

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB-BLIDA1**

**Faculté de Technologie**

Département des Science de l'Eau et Environnement



## **MEMOIRE DE MASTER**

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

**ETUDE HYDROCHIMIQUE DES EAUX DES SOURCES  
DU PARC NATIONAL DE CHREA (ATLAS BLIDEENE)**

Présenté par:

**Medjadi Ahlem**

**Djadja Khadhra**

Devant le jury composé de :

Mr BESSENASSE M

Professeur

Président

Mme BOUZOUIDJA.S

Maitre Assistante

Examinatrice

Mr. Guendouz A.H

Professeur

Promoteur

Promotion 2019/2020

# Remerciement

*Avant tout, je tiens à remercier Dieu Tout Puissant, de m'avoir permis de mener à bien ce mémoire de fin d'étude, et de m'avoir donné la force et le courage pour l'accomplissement de mes études.*

*Je tiens à remercier mon encadreur Monsieur le Professeur Abd El Hamid GUENDOUIZ pour ses conseils et ses efforts louables.*

*J'adresse mes vifs remerciements aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre gratitude à l'effectif de département de science de l'eau et de l'environnement pour leurs efforts pour nous assurer la meilleure formation tout au long de notre parcours universitaire et pour nous avoir transmis leur savoir-faire.*

*Enfin nous remercions nos parents, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.*

# Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères petites sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, sans oublier mes grands frères.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A ceux qui ont toujours été là pour moi depuis le premier jour, ceux qui ne m'ont jamais laissé tomber :

A mon tasse de café qui ma toujours accompagné tous mon parcours universitaire,

A tous mes amis qui restaient autour de moi : Khadouj et sa sœur Khaoula, Rym, Razan, Khaoula, le trio : Maissa, Abir, Farah.

A mes camarades de la promotion 2019-2020

Je dédie ce travail également à tous ceux qui ont essayé de me casser et décourager, ceux qui souhaitaient mon échec, car ceux sont devenus notre source de réussite !

Merci d'être toujours là pour moi.

**Djadja Khadhra**

# Dédicace

*A la fin de ce travail je m'adresse mes sincères remerciements*

*A mon bon dieu pour arriver à ce niveau,*

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie cet humble travail :*

*A mes très chère magnifique parents, pour leur soutien, leur patience leur sacrifice et leur amour, je prie le bon dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fières de moi ;*

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet :  
Mon fiancé, Mes sœurs, mes Frère ; Ma nièce Melissa,*

*A tous mes amies, en particulier : amira, isma, nassima, rym ;*

*A mes enseignants sans exception ;*

*A tout les membres de ma aimable famille ;*

*ET à tous ceux qui me connaissent ;*

**Medjadi Ahlem**

## المخلص:

توفر دراسة كيمياء المياه الجوفية كثير من المعلومات للجيولوجيا المائية التي تفيد في فهم الظواهر التي تحدث في شبكات طبقات المياه الجوفية. أي التفاعل بين الماء و الصخور، مع العلم بأن تمعدن المياه الجوفية يمكن أن يأتي من الاستحواذ على العناصر الكيميائية عن طريق التفكك والظواهر الجيوكيميائية الأخرى. كما أنه يتيح متابعة التطور المكاني لمختلف العناصر الذائبة وتحديد أصلها، تقدير عمق دوران المياه، تقييم نوعية المياه بالنسبة إلى القدرة على الوصول إلى المياه والري، وفهم الاداء الهيدروديناميكي للمصادر وعلاقاته.

ولهذا الغرض كرست هذه المذكرة لدراسة مياه منابع الشريعة. حيث استُخدم عدد من الرسوم البيانية كما تم إجراء تحليل إحصائي حول العوامل الرئيسية التي تميز كيمياء المياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: المياه ، الجودة ، التحليل الفيزيائي والكيميائي ، الكيمياء المائية.

## **Résumé :**

L'étude de la chimie des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes se produisant dans les systèmes aquifères. C'est-à-dire l'interaction eau-roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par la dissolution et autres phénomènes géochimique.

Elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et d'estimer leur origine, d'estimer la profondeur de circulation des eaux, d'apprécier la qualité des eaux vis-à-vis de la potabilité et à l'irrigation, et compréhension du fonctionnement hydrodynamique des sources et les relations entre elles.

C'est dans ce but que ce mémoire a été consacré à l'étude les eaux des sources de Chrea, où on a utilisé certain nombre de diagrammes. Une analyse statistique a été effectuée aussi sur les principaux paramètres caractérisant le chimisme des eaux de l'aquifère.

**Mot clé :** Eau, Qualité, Analyse physico-chimique, Hydrochimie.

**Abstract:**

The study of groundwater chemistry provides a considerable amount of information to hydrogeology that is useful in understanding the phenomena occurring in aquifer systems. That is to say, the water-rock interaction, knowing that the mineralization of groundwater can come from the acquisition of chemical elements by dissolution and other geochemical process. It also makes it possible to follow the spatial evolution of the various dissolved elements and to estimate their origin, to estimate the depth of circulation of the waters, to assess the quality of the waters with potability and irrigation, and understanding of the hydrodynamic functioning of sources and their relationships.

It is for this purpose that this memoir was devoted to the study of waters of Chrea sources, where a number of diagrams were used. A statistical analysis was also performed on the main parameters characterizing the water chemistry of the aquifer.

