

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



جامعة بجاية
Tasdawit n' Bgayet
Université de Béjaïa



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et Environnement (LRHAE)

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

M^{elle} DAHMANI Lynda

M^{elle} DERMOUCHE Vidrina

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Hydraulique Urbaine**

INTITULE:

**« Caractérisation hydro-chimique des eaux des sources karstiques de la région
Est de Béjaïa »**

Soutenu le **30 /06 /2015** devant le jury composé de :

- Président : **M^r HAMDI L.**
- Promoteurs : **M^r SAOU A.**

M^r MAZA M.

- Examineur : **M^r BEN HAMICHE N.**

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience qui nous ont permis de mener à terme ce modeste travail.

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

On exprime toutes nos reconnaissances à M^r BEN HAMICHE N. et M^r MEGHERFI K, pour le grand soutien, le temps qu'ils nous ont consacré et leurs 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 remercions également au corps enseignant du département d'Hydraulique l'université Abderrahmane MIRA.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ A la mémoire de ma très chère sœur « Wahiba » qui nous a quittés très tôt*
- ❖ A mes deux sources de lumière, mon père et ma mère, qui m'ont, et qui continuent à m'éclairer. Je tiens à les remercier profondément pour leur amour et leurs sacrifices. Que le Tout Puissant me les garde autant que possible.*
- ❖ Mes chères sœurs « Kahina, Aicha et Nacira » pour le soutien qu'ils m'ont tous et toutes accordé*
- ❖ Ma chère « Vidrina » ainsi que toute sa famille.*
- ❖ A toute ma famille grand et petit.*
- ❖ A tous mes amis.*

Lynda

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ *A mes deux sources de lumière, mon père et ma mère, qui m'ont, et qui continuent à m'éclairer. Je tiens à les remercier profondément pour leur amour et leurs sacrifices. Que le Tout Puissant me les garde autant que possible.*
- ❖ *Mes chères Frères et sœurs (Kahina, Boualem, Malika Meziane, Aghilas et Thinhinane) pour le soutien qu'ils m'ont tous et toutes accordé*
- ❖ *Ma chère « Lynda » ainsi que toute sa famille.*
- ❖ *A toute ma famille grand et petit.*
- ❖ *A tous mes amis.*

Vidrina

Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation du site d'étude	
I.2 Introduction	2
I.2.1 Situation géographique.....	2
I.2.1 Situation et limites.....	2
I.2.2 Délimitation du bassin versant des Oueds (Agrioune, Djemaa et Zitouna)	3
I.2.2.1 Bassin versant de l'Oued Agrioune	3
I.2.2.2 Bassins versants des oueds Djemaa-Zitouna	4
I.3 Caractéristiques physiques	4
I.3.1 la surface	5
I.3.2 Le périmètre	5
I.3.3 Indice de compacité.....	5
I.3.4 Le réseau hydrographique	6
I.4 Cadre climatologique	7
I.4.1 Les températures	8
I.4.2 Le vent	9
I.4.3 L'humidité de l'air	10
I.4.4 Les précipitations	10
I.4.3 Synthèse des données climatiques.....	11
I.4.3.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	11
I.4.3.2 Climagramme d'Emberger	12
I.5 Caractéristiques socio-économique	13
I.5.1 Occupation du sol.....	13
I.5.1.1 Le bassin versant de l'Oued Agrioune	13
I.5.1.2 Les bassins versants des oueds Djemaa-Zitouna	14
I.5.2 Population.....	14
I.5.2.1 Bassin versant de l'Oued Agrioune	14
I.5.2.2 Les bassins versants des Oueds Djemaa-Zitouna.....	14
I.5.3 Agriculture	15
I.5.3.1 Le bassin versant de l'Oued Agrioune	15
I.5.3.2 les bassins versants des oueds Djemaa-Zitouna	15
I.6 Cadre géologique	16

I.6.1 Introduction	16
I.6.2 Système de karst.....	16
I.6.2.1 Formations Karstiques	17
I.6.2.2 Processus de karstification des formations géologiques carbonatées	18
I.6.2.3 Propriétés structurales et physico-chimiques des roches karstifiables	18
a-Propriétés structurales.....	18
b-Propriétés physico-chimiques.....	19
I.6.2.4 Structure et fonctions de système karstique.....	19
I.6.4 Etude géologique des régions d'étude.....	20
I.6.4.1 Etude géologique du bassin versant de l'oued Agrioune	20
I.6.4.2 Etude géologique des bassins versants des Oueds Djemaa-Zitouna	21
I.6.5 La lithostratigraphie	22
I.6.5.1 Le Trias.....	22
I.6.5.2 Le Jurassique	23
a-Lias inférieur.....	23
b-Lias moyen	23
c-Lias supérieur.....	23
I.6.5.3 Le Crétacé.....	23
a-Le crétacé tellien	23
b- Le Crétacé des Flyschs	23
I.6.5.4 Le Miocène	24
I.6.5.5 Le Quaternaire	24
I.7 Conclusion.....	25

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1 Principes théoriques	26
II.2 Echantillonnage.....	26
II.3 Analyses physico-chimiques.....	26
II.3.1 La Couleur.....	26
II.3.2 L'Odeur et Saveur.....	26
II.3.3 La température (T C°)	27
II.3.4 La conductivité.....	27
II.3.5 Le pH des eaux	27
II.3.6 La salinité	28

II.3.7 Total des solides dissous (TDS)	28
II.4 Le principe de Spectrométrie d’Absorption Atomique (SAA)	28
II.5 Positionnement des points d’eau d’échantillonnage	29
II.6 Méthodes hydro-chimiques.....	30
II.7 Code géochimique Phreeqc.....	31
II.8 Dosage des éléments	32
II.8.1 Dosage des Chlorures (Méthode de MOHR)	32
II.8.2 Dosage des Sulfates	32
II.8.3 Dosage de nitrates (NO ₃) : Méthode au Salicylate de sodium	33
II.8.4 Dosage des Bicarbonates (Méthode de titrage).....	33
II.8.5 Etablissement de la courbe d’étalonnage	35

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1 Introduction	36
III.2 Analyses des paramètres physiques.....	36
III.2.1 Couleurs	38
III.2.2 Odeurs et saveurs	38
III.2.3 Variation de pH.....	38
III.2.4 Variation de la température.....	39
III.2.5 Variation de la conductivité électrique	40
III.2.6 Variation du total des sels dessous.....	40
III.2.7 Variation de la salinité	41
III.3 Analyses des paramètres chimiques	42
III.3.1 Eléments majeure (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ²⁻ , NO ₃ ²⁻)	42
III.3.1 Cations (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺)	42
III.3.2 Anions (Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ ²⁻).....	43
III.4 Représentation graphique des faciès hydro chimiques.....	44
III.4.1 Le diagramme de Piper	45
III.4.2 Le diagramme de Schöeller	46
III.4.3 Diagramme de Stabler.....	46
III.4.4 l’indice de saturation.....	47
III.4.4.1 Eléments carbonatées	48
III.4.4.2 Eléments évaporitiques.....	49
III.5 Interactions eau-roche.....	50

III.5.1 Relation entre $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$	50
III.5.2 Relation entre $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$	50
III.5.3 Relation entre $\text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$	51
III.5.4 Relation entre $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$	52
III.5.5 Relation entre $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$	52
III.5.6 Relation entre $\text{Mg}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$	53
III.6 Éléments traces (B^+ , Li^+ , Sr^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+})	53
III.6.1 Fer (Fe^{2+}).....	53
III.6.2 Lithium (Li^+)	53
III.6.3 Zinc (Zn^{2+})	53
III.6.4 Strontium (Sr^{2+}).....	54
III.6.5 Le Cuivre (Cu)	54
III.7 Origine des éléments traces	54
III.7.1 Relation $\text{Sr}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$	54
III.7.2 Relation entre $\text{Sr}^{2+} / \text{Ca}^{2+}$	55
III.8 CONCLUSION	55
Conclusion générale	56
Références bibliographiques.....	58

Liste des figures

Figure I.1 : Délimitation des zones d'études.	2
Figure I.2 : Situation Géographique du bassin versant d'Agrioune.	3
Figure I.3 : Situation Géographique des bassins versants de Djemaa-Zitouna.	4
Figure I.4 : Réseau hydrographique du bassin versant d'Agrioune.	6
Figure I.5 : Réseau hydrographique des bassins versants de Djemaa- Zitouna.	7
Figure I.6 : variations des températures minimales, moyennes et maximales et mensuelles (ONM, 2012)	8
Figure I.7 : vitesses des vents mensuelles de l'année 2010 (station météorologique de Bejaia).	9
Figure I.8 : variations de l'humidité relative pour la période 2005-2010(station météorologique de Bejaia).	10
Figure I.9 : Les précipitations moyennes mensuelles pour la période la période 1978-2012 (ONM, 2012)	11
Figure I.10 : Diagramme ombrothermique pour la région de Bejaia période (1978-2012)	12
Figure I.11 : Situation bioclimatique de la région de BEJAIA sur le Climagramme d'Emberger.	13
Figure I.12 : Bloc-diagramme d'un paysage karstique synthétique [2]	17
Figure I.13 : Schématisation d'un système karstique [6]	20
Figure (I.14) : Typologie des systèmes karstiques [18]	21
Figure I.15 : Situation géologique du bassin versant d'oued Agrioune	22
Figure I.16 : Situation Géologique des bassins des Oueds Djemaa-Zitouna.	23
Figure II.1 : Photo du multi-paramètre (inoLAB* pH/ION/Cond 750).	27
Figure II.2 : Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA)	29
Figure II.3 : Le GPS GARMIN ETREX H	29
Figure. II.4 : Interface de commande du logiciel DIAGRAMME	31
Figure III.1 : Carte du réseau échantillonné	37
Figure III.2 : représentation graphique du pH	38
Figure III.3 : représentation graphique du Température T°C.	39
Figure III.4 : représentation graphique du la conductivité électrique.	40
Figure III.5 : représentation graphique du total des sels dissouts.	41
Figure III.6 : Représentation graphique de la salinité.	41
Figure III.7 : Diagramme de Piper	45
Figure. III.8 : Diagramme de Schöeller.	46
Figure III.9 : Diagramme de Stabler.	47

Figure III.10 : Evolution des indices de saturations pour les minéraux Carbonatés.....	48
Figure III.11 : Evolution des indices de saturations pour les minéraux Evaporitiques	49
Figure III.12 : représentions graphique de $\text{Cl}^- = f(\text{Na}^+)$	50
Figure III.13 : représentions graphique de $\text{Ca}^{2+} = f(\text{Mg}^{2+})$	50
Figure III.14 : représentions graphique de $\text{Mg}^{2+} = f(\text{Na}^+)$	51
Figure III.15 : représentions graphique des $\text{SO}_4^{2-} = f(\text{HCO}_3^-)$	52
Figure III.16 : représentions graphique des $\text{SO}_4^{2-} = f(\text{Ca}^{2+})$	52
Figure III.17 : représentions graphique des $\text{Mg}^{2+} = f(\text{SO}_4^{2-})$	53
Figure III.18 : représentions graphique de $\text{SO}_4^{2-} = f(\text{Sr}^+)$	54
Figure III.19 : représentions graphique de $\text{Ca}^{2+} = f(\text{Sr}^{2+})$	55

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Températures moyennes mensuelles pour la région de Bejaia (1978-2012) ...	8
Tableau I.2 : vitesses des vents mensuelles (station météorologique de Bejaia, 2010).	9
Tableau I.3 : les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative pour la période 2001-2009 (station météorologique de Bejaia).	10
Tableau I.4 : La répartition des précipitations moyennes mensuelles de la période (1978-2012) pour la station de Bejaia.	11
Tableau I.5 : Calcul de Q2 de la région de Bejaia.	12
Tableau I.6 : La répartition des terrains dans le bassin versant d'Oued Agrioune	13
Tableau I.7 : Répartition de la population du bassin versant de l'oued Agrioune(Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, 2012).	14
Tableau I.8 : Répartition de la population du bassin versant de l'oued Djemaa-Zitouna par commune (Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, 2012).	15
Tableau I.9 : La répartition de la superficie agricole Utile (S.A.U) pour l'Oued Agrioune	15
Tableau I.10 : La répartition de la superficie agricole Utile (S.A.U) ha de bassin versant des Oueds Djemaa-Zitouna.....	16
Tableau II.1 : Limites de détection et de quantification des éléments :	28
Tableau II.2 : Caractéristiques des stations de prélèvement.	30
Tableau III.1 : les résultats d'analyse des paramètres physiques et organoleptiques obtenus lors des analyses.	36
Tableau III.2 : Les résultats obtenus lors des analyses chimiques des eaux.....	42
Tableau (III.3) : la variation des indices de saturation des minéraux pour les eaux de surface et souterraines.	48

Abréviations

μS/cm : micro-Siemens par centimètre
ANRH : Agence Nationale de la recherche hydraulique
DHW : Direction d'Hydraulique de la wilaya
CHCL : Concentration d'Acide Chlorhydrique
Cond : conductivité
Hab : habitant
Mg/l : milligramme par litre
Méq/L : milliéquivalents par litre
P : précipitation
pH : potentiel hydrogène
TDS : total des solides dissous
T : température
Tmax : température maximale
Tmoy : température moyenne
Tmin : température minimale
NO₃⁻ : Nitrates
Ca²⁺ : Calcium
Mg²⁺ : Magnesium
Na⁺ : Sodium
K⁺ : Potassium
Cl⁻ : Chlorure
SO₄⁻ : Sulfates
HCO₃⁻ : Bicarbonates
NO₃²⁻ : Nitrates
Fe²⁺ : Fer
Li⁺ : lithium
Zn⁺ : Zinc
Sr²⁺ : Strontium
S : superficies de bassin versant
SAA : Spectrométrie d'Absorption Atomique
S.A.U : Superficie Agricole Utile
TAC : Titre Alcalimétrique Complet
TDS : Total des Solides Dissous
V : vitesse de vent
V0 : Volume d'échantillon
V2 : Volume d'acide virsé

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est considérée comme une richesse aussi essentielle au développement durable qu'à la vie. Elle possède des dimensions sociales, économiques et environnementales. Les eaux de consommation humaine proviennent généralement soit des eaux de surface, soit des eaux souterraines.

Bejaia, à l'instar des autres régions, a connu ces dernières années l'augmentation des besoins en eau, qui amène à envisager le développement de l'exploitation de ces ressources pour l'alimentation des populations, exploitation actuellement modeste en regard des volumes en jeu.

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 naturel de l'eau brute ainsi l'eau à l'état naturel peut contenir des matières organiques solides ou minérales en solutions parvenant de son encaissement à savoir : le calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonate, sulfates, chlorures,... et des matières en suspension.

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

Sur cette base et dans le but de mieux comprendre le processus hydrochimique et le fonctionnement du système karstiques des bassins versants d'Agrioune, Djemaa et Zitouna, une campagne de prélèvement d'eaux et d'analyse physico-chimique a été effectuée. Les détails de ces résultats seront illustrés dans ce mémoire, qui s'articule autour de chapitres :

- Le premier chapitre présente les bassins Djemaa-Zitouna et Agrioune sur les plans géographiques, climatique et géologiques.
- Le deuxième chapitre sera consacré aux matériels et méthodes utilisés pour la détermination des éléments dissous dans l'eau des échantillons à travers les différentes analyses.
- Le troisième chapitre sera consacré à la caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines et de surface. Il mettra en exergue l'évolution et la répartition des éléments chimique et la variation des faciès hydro-chimiques en utilisant les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, les rapports ioniques caractéristiques ainsi que certains traceurs hydro-chimiques.

Nous terminons par une synthèse des différents résultats obtenus sous forme de conclusion générale.

CHAPITRE I

Présentation du site d'étude

I.1 Introduction

Avant l'application des études hydro-physiques et hydro-chimiques, il est nécessaire de définir les caractéristiques géologiques et morphologiques des bassins d'études qui sont à l'est de Béjaia, en l'occurrence Djemaa-Zitouna et Agrioune (source bleu, cascade) qui constitueront une plateforme consacrée à une présentation du terrain d'étude, et contenant l'ensemble des éléments suivants : la situation géographique du bassin versant, l'occupation du sol et le cadre climatique et géologique.

Pour mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant, nous avons utilisé le logiciel MapInfo pour la délimitation de bassin versant.

I.2 Situation géographique

I.2.1 Situation et limites

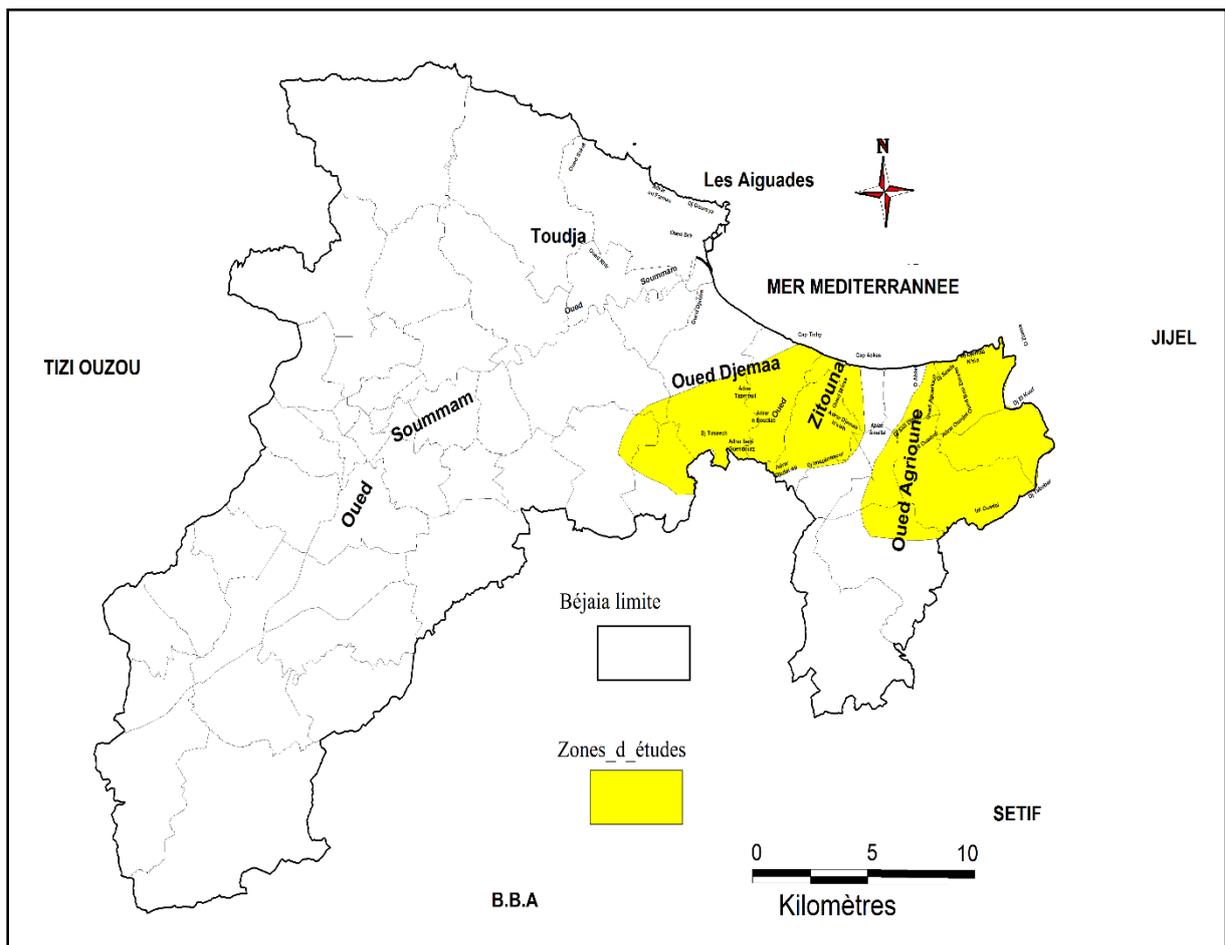


Figure I.1 : Délimitation des zones d'études.

I.2.2 Délimitation du bassin versant des Oueds (Agrioune, Djemaa et Zitouna)

Le bassin versant représente, en principe, l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Pour délimiter le bassin versant de l'Oued Agrioune, et l'Oued Djemaa- Zitouna, nous avons choisi d'utiliser la méthode de Digitalisation (MapInfo). Ce logiciel permet de superposer plusieurs cartes géologiques : Bejaia, Ziama et Oued Amizour après les avoir callées. Sur ces trois cartes géologiques, nous avons superposé une nouvelle couche de dessin sur laquelle nous avons retracé le cours d'eau principal puis ses affluents tout en faisant ressortir le réseau hydrographique. Une fois le réseau ressorti, nous avons tracé ces limites pour obtenir à la fin la limite du bassin versant.

I.2.2.1 Bassin versant de l'Oued Agrioune [10]

Géographiquement, le bassin versant de l'Oued Agrioune est situé à l'Est de l'Algérie à 300 km d'Alger, dans la wilaya de Bejaia à environ 60km au sud-est du chef-lieu .L'oued Agrioune prend naissance dans le massif des Babors et le versant septentrional du Djebel Meghris. Il traverse vigoureusement les gorges de Kherrata et draine, plus en aval, la vallée alluviale de Souk El Tenine avant de rejoindre la mer Méditerranée.

Le bassin versant de l'Oued Agrioune constitue la confluence de trois principaux grands Oueds : Oued Beni Smail, Oued Boulzazen, et Oued Ighzer Oufdis.

