]. **DAHALI S., 2013 :** << *Étude Hydrologie et Hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de TOUAT (wilaya d'ADRAR. mémoire de Magister en géologie. Université d'OUARGLA.* >>
- [10]. **DAJOZ R., 1971 :** << *Précis d'écologie. Edition DUNOD.* >>
- [11]. **DJELLOUT. N & DJELLAS D., 2006:** << *Évaluation de la vulnérabilité à la pollution de la région de Bejaia, mémoire d'ingénieur en écologie et environnement Université de Bejaia.* >>
- [12]. **DPSB., 2012** << *Manuel Statistique Direction de la Programmation et Suivi Budgétaires de la wilaya de Bejaia.* >>
- [13]. **DUPLAN L., 1952 :** << *monographie régional de la région de Bougie XIX^{ème} congrées géologique. Alger.* >>
- [14]. **GAAGAI A., 2009 :** << *Étude Hydrologique et Hydrochimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued el ARAB région Est de l'Algérie. Thèse Magister en Hydraulique* >>.

- [15]. **KHERZI S & MAZA M., 2011** : << *Étude Hydrochimie des eaux de l'Oued Djemaa wilaya de Bejaia. mémoire de Magister en Hydraulique général. Université de Bejaia.* >>
- [16]. **MAZA M., SAOU A., BENHAMICHE N., HAMDI L., 2010** : << *Les ressources en eaux, enjeu du développement durable : cas de l'Oued Djemaa wilaya de Bejaia.* >>
- [17]. **MAZA M., SAOU A., BENHAMICHE N., HAMDI L., 2012** : << *Les ressource en eau, enjeu du développement durable : cas de l'Oued Djemaa wilaya de Bejaia* >>.
- [18]. **OUAZENE H., OUCHENE A., 2013** : << *L'étude Hydrochimie des eaux de surface de l'Oued Agarion à l'aval de Barrage IGHIL Emda wilaya de Bejaia .mémoire Master en Hydraulique urbaine. Université de Bejaia.* >>
- [19]. **RAMADE F., 1984** : << *Élément d'écologie, écologie fondamentale. Edition Mac Graw-ville.* >>
- [20]. **REMÉNIERAS. G., 1980**: << *Hydrologie d'ingénieur, 2^{ème} édition. Eyrolle, Paris.* >>
- [21]. **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., & COLL, 2009** : << *L'analyse de l'eau: eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 9^{ème} édition DUNOD, Paris.* >>

Résumé

Cette présente investigation hydrogéochimique a été menée pour mieux comprendre et évaluer les mécanismes d'acquisition de la minéralisation, la présence de contaminations et leurs origines ainsi que les processus associés à la double salinisation des eaux Djemaa-Zitouna.

Des paramètres tels que le pH, la conductivité électrique et les concentrations des éléments majeurs et traces pour la campagne d'échantillonnage ont été considérés. Le traitement et la représentation des données ont fait appel à l'usage d'outils modernes: système d'informations géographique, hydrochimie à travers l'évolution des éléments majeurs et traces, les représentations des faciès et les rapports molaires $\text{Na}^{2+}/\text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$, Ca/SO_4 , $\text{Mg}^{2+}/\text{SO}_4^-$, $\text{Sr}^{2+}/\text{SO}_4^-$, Sr^{2+}/Ca , B/Cl^- , Li/SO_4 , $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ comme traceurs hydrochimiques.

Les résultats obtenus indiquent la signature de la dissolution des formations carbonatées ainsi que la dissolution des formations gypseuses se trouvant dans la partie amont des bassins versant (Djemaa-Zitouna).

Mots clés : hydrogéochimique, minéralisation, éléments majeurs, traceurs hydrochimiques.