**Keywords:** Water, Quality, Physico-chemical analysis, Hydrochemistry.

# SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

INTRODUCTION GENERALE.....1

## **CHAPITRE 1 :**

### **Présentation du site d'étude**

I-1-Historique du parc national du Chréa..... 3

I-2 Présentation de parc national de Chréa ..... 4

I-3 Situation géographique de parc national de Chréa..... 5

I-4 Les secteurs du Parc National de Chréa ..... 6

## **Chapitre II :**

### **Contexte géologique et climatique**

II-1 Aperçu géomorphologique du parc national de Chréa ..... 9

II-2 Cadre géologique du Park National de Chréa ..... 9

II-2-1 Constituion du massif ..... 9

II-2-2 Les différentes formations de la série stratigraphique et de ses caractéristiques lithologiques..... 9

II-3 les caractérisations de réseau hydrographique ..... 9

II-3-1 Relief..... 9

II-3-2 Pédologie ..... 10

II-3-3 Diversité végétale..... 10

II-3-4 Hydrographie ..... 10

II-4- les caractérisations climatologiques ..... 11

II-4-1 Climat et bioclimat..... 11

II-4-2 Précipitation ..... 13

II-4-2-a Précipitations moyennes mensuelles ..... 13

II-4-2-b Précipitations annuelles..... 15

## **CHAPITRE III :**

### **Caractéristiques des eaux de surface**

III-1 Origine des eaux desurface ..... 16

III-2 Relation eau souterraine-eau superficielle ..... 16

III-3 Définition d'une source..... 16

III -3-1 Définition légale..... 17

III-4 Le chimisme et la qualité des eaux dans le Parc national de Blida .....	17
III-4-1 Hydrochimie .....	18
III-5 Généralités sur les caractéristiques physico-chimiques.....	19
III-5-1 Propriétés physico-chimiques .....	19
III-5-1-1 pH.....	19
III-5-1-2 Température .....	19
III-5-1-3 Turbidité.....	20
III-5-1-4 Conductivité.....	20
III-5-1-5 Résidu sec.....	20
III-5-2 Ions majeurs des eaux naturelles .....	20
III-5-2-1 Cations majeurs des eaux naturelles.....	20
III-5-2-1-1 Calcium .....	21
III-5-2-1-2 Magnésium.....	21
III-5-2-1-3 Sodium et potassium.....	21
III-5-2-2 Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles.....	22
III-5-2-2-1 Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) .....	22
III-5-2-2-2 Chlorures.....	22
III-5-2-2-3 Sulfates .....	22
III-5-2-2-4 Nitrates.....	23
III-5-2-2-5 La Silice.....	23

## **CHAPITRE IV : Discussions et interprétation**

IV -1 Introduction .....	25
IV- 2 Outils informatiques utilisées.....	25
IV- 2-1 Diagramme.....	25
IV- 2-2 Arc-Gis .....	25
IV- 2-3 ACP.....	26
IV- 3 Présentation géographique des points d'eau échantillonnée au Niveau du PNC .....	27
IV- 3-1 Caractère physico-chimiques.....	28
IV- 3-1-1 Le pH .....	28
IV- 3-1-2 Alcalinité (TA-TAC) .....	29
IV- 3-1-3 Conductivité électrique.....	30
IV- 3-1-4 Dureté .....	30
IV- 4 paramètres hydro-chimique.....	31

IV-4-1 Anions .....	31
IV- 4-1-1 Bicarbonates .....	31
IV-4-1-2 Nitrates .....	32
IV-4-1-3 Sulfates .....	33
IV-4-1-4 Chlorure.....	33
IV-4-2 Cations .....	34
IV-4-2-1 Le calcium .....	34
IV-4-2-2 Le magnésium.....	35
IV-4-2-3 Sodium.....	35
IV-4-2-4 Potassium.....	36
IV-5 Interprétation des résultats .....	37
IV-5-1 Faciès chimiques des eaux.....	37
IV-5-2 Origine des éléments chimiques et de la salinité .....	42
IV-5-2-1 Couple( $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ ).....	43
IV-5-2-2 Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ ) .....	43
IV-5-2-3 Couple( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ).....	44
IV-5-2-4 Couple ( $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ) .....	45
IV-5-2-5 Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) .....	45
IV-5-2-7 Le couple (TDS, $\text{Cl}^-$ ) .....	46
IV-5-2-8 Le couple ( $\text{HCO}_3^-$ , pH) .....	46
IV-6 Interprétation en utilisant l'ACP.....	47
IV-6-1 Introduction.....	47
IV-6-2 Interprétation des données de l'ACP.....	49
IV-6-3 Conclusion .....	52

## Liste des figures

### Chapitre I :

<b>Figure I-1</b> : Carte historique du parc National de Chrea (PNC) .....	4
<b>Figure I-2</b> : plan de situation du parc national de chéra.....	4
<b>Figure I-3</b> : Carte de l'occupation des terres (PNC) .....	5
<b>Figure I-4</b> : Carte des limites de secteurs de parc national de Chrea.....	8

### Chapitre II :

<b>Figure II-1</b> : Carte hydrographique .....	11
<b>Figure II-2</b> : Carte climatique du parc national de chrea.....	12
<b>Figure II-3</b> : Températures moyennes mensuelles de la wilaya de Blida.....	12
<b>Figure II-4</b> : Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000.2019).....	15
<b>Figure II-5</b> : Histogramme des précipitations moyennes annuelles(2000/2019).....	15

### Chapitre IV :

<b>Figure IV-1</b> : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie .....	25
<b>Figure IV-2</b> : Structure de la base de données .....	26
<b>Figure IV -3</b> : La position des points d'eaux .....	28
<b>Figure IV-4</b> : variation des valeurs de pH des sources .....	29
<b>Figure IV-5</b> : variation des valeurs de Tac des sources.....	29
<b>Figure IV-6</b> : variation des valeurs de conductivité.....	30
<b>Figure IV-7</b> : variation des valeurs de TH des sources.....	31
<b>Figure IV-8</b> : variation de la concentration en Bicarbonate.....	32
<b>Figure IV-9</b> : variation de la concentration en Nitrate .....	33
<b>Figure IV-10</b> : variation de la concentration en Sulfate.....	33
<b>Figure IV-11</b> : variation de la concentration en Chlorure .....	36
<b>Figure IV-12</b> : variation de la concentration en Calcium.....	34
<b>Figure IV-13</b> : variation de la concentration en Magnésium .....	35
<b>Figure IV-14</b> : variation de la concentration en sodium.....	36
<b>Figure IV-15</b> : variation de la concentration en Potassium .....	36
<b>Figure IV-16</b> : Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources, PNC(2003).....	37
<b>Figure IV-17</b> : Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources par groupe, PNC(2003).....	38