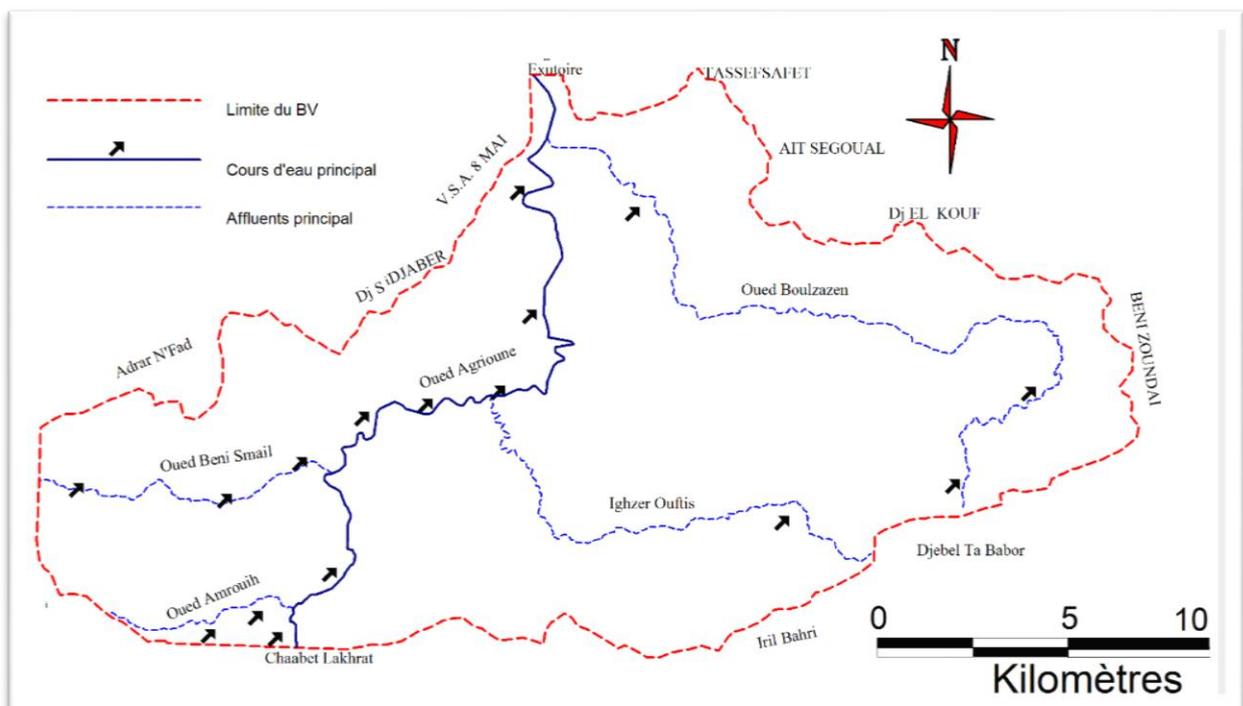


Figure I.2 : Situation Géographique du bassin versant d'Agrioune.

I.2.2.2 Bassins versants des oueds Djemaa-Zitouna [15]

Géographiquement, les deux bassins versants Djemaa-Zitouna sont situés à environ 20Km à l'est de la ville de Bejaia. L'Oued Djemaa prend sa source sur le flanc Ouest du massif des Babords. Il naît en amont de Kendira, à 1600 mètres d'altitude, et s'étend sur cinq communes (Tichy, Aokas, Boukhelifa, Barbacha et Kendira). Il emprunte le défilé de Kendira, Barbacha, Boukhelifa puis débouche en mer au niveau de la plaine de Tichy à 2 km environ de la ville.

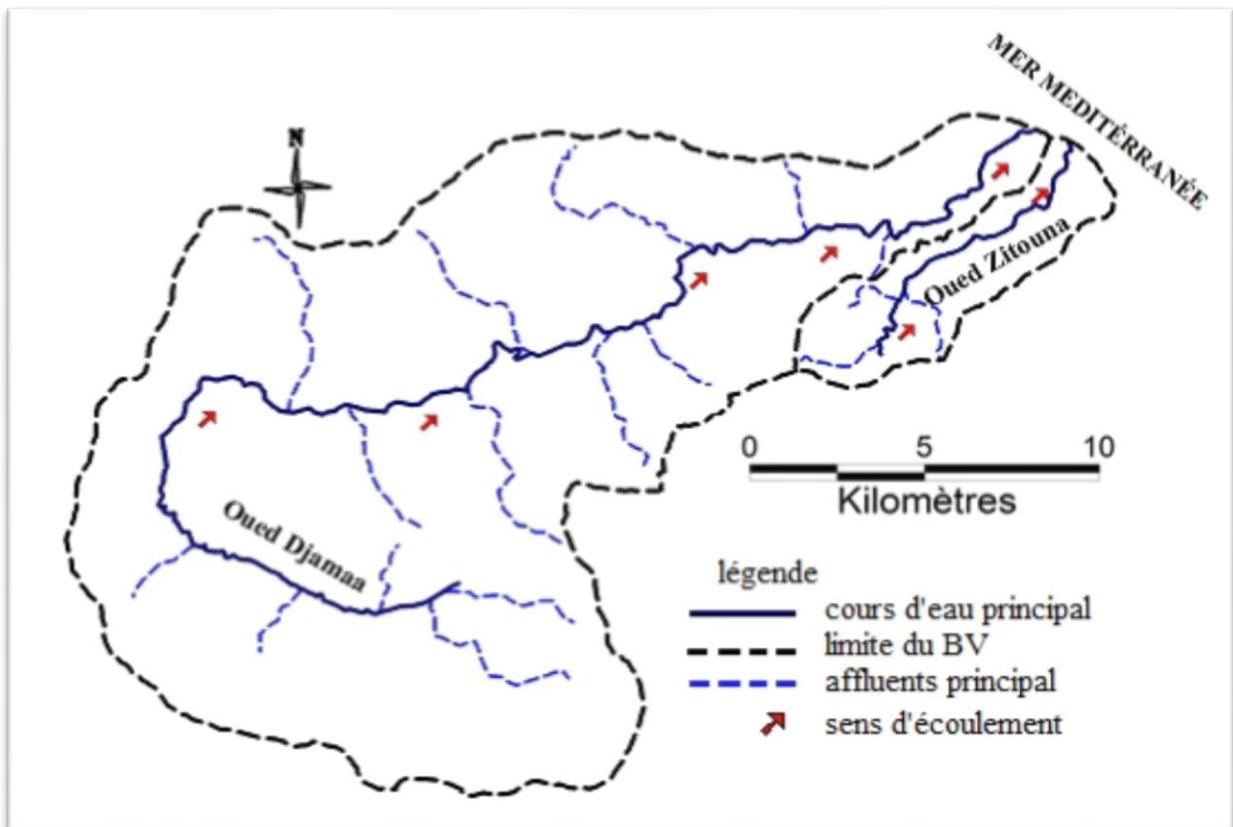


Figure I.3 : Situation Géographique des bassins versants de Djemaa-Zitouna.

I.3 Caractéristiques physiques

L'étude physique a pour but la détermination des caractéristiques géométriques du bassin versant. Ce dernier a été délimité à l'aide des courbes de niveau.

I.3.1 la surface

L'aire est la portion du plan délimitée par la ligne de crête, ou contour du bassin. Sa mesure est faite soit à l'aide d'un planimètre, soit par la méthode des petits carrés ou automatiquement par des logiciels et est généralement exprimée en Km².

Dans notre cas, on a utilisé le logiciel SIG (MapInfo) pour l'évaluation de la superficie du bassin versant.

La surface du bassin versant Agrioune, Djemaa et Zitouna sont répartis respectivement : 258Km², 179Km², 17Km².

I.3.2 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. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels comme dans notre cas nous avons utilisé le MapInfo pour la digitalisation.

Nous avons trouvé que le périmètre de bassin versant de l'Oued Agrioune, Djemaa, Zitouna sont comme suit : 132Km, 69Km, 20Km.

I.3.3 Indice de compacité

L'indice de compacité (K_C) renseigne sur la forme du bassin versant qui a une grande influence sur l'écoulement global du cours d'eau et surtout sur l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin, résultant d'une pluie donnée. Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle qui aurait la même surface. Il s'exprime par la formule suivante :

$$K_C = 0,28 * P / \sqrt{A}$$

Avec :

K_C: Indice de compacité

P: Périmètre stylisé en km du bassin versant.

A : Superficie du bassin versant en km².

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

$$K_C = 0,28 * 132 / \sqrt{258}$$

$$K_C = 2.3$$

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

$$K_C = 0,28 * 69 / \sqrt{179}$$

$$K_C = 1.44$$

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

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

$$K_C = 1.35$$

Si :

$KC < 1$ Bassin versant de forme circulaire.

$KC = 1,12$ Bassin versant de forme carrée.

$KC > 1,12$ Bassin versant allongé.

L'indice de compacité (gravilus) du bassin versant de l'Oued Agrioune, Djemaa, Zitouna est respectivement : 2.3, 1.35, 1.44 traduisant ainsi une forme allongée.

I.3.4 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique comporte l'ensemble des cours d'eau, affluents et sous-affluents d'une rivière ou d'un même fleuve qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. L'Oued Agrioune est formé par la réunion de trois affluents : Oued Boulzazen, Oued Ighzer Oufis et Oued Beni Smail (Figure.4)

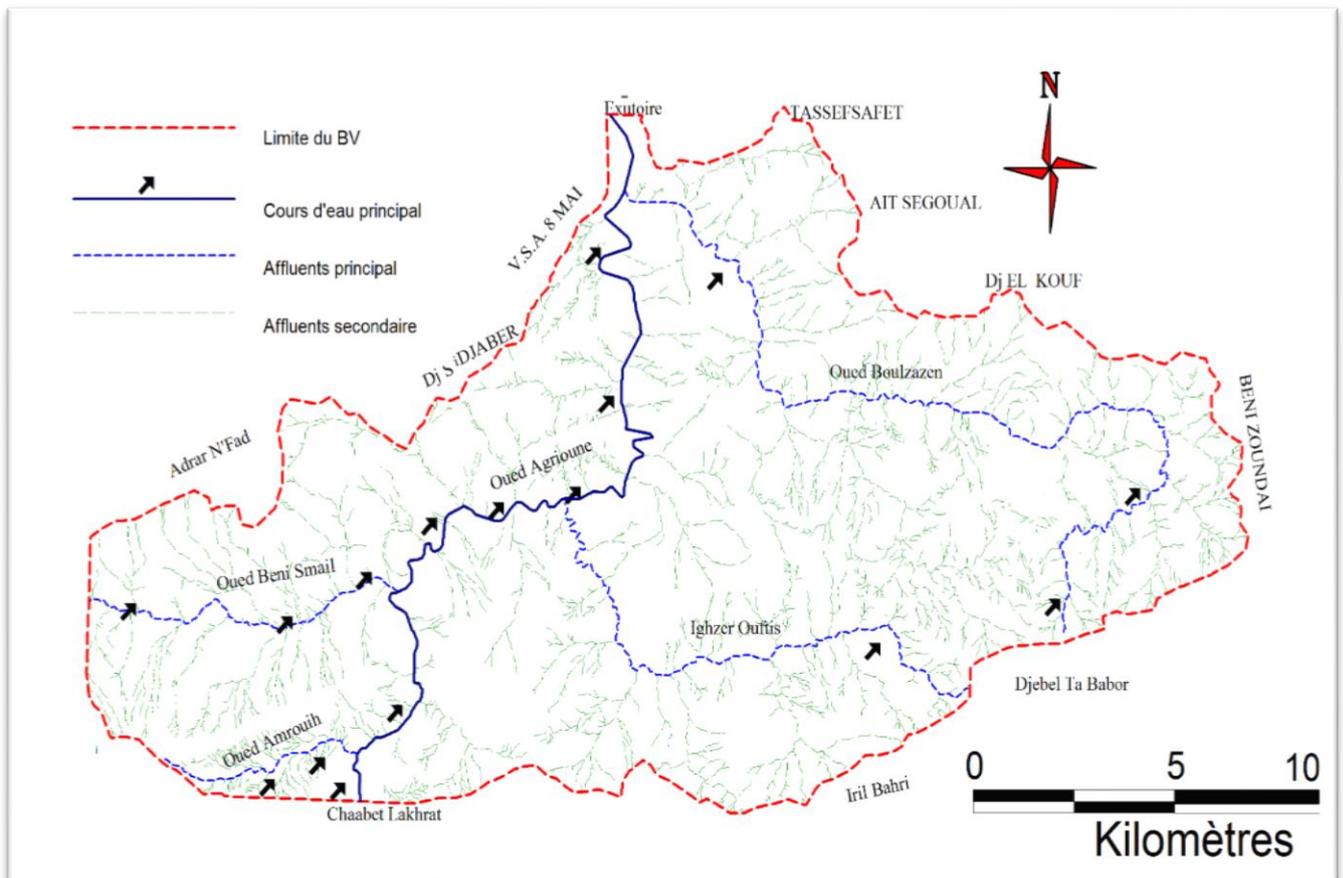


Figure I.4 : Réseau hydrographique du bassin versant d'Agrioune

L'Oued Djemaa-Zitouna est constitué de plusieurs affluents à savoir : Ighzer Tassifet, Ighzer El Archa, Ighzer N'lata, Ighzer Temdit, ...etc. (Figure I.5)

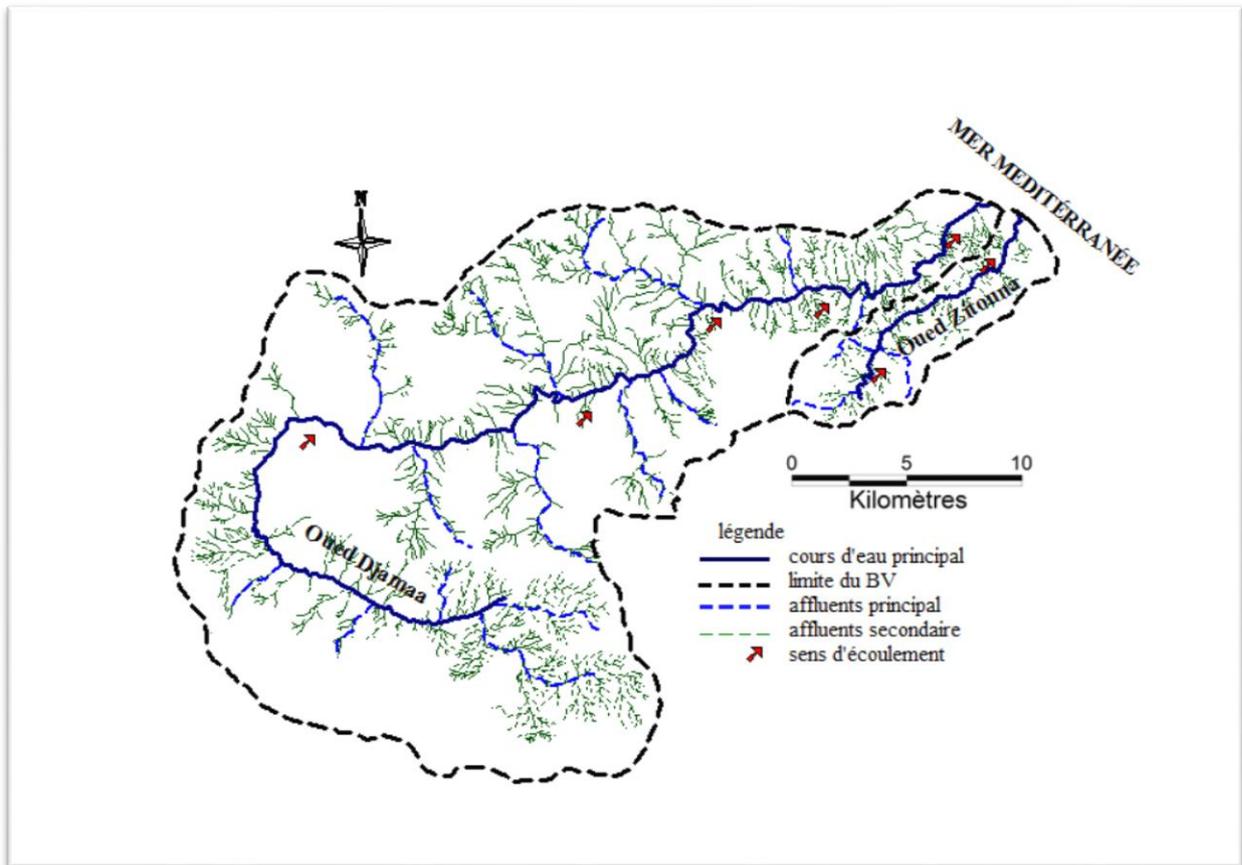


Figure I.5 : Réseau hydrographique des bassins versants de Djemaa- Zitouna

I.4 Cadre climatologique

Le climat est un ensemble de conditions naturelles en un lieu donné. Parmi les facteurs climatiques qu'on peut distinguer, on trouve les facteurs énergétiques (lumière et température), les facteurs hydrologiques (précipitations et hygrométrie) et les facteurs mécaniques (vent et enneigement).

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau. Ce sont les précipitations surtout liquides qui constituent le facteur essentiel intervenant par leur répartition annuelle et mensuelle.

Dans cette partie, nous aborderons les composantes climatiques des bassins versants des oueds Agrioune, Djemaa et Zitouna.

I.4.1 Les températures [22]

La température est un facteur qui affecte la disponibilité de l'énergie et grâce au degré jour que la végétation manifeste son régime biologique

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

Tableau I.1 : Températures moyennes mensuelles pour la région de Bejaia (1978-2012)
(ONM, 2012)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Tmax	16.5	16.9	18.6	20.3	22.9	26.4	29.5	30.2	28.1	25.3	20.8	17.5
Tmin	7.7	7.8	9	12	14.4	18	20.9	21.7	19	16.4	12.2	9
Tmoy	12.1	12.3	13.8	16.1	18.6	22.2	25.2	25.9	23.5	20.8	16.5	13.2

Tmin : température minimale
Tmoy : température moyenne.
Tmax : température maximale.

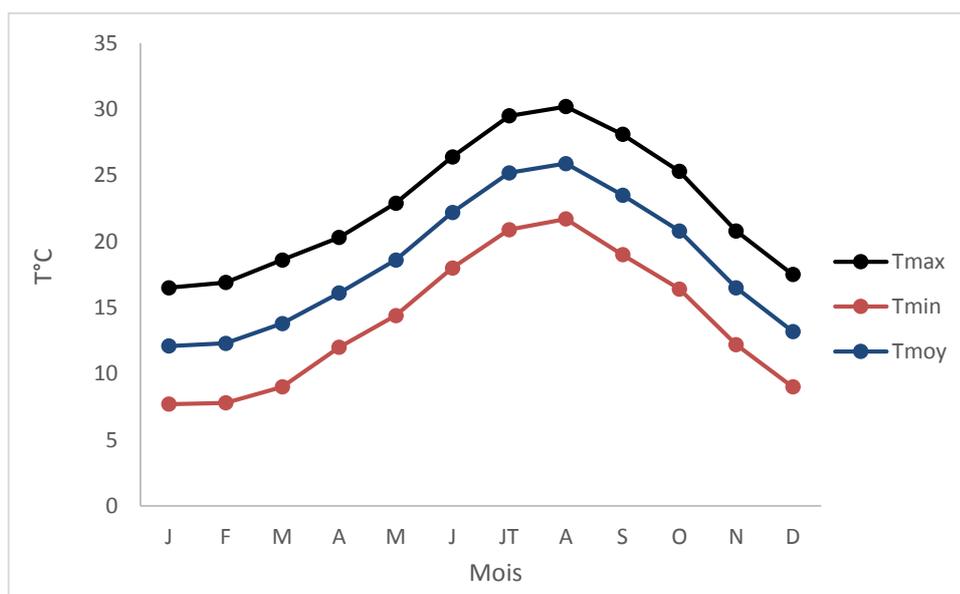


Figure I.6 : variations des températures minimales, moyennes et maximales et mensuelles (ONM, 2012)

S'avère :

- ✓ le mois d'Août est le plus chaud avec une température maximale d'ordre de 30.2°C.
- ✓ La température minimale s'enregistre au mois de Janvier avec une valeur de 7.7°C, c'est le mois le plus froid.

I.4.2 Le vent [3]

Les vents ont un effet important sur les phénomènes d'évaporation, de précipitation et, à un degré moindre, de températures. A la station météorologique de Bejaia, la majorité du temps les 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 mensuels sont représentées dans le tableau (I.2).

Tableau I.2 : vitesses des vents mensuelles (station météorologique de Bejaia, 2010).

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

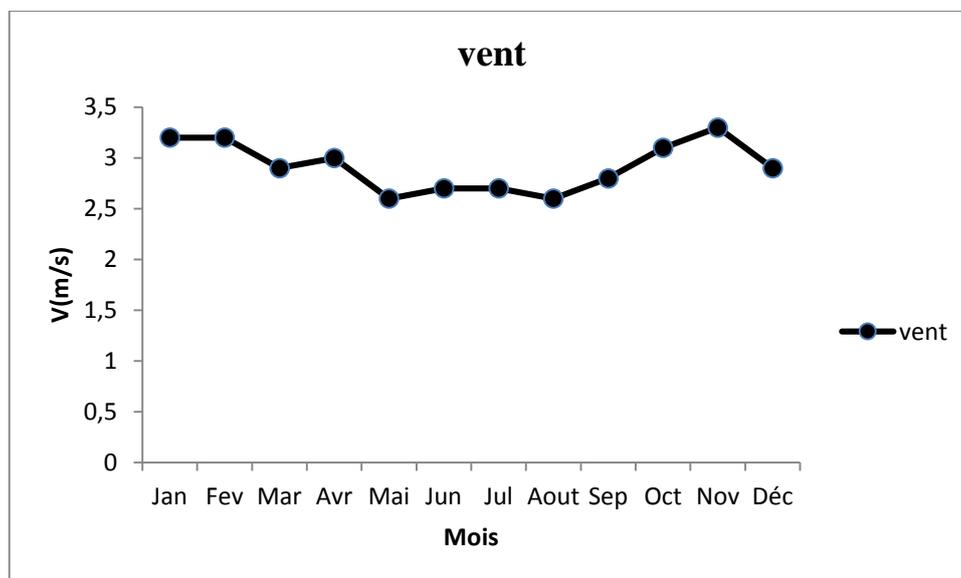


Figure I.7 : vitesses des vents mensuelles de l'année 2010 (station météorologique de Bejaia).

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.

L'analyse de ces données montre une variabilité relative des vitesses du vent le long de l'année : Elles sont comprises entre 2,6 m/s et 3,3 m/s. Les vitesses restent faibles durant la saison estivale et forte durant la période hivernale.