<b>Figure IV-18</b> Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G1 .....	39
<b>Figure IV-19</b> Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G2 .....	40
<b>Figure IV-20</b> : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G3.1..	41
<b>Figure IV-21</b> : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G3.2.....	41
<b>Figure IV-22</b> : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G3.3...	42
<b>Figure IV-23</b> : Couple ( $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ ).....	43
<b>Figure IV-24</b> : Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ ) .....	44
<b>Figure IV-26</b> : Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ) .....	44
<b>Figure IV-27</b> : Couple ( $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ) .....	45
<b>Figure III-28</b> : Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{HCO}_3^-$ ).....	46
<b>Figure III-29</b> : Couple ( $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{HCO}_3^-$ ) .....	46
<b>Figure IV-30</b> : Couple (TDS, $\text{Cl}^-$ ).....	46
<b>Figure IV-31</b> : Couple ( $\text{HCO}_3^-$ , pH).....	47
<b>Figure IV-32</b> : Trace des composants 1 et 3.....	50
<b>Figure IV -33</b> : Trace des composants 1 et 2.....	50
<b>Figure IV-34</b> : Trace des composants 2 et 3.....	51
<b>Figure IV-35</b> : facteur des individus .....	51

# Liste des tableaux

## Chapitre I :

<b>Tableau I-1:</b> Répartition administrative du territoire du Parc National, par entités administratives .....	7
<b>Tableau I-2 :</b> superficies des secteurs par communes .....	8

## Chapitre II :

<b>Tableau II-1 :</b> Caractéristique générale de la station pluviométrique .....	12
<b>Tableau II-2 :</b> Précipitations enregistrées de la station Douar Makli .....	15
<b>Tableau II-3 :</b> Précipitations moyennes mensuelles (2000/2019) .....	15

## Chapitre IV :

<b>Tableau IV-1 :</b> Les résultats hydro chimiques des échantillons.....	28
<b>Tableau IV-2 :</b> Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité .....	33
<b>Tableau IV-3:</b> Norme pour la dureté des eaux de boisson.....	33
<b>Tableau IV-4:</b> Classification des eaux selon SCHOELLER- BERKALOFF.....	42
<b>Tableau IV-5 :</b> Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales .....	46
<b>Tableau IV-6 :</b> Matrice de corrélation .....	47
<b>Tableau IV-7 :</b> Matrice des coefficients des composantes.....	47
<b>Tableau IV-8:</b> Matrice de covariance des coefficients des composantes .....	47

# Liste des abréviations

CE : Conductivité électrique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel hydrogène

PNC : Parc National de Chréa

TDS (mg/l) : total des solides dissouts dans l'eau

mg : milligramme.

mg/l : milligramme par litre.

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: Ammonium.

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrate.

NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrites.

SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> : Sulfate.

Min : minimale.

Max : maximale.

μS/cm : micro siemens par centimètre

T : température

## **Introduction Générale :**

Les eaux souterraines (puits, forages, sources) se retrouvent au sein d'une multitude de pores, fractures et autres interstices des formations géologiques. Les nappes d'eau souterraine sont formées par la percolation de l'eau de pluie, l'eau de surface et de ruissellement à travers les sols et les roches. Cette réaction naturelle entre l'eau et la roche provoque une large diversité dans le caractère minéral des eaux souterraines.

La question de la qualité de l'eau au sein des programmes humanitaires se pose essentiellement en termes de consommation humaine et d'irrigation et la mauvaise qualité de l'eau peut être induite par des activités anthropiques ou par des phénomènes naturels. D'après l'organisation mondiale de la santé (OMS) la qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais aussi l'usage de cette eau [1]. L'évaluation de la qualité des eaux sources est une importance capitale pour planifier le bon développement de ces dernières. Les eaux de sources qui constituent des exutoires naturelles des eaux souterraines généralement localisées dans les montagnes représentent des eaux de bonnes qualités, souvent utilisées à des soins médicaux. Elles ont pendant longtemps, été considérés comme «eaux propres» répondant naturellement aux normes de potabilité mais néanmoins elles restent limiter et subissent divers pressions anthropiques tels que la surexploitation, les diverses sources de pollutions qui font d'elles des ressources vulnérables et nécessitent des suivies de leurs qualités et des protections.

L'étude chimique de l'eau joue un rôle important dans la détermination de la qualité des eaux et ses origines, connaître leurs répartitions dans l'espace et l'évolution dans le temps des concentrations, l'apport de nombreuse information sur les milieux aquifères et compréhension du fonctionnement hydrodynamique des sources et les relations entre elles.

Dans ce contexte le but de ce travail est de présenter les résultats de l'étude hydro-chimique des eaux des sources de l'atlas Blidiéen. Qui est basée sur les données de l'ANRH (Agence nationale des ressources hydrauliques).

Cette étude a fait également appel à plusieurs disciplines scientifiques: la géologie, l'hydrodynamique, l'hydrochimie, les statistiques, quelques logiciels informatiques spécialisés afin d'interpréter les données et les résultats.

Ce travail est composé de 04 chapitres :

**Chapitre 1** : est consacré aux caractéristiques générales du milieu ; situation géographique et aperçu géomorphologique ;

**-Chapitre 2** : est réservé pour caractériser les caractéristique climatologique de la zone et un aperçu géologique et hydrogéologique de la région ;

**-Chapitre 3** : consacrer pour des généralités concernant la qualité de l'eau ;

**-Chapitre 4** : Interprétation et discussion des résultats obtenus.

# **Chapitre I :**

## **Présentation du site d'étude**

### I-1-Historique du parc national du Chr a:

C'est en 1912, sous l'impulsion de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord que fut projetée l'idée de création du Parc National de ch ra.

Le 3 septembre 1925, le parc national de ch ra est constitué par l'arrêté gouvernemental pris en application de l'arrêté générale du 17 février 1921 fixant le statut type des parcs nationaux en Algérie, afin de parer à toute dégradation et atteinte à la beauté naturelle du milieu, cela explique la superficie de 1351 ha repartie sur l'ensemble du foret de cèdre seulement.

Vu la pression et l'ampleur de la dégradation qu'on subit ces milieux naturels, l'idée de reclasser et d'élargir le territoire du parc national originel fut indispensable, ce qui a été fait sur la base de la loi n83- 03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement.

Plus-tard, en application du décret n 83-458 du 23 juillet 1983 portant statut type des parcs nationaux de l'Algérie, le Parc National de Chr a est de nouveau crée par décret n-83-561 du 23 juillet 1983 et étendu à une superficie de 26587ha.