I.4.3 L'humidité de l'air

L'humidité de l'air est un facteur important que les précipitations et la température. Les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région de Bejaia sont représentées dans le tableau (I.3).

Tableau I.3 : 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

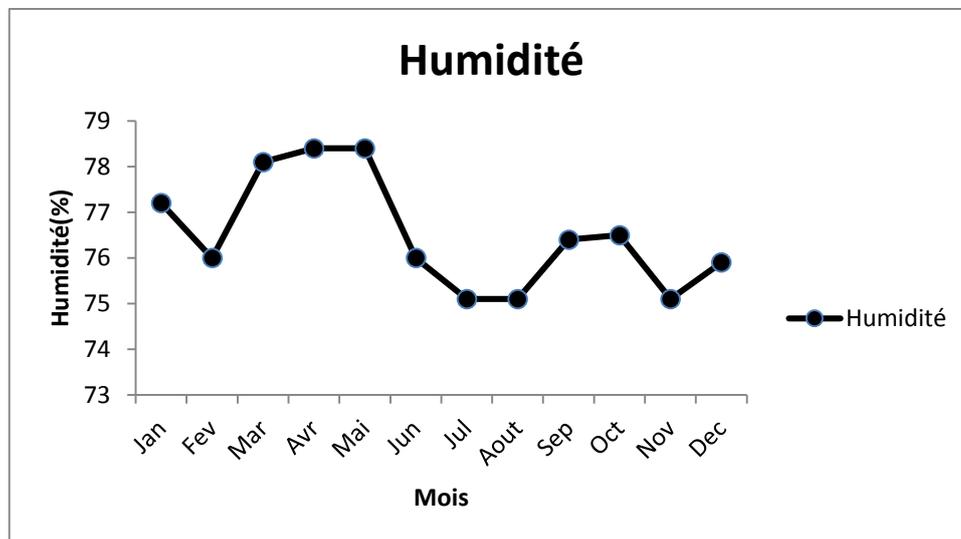


Figure I.8 : variations de l'humidité relative pour la période 2005-2010(station météorologique de Bejaia).

Selon la figure (I.8), on observe que les pourcentages de l'humidité, relative à notre région d'étude, sont élevés du mois de mars à mai avec un maximum de 78.4% en mois de mai, et des taux moins élevés en été et moyens en automne. L'humidité atteste l'influence du milieu marin sur cette région.

I.4.4 Les précipitations [22]

Les précipitations c'est la quantité d'eau recueillie dans un pluviomètre pendant les 24 heures quelques soit l'origine de cette eau (pluie, neige ...etc.).

Elles sont considérées faibles si elles ne dépassent pas 2.5 mm par heure, fortes si elles dépassent 7.5 mm par heure et modérées si elles se situent entre ces deux valeurs.

Les précipitations annuelles de Bejaia sont $P_{an} = 793$ mm.

Tableau I.4 : La répartition des précipitations moyennes mensuelles de la période (1978-2012) pour la station de Bejaia.

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	P(mm)
Bejaia	110	88.9	79.5	71.3	42	15.1	5.3	9.6	58.1	75.4	103.2	143.6	793

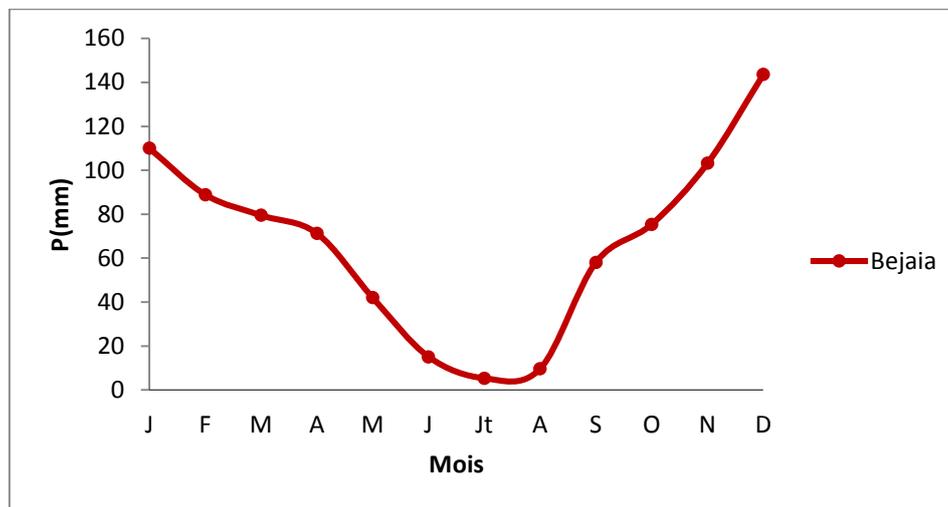


Figure I.9 : Les précipitations moyennes mensuelles pour la période la période 1978-2012 (ONM, 2012)

S'avère :

- ✓ la pluviométrie minimale est enregistrée durant le mois de juillet avec une valeur de 4.8 mm.
- ✓ La pluviométrie maximale est enregistrée durant le mois de décembre avec une valeur de 129.2 mm.

I.4.3 Synthèse des données climatiques

I.4.3.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Ce diagramme nous renseigne sur la période sèche en s'appuyant sur la comparaison de températures moyennes et de précipitations annuelles moyennes ou sont portés en abscisses les mois et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec une échelle des précipitations équivalente aux doubles de celles des températures ($P=2T$)

Bagnouls et Gausson ont établi un diagramme qui permet de dégager la période de sècheresse lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de celle des températures.

Le diagramme établi avec les données de la période (1978-2012) dans la région de Bejaia, montre l'existence d'une période humide, s'étalant de fin Septembre à fin Mai et une période sèche durant les quatre mois (Mai à Septembre).

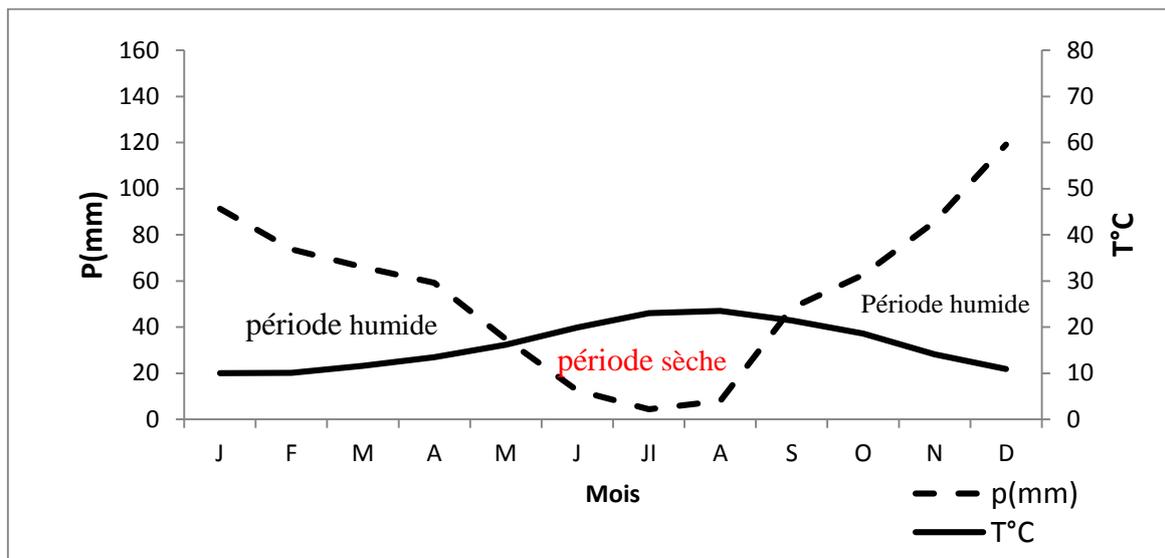


Figure I.10 : Diagramme ombrothermique pour la région de Bejaia période (1978-2012)

I.4.3.2 Climagramme d'Emberger [21]

Le système d'Emberger permet la classification des différents climats méditerranéens grâce au calcul d'un quotient qui est donné par la formule suivante : $Q2 = \frac{3,43P}{(M-m)}$

P : Somme des précipitations annuelles exprimées en mm.

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid (°C).

Tableau 1.5 : Calcul de Q2 de la région de Bejaia.

P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q2
793	30.2	7.7	120.9

$$Q2 = \frac{3.43 \times 793}{30.2 - 7.7} \quad Q2=120.9$$

Les valeurs du quotient combinées à celles de la température du mois le plus froid sur le climagramme d'Emberger, permettent de déterminer l'étage et les variations climatiques. D'une manière générale, un climat méditerranéen est d'autant plus humide que le quotient Q2 calculé est égal à 120,9 pour une période de 1978à 2012 ce qui permet de situer la zone d'étude dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud (Figure I.11)

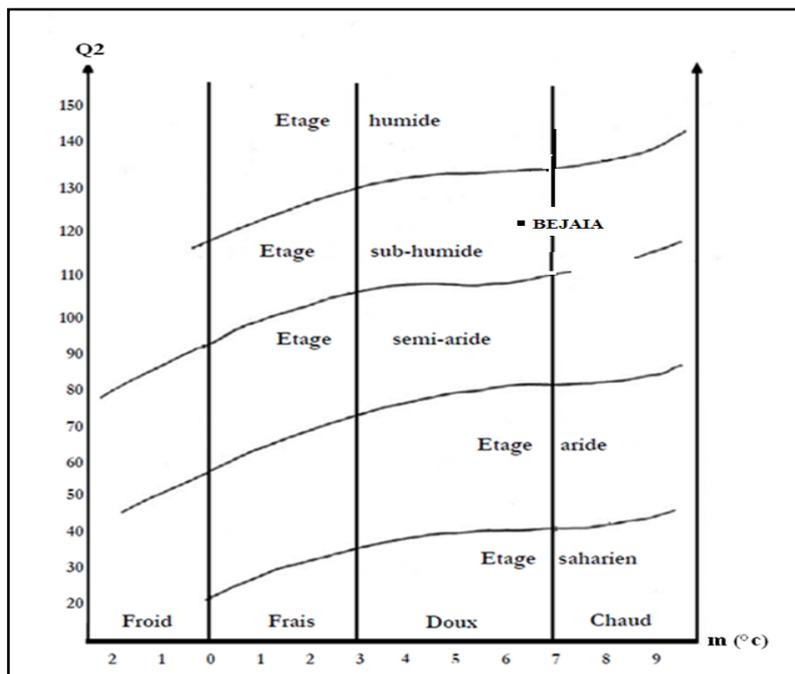


Figure I.11 : Situation bioclimatique de la région de BEJAIA sur le Climagramme d'Emberger.

I.5 Caractéristiques socio-économique

I.5.1 Occupation du sol

1.5.1.1 Le bassin versant de l'Oued Agrioune [22]

Le bassin versant d'oued Agrioune se caractérise par la prédominance du domaine agricole sur le domaine forestier comme montre le tableau I.6

Tableau I.6 : La répartition des terrains dans le bassin versant d'Oued Agrioune

Domaine agricole	Terrain agricole	50%	52%
	Terrain arboricole	2%	
Domaine forestier	Couvert forestier	13.5%	26%

On souligne que l'ensemble des communes du bassin versant d'oued Agrioune ont un caractère rural et une nature à vocation beaucoup plus agricole.

1.5.1.2 Les bassins versants des oueds Djemaa-Zitouna [15]

La nature du sol intervient sur la rapidité de montée des crues et sur leur volume. En effet, le taux d'infiltration, le taux d'humidité, la capacité de rétention, les pertes initiales et le coefficient de ruissellement (C_r) sont fonction du type de sol et de son épaisseur.

Les bassins versants des Oueds Djemaa-Zitouna sont des bassins très marqués, par les espaces naturels. En effet, les forêts représentent la majorité de la surface des bassins versants. Donc les bassins sont très ruraux, d'ailleurs les zones urbanisées représentent à peine 3% de ces bassins.

I .5.2 Population

1.5.2.1 Bassin versant de l'Oued Agrioune

Le total de la population pour les huit communes appartenant à la limite du bassin versant est égal à 144607 habitants repartit sur une superficie de 488.72 km². Cette population représente une densité d'environ 296 habitants/km². Cette répartition est représentée dans le tableau I.7

Tableau I.7 : Répartition de la population du bassin versant de l'oued Agrioune par commune (Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, 2012).

Communes	Population	Superficie (km ²)	Densité
Kherrata	36 173	97,69	370
Draa El-Gaid	30 135	123,34	244
Darguina	14 587	82,53	177
Taskriout	16 647	31,06	536
Souk El –Tenine	14 485	26,28	551
Melbou	11 753	47,47	248
Tamridjet	8 676	53,27	163
Ait Smail	12 151	27,08	449
Total	144607	488.72	296

1.5.2.2 Les bassins versant des Oueds Djemaa-Zitouna

Le total de la population pour les six communes appartenant à la limite du bassin versant est égal à 98759 habitants.

Tableau I.8 : Répartition de la population du bassin versant de l'oued Djemaa-Zitouna par commune (Annuaire statistique de la wilaya de Bejaia, 2012).

Commune	Population	Superficies (Km ²)	Densité
Tichy	17 062	56,66	301
Boukhelifa	9 041	116,38	78
Amizour	38 737	109,36	354
Barbacha	17 429	83,77	208
Aokas	16 490	27,87	592
Total	98759	394.04	251

I.5.3 Agriculture

I.5.3.1 Le bassin versant de l'Oued Agrioune

Tableau I.9 : La répartition de la superficie agricole Utile (S.A.U) pour l'Oued Agrioune

Communes	Occupation de sol par ha								
	Céréales	Légumes	Fourrage	Agrumes	Cultures Maraichère.	Vigne de Table	Olive	Figuier	Culture Industrie
Kherrata	600	55	45	110	4	514	0	60	7
Draa El-Gaid	1900	160	115	308	55	770	0	95	28
Darguina	0	10	0	67	8	308	11	110	0
Ait Smail	50	10	2	71	23	314	1	100	2
Taskriout	30	5	10	103	20	104	11	40	2
Souk El-Tenine	50	0	193	69	0	322	44	33	1
Melbou	0	0	0	80	0	273	24	11	3
Tamridjet	0	1	1	64	0	194	8	20	0

I.5.3.2 les bassins versants des oueds Djemaa-Zitouna [15]

L'activité agricole dans la zone d'étude n'est pas importante. Elle se limite à une agriculture riveraine composée de jardins familiaux de petites superficies. L'utilisation de la fertilisation par des 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, elle est estimée à 17 774 hectares.

Tableau I.10 : La répartition de la superficie agricole Utile (S.A.U) ha de bassin versant des Oueds Djemaa-Zitouna

Communes	Occupation de Sol par ha								
	Céréales	Légumes	Fourrage	Agrumes	Cultures Maraichère	Vigne de Table	Olive	figuier	Culture Industrie
Tichy	10	20	70	9	115	3	150	111	0
Boukhlia	14	33	121	48	329	6	190	45	0
Aokas	10	0	155	55	180	12	391	200	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

I.6 Cadre géologique

I.6.1 Introduction

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydrochimique. Ainsi, la lithologie, la tectonique et la structure géologique jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux suite à la dissolution des minéraux se trouvant dans la roche et sur la quantité d'eau qui ruissèle ou s'infiltré selon le type du terrain (perméable ou imperméable).

Cette partie d'étude a été effectuée en s'appuyant sur l'interprétation des cartes géologiques et Dans notre cas, les cartes utilisées sont celles de :

- AMIZOUR (Carte N° 47 réalisée en 1981) et ZIAMA (Carte N° 48 réalisée en 1922).

I.6.2 Système de karst [11]

Le système karstique est une forme de paysage provoqué par l'action de l'eau qui s'infiltré dans le sous-sol. Ce relief se rencontrera le plus souvent dans le cas où le sous-sol est constitué de roches calcaires : calcaires et dolomies surtout, mais aussi craie, marbre, et travertin. Mais l'action de l'eau peut créer des karsts dans le gypse, l'anhydrite et le sel-gemme (halite), mais aussi dans des grès ou des quartzites. Cette eau va dans un premier temps dissoudre la roche puis dans un second temps, redéposer cette matière dissoute en créant aux modelés karstique tel que : doline, stalagmite, stalactite, résurgence, lapiaz, aven, paysage ruiniforme...etc.

La figure (I.12) suivante présente un paysage karstique synthétique :

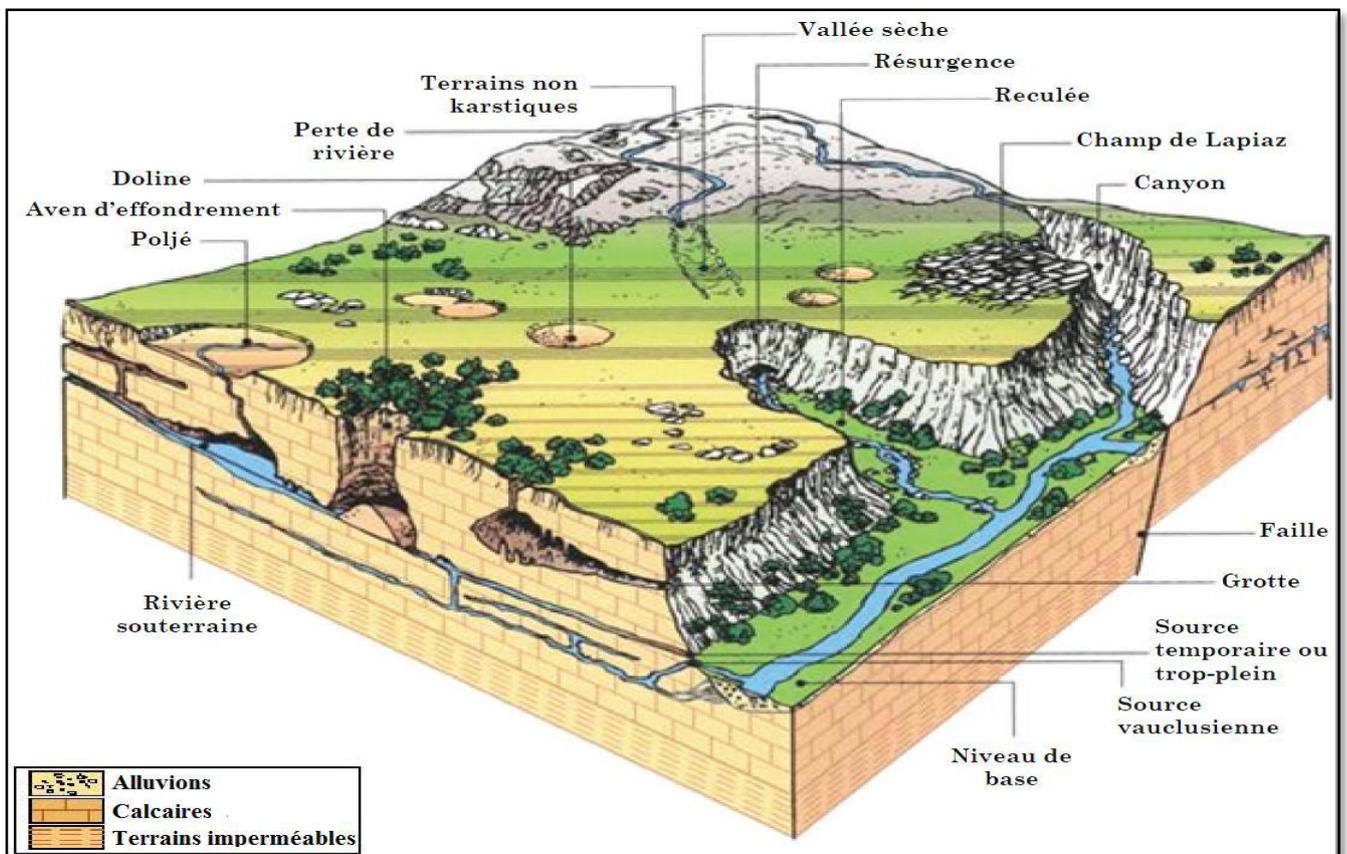


Figure I.12 : Bloc-diagramme d'un paysage karstique synthétique [2]

I.6.2.1 Formations Karstiques [1]

En général :

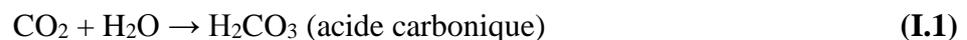
- Les calcaires sont des roches sédimentaires, formés par accumulation, au fond des mers, à partir des coquillages et squelettes des animaux marins. Le calcaire est reconnaissable par sa teinte blanche et généralement la présence de fossiles.
- Sous l'effet de poussées verticales d'origine interne, ces dépôts vont émerger. Les montagnes naissent et la roche se fracture.
- La roche calcaire est composée essentiellement de carbonate de calcium qui se laisse dissoudre par l'eau rendue acide par le gaz carbonique dont elle se charge en traversant l'atmosphère et la couche organique du sol
- Chez les formations karstiques les mécanismes en jeu sont :
 - La dissolution de la roche (corrosion)
 - L'écoulement souterrain qui évacue les matières dissoutes.

- Les karsts présentent pour la plupart un paysage tourmenté, un réseau hydrographique essentiellement souterrain et un sous-sol creusé par de nombreuses cavités : pertes et résurgences de cours d'eau, dolines, grottes...etc.

1.6.2.2 Processus de karstification des formations géologiques carbonatées [11]

Dans un premier temps, l'eau de pluie va se charger de dioxyde de carbone (CO₂). Celui-ci provient en partie de l'atmosphère mais majoritairement du dioxyde de carbone contenu dans le sol et qui, lui, est d'origine biogénique (respiration des êtres vivants ou décomposition de la matière organiques).

La réaction chimique est la suivante :



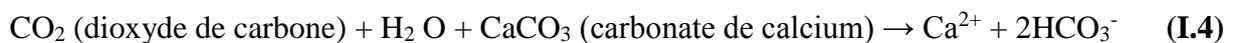
Cet acide carbonique va se dissocier en présence d'eau :



Dans le cas du calcaire, le carbonate de calcium (CaCO₃) sera donc attaqué par l'ion acide selon cette réaction :



Globalement, on peut résumer ces réactions ainsi :



L'ion calcium passe ainsi en solution sous forme d'hydrogénocarbonate de calcium (Ca²⁺ + 2HCO₃⁻) qui pourra être transporté par l'eau.

L'eau chargée de dioxyde de carbone (et donc à caractère acide) va circuler dans les roches calcaires fracturées en empruntant les failles, diaclases et autres espaces présents dans la roche. Lorsque le massif calcaire a subi au cours de son histoire des mécanismes de surrection, plissements..., la présence de ces vides dans la roche est d'autant plus importante. C'est en circulant dans ces espaces que l'eau se charge d'ions calcium en dissolvant peu à peu la roche qu'elle traverse. Le résultat de cette attaque chimique est l'élargissement progressif des failles et des espaces, pouvant créer à la longue l'apparition de cavernes souterraines, de galeries, de grottes. En surface, le relief karstique peut se traduire par l'apparition de lapiez, de dolines, d'avens...

1.6.2.3 Propriétés structurales et physico-chimiques des roches karstifiables [1]

a-Propriétés structurales

La circulation et le stockage des eaux souterraines dans un aquifère karstique sont conditionnés par l'agencement géologique de la fracturation de l'aquifère. Les caractéristiques

litho-stratigraphiques de celui-ci déterminent sa géométrie, sa structure et ses propriétés hydrodynamiques et géochimiques :

- Fonction capacitive (ou réservoir) caractérisée principalement par la porosité matricielle ou de fracture selon l'aquifère, qui caractérise le stockage et contrôle le soutien des débits d'étiage.
- Fonction d'échanges caractérisée par les processus d'interactions physico-chimiques entre l'eau souterraine et la roche réservoir.

La porosité et la perméabilité du réservoir organisent la circulation des eaux souterraines et déterminent donc la morphologie et l'interconnexion des vides karstiques. Cependant, l'hétérogénéité du milieu et les propriétés physico-chimiques des roches karstifiables (carbonatées) peuvent faire évoluer ces deux paramètres (porosité et perméabilité)

b-Propriétés physico-chimiques

Les propriétés physico-chimiques des roches karstifiables sont caractérisées par :

- Un comportement cassant, favorisant une tendance à la fracturation plutôt qu'une déformation plastique (comme les argiles sous des conditions de températures et de pression assez faibles),
- Une faible solubilité du carbonate de calcium à la pression partielle de CO₂ atmosphérique proche de 15 mg/l,
- Une porosité primaire assez faible,

Une porosité secondaire importante résultant des fractures (fissures, diaclases, failles...) mais elle peut aussi tendre vers l'infini dans les drains karstiques. Cependant, les propriétés physico-chimiques des roches carbonatées sont insuffisantes pour expliquer à elles-seules la mise en place de vides karstiques de grandes dimensions. Ils sont dus aux processus d'analyses d'érosion (mécaniques et chimiques) que subissent ces formations.

I.6.2.4 Structure et fonctions de système karstique [23]

Le karst s'organise verticalement en deux grands ensembles :

- une zone non saturée caractérisée par des écoulements diphasiques et parcourue par des cavités aérées dont certaines sont pénétrables, voire visitables,
- une zone saturée également appelée zone noyée dans laquelle les cavités sont entièrement remplies d'eau. Elles peuvent être explorées pour peu que le visiteur ait le matériel adapté.

L'interface entre ces deux ensembles est mobile et une surface libre peut être observée. La zone de battement entre la zone non saturée et la zone saturée est le siège d'une karstification importante. (Figure I.13)

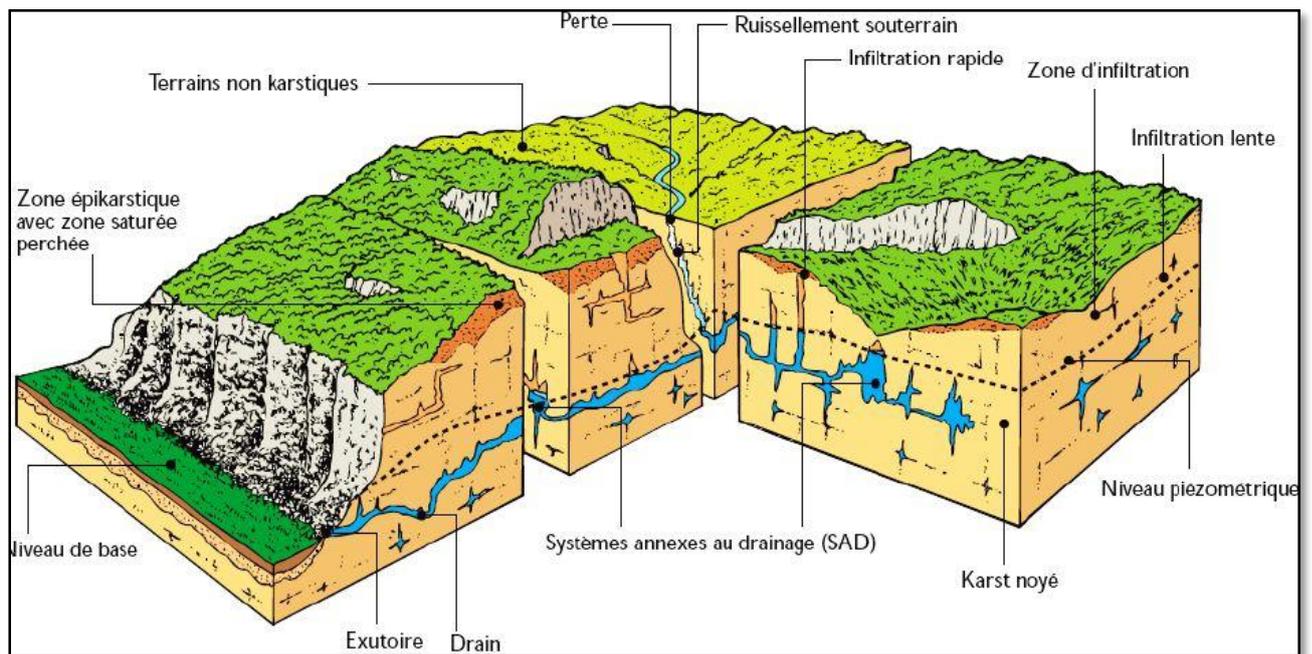


Figure I.13 : Schématisation d'un système karstique [6]

Il existe plusieurs types de systèmes karstiques, suivant la configuration structurale, géomorphologique et géologique. De cette configuration dépend l'organisation du réseau karstique [13]. Figure (I.14)

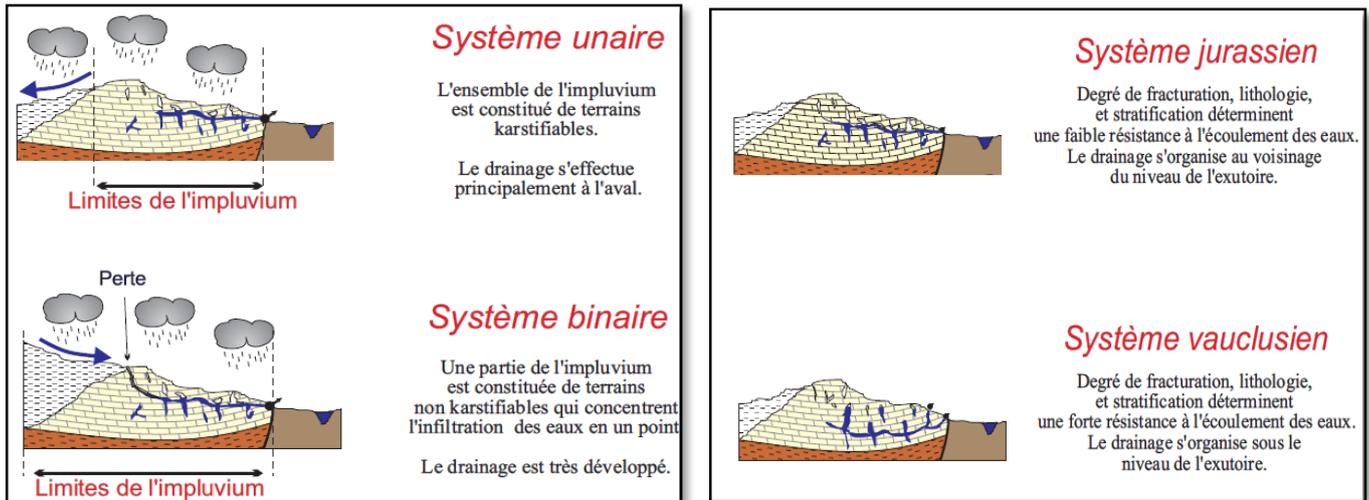


Figure (I.14) : Typologie des systèmes karstiques [18]

I.6.4 Etude géologique des régions d'étude

I.6.4.1 Etude géologique du bassin versant de l'oued Agrioune [22]

La chaîne de BABORS dessine une limite franche entre le bassin amont de l'Oued Agrioune à Kherrata et les bassins versants des affluents situés au Nord.

Le bassin amont de l'Oued Agrioune occupe des formations caractéristiques de la nappe de Djemila. Ces formations sont dominées par la présence de marnes noires, de calcaires et de calcaires marneux qui façonnent un relief mou. Les versants sont couverts de terres arables, de formations de pentes et d'alluvions anciennes.

A l'extrémité méridionale du bassin, les massifs du Djebel Megris et du Djebel Chouf Karoun présentent des formations formées d'alternance de grès et d'argiles à kaolinite.

Au niveau de Kherrata, les massifs, de Babors, de Mellal et de Takoucht sont constituées de calcaires jurassiques qu'entaillent profondément les gorges du Chabet El Akhra. Ces formations, où l'on retrouve des calcaires marneux-schisteux, des calcaires massifs et dolomies, occupent une grande étendue de la partie septentrionale du bassin de l'oued Agrioune.

Le bassin d'Ait Smail, est quant à lui, majoritairement recouvert de marnes schisteuse, et d'éboulis de pentes en contrebas des sommets calcaires dolomitiques.

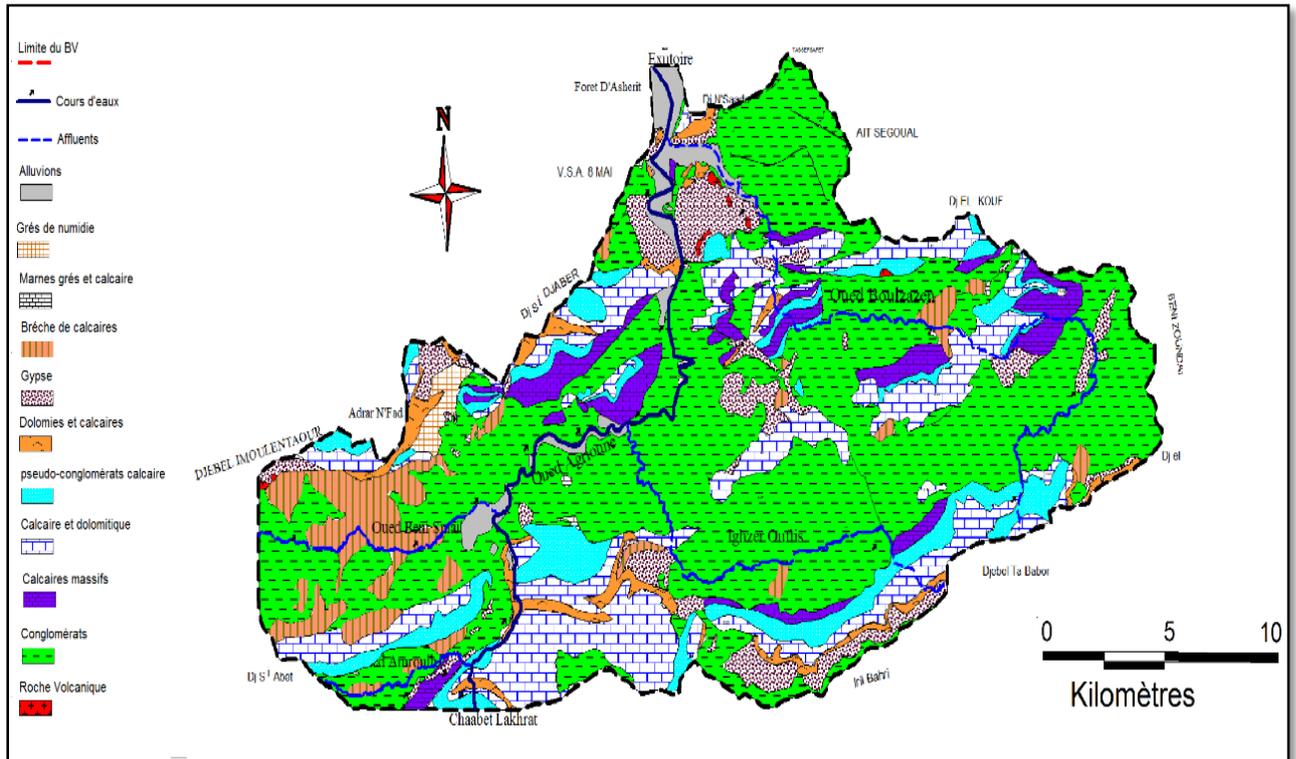


Figure I.15 : Situation géologique du bassin versant d'oued Agrioune

I.6.4.2 Etude géologique des bassins versants des Oueds Djemaa-Zitouna [8]

Les bassins versants des oueds Djemaa-Zitouna renferment un aquifère d'alluvions et de graviers constituant un réservoir d'eau important et qui est représenté par le champ captant alimentant la ville de Bejaia.

Les calcaires marneux et calcaires à silex du crétacé inférieur sont des formations les plus dominantes 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.

La rive gauche est formée de roches magmatiques du tertiaire : le granite et des roches métamorphiques composées de schistes alternant avec des conglomérats marno-calcaire roses et verts et de, calcaire, à silex. Cette rive est également constituée de grès rouges et d'argile, de trias. Les terrasses alluviales sont beaucoup plus importantes dans cette dernière rive.

(Figure I.16)

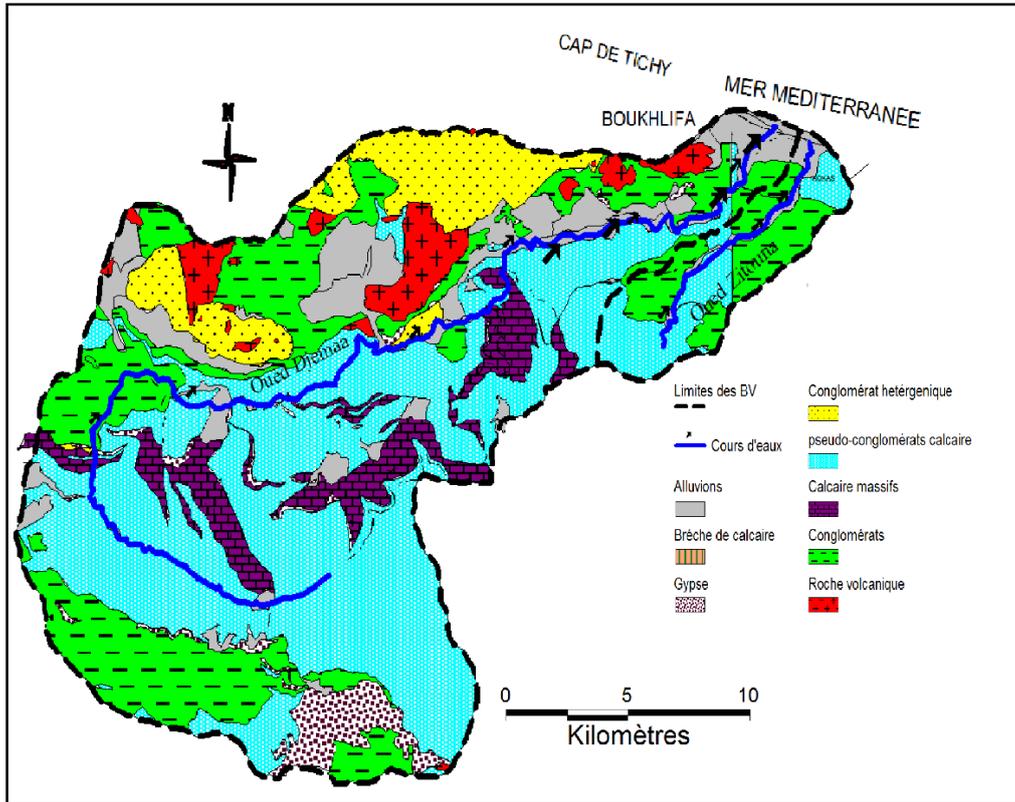


Figure I.16 : Situation Géologique des bassins des Oueds Djemaa-Zitouna.

I.6.5 La lithostratigraphie [10], [19]

I.6.5.1 Le Trias

Le trias comprend essentiellement des argiles et de gypse avec des blocs calcaires et dolomitiques.

Ses corps triasiques, discontinus, offrent parfois de grands affleurements en certaines régions permettant de nombreuses exploitations de gypse dans ces localités.

I.6.5.2 Le Jurassique

a- Lias inférieur

À la base on retrouve des dolomies plus ou moins stratifiées, recristallisées le plus souvent et de couleur rouge violacé sur lesquelles reposent des calcaires massifs, dans l'unité de Barbacha elles sont surmontées par des calcaires massifs parfois dolomitiques.

b- Lias moyen

Formé de calcaires stratifiés à silex, parfois alternant avec des argiles ou des marnes, sur lesquels repose un niveau de conglomérats.

c- Lias supérieur

Il est formé essentiellement par des calcaires à silex s'alternant avec des argiles ou des marnes. Il affleure sous forme de calcaires dolomitiques de Djebel Babors et d'Adhrar Amellal

I.6.5.3 Le Crétacé

Le crétacé caractérisé par une grande diversification de faciès, on peut distinguer deux types de faciès :

a-Le crétacé tellien

Le crétacé inférieur comprend deux séries lithologiques. La première commence par des conglomérats de base à éléments du Jurassique sur lesquels repose une alternance de marnes et de calcaires ; la série est du Néocomien. La deuxième est constituée d'un conglomérat contenu dans des pélites noires de Barrémo-Albien en position dans le sénonien inférieur du Djebel AFFROUN.

b- Le Crétacé des Flyschs

Le crétacé à faciès flysch affleure largement sur la rive droite des Oueds Agrioune, Djemaa et Zitouna.

I.6.5.4 Le Miocène

Le miocène comprend deux ensembles lithologiques distincts d'âge postérieur à la mise en place des nappes, ce sont :

A-Les formations sédimentaires : Celles-ci comprennent une série continentale d'âge Burdigalien-Helvétien : elle est formée essentiellement de conglomérats hétérogéniques transgressifs et discordants sur des formations numidiennes et des formations du Sénonien supérieur à faciès argilo-marneux.

b-Les formations magmatiques : on peut distinguer :

- **Les roches plutoniques** : représentées par des microgranites, qui se trouvent sur la rive gauche, à texture microgrenue d'âge Tertiaire accompagnées de roches métamorphiques du tertiaire composées de schistes.
- **Les roches volcaniques** : représentées par des laves et des pyroclastites non distinguées. Elles affleurent dans le massif d'AMIZOUR et au Sud de Béjaia.

I.6.5.5 Le Quaternaire

Les formations quaternaires sont représentées par :

- Des alluvions des oueds Agrioune, Djemaa et Zitouna.

-Des formations récentes qui sont constituées d'éboullis de pente et alluvions actuelles.

I.7 Conclusion

Le site d'étude est caractérisé par un relief accidenté, cours d'eau côtier de type torrentiel avec une forme allongée et l'indice de compacité des bassins versants d'Agrioune, Djemaa et Zitouna et sont répartis comme suit : ($K_C= 1,44$, $K_C=1.35$ et $C_C=2.3$) et une superficie de 472Km^2 . La population pour les 14 communes appartenant à la limite des bassins versants est égale 243426 habitants présentant une densité d'environ $251\text{Hab}/\text{km}^2$ pour le bassin versant d'Oued Djemaa-Zitouna et $296\text{Hab}/\text{km}^2$ pour le bassin versant d'Oued Agrioune.

L'étude des facteurs climatiques nous a permis de distinguer que le climat de la zone d'étude est de type continental avec un hiver frais et un été chaud mais acceptable. Avec La température moyenne dans la région est de l'ordre de 18.34 C° . L'interprétation du, climagramme d'Emberger nous a permis de classer la situation bioclimatique de la région de Bejaia comme sub-humide.

L'analyse des caractéristiques lithologiques des principales unités structurales de la région des oueds Agrioune, Djemaa et Zitouna, nous a permis d'identifier des formations géologiques favorables aux constitutions d'aquifères non négligeables pour la mobilisation des ressources en eaux souterraines supplémentaires, ces formations sont :

- les formations des grés numidiens du versant septentrional de l'oued Agrioune et oued Djemaa.
- Les formations calcro-dolomitique des régions Barbacha et Djellel.
- les conglomérats du miocène continental en bordure et sous les alluvions de la plaine.
- les formations volcaniques du massif d'Amizour-Bejaia.

CHAPITRE II

Matériels et méthodes

II.1 Principes théoriques [5]

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.

II.2 Echantillonnage

Nous avons effectué une campagne de prélèvement de six stations, avec quatre prélèvements sur des stations souterraines et deux prélèvements sur les eaux de surfaces.

➤ La campagne s'est effectuée le : 02/04/2015.

Les échantillons destinés aux analyses physico chimiques sont prélevés dans des flacons en plastiques à partir des points d'eaux pendant la période d'Avril 2015.

Ces flacons sont rincés à l'eau distillée et égouttés avant d'être rincés plusieurs fois et remplis par l'eau à analyser.

- Deux échantillons pour les eaux de surface (deux au niveau de l'oued Djemaa et les deux autres points localisés sur l'oued Zitouna).

- Quatre échantillons caractérisant les eaux souterraines (source bleu et Cascade).

En ce qui concerne la conservation des échantillons nous avons utilisé une glacière gardant la température à 4C°.

II.3 Analyses physico-chimiques

II.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.