Le parc national de Chr a domine 3 secteurs :

- Secteur centrale s'étant sur la partie Nord-est du Parc National de Chr a et sa superficie est de 9772 ha, il est sillonné par la route National N37.
- Secteur d'El Hamdania s'étant sur la partie Ouest de Parc National de Chr a avec une superficie de 8828 ha, il est sillonné par la route National N01.
- Secteur de Hammam Melouane s'étant sur la partie Sud-est du Parc National de Chr a avec une superficie de 8000ha (PNC, 2009). **[01]**

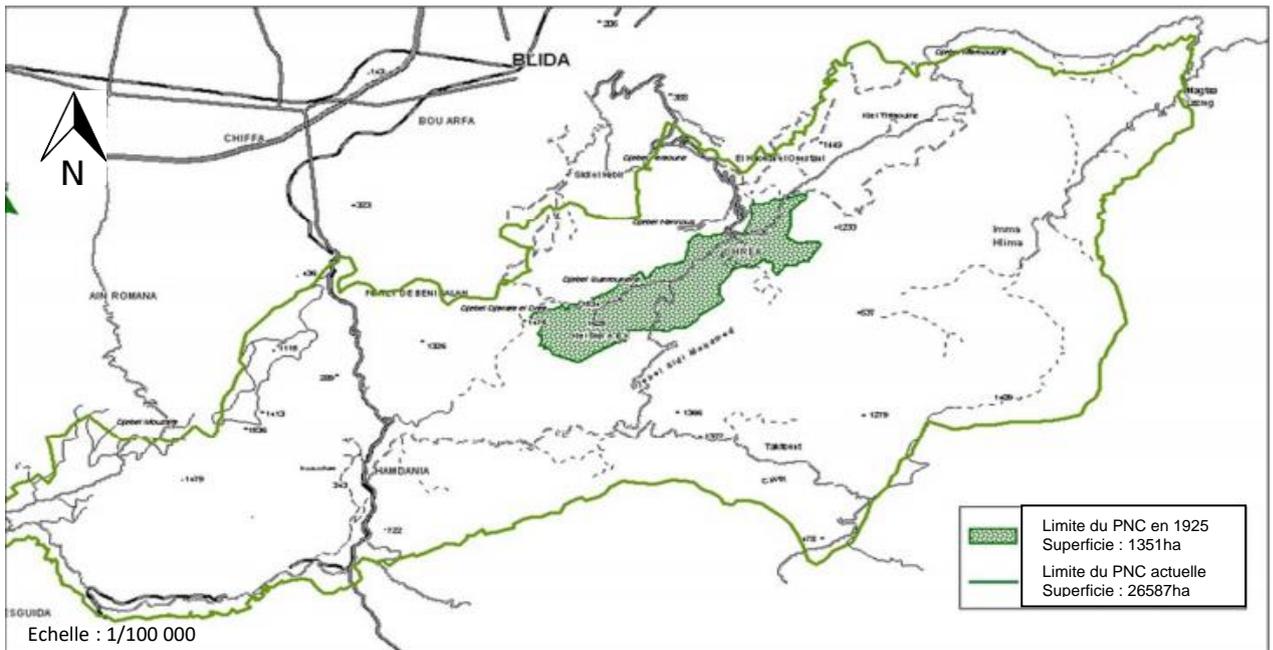


Figure I-1 : Carte historique du parc National de Chrèa(PNC). [02]

## I-2 Présentation de parc national de Chrèa :

Le Parc National de Chrèa, a été créé en 1983 au centre de l'Atlas Blidéen où il s'étale sur une superficie de 26.587 ha. Il représente ainsi un espace de protection et de promotion des ressources naturelles dont la potentialité hydrique est importante et se distingue par de nombreux petits cours d'eau et plus de 80 sources [03].



Figure I-2 : plan de situation du parc national de chéra. [02]

### I-3 Situation géographique de parc national de Chréa :

-Le PNC est situé a 50 km au sud-ouest d'Alger, il est localisé sur le massif de l'atlas bliidièn, qui lui-même constitue la partie centrale de l'Atlas Tellien. Les versants septentrionaux surplombent la ville de Blida et la plaine de Mitidja, tandis que les versants méridionaux dominent le nombreux contrefort s'égrainant jusqu'à la ville de Médéa. [04].

-Le long des parties centrales de la chaîne de l'Atlas Tellien, comprise entre les latitudes Nord  $36^{\circ}19' / 36^{\circ}30'$ , et les longitudes Est  $2^{\circ}38' / 3^{\circ}02'$ .

Le parc domine vers le Nord, l'opulente plaine de la Mitidja ou s'agencent tel un puzzle, les riches terroirs agricoles de l'avant pays, le bourrelet anticlinal du sahel sillonné en profondeur par l'imposante cluse de l'Oued Mazefran, et les monts du Djebel Chenoua, formant une véritable barrière perpendiculaire à l'Atlas Bliidièn incrustée a la fois dans la chaîne de l'Atlas et dans la mer méditerranée. [05].