II.3.2 L'Odeur et Saveur

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

II.3.3 La température (T C°) [10]

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, c'est l'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques.

II.3.4 La conductivité [14]

La conductivité électrique montre le degré de minéralisation d'une eau. Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée. La conductivité augmente lorsque la température s'accroît. Les conductivités mesurées au niveau des points d'eau à l'aide d'un multi-paramètre (inoLAB* pH/ION/Cond 750).



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

II.3.5 Le pH des eaux

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique. Il est alcalin dans les calcaires.

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

II.3.6 La salinité [14]

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 et bromures par une quantité équivalente de chlorures.

II.3.7 Total des solides dissous (TDS)

Nous avons mesuré le total des solides dissous à l'aide du même multi-paramètre, 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 généralement l'unité du mesure en mg/l.

II.4 Le principe de Spectrométrie d'Absorption Atomique (SAA) [17]

L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution.

Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites. La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome.

Tableau II.1 : Limites de détection et de quantification des éléments :

Elément	Limite de détection	Norme de référence
Flamme		
Al	0,2 mg/L	NF EN ISO 12020
Ca	10 µg/L	NF EN ISO 7980
Mg	3 µg/L	NF EN ISO 7980
Na	3 µg/L	NF T 90-020
K	8 µg/L	NF T 90-020
Li	8 µg/L	
Sr	17 µg/L	
Fe	50 µg/L	FD T 90-112
Mn	20 µg/L	FD T 90-112
Si	1 mg/L	
Zn	10 µg/L	FD T 90-112



Figure II.2 : *Spectrométrie d’Absorption Atomique (SAA)*

II.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 ETRE X (figure II.3) :



Figure II.3 : *Le GPS GARMIN ETREX H*

Les caractéristiques des stations de prélèvement sont illustrées dans le tableau (II.2) :

Tableau II.2 : Caractéristiques des stations de prélèvement.

Désignation	Nature	Longitude	Latitude
Forage Djemaa	Souterraine	696636	4057249
Oued Djemaa	Surface	696571	4056990
Forage Zitouna	Souterraine	698684	4057530
Oued Zitouna	Surface	698655	4057563
Cascade	Souterraine	704920	4049700
Source bleu	Souterraine	704317	4046361

II.6 Méthodes hydro-chimiques [6]

Pour pouvoir analyser ses données et en ressortir le plus d'information en peu de temps, il a fallu utiliser des outils et méthodes efficaces et rapides.

Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMMES (II.4) créé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau. Ces fonctions sont variées et complètes, en voici quelques-unes :

- Les diagrammes de Piper.
- Le diagramme de Schöeller.
- Diagramme de Stabler.
- Indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse).

Toutes les fonctionnalités n'ont pas été utilisées, mais ce logiciel s'avère être simple d'utilisation. De ce fait les diagrammes de PIPER et de SCHOELLER ont été établis grâce à ce logiciel. Pour finir l'aspect concernant les variations de pH ainsi que le calcul des équilibres calco-carboniques que nous verrons plus tard, ont pu être étudiés grâce à ce logiciel.

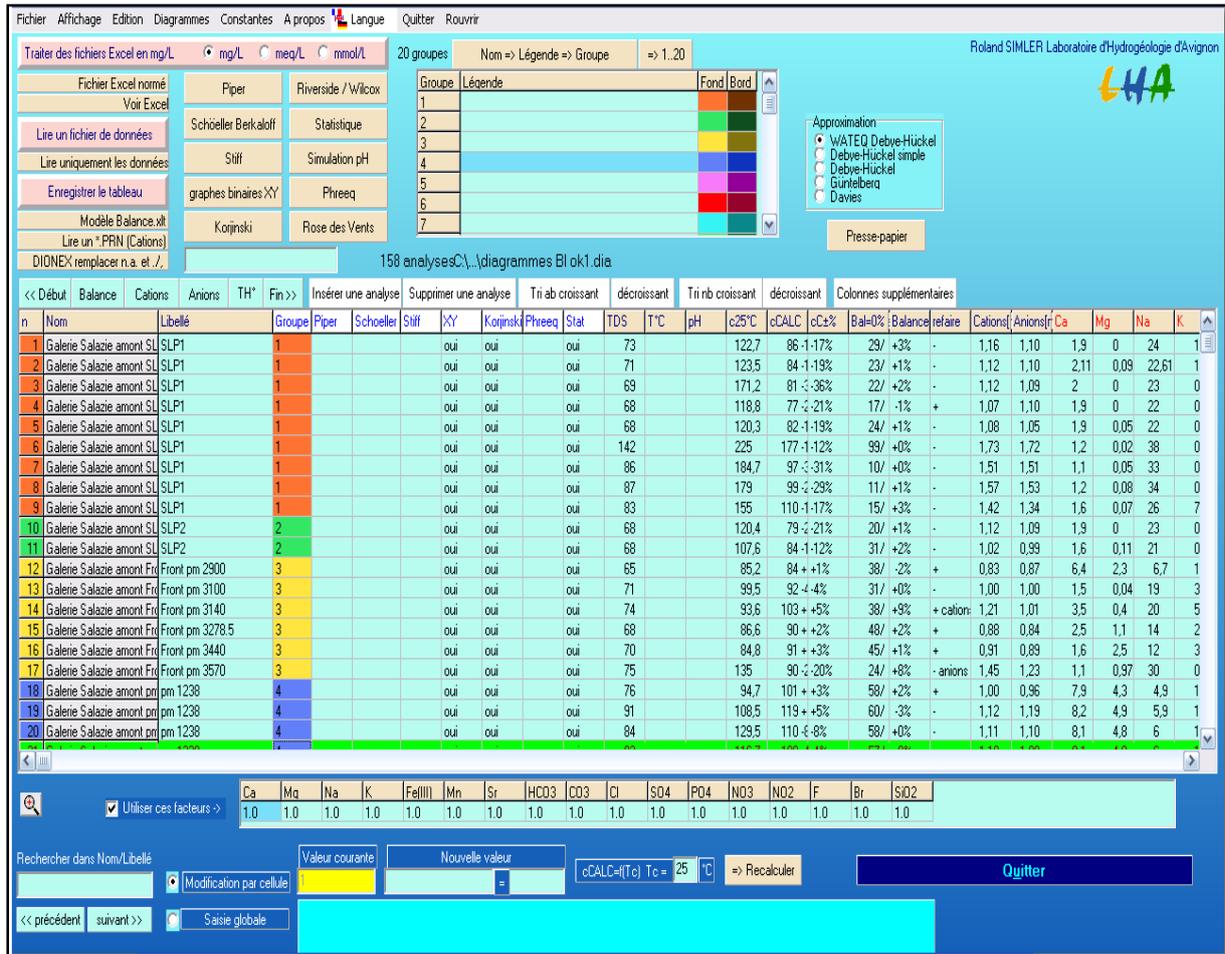


Figure. II.4 : Interface de commande du logiciel DIAGRAMME

II.7 Code géochimique Phreeqc [24]

Phreeqc est un programme de calcul des équilibres chimiques, développé par (Parkhurst et Appelo, 1999). Phreeqc est utilisé pour simuler des réactions chimiques et modéliser le transport des espèces chimiques dans les eaux naturelles et polluées.

Les fonctions de PHREEQC nous permettront de déterminer :

- L'état d'équilibre des eaux : spéciation, force ionique et indice de saturation des phases minérales.
- Les réactions vers l'équilibre : mise en équilibre d'une phase aqueuse avec une phase solide ou un gaz (interaction eau-roche).

II.8 Dosage des éléments

II.8.1 Dosage des Chlorures (Méthode de MOHR)

- **Principe**

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

- **Mode Opérateur**

A 100 ml d'échantillon (Ou à un volume V d'échantillon dilué à 100 ml) ajouter à la pipette 1 ml d'indicateur $K_2Cr_2O_7$ titré par addition progressive de nitrate d'argent jusqu'à obtention d'une coloration à peine brunâtre ou, mieux, jusqu'à ce que la solution cesse d'être jaune citron.

- **Expression des résultats**

$$N_{Cl^-} = N_{AgNO_3} \times V_{AgNO_3} / V_{\text{échantillon}}$$

- N_{Cl^-} : Normalité de Cl^- .
- N_{AgNO_3} : Normalité d' $AgNO_3$.
- $V_{\text{échantillon}}$: Volume d'échantillon (ml)
- V_{AgNO_3} : Volume d' $AgNO_3$ (ml) [14]

II.8.2. Dosage des Sulfates

- **Principe**

Principe et pannes à l'état de Sulfate de baryum en présence de $BaCl_2$



- **Réactifs :**

- Acide chlorhydrique
- Chlorure de sodium
- Ethanol
- Glycérine

- **Mode opératoire**

- Dans un erlen de 250ml placé sur un agitateur magnétique, verser 100ml d'échantillon.
- Ajouté à la pipette 5ml de la solution stabilisante agitée, la vitesse d'agitation devra être maintenue constante pendant la durée de l'expérience, ajouter environ 0,4g de $BaCl_2$ et agiter une 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 $BaCl_2$

commences par le témoin afin de pouvoir régler de 100% de transmission et faire la soustraction du témoin.

- **Etablissement de la courbe d'étalonnage** : annexe A7
- **Expression des résultats**
Mg/l de SO_4^{2-} : la valeur lue sur le spectrométrie* la dilution
Méthode Allemande (Mn KERN)

II.8.3 Dosage de nitrates (NO_3^-) : Méthode au Salicylate de sodium

- **Principe**
En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, les coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.
- **Mode opératoire**
 - Introduire 10ml dans une capsule de 10ml/l des teneurs en azote nitrique supérieure à 10mg/l opérer une dilution.
 - Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium.
 - Ajouté 1ml de la solution salicylate de sodium puis pour suivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage.
 - Préparer de la même façon un témoin avec 10ml d'eau distillé.
 - Effectuer les lectures au spectromètre a la longueur d'onde de 415nm.
- **Etablissement de la courbe d'étalonnage** : annexe A1.
- **Expression des résultats**
Pour une prise d'essai de 10ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en mg/l d'eau pour obtenir la teneur en nitrite (NO_3^-)

II.8.4 Dosage des Bicarbonates (Méthode de titrage)

La détermination des alcalinités d'une eau se fait par dosage volumétrique à l'aide d'une solution d'acide chlorhydrique étalonnée en se plaçant à des valeurs fixes de points de virages de 8,3 et 4,5. Les points de virage qui sont déterminés visuellement où par pH-mètre, sont les points d'équivalence sélectionnés pour les déterminations des trois composants principaux de l'alcalinité : les hydroxydes, les carbonates et les hydrogénocarbonates.

- Neutralisation des hydroxydes en eau :



- Neutralisation des carbonates en hydrogénocarbonates :



- Neutralisation des hydrogénocarbonates issus des carbonates en acide carbonique :



Le TAC représente la quantité totale d'acide nécessaire pour arriver à la deuxième équivalence (pH de neutralisation des hydrogénocarbonates). Donc, le TAC est déduit du

volume d'acide nécessaire pour neutraliser la totalité des hydroxydes, des carbonates (Neutralisation de la première et de la deuxième basicité = hydrogénocarbonates issus des carbonates), et des hydrogénocarbonates présents initialement.

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

- **Mode Opératoire**

Introduire dans un bécher :

- 100 ml d'eau à analyser.
- La sonde du pH-mètre + un barreau aimanté. Mettre l'agitation en route.

Si la solution à un pH > 8,3 ; verser l'acide chlorhydrique jusqu'à atteindre le pH de 8,275.

Si la solution à un pH < 8,3, le TA est nul.

Dans tous les cas, sans refaire une prise d'essai, continuer à verser l'acide chlorhydrique jusqu'à pH = 4,5. Noter le volume d'acide versé.

- **Expression des résultats**
- **Titre Alcalimétrique Complet : TAC**

$$TAC = \frac{CHCl \times (V_2 - V_0)}{100} \times 1000$$

Où,

- V2 : Volume d'acide versé.
- V0 : Volume d'échantillon (ml).
- CHCl : Concentration d'acide chlorhydrique.
- TAC : Titre Alcalimétrique Complet (mmol/l).

II.8.5 Etablissement de la courbe d'étalonnage

La 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 crier une méthode qui consiste a sélectionné l'élément à partir de tableau périodique enregistrée dans le logiciel et de ce fait un chargement automatique de tous les caractères seront effectuée, ainsi la méthode sera callé automatique par rapport à l'élément (hauteur de la flamme, longueur d'ondes)

Il nous reste que 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 introduire une courbe d'étalonnage sera affiché, elle ni retenue que la courbe donnant un coefficient de corrélation meilleur, ci un des points de mesure semble très éloigner, il est possible d'effectuer la suppression de ce dernier.

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

CHAPITRE III

Résultats et discussions

III.1 Introduction

Ce chapitre est la partie fondamentale de notre étude qui est consacrée aux caractérisations physico-chimiques des eaux des Oueds Agrioune, Djemaa et Zitouna.

En effet, ce sont les températures, le pH, la conductivité, la salinité, le total des sels dessous et les teneurs en éléments chimiques qui vont donner aux eaux leurs caractères spécifiques, et de caractériser le chimisme des eaux qui nous permettra d'expliquer l'origine et l'évolution des teneurs en éléments afin de mieux comprendre le fonctionnement du système aquifère. Cette étude a porté sur l'analyse et interprétation de 6 échantillons (4 échantillons d'eaux souterraines et 2 échantillons d'eaux de surface), les analyses des éléments chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de recherche en hydraulique appliquée et environnement de l'université de Bejaia et a porté sur les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^{2-}) et certains éléments traces (Li^+ , Sr^+ , Fe^+ , Zn^+).

III.2 Analyses des paramètres physiques

Tableau III.1 : les résultats d'analyse des paramètres physiques et organoleptiques obtenus lors des analyses.

Paramètres physiques		Couleur	Odeur	Saveur	pH	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salinité (‰)	T.D.S (mg/l)	Température
Eaux souterraines	Forage Djemaa	Incolore	Sans	Absence	7.42	974	0.2	957	20.4
	Forage Zitouna	Incolore	Sans	Absence	7.54	600	0.0	593	22.0
	Cascade	Incolore	Sans	Absence	8.44	332	0.0	328	20
	Source bleu	Incolore	Sans	Absence	7.38	642	0.0	637	20.7
Eaux de surface	Oued Djemaa	Jaunâtre	Sans	Absence	7.98	826	0.1	821	20.7
	Oued Zitouna	Jaunâtre	Sans	Absence	8.16	438	0.0	593	19.6

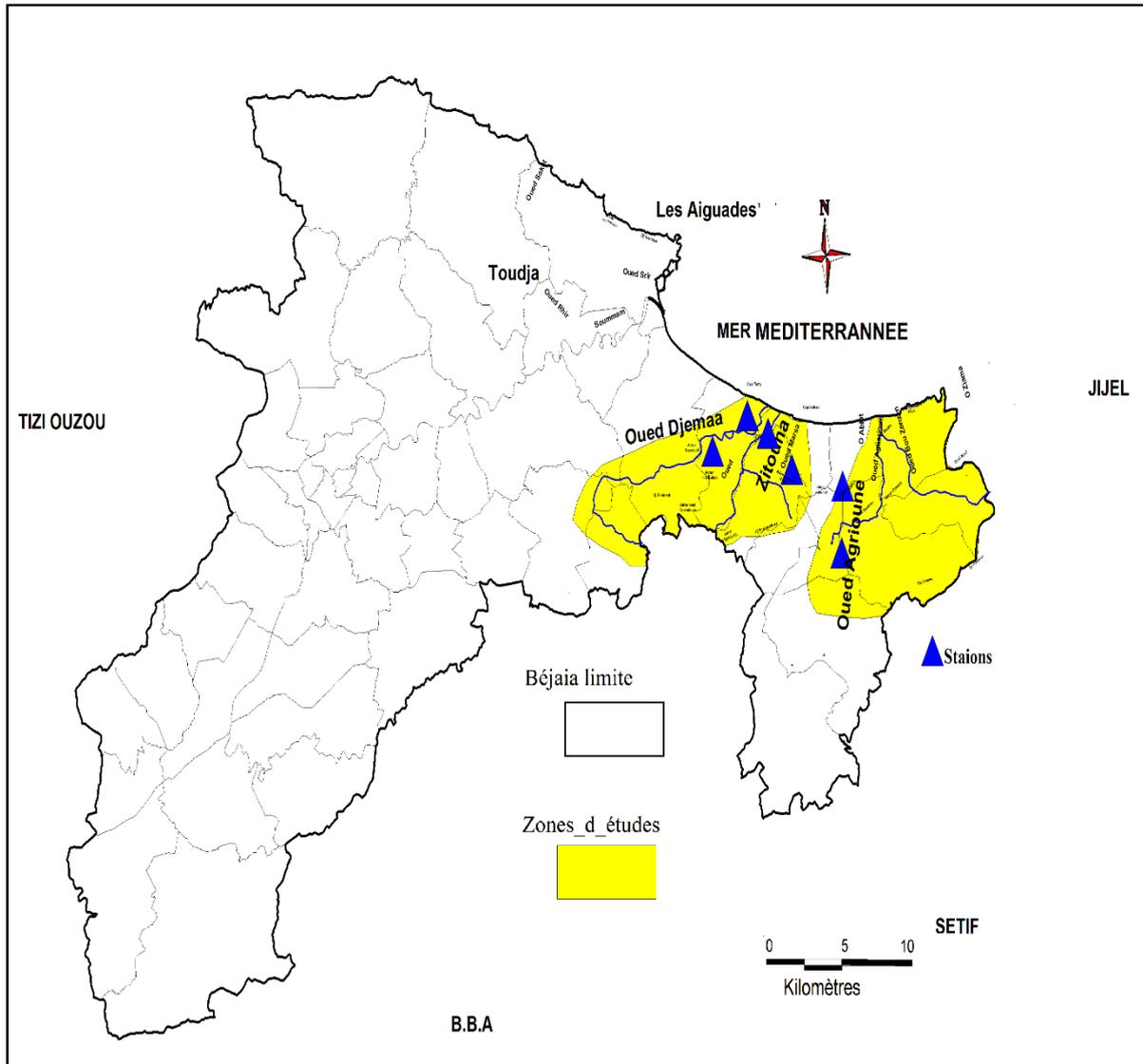


Figure III.1 : Carte du réseau échantillonné

III.2.1 Couleurs

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

Toutefois, la couleur jaunâtre des eaux de surface peut être expliquée par une légère turbidité de ses dernières après de fortes précipitations qu'a subie la région d'étude.

III.2.2 Odeurs et saveurs

Les eaux souterraines et les eaux de surfaces étaient inodores et sans goût.

III.2.3 Variation de pH

Le pH influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques des eaux. Figure (III.2)

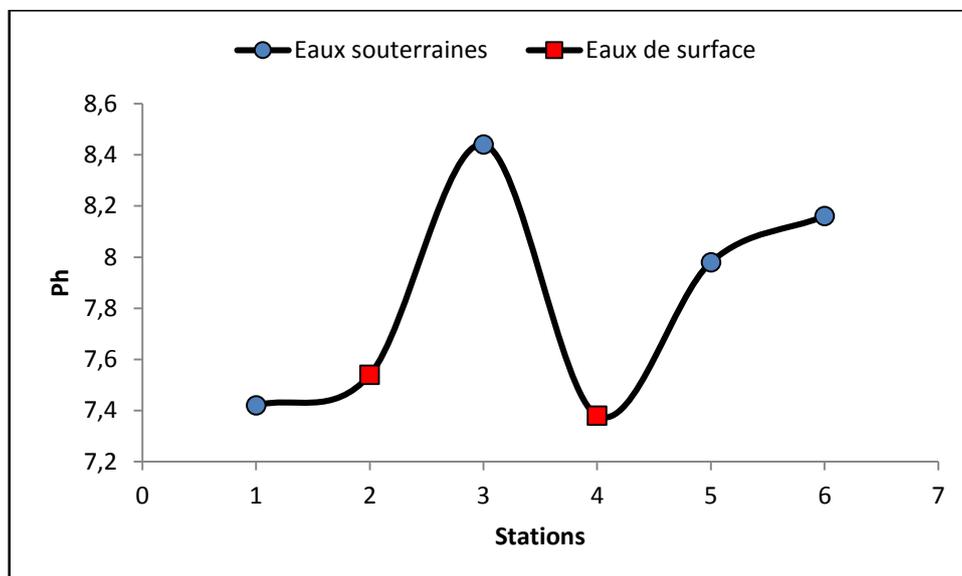


Figure III.2 : représentation graphique du pH

D'après (figure III.2), on constate que la plupart des échantillons ont un pH qui ne dépasse pas les normes ($6.5 < \text{pH} < 8.5$).

Dans le détail, nous pouvons faire les constatations suivantes :

- Concernant les eaux de surface d'oued Djemaa-Zitouna le pH varie entre 7.98 et 8.16 Ce qui serait lié au contact direct avec l'air.
- les eaux souterraines présentent des valeurs de pH variant entre 7.38 et 8.44.

On remarque que cette variation n'est pas homogène mais elle est fonction de la nature de l'eau et de son origine.

III.2.4 Variation de la température

La figure (III.3) représente la variation des valeurs de la température des eaux lors des prélèvements.

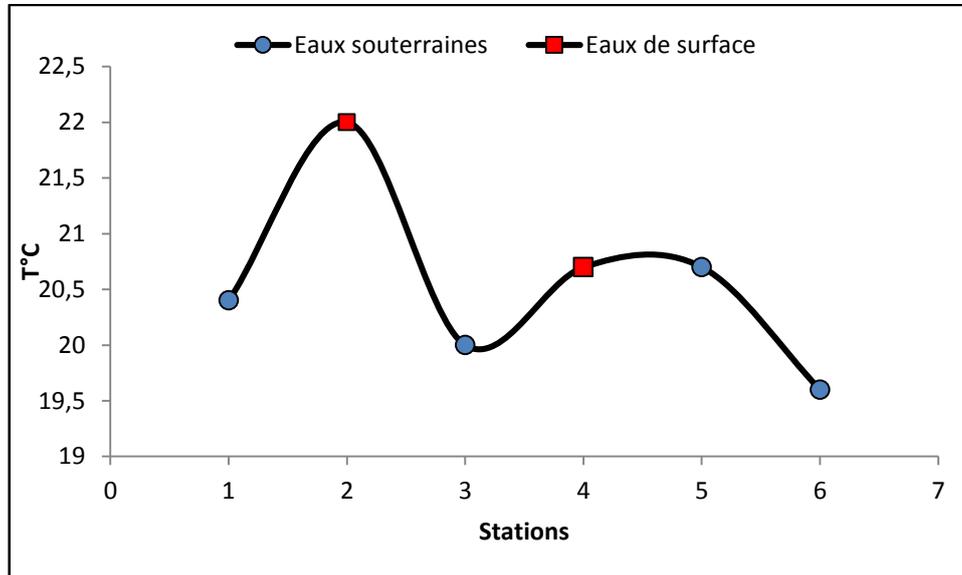


Figure III.3 : représentation graphique du Température T°C.