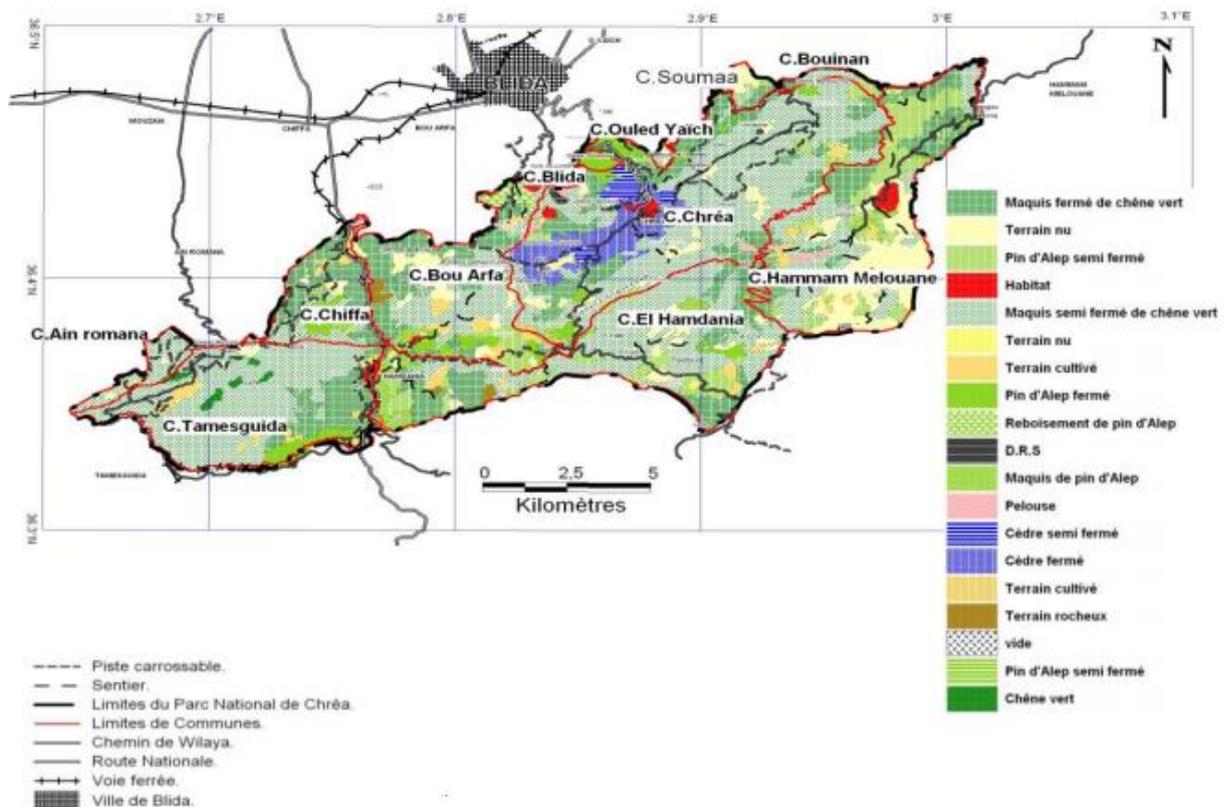


Figure I-3 : Carte de l'occupation des terres (PNC). [02]

-Vers le sud, la vue plongeante domine a l'avant plan, l'anticlinal de Takitount, le col de Talakat, les talwegs des Oueds Mektaa el Merdja, et s'étale en profondeur par temps visible sur les hautes plaines du Titteri.

-Vers l'est enfin, la vue découvre au premier plan, la chaine des Bibans, et les hauteurs de la chaine kabyle en particulier celles du Djurdjura. [06]

Wilayas	Communes	Superficie	%	% Wilaya
<b>BLIDA</b>	Ain romana	416 ha	1,56%	<b>67,47%</b>
	Chiffa	1225 ha	4,61%	
	Bou-arfa	3343 ha	12,57 %	
	Blida	84 ha	0,32%	
	Chr�a	7602 ha	28,60 %	
	Ouled yaich	56 ha	0,21%	
	Soum�a	273 ha	1,02%	
	Bouinan	174 ha	0,66%	
	Hammam Melouane	4764 ha	17,92%	
	Total de la wilaya	17937ha	67,47%	
<b>MEDEA</b>	Tamezguida	4100 ha	15,42%	<b>32,53%</b>
	El Hamdania	4550 ha	17,11%	
	Total de la wilaya	8650ha	32,53%	
	<b>T O T A L</b>	<b>26587ha</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Tableau I-1** : Répartition administrative du territoire du Parc National, par entités administratives. [04]

#### **I-4 Les secteurs du Parc National de Chr a :**

Pour des raisons de gestion de proximité, visant en particulier la maîtrise du terrain par une présence permanente et assidue, des moyens humains et matériels du Parc national de Chr a, il a été défini, en fonction des maisons forestières habitables, et du tissu de routes et pistes accessibles, trois secteurs d'intervention au niveau du parc, couvrant dans la complémentarité, la totalité du territoire.

**-Le secteur de Chr a : 10035ha**

Particularités: Ce secteur englobe

- \* La zone d'expérimentation : arboretum de Hakou Ferraoun.
- \* La zone de tourisme.
- \* La zone de détente et loisirs.
- \* La zone sauvage.
- \* La zone de protection de l'aire du singe.
- \* La zone de reboisement sur maquis. **[04]**

Secteurs	Superficie des Secteurs (ha)	commune	Superficie / commune/ secteur (ha)
		BLIDA	84
		OULED YAICH	56
<b>Chrèa</b>	10035	SOUMAA	273
		BOUINAN	174
		CHREA	7602
		BOUARFA	1630
		BOUARFA	1797
		HAMDANIA	1422
<b>Hamdania</b>	9225	AIN ROMANA	416
		TAMEZGUIDA	4100
		CHIFFA	1225
<b>Hammam</b>	8300	HAMDANIA	3340
<b>Melouane</b>		HAMMAM	4550
		MELOUENE	
<b>Total</b>	<b>26587</b>		<b>26587</b>