Les eaux souterraines ont des valeurs de températures variant entre 20 et 22°C, la valeur de température maximale des échantillons atteint 22°C au niveau de forage Zitouna, et la valeur minimale est enregistrée au niveau de l'oued Zitouna 19.6°C et elle reste inférieure à la norme (< 25°C). Par contre Au niveau des eaux de surface, on a enregistré les valeurs des températures suivantes : pour l'oued Zitouna 19.6°C et pour oued Djemaa 20.7°C.

III.2.5 Variation de la conductivité électrique

La figure (III.4) représente la variation des valeurs de la conductivité électrique des eaux.

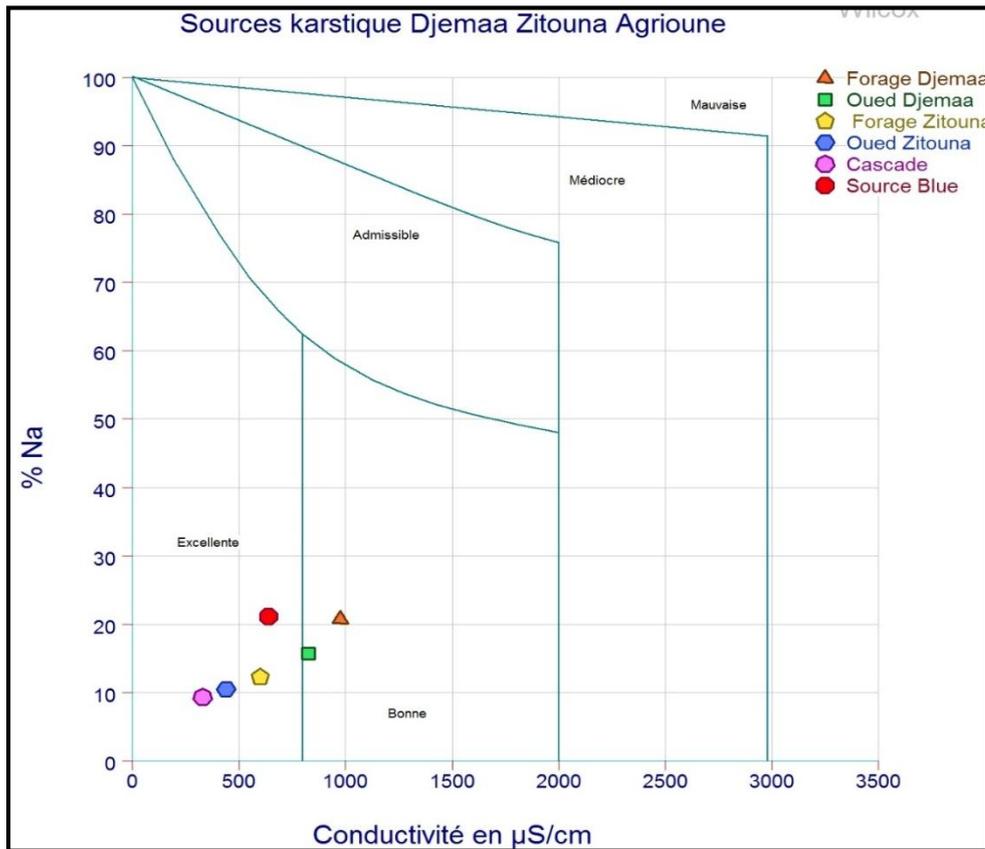


Figure III.4 : représentation graphique de la conductivité électrique.

Les valeurs des conductivités électriques mesurées présentent une certaine amplitude de variation. Elles varient largement avec la charge minérale des eaux : de 332 jusqu'à 974 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux de minéralisation moyenne sont celles du forage Zitouna : de 332 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de la Cascade de 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductivité des eaux de surface est de 826 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau d'oued Djemaa, et de 438 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de l'oued Zitouna.

Les valeurs de la conductivité sont conformes à la norme de l'OMS (3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

III.2.6 Variation du total des sels dessous

D'après le graphe on remarque que les valeurs de TDS ne sont pas homogènes, cette variété est due à la différence de la nature des eaux prélevées (figure III.5).

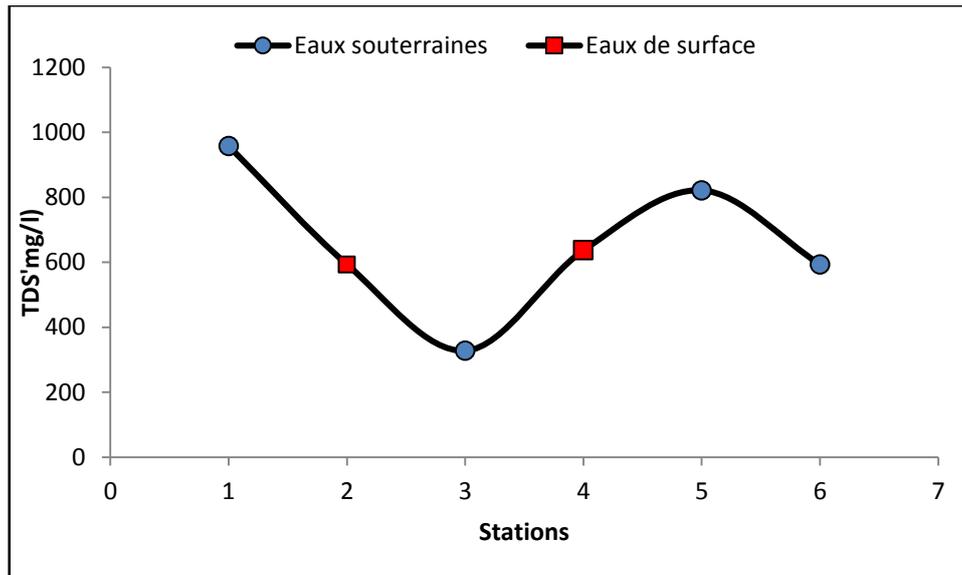


Figure III.5 : représentation graphique du total des sels dissouts.

Pour les eaux souterraines les valeurs de TDS varient entre 328 mg/l et 957 mg/l. la valeur la plus élevée a été enregistrée au niveau de forage Djemaa (957mg/l) et la valeur minimale a été enregistrée au niveau de la Cascade (328 mg/l).

Pour les eaux de surface, la valeur maximale a été enregistrée au niveau de l'oued Djemaa (821mg/l) et la valeur minimale au niveau de l'oued Zitouna (436mg/l).

III.2.7 Variation de la salinité

La figure (III.6) représente la variation de la salinité des eaux.

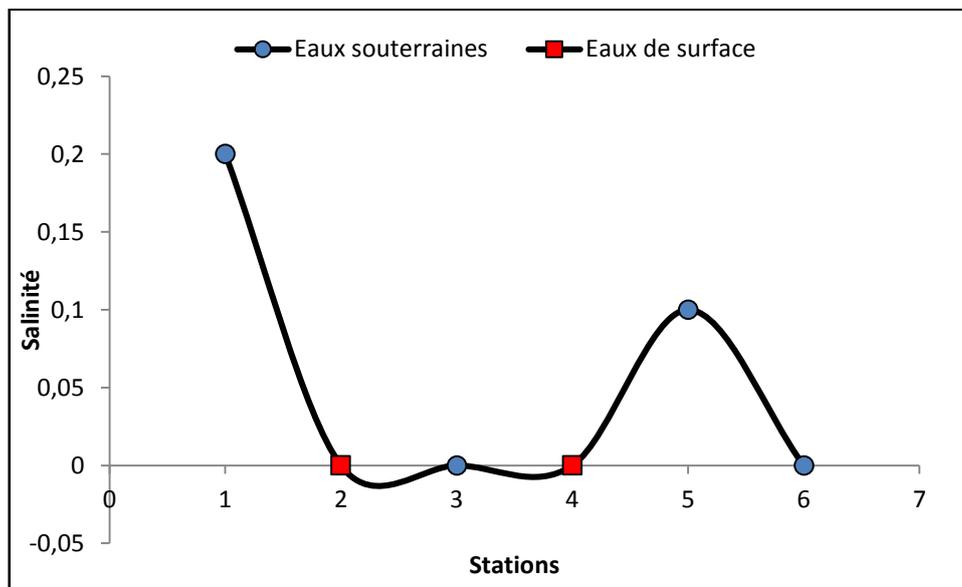


Figure III.6 : Représentation graphique de la salinité.

On constate que la salinité des eaux est quasiment nulle au niveau de toutes les stations de prélèvements (figure III.6).

III.3 Analyses des paramètres chimiques

III.3.1 Eléments majeure (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃²⁻, NO₃²⁻)

Tableau III.2 : Les résultats obtenus lors des analyses chimiques des eaux

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	Forage Djemaa	6,771	3,476	3,476	0	2,607	6,229	4,355	0
	Forage Zitouna	5,589	1,380	0,633	0,016	0,566	3,606	3,262	0,0536
	Cascade	4,618	1,560	0,618	0,016	0,515	2,847	3,373	0,046
	Source bleu	6,627	3,322	3,322	0	2,290	6,074	4,393	0,056
Eaux de surface	Oued Zitouna	5,347	2,891	1,503	0,036	1,287	4,828	4,049	0,026
	Oued Djemaa	3,286	1,319	0,517	0,019	0,409	1,8550	2,950	0,030

III.3.1 Cations (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺)

III.3.1.1 Calcium (Ca²⁺)

Les résultats des analyses des eaux des oueds Agrioune, Djemaa et Zitouna ont montré que la présence des ions Ca²⁺ dans les eaux souterraines peut être liée principalement à la dissolution des formations Carbonatées (CaCO₃) ainsi que les formations Gypseuses (CaSO₄). Les teneurs de Ca²⁺ dans les eaux souterraines sont comprises entre 4,618 et 6,771 még/l.

Par contre pour les eaux de surface on a enregistré la valeur maximale (5.347 még/l) au niveau d'oued Zitouna et la valeur minimale (3,2861 még/l) au niveau de l'oued Djemaa.

La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.



III.3.1.2 Le Magnésium (Mg^{2+})

Le Magnésium (Mg^{2+}) est un élément principal dans la dureté totale des eaux, on remarque qu'il est moins abondant que le calcium. Les teneurs en cet élément sont comprises entre 4,618 et 6,771 méq/l.

Il peut probablement provenir de deux origines :

- Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz.
- La dissolution du $Mg SO_4$ des terrains gypseux.

III.3.1.3 Le sodium (Na^+)

Les concentrations de sodium enregistrées au niveau de toutes les stations sont faibles, elles varient entre 0,618 et 3,476 méq/l. La valeur minimale a été enregistrée au niveau de la cascade (0,618 méq/l). Par contre la concentration en sodium dans les eaux de surface varie entre 0,517 et 1,503 méq/l.

Mis à part la dissolution les formations gypso-salifères, le sodium peut probablement provenir :

- Du lessivage des formations riches en Na Cl (argiles- marnes).
- Des eaux usées d'origine industrielle et domestique.
- De l'intrusion marine.

III.3.1.4 Le potassium (K^+)

Les résultats des analyses obtenues, montre que les teneurs en potassium sont de très faibles quantités. Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques 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 0,00 et 0,03 méq/L (absences des engrais chimiques).

III.3.2 Anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^{2-})**III.3.2.1 Chlorures (Cl^-)**

Les concentrations de Cl^- enregistrées varient entre 0,515 et 2,607 méq/l pour les eaux souterraines et entre 0,409 et 1,287 méq/l pour les eaux de surface.

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines, ils sont liés principalement à la dissolution des formations salifères. Ils peuvent également provenir des actions humaines telles que : soulage des routes, ou par contamination des eaux usées.

III.3.2.2 Nitrate (NO_3^{2-})

Les teneurs en nitrates enregistrées lors de nos analyses sont très faibles et qu'elles ne dépassent pas les valeurs admissibles de potabilité. Elles varient entre 0 et 0,056 méq/l. La présence des nitrates est probablement liée aux engrais utilisés par les agricultures et aux rejets urbains se déversant dans le cours d'eau sans subir de traitement préalable.

III.3.2.3 Les Bicarbonates (HCO_3^-)

La concentration en bicarbonates est de 4,393 méq/l dans les eaux de la source bleu, la valeur minimale a été enregistrée au niveau de l'oued Zitouna qui est de 3,262 méq/l.

La variation des bicarbonates est en fonction de la température de l'eau et de la tension de CO_2 dissous.

Les origines du bicarbonate sont probablement liées à la dissolution de la calcite, selon l'équation générale suivante :

**III.3.2.4 Les Sulfates (SO_4^{2-})**

Les concentrations des sulfates varient entre 2,84 et 6,229 Méq/L pour les eaux de surface et entre 2,85 et 6,52 Méq/L pour les eaux souterraines.

La présence de sulfates dans l'eau peuvent provenir de :

- la solubilité des formations gypseuses dans le haut bassin versant ou du lessivage des dépôts de la nappe.
- rejets des eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique (H_2SO_4).
- L'utilisation d'engrais chimiques.

III.4 Représentation graphique des faciès hydro chimiques [24]

Dans le but de bien identifier les différents faciès hydrochimiques des eaux de surface et souterraines et d'avoir une meilleure indication sur les éléments dissous et leurs répartition spatiales, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil incontournable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours aux diagrammes de PIPER et de SCHOELLER BERKALOFF en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon).

III.4.1 Le diagramme de Piper [4]

Le diagramme triangulaire de Piper permet d'évaluer les pourcentages des éléments chimiques ainsi que leur classification. Il permet, en outre, de suivre l'évolution spatiale et temporelle du chimisme entre les différentes campagnes.

L'interprétation des résultats d'analyses hydrochimiques a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux de surface et souterraines de la région de l'est de Bejaia.

(Figure III.7)

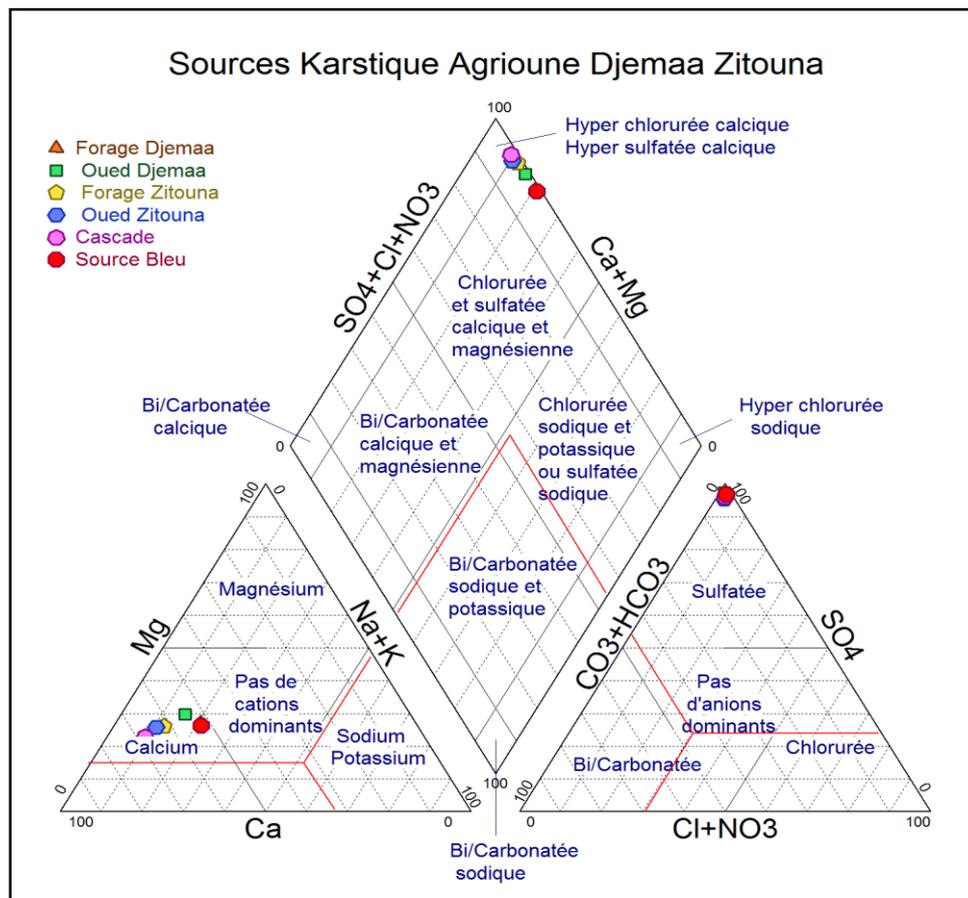


Figure III.7: Diagramme de Piper

D'après le diagramme de piper on constate que l'ensemble des nuages de points présentent une dominance cationique du calcium et de magnésium pour les eaux de Cascade et Zitouna et sans dominance pour les eaux de Djamaa et Source bleu magnésienne.

Donc les eaux appartiennent principalement à deux familles : hyper sulfaté calcique et hyper chlorurée calcique pour les eaux de Cascade et Zitouna et un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de source bleu Djamaa.

III.4.2 Le diagramme de Schöeller [8]

Le diagramme de Schöeller permet d'obtenir une représentation chimique de qualité des eaux en utilisant les concentrations des ions majeurs. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence (Figure III.8).

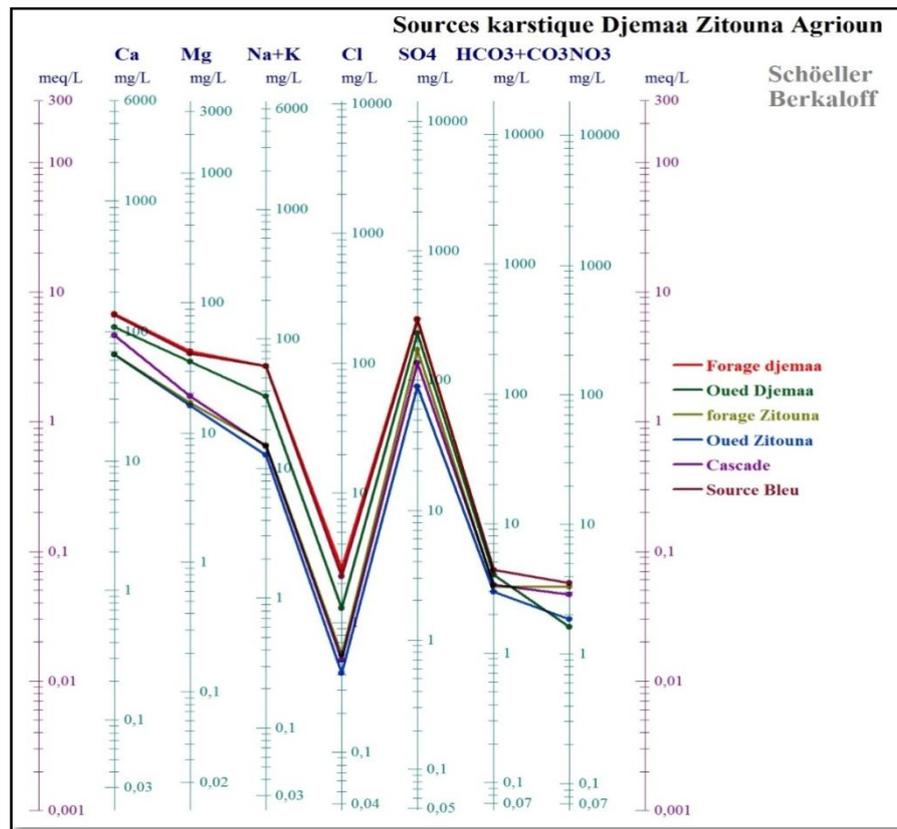


Figure. III.8 : Diagramme de Schöeller.

Le faciès Sulfaté-calcique et magnésien caractérise tous les points de prélèvement, mais avec plus moins d'intensité, elle est forte pour forage Djemaa -Zitouna et moyenne pour les eaux de surface Zitouna, Cascade ainsi que la Source bleu. Cette variété de faciès peut provenir de la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et du gypse.

III.4.3 Diagramme de Stabler

Ce diagramme est très utile pour l'étude des équilibres carbonates. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle calcite et les alcalinités résiduelles généralisées. On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant (Figure III.9).