Tableau I-2 : superficies des secteurs par communes. **[04]**

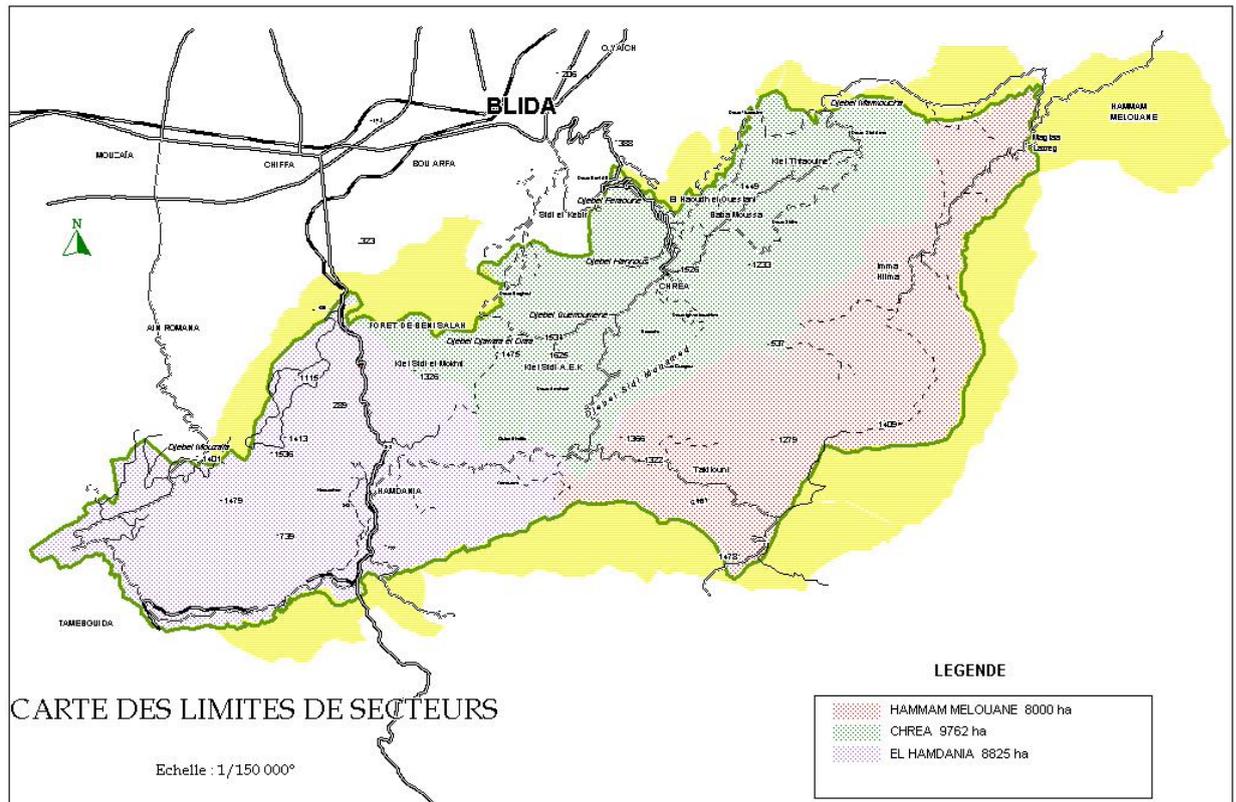


Figure I-4: Carte des limites de secteurs de parc national de Chrea. [02]

**Chapitre II :**  
**Contexte géologique et**  
**climatique**

## **II-1 Aperçu géomorphologique du parc national de Chrèa :**

Étendue sur une superficie de 26.600 Ha, Parc National de Chrèa se répartit sur les flancs de l'Atlas Blidèen.

La plus grande partie du Parc National de Chrèa est située sur une région montagneuse caractérisée par un relief accentué et accidenté. Cette structure topographique est surtout due à la présence de multiples Talwegs qui traversent les différents massifs (Oued Chiffa, Oued kebir, Oued Messaoud, Oued Mektaa...).

**[08]**

## **II-2 Cadre géologique du Park National de Chrèa :**

### **II-2-1 Constituions du massif :**

Le massif montagneux du Park national de Chrea est composé des crêtes centrales de l'Atlas Blidièen. Il culmine à 1629 m à Koudiat Sidi Abdelkader.

Le massif de Blida fait partie des zones externes de la chaîne alpine en Algérie. Il se situe au sud des massifs anciens Kabyles et des massifs du Chenoua et de Bouzahrèa dont il est séparé par le synclinal plio-quadernaire de la Mitidja. Il se compose presque entièrement de schistes d'âge Crétacé inférieur sans fossiles, d'éboulis de pentes de même origine, sans cohésion qui se désagrègent en éléments plus ou moins grossiers et pauvres en éléments minéraux. **[09]**

### **II-2-2 Les différentes formations de la série stratigraphique et de ses Caractéristiques lithologiques sont :**

- Calcaires de l'Oued El Kebir (jurassique supérieur).
- Schistes, grès et calcaires de la Chiffa (néocomien et aptien, crétacé inférieur)
- Calcaires et marnes du Djebel Sidi Mohamed (albien supérieur, crétacé moyen).
- Marnes calcaires du Douar El Hadjar (vraçana-cenomanien et turnano-sénonien, calcaires à silex d'El Hadjerat Msenou (paléocène et éocène inférieur). crétacé moyen et supérieur)
- Argiles noires et calcaires à silex d'El-Hadjar M'sannou (Paléocène et Eocène). **[10]**

## **II-3 les caractérisations de réseau hydrographique :**

### **II-3-1 Relief :**

Le Parc National de Chrèa est une région à aspect structural très accidenté (Meddour, 2002). Il regroupe le relief montagneux composé respectivement d'est en ouest des monts de Hammam Melouane, du massif de Chrèa et des monts de

Mouzaia. Sa ligne de crête oscille entre 1400 et 1600m d'altitude, sur une longueur d'environ 8km (Meddour, 2002). Il enregistre une dénivelée très importante marquée par le point culminant à 1627m à Koudiat Sidi-Abdel-Kader (Crêtes de Chrèa) et le point le plus bas 217m (Chiffa) [11];[12]. L'orientation générale W-SW et E-NE entraîne entre les deux versants principaux une dissymétrie tant climatique que phytocénotique. [11]

### II-3-2 Pédologie :

Selon Killian et Martin (1957) in Douaer et Selmane (1994), les sols du massif de Chrèa sont toujours très décalcifiés, même si la roche mère est calcaire; les pentes et les sommets présentent un sol maigre schisteux prédominant avec un PH voisin de la neutralité (6,2 à 7,2). Par contre, les sols des bas-fonds et des pentes douces sont plus épais, plus évolués et riches en matière organique dans la zone Nord et Nord- Ouest. [13]

### II-3-3 Diversité végétale :

Les inventaires de la flore supérieure ont permis d'estimer la diversité du Parc à 778 espèces. Cela représente 24,78% de toute la flore sauvage nationale. Les espèces protégées par Décret sont au nombre de 17 soit 1,92% des espèces végétales du Parc et 0,47% de la flore du pays. [14]

### II-3-4 Hydrographie :

Le P.N.C se présente comme une barrière rocheuse à topographie très tourmentée, accentuée par de profonds ravinements faisant apparaître une multitude de bas-fonds et thalwegs. De plus, l'importance de la déclivité (50- 70%) et la nature de la roche (Schistes) sont deux facteurs favorisant l'installation d'un réseau hydrographique creusé profondément [01]. Sur les versants septentrionaux, on distingue une série d'oueds d'orientation générale Sud-ouest et Nord-est qui déversent leurs eaux dans une série d'oueds d'orientation collective du bassin versant de l'oued Mazafran.