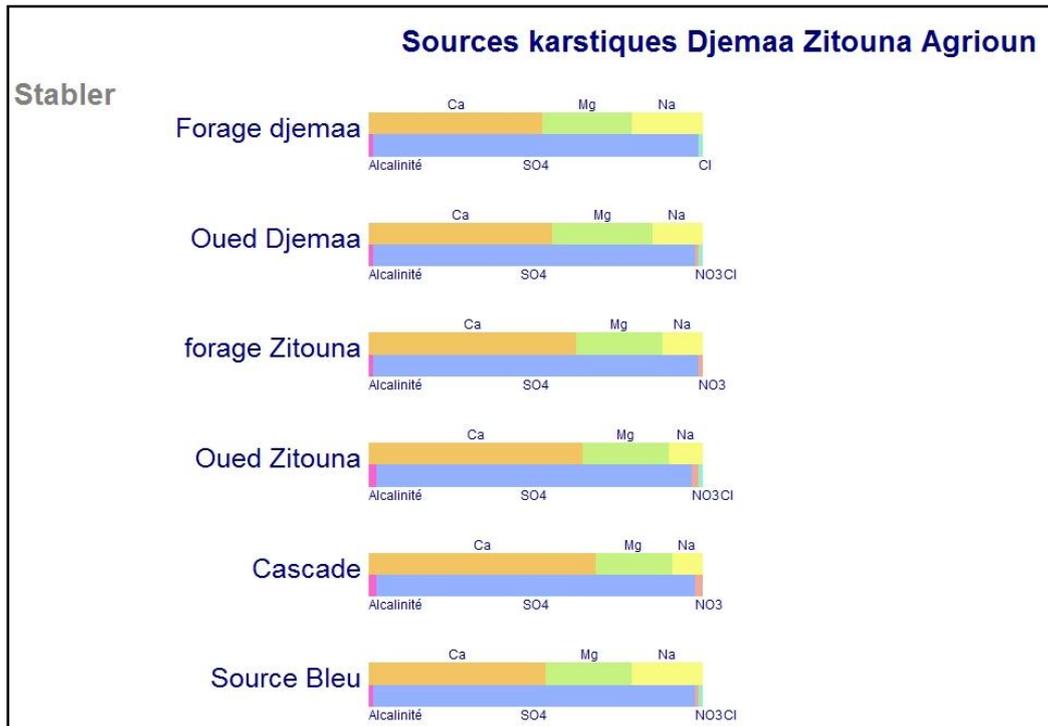


Figure III.9 : Diagramme de Stabler.

Les résultats obtenus permettent de distinguer que tous les sites de prélèvement ayant une concertation sulfatées-calciques magnésiennes et sodique.

III.4.4 l'indice de saturation

L'utilisation de l'indice de saturation (SI) est le fait qu'une solution particulière est sursaturée ou sous saturée par rapport à une phase solide particulière. De ce fait les états de saturation (théoriques) de la calcite, de la dolomie, du gypse, de l'halite et de l'Anhydrite sont calculés à l'aide du logiciel hydrochimique PHREEQC. Les calculs ont été effectués pour les 6 échantillons tableau (III.3).

Tableau III.3 : la variation des indices de saturation des minéraux pour les eaux de surface et souterraines.

	Minéraux carbonatés			Minéraux évaporitiques				
	calcite CaCO3	dolomite CaMg (CO3)2	aragonite CaCO3	Anhydrite CaSO4	Gypse CaSO4 : 2H2O	Halite NaCl	Strontianite SrCO3	Célestite SrSO4
Forage Djemaa	-1.67	-3.78	-1.82	-1.21	-0.95	-8.35	-3.05	-1.19
Oued Djemaa	-1.21	-2.85	-1.37	-1.37	-1.11	-8.90	-2.62	-1.37
Forage Zitouna	-1.89	-4.31	-2.05	-1.61	-1.35	-9.61	-3.27	-1.59
Oued Zitouna	-1.29	-1.45	-3.12	-1.86	-1.60	-9.83	-2.80	-1.96
Cascade	-0.86	-2.34	-1.02	-1.58	-1.33	-9.67	-2.36	-1.68
Source bleu	-1.70	-3.86	-1.86	-1.23	-0.97	-8.41	-3.13	-1.25

III.4.4.1 Les minéraux carbonatés

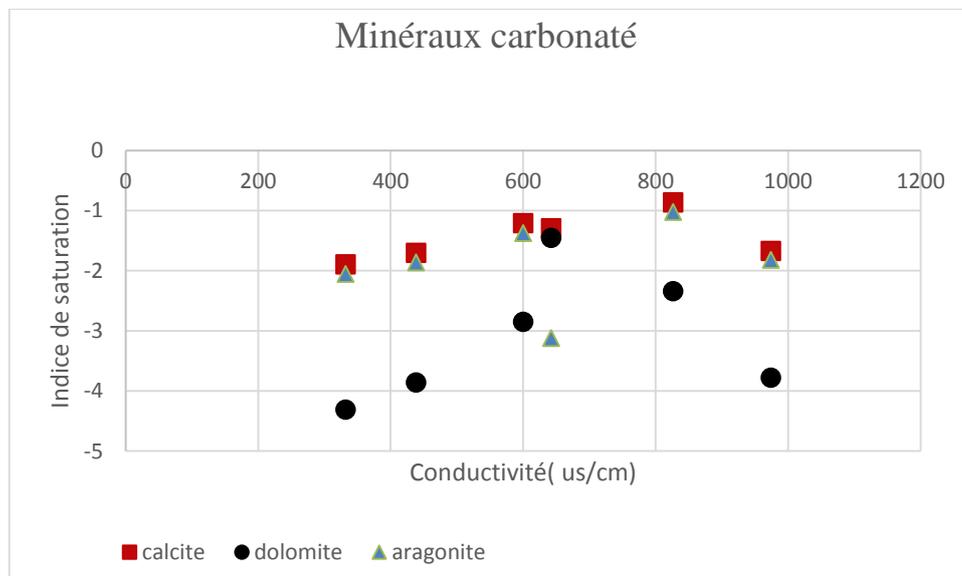


Figure III.10 : Evolution des indices de saturations pour les minéraux Carbonatés.

D'après la (figure III.10), on constate que les valeurs moyennes des indices de saturation des eaux au tout point de prélèvements sont inférieures à zéro, ce qui montre l'importance de la dissolution de la calcite, dolomite et aragonite.

La dissolution des minéraux carbonatés (calcite, dolomite et aragonite) est un important processus de contrôle des concentrations de Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- dans les eaux souterraines.

La dissolution de la dolomite est plus lente que celle de la calcite et d'aragonite. La présence des minéraux carbonatés explique donc en grande partie les fortes conductivités électriques durant cette période.

III.4.4.2 Les minéraux évaporitiques

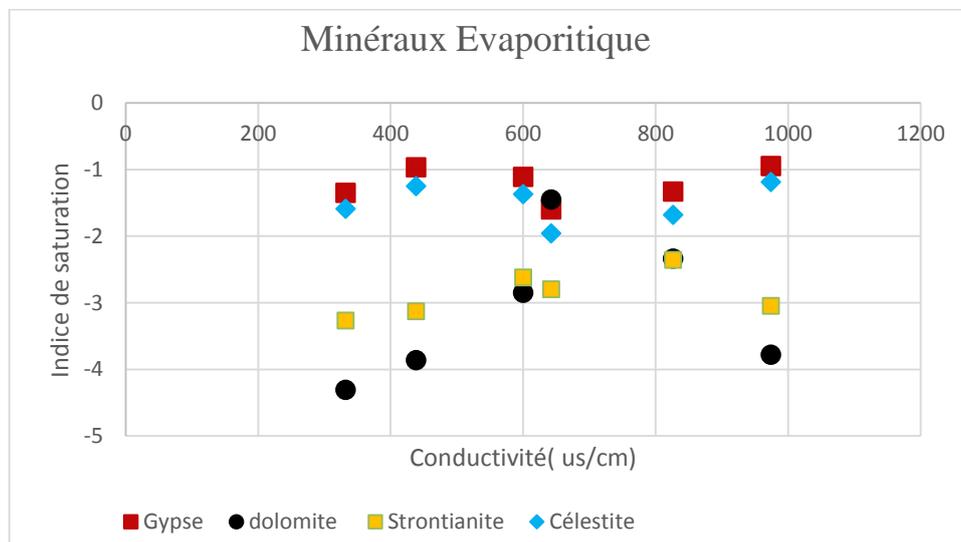


Figure III.11 : Evolution des indices de saturations pour les minéraux Evaporitiques

La dissolution des minéraux évaporitiques est aussi un important processus de contrôle de la minéralisation des eaux des bassins versants. Les valeurs calculées des indices de saturation pour l'anhydrite, le gypse, l'halite, la strontianite et la célestite sont inférieures à zéro. Les eaux de surfaces et souterraines sont sous-saturées vis-à-vis de ces minéraux et plus important pour l'halite.

Les fortes teneurs en Sr^{2+} , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^- et la conductivité électrique observées, ainsi que leurs bonnes corrélations s'expliquent par la dissolution de la halite et du gypse.

III.5 Interactions eau-roche

III.5.1 Relation entre Na^+ / Cl^-

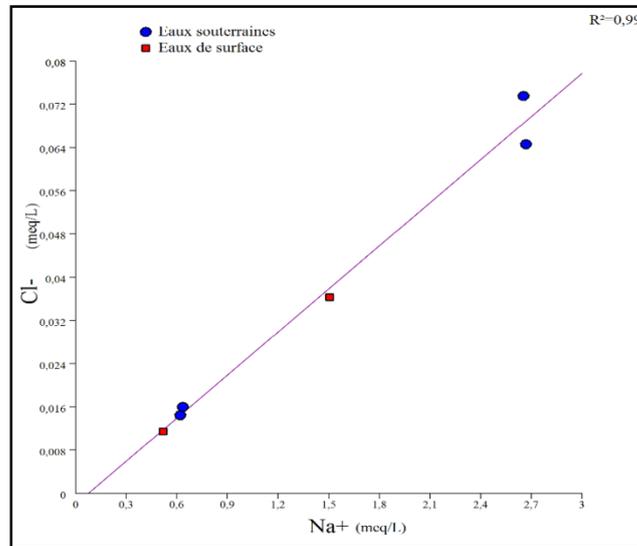


Figure III.12 : représentations graphique de $Cl^- = f(Na^+)$

Les fortes concentrations de Na^+ et Cl^- , enregistrée dans la plupart des échantillons d'eaux souterraines et de surface des oueds Djemaa-Zitouna et Agrioune, ainsi que les fortes corrélations entre eux ($r=0.99$), suggèrent la dissolution de la halite liée à la présence de blocs salifères selon la réaction :



III.5.2 Relation entre Ca^{2+} / Mg^{2+}

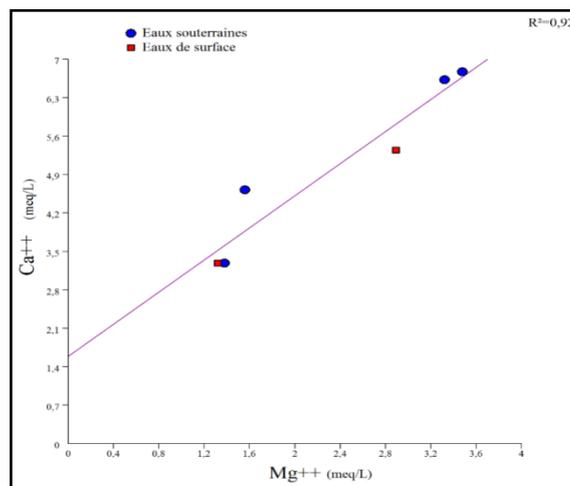


Figure III.13 : représentations graphique de $Ca^{2+} = f(Mg^{2+})$

La très forte corrélation positive entre Ca^{2+} et Mg^{2+} ($r = 0,92$), indique que la dissolution des calcaires (calcite et dolomite) est un important processus de contrôle de concentrations de Ca^{2+} et de Mg^{2+} dans les eaux souterraines.

III.5.3 Relation entre Na^+ / Mg^{2+}

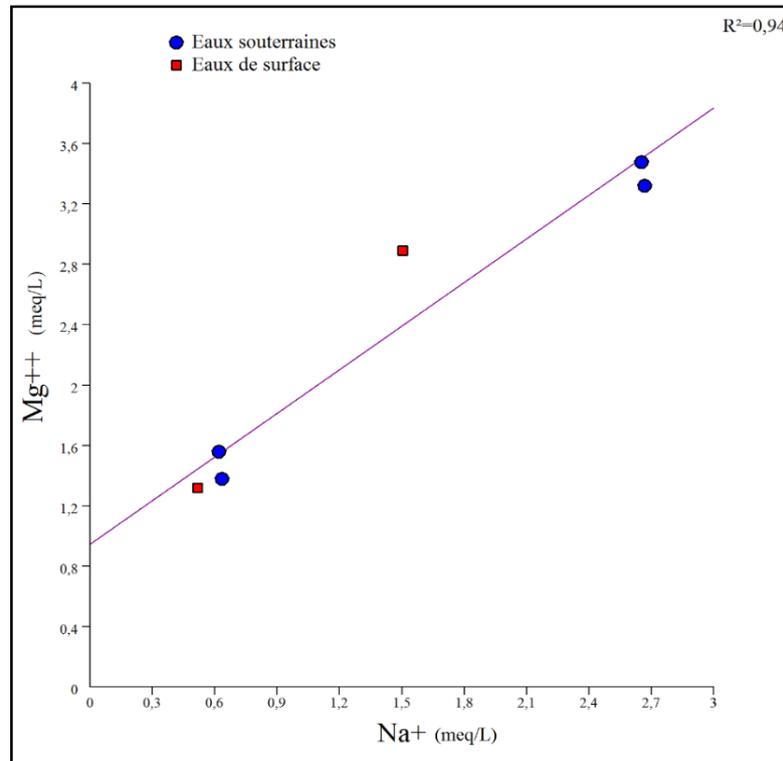


Figure III.14 : représentations graphique de $\text{Mg}^{2+} = f(\text{Na}^+)$

Une forte corrélation entre les cations Na^+ et Mg^{2+} ($r = 0,94$) peut être expliquée par la dissolution des silicates, qui est une source probable de Na^+ dans les eaux souterraines ainsi que l'échange de cations entre le Ca^{2+} ou Mg^{2+} et Na^+ peut également expliquer l'excès de Na^+ .

Le calcium et Mg^{2+} peuvent échanger du Na^+ sur les sites échangeables de l'argile, les minéraux, entraînant la diminution de Ca^{2+} et Mg^{2+} et l'augmentation de Na^+ dans les eaux souterraines.

III.5.4 Relation entre $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$

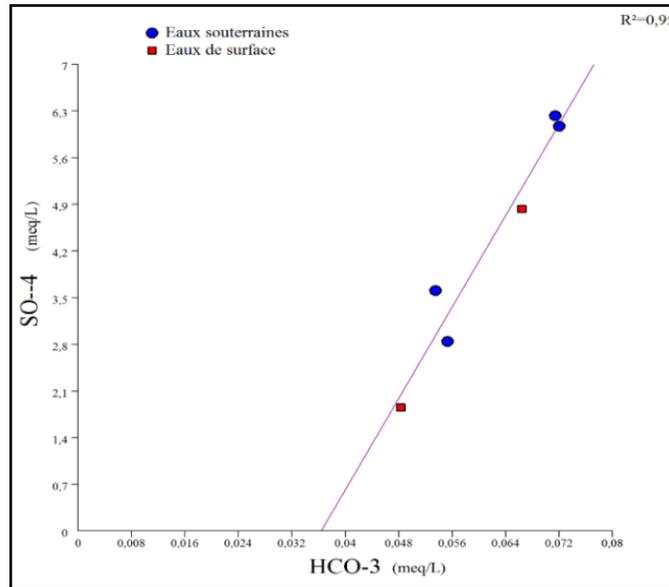


Figure III.15 : représentations graphique des $\text{SO}_4^{2-} = f(\text{HCO}_3^-)$

Il existe une très forte corrélation entre le HCO_3^- et SO_4^{2-} ($r=0.95$) peut expliquer par le phénomène de la 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).

III.5.5 Relation entre $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$

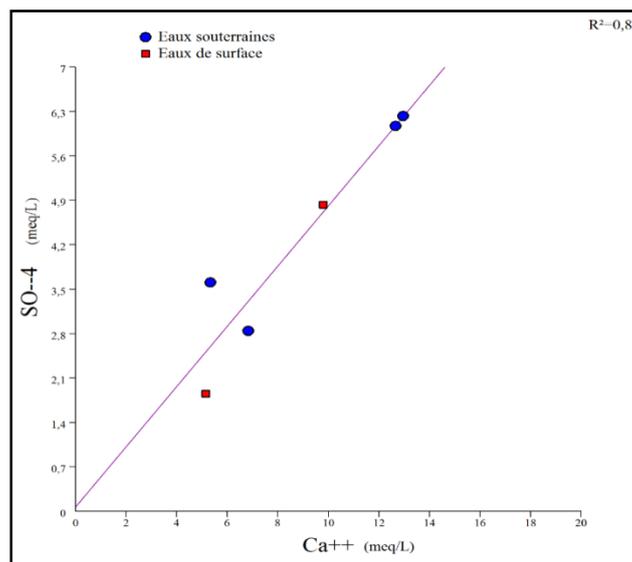


Figure III.16 : représentations graphique des $\text{SO}_4^{2-} = f(\text{Ca}^{2+})$

La corrélation de Ca^{2+} et SO_4^{2-} ($r=0,82$) (Figure III.15) indiquant que la plupart des eaux souterraines et de surfaces des échantillons sont due à la présence des ions sulfate et calcium dans l'eau peut être aussi expliquée par la dissolution des formations gypseuses, selon la relation suivant :



III.5.6 Relation entre $\text{Mg}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$

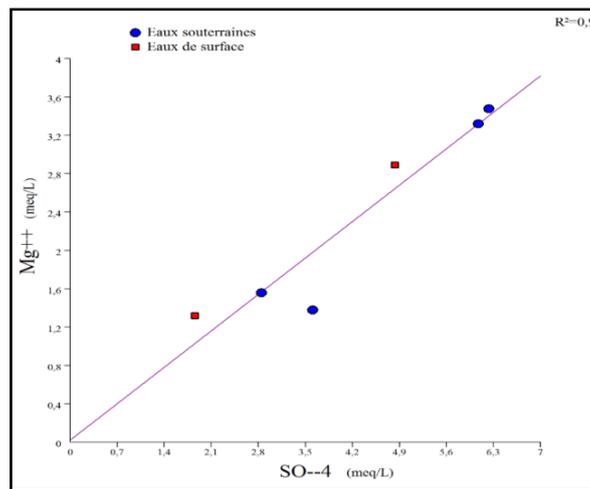


Figure III.17 : représentations graphique des $\text{Mg}^{2+} = f(\text{SO}_4^{2-})$

L'enrichissement en Mg et SO_4 donnant une forte corrélation ($r=0,9$) résulte de la dissolution combinée entre le gypse, le calcaire et la dolomite.

III.6 Éléments traces (Li^+ , Sr^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+})

III.6.1 Fer (Fe^{2+})

Les concentrations en fer sont plus faible que le seuil de détection ($<0,01$ mg/L). La concentration maximale qui a été enregistrée pour les eaux souterraines (0,516 méq/l) au niveau de la source bleu et pour les eaux de surface on n'a observé que les concentrations plus élevée par rapport à les eaux souterraines et la concentration maximale qui a été enregistrée (4,87 méq/l) au niveau d'oued Djema. Il n'y a pas donc de présence significative de fer dans les eaux.

III.6.2 Lithium (Li^+)

Le lithium provient de la dissolution des évaporites, du granite et pegmatites, les concentrations anormales sont toujours liées à une élévation de la température (les eaux thermales).

III.6.3 Zinc (Zn^{2+})

Le zinc est un élément lourd toxique, les concentrations des eaux souterraines élevée par rapport aux eaux de surface leurs tanneurs qui varient de 19,110 méq/l au niveau de forage

Djamaa et 29,19 méq/l au niveau du forage de l'Oued Zitouna, pour les eaux de surface les concentrations qui ont été enregistrée sont faibles soit pour l'oued Djamaa (0,571méq/l) et pour l'oued Zitouna (0,428méq/l).

III.6.4 Strontium (Sr^{2+})

Les résultats des analyses chimique obtenue en Sr^{2+} sont très élevée, pour les eaux souterraines varie entre 746,8méq/l au niveau forage Zitouna et 1 501méq/l pour forage Djamaa. La teneur moyenne en Sr^{2+} dans les eaux de surface qui a été enregistrée varie entre 555,2 méq/l pour l'oued Djamaa et 1 140,0 méq/l pour l'oued Zitouna.

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

III.7 Origine des éléments traces

III.7.1 Relation $\text{Sr}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$

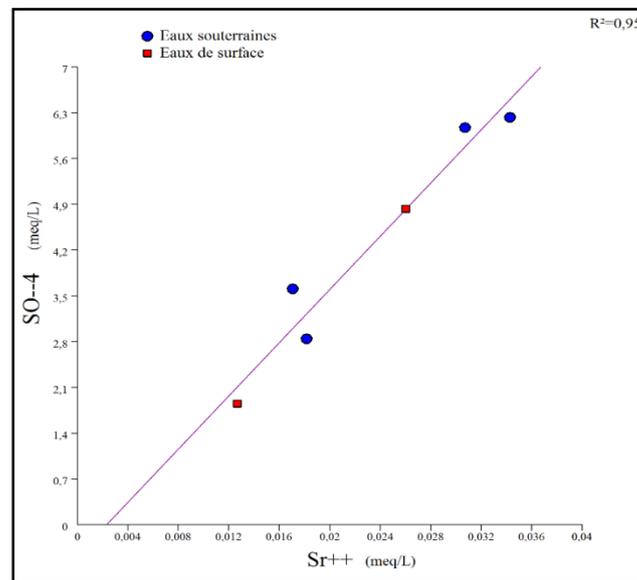


Figure III.18 : représentations graphique de $\text{SO}_4^{2-} = f(\text{Sr}^{+})$

La forte corrélation entre les ions de sulfate et strontium dans les eaux ($r=0,95$). L'origine principale de l'ion sulfate est liée probablement à la présence des plusieurs formations importantes évaporitiques.

L'ion sulfate peut provenir de la dissolution de la celestite qui accompagne souvent les évaporites :



III.7.2 Relation entre Sr^{2+}/Ca^{2+}

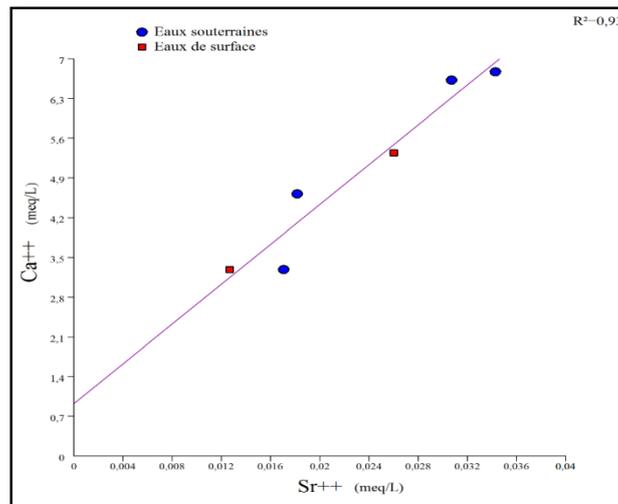


Figure III.19 : représentations graphique de $Ca^{2+} = f(Sr^{2+})$

Le rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} présente une bonne corrélation entre elles. Cette forte corrélation due probablement au lessivage pendant la période de crue 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.