Parmi ces oueds on peut citer : oued El Kebir au nord et l'oued de Chiffa au sud. Durant la saison sèche, le réseau d'écoulement se réduit à un simple filet d'eau, il se transforme en véritable torrent en hiver entraînant une forte érosion. Le parc renferme plusieurs points d'eau (81sources) dont certains sont permanents. [06]

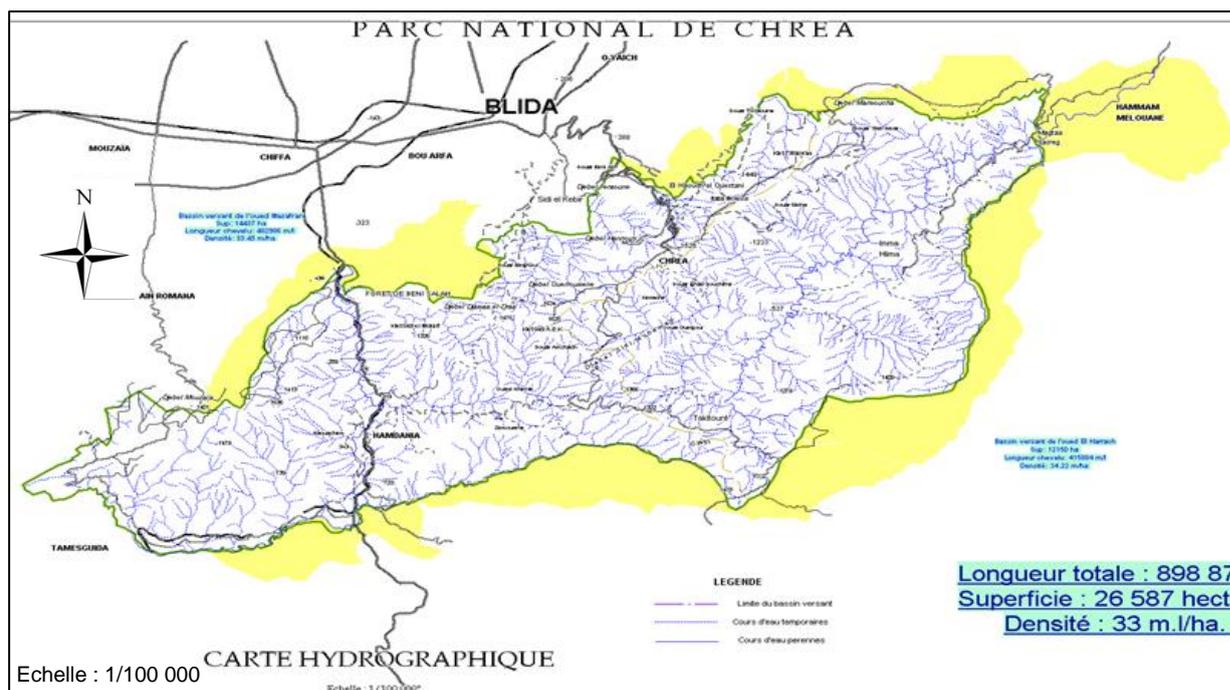


Figure II-1 : Carte hydrographique. [02]

### II-4- les caractérisations climatologiques :

Afin de caractériser les tendances générales des différents paramètres climatiques de la zone d'étude, on a utilisé une série de données climatiques annuelles et mensuelles allant de 2000 à 2019 enregistrées au niveau de la station DOUAR MALKI (Hammam Melouane) tableau (II-1).

Station	Code ANRH	Coordonnées Lambert		Altitude en m
		X	Y	
Douar Malki	21427	532,45	355,75	130

Tableau II-1 : Caractéristique générale de la station pluviométrique. [04]

#### II-4-1 Climat et bioclimat :

Le massif de Blida, par ses deux versants, s'inscrit entièrement dans les bioclimats humide et subhumide, qui sont prédominants dans la région. [01]