III.8 CONCLUSION

Les différentes analyses effectuées sur les échantillons de l'eau des bassins versants Agrioune, Djemaa et Zitouna ont permis de distinguer le comportement de certains paramètres descriptifs de la qualité physico-chimique des eaux.

L'approche hydro-chimique montre l'existence de deux faciès importants : faciès hyper sulfaté calcique et hyper chlorurée calcique pour les eaux de la Cascade et Zitouna et un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de source bleu Djamaa.

Le calcul des indices de saturation vis-à-vis des minéraux carbonatés et évaporitiques a montré que les éléments chimiques provenant de la dissolution des gypses.

Les interactions eau-roche montre que le rapport Na/Cl due à la dissolution de la halite. et qui est liée à la présence de blocs salifères.

Le rapport Ca/ Mg montre la dissolution des calcaires (calcite et dolomite et le gypse), la représentation du Ca/ SO₄ qui ne peut être expliqué que par la dissolution de sulfate et calcium et de la dissolution des formations gypseuses, et Ca/HCO₃ montre l'acquisition de la salinité et la dissolution simultanée de la calcite, dolomite et de gypse.

Les rapports Sr/Ca, Sr/SO₄ se sont révélés très pertinents dans la détermination des eaux d'origine évaporitique et marine.

Conclusion Générale

Cette étude visait à caractériser l'hydrochimie, la qualité des eaux et à faire une première ébauche de la connaissance des origines et l'évolution des éléments chimique des eaux des oueds Agrioune, Djamaa et Zitouna.

A travers nos différentes investigations, et ce 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 a contribué grandement à la compréhension de la minéralisation des eaux de surface et souterraine.

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques.

Le climagramme d'Emberger, nous a permis de situer la zone d'étude dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver chaud.

L'analyse des caractéristiques lithologiques des principales unités structurales de la région des oueds Agrioune, Djamaa et Zitouna, nous a permis d'identifier des formations géologiques favorables aux constitutions d'aquifères non négligeables pour la mobilisation des ressources en eaux souterraines supplémentaires, ces formations sont :

- les formations des grés numidiens du versant septentrional de l'oued Agrioune, Djamaa.
- Les formations calcro-dolomitique des régions Barbacha et Djellel.
- les conglomérats du miocène continental en bordure et sous les alluvions de la plaine.
- les formations volcaniques du massif d'Amizour-Bejaia.

L'étude hydro-chimique, réalisée pour la caractérisation la qualité des eaux souterraines et de surface, donc les facteurs naturels et anthropiques qui influent sur cette qualité.

Le diagramme de PIPER a permis de déceler les différentes tendances chimiques des eaux de la région d'étude. On trouve d'après ce dernier que les eaux appartiennent principalement aux de deux faciès chimiques hyper sulfaté-calcique et hyper chlorurée calcique pour les eaux de la Cascade et Zitouna et un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de source bleu et Djamaa.

La composition chimique des eaux de surface et souterraines et caractérisée par des forts apports de Ca/Mg (dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse), Ca/SO₄ (sulfate et calcium liée à la dissolution des formations gypseuses), Ca/HCO₃ (dissolution de la calcite, dolomite et le gypse).

Du fait de leurs situations, les Oueds étudiés sont confrontés à différentes sources de pollution qui menacent la qualité de ces eaux :

- ✓ Une pollution domestique par de rejets des eaux usées.
- ✓ Une pollution agricole dominée par les oliviers, les figuiers et les maraîchages.
- ✓ Une pollution industrielle due aux nombreuses installations industrielles telles que les sablières

Un réseau de surveillance doit être mis pour éviter tout risque sanitaire. Il serait utile de poursuivre les travaux pour dénombrer les parasites et les virus humains qui sont très résistants aux procédés de traitement de l'eau et de compléter l'étude par le dosage des métaux lourds et des substances indésirables pour mieux évaluer la qualité des eaux de surface des Oueds Agrioun ,Djemaa et Zitouna.

Il est évident aussi que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- ...). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

- [1] **Aurore.B.P, 2014** : Caractérisation du fonctionnement de la zone non saturée des aquifères karstiques.
- [2] **Bakalowicz M, 1999** : Connaissance et gestion des ressources en eau souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3, Lyon, Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 44 p.
- [3] **BOUNAB.R,TAMZAIT.K, 2014** : " Caractérisation hydrochimique des eaux souterraines et de surface vis-à-vis des métaux, cas des Oued Djemaa-Zitouna(Bejaia) "
- [4] **CHABOUR N., 2006** : " Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algerie ".
- [5] **COLLECTIF A., 1999** : "La qualité de l'eau édition Afnor, Paris, Tome I."
- [6] **Dörfliger N. 2010, modifié à partir de Mangin A., 1975** : "Schématisation d'un système karstique"
- [7] **DOMINIQUE V., 2009** : " Etudes de données physico-chimiques des eaux du secteur Nord du Piton des Neiges Ile de La Réunion ".
- [8] **DUPLAN L., 1952** : "Monographie régional de la région de Bougie XIX^{ème} congrées géologique .Alger"
- [9] **HADDAD H., GOUALEM H.,2013**: "Caractérisation physico-chimique des eaux de bassin hydrographique cotier Algirois".
- [10] **HAMDANI A., 2012** : " Évolution géomorphologique et morphodynamique du bassin versant de Oued Agrioun à l'amont du Barrage de Ighil Imda(Région de Kherrata. "
- [11]**GAGAI A., 2009** : " Etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur oued el arab région est de l'Algérie"».
- [12] **Information on** : [http : http// www.geowiki.fr/index.php](http://www.geowiki.fr/index.php).,Relief karstique
- [13] **Jérôme., 2013** : Etude de la relation entre débits des sources karstiques et distributions des temps de séjour
- [14] **KHADRI S.,2009**: "Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution".
- [15] **KHRZI S.,2011** : "Etude Hydrochimique des eaux de l'Oued Djemaa Wilaya de Béjaia."

- [16] **LAPEGUE P., RIBSTEIN.H, 2006**: La qualité et les analyses d'eau : Action contre la faim Espagne au Mali.
- [17] Manuel d'utilisateur de la SAA de laboratoire de recherche d'Hydraulique.
- [18] **Marsaud B., 1997** : Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux, Thèse de doctorat, Paris XI Orsay, 301p
- [19] **MAZA, M., BENHAMICHE NADIR., HAMDI L., SAOU A., GRABA M. & OULEBSIR F. 2010** : "Les ressources en eau, enjeu du développement : Cas de l'oued Djamaa Wilaya de BEJAIA, Université A. MIRA de BEJAIA. Rapport 2010".
- [20] **MAZA M., 2012** : " Les ressource en eau, enjeu du développement durable : cas de l'Oued Djamaa wilaya de Bejaia ."
- [21] **MAZA M. , BENHAMICHE N. , SAOU A., HAMDI L., 2013** : " Projet de recherche oued Agrioun 2012/2013" .
- [22] **MEKAOUCHEN, 2015** : " Impact des soutirages des courants de densité sur la dynamique sédimentaire dans l'OUED Agrioun ."
- [23] **Nicolas P., 2011** : Apports des équilibres calco-carboniques et du carbone 13 pour l'étude de l'air et des écoulements d'eau dans la zone non saturée du karst.
- [24] **SAOU.A., 2013**: "Hydrogéochimie des eaux de la vallée de la basse Soummam Bejaia Algérie".
- [25] **Settou D., 2013**: "Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de Touat (Wilaya d'Adrar) ".

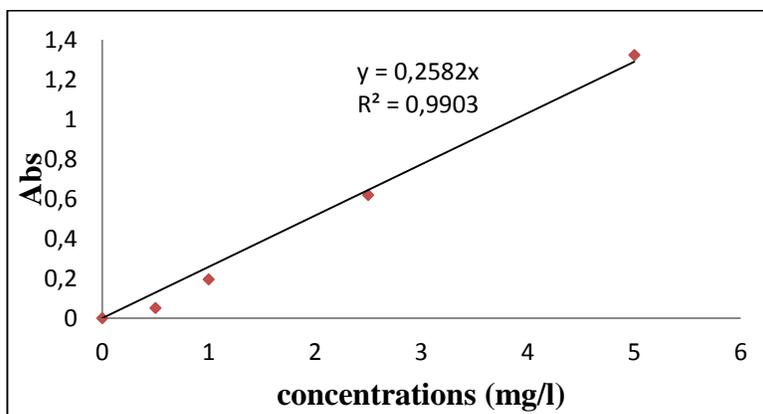
ANNEXES

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

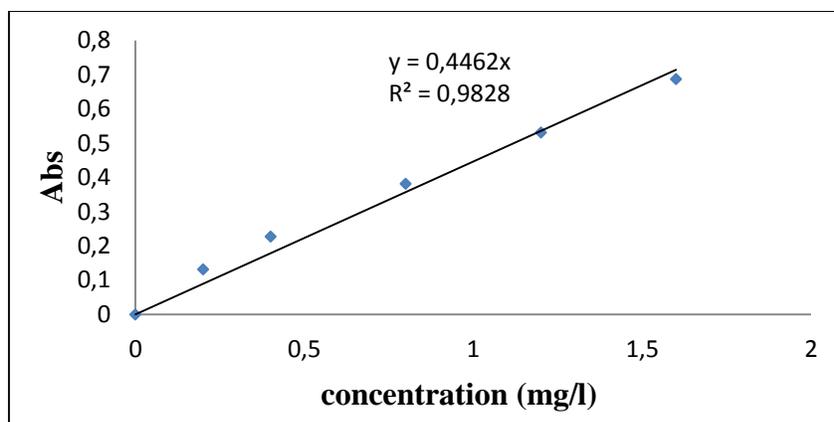


Courbe d'étalonnage des nitrates

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

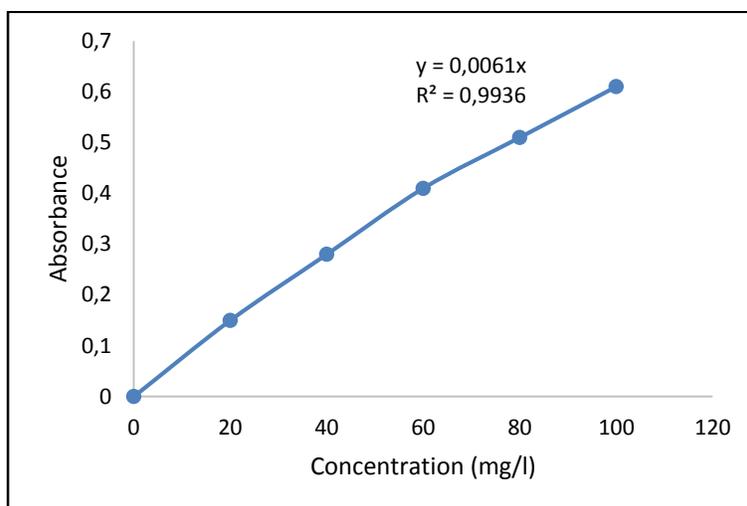


Courbe d'étalonnage du Mg.

Établissement de la courbe d'étalonna du Calcium

Annexe A3 : 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

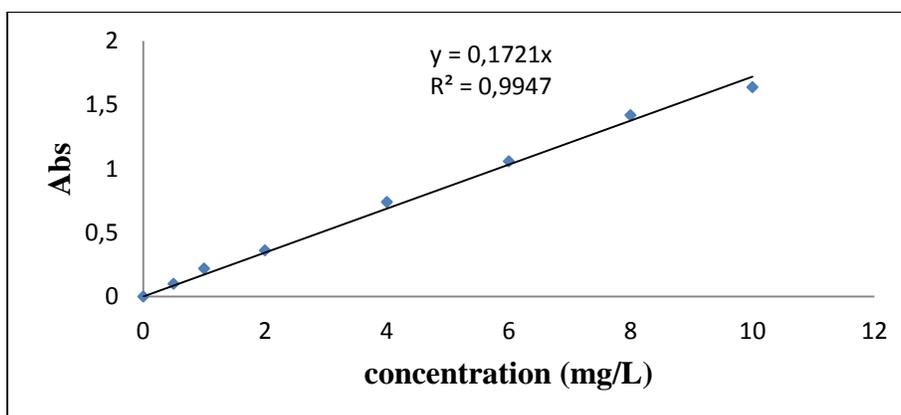


Courbe d'étalonnage de Calcium

Établissement de la courbe d'étalonna du Potassium

❖ **Annexe A4** : 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

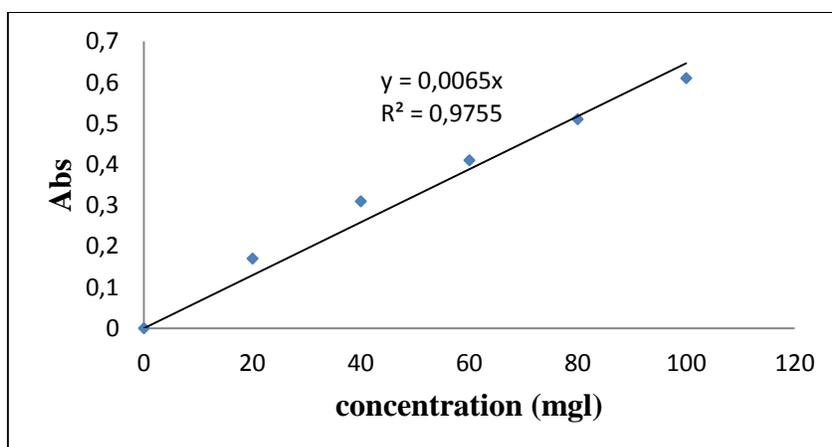


Courbe d'étalonnage de potassium.

Établissement de la courbe d'étalonnage du chlorure

❖ **Annexe A5** : 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

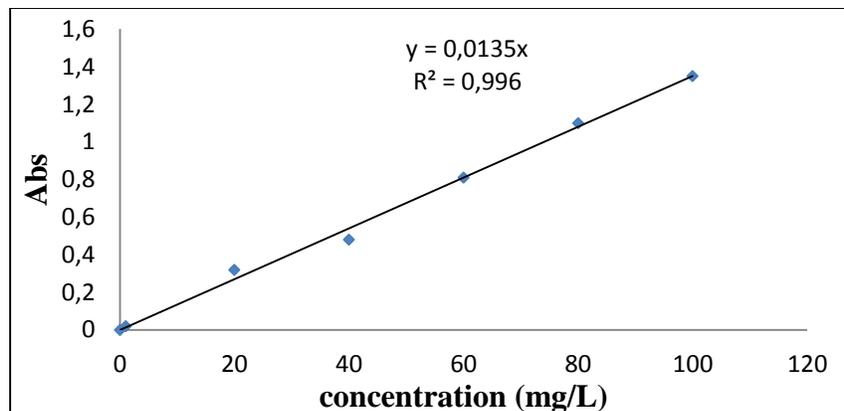


Courbe d'étalonnage du chlorure.

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

Annexe A6 : 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

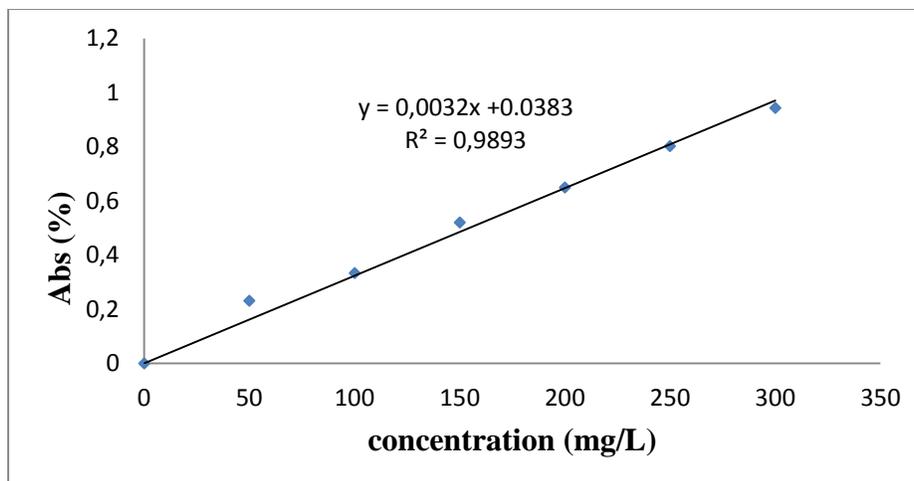


Courbe d'étalonnage du sodium.

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

Annexe A7 : 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.

Annexe B

❖ Annexe B1 : Mode d'échantillonnage (Rodier, 2009)

Elément analysé	Récipient	Conservateur à utiliser	Volume minimum du prélèvement (ml)	Température de conservation (ml)	Effectuer la mesure avant
Odeur, couleur, saveur	V		500	4	24h
pH	P ou V	Mesure in situ de préférence		4	24h (obs)
Conductivité	P ou v	Mesure in situ de préférence	100	4	24h (obs)
Turbidité	P ou V		100	4	24h (obs)
Dureté	P ou V	Acide nitrique	100	4	1 mois
Calcium	V	Acide nitrique	8000		Plusieurs mois
Magnésium	V	Acide nitrique	800		Plusieurs mois
Acidité et alcalinité	P ou VB		200	4	24h (obs)
Chlorures	P ou V		100		15 jours
Sulfates	P ou V		200	4	7 jours
nitrate	P ou V		100	4	48h
nitrite	P ou V		200	4	24h (obs)
TA-TAC TH	P ou V	Mesure in situ de préférence	200	4	24h (obs)
Ammonium	P ou V		200	4	48h (obs)
Potassium	V	Acide nitrique	800		Plusieurs mois
Sodium Cuivre Fer	V	Acide nitrique	800		Plusieurs mois

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

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible
pH	/	6,5-8,5	9,5
Conductivité	(μs/cm)		2800
Dureté Totale	mg/l CaCO₃	200	500
Calcium	mg/l		200
Magnésium	mg/l		150
Sodium	mg/l		200
Potassium	mg/l		12
Sulfates	mg/l	200	400
Chlorures	mg/l	200	500
Nitrates	mg/l		50
Nitrites	mg/l		0,1
Ammonium	mg/l	0,05	0,5
Phosphate	mg/l		0,5
Cadmium	mg/l		0,01
Fer	mg/l		0,3
Plomb	mg/l		0,05
Cuivre	mg/l		1,5
Zinc	mg/l		0,005

Résumé

Dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux souterraines et de surface des bassins versants des oueds Agrioune, Djemaa et Zitouna, et expliquer le mécanisme de formation de karst. Des analyses physico-chimiques (Ph, la conductivité électrique, température, TDS ainsi que les concentrations des éléments majeurs et traces) ont été effectuées sur 6 échantillons d'eau. Le traitement et la représentation des données ont fait appel à l'usage d'outils modernes : système d'information géographique, hydrochimie à travers l'évolution des éléments majeurs et traces, les représentations des faciès et les rapports molaires : Ca^{2+}/Mg^{2+} , Ca^{2+}/HCO_3^- , Ca^{2+}/SO_4^- , Mg^{2+}/SO_4^- , Sr^{2+}/SO_4^- , Sr^{2+}/Ca^{2+} , Sr^{2+}/Ca^{2+} comme traceurs hydrochimiques.

Les résultats obtenus, montrent la signature de la dissolution des formations carbonatées, ainsi que la dissolution de formations gypseuses justifiant la présence des formations karstiques.

Mots clés: hydrochimie, karst, éléments majeurs, Agrioune, Djemaa- Zitouna

Abstract

With an aim of evaluating the physicochemical quality of surface and ground water of the Agrioune, Djemaa and Zitouna basins and of explaining the mechanism of formation of karst. Physicochemical analyzes (pH, electric conductivity, temperature, TDS as well as the concentrations of the major elements and traces) were carried out on 6 water samples. The processing and the representation the data called upon the use of modern tools as geographical information system, hydrochemistry through the evolution of the major elements and traces, the representations of the facies and the molar ratios molar: Ca^{2+}/Mg^{2+} , Ca^{2+}/HCO_3^- , Ca^{2+}/SO_4^- , Mg^{2+}/SO_4^- , Sr^{2+}/SO_4^- , Sr^{2+}/Ca^{2+} , Sr^{2+}/Ca^{2+} like tracers hydrochimic. The results obtained, show the signature of the dissolution of the carbonated formations, as well as the dissolution of gypseous formations justifying the presence of the karstic formations.

Key words: major hydrochemistry, karst, majors elements, Agrioune, Djemaa- Zitouna

ملخص

بهدف تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية والسطحية لأحواض مصب وادي اقيون، وادي جمعة ووادي زيتونة، وشرح آلية تشكيل الكارستية. أجريت التحاليل الفيزيائية (درجة الحموضة، ودرجة الحرارة، الناقلية الكهربائية وتركيزات العناصر الرئيسية) في 6 عينات من المياه. تم استخدام عدة طرق حديثة في معالجة النتائج وتمثيلها بيانيا مثل : جملة المعلومات الجغرافية، الهيدروكيميائية من خلال: Ca^{2+}/Mg^{2+} ، Ca^{2+}/HCO_3^- ، Ca^{2+}/SO_4^- ، Mg^{2+}/SO_4^- ، Sr^{2+}/SO_4^- ، Sr^{2+}/Ca^{2+} ، Sr^{2+}/Ca^{2+} كمؤشرات هيدروكيميائية.

النتائج المحققة تبين التوقيع على تذوب المكونات الكربوناتيّة، فضلا عن المكونات الجبسية التي تبرر وجود التشكيلات الكارستية.

الكلمات الرئيسية: هيدروكيميا، الكارستية، العناصر الرئيسية، اقيون، جمعة زيتونة.