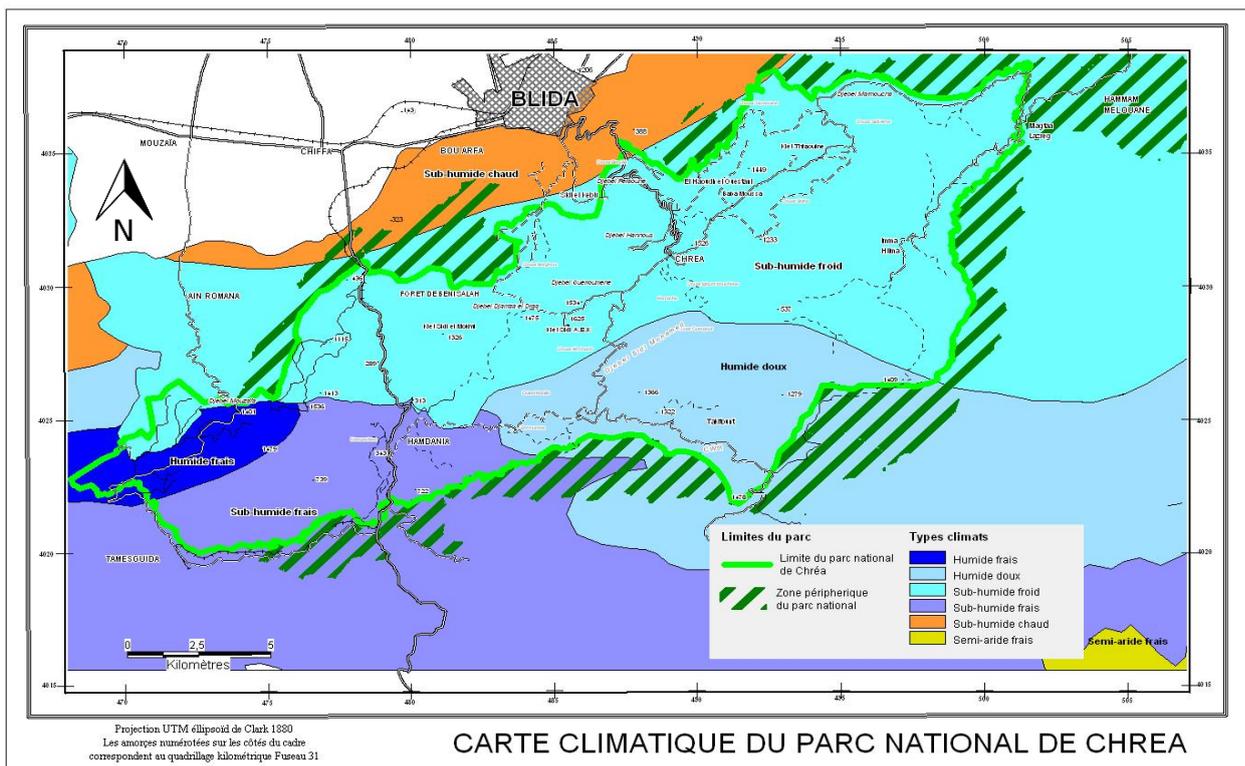


Figure II-2 : Carte climatique du parc national de chréa. [01]

Situé au carrefour de deux ambiances climatiques, l'une caractérisée par les influences xériques provenant du continent et l'autre, par les influences maritimes venant du nord du pays, le Parc National de Chréa est compris entre l'isotherme 8° et 11°C de températures moyennes annuelles. Les sommets étant plus froids et les piémonts plus chauds.

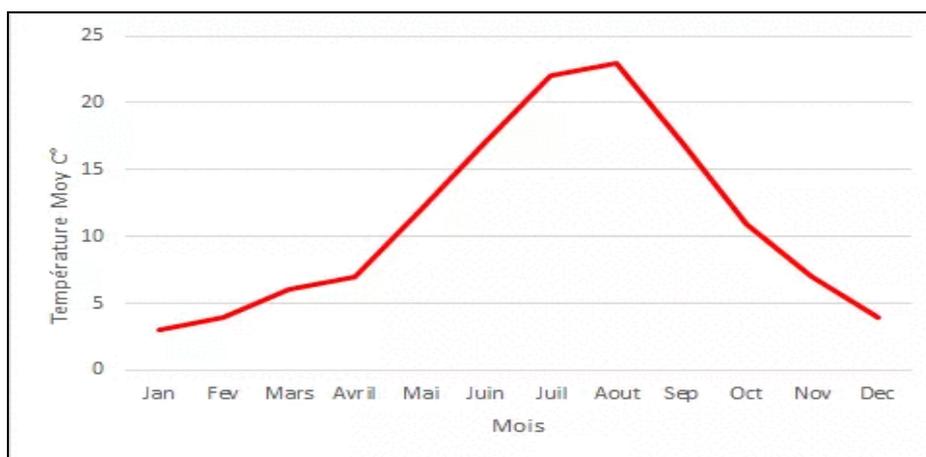


Figure II-3: Températures moyennes mensuelles de la wilaya de Blida. [04]

Les températures les plus basses sont enregistrées à Chréa avec 3°C, alors que les températures maximales varient entre 26,3 et 33,6°C.

#### **II-4-2 Précipitation :**

Du point de vue des précipitations, il est compris entre les isohyètes 700-1400 mm/an. Celles-ci sont plus importantes dans les stations situées sur le versant nord-ouest.

Trois étages bioclimatiques ont été dégagés par Meddour (2002) dans le Parc de Chréa:

- Thermo méditerranéen à bioclimats humides doux couvrant la zone entre 200 et 600 m d'altitude ;
- Mésoméditerranéen à bioclimats humides tempérés et humides frais couvrant toutes les zones entre 600 et 1000 m d'altitude ;
- Supra méditerranéen à bioclimats per humides frais couvrant les zones supérieures à 1000 m d'altitude. [15]

#### **II-4-2-a Précipitations moyennes mensuelles :**

Les précipitations sont très irrégulières d'un mois à un autre. Leur répartition n'est pas homogène, elles dépendent de plusieurs facteurs qui sont la latitude et la continentalité.

Code station : 021427													
Nom station : DOUAR MAKLI													
X : 532.45													
Y : 355.75													
Z : 130													
	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	jul	août	annuel
2000/2001	3,7	36,8	72,7	38,9	154,5	59,4	1,3	42,3	17,8	0	0	1	428,4
2001	14,6	9,7	48,8	53,4	37,4	16,4	50,1	37,6	23,3	0,5	8,4	46,4	344,6
2002	30,9	42,9	159,3	169,1	199,9	147,1	22,4	121,5	41,7	15,8	1,2	2,5	954,3
2003	54,3	32,5	59,5	129,1	90,9	48	65,3	70,8	116,8	3,4	8,4	0	678,8
2004	11,5	40,1	85,5	119,4	94,5	134,3	46,8	34,1	6,9	0	0	0,9	574
2005	26,2	50,8	66,3	96,2	174,8	102	21,4	7,1	98,6	0,6	0	1,9	645,9
2006	14,1	22,6	32,4	179,6	3,8	80,1	172,1	104,6	6,7	0,8	3,4	6,4	626,6
2007	53,1	129,7	112,4	52,3	9,3	40,5	41,2	23,1	60,6	1,5	3,1	0	546,8
2008	17,8	26,4	123,1	99,9	125,4	10,4	54,3	77	37,6	0,2	0	0,4	572,5
2009	70,3	7,3	51,9	88,9	54,4	57,3	92,1	25,9	24,5	1,4	0	16,4	490,4
2010	6,9	58,9	110,1	60	52,2	165,3	20,4	118,8	118,4	49,5	0	1,5	762
2011	19,6	82	78,5	68,6	48	240,7	122	112,4	15,9	0,2	0	40,8	828,7
2012	4,6	50,4	77,6	31,9	125,3	141,5	81	90	217,7	1,2	0	31,1	852,3
2013	9,6	36,8	181,6	165	67,8	77,4	155,4	2	11,3	74,7	0	0	781,6
2014	45,6	17,5	78,9	196,3	152,6	112,2	96,9	0	19,5	6,7	0,2	0	726,4
2015	26,7	66,4	77,8	0	139,9	132,8	156,8	73,8	59,4	0,3	2	0	735,9
2016	11,9	9,7	90,2	119	316,4	23,5	49,5	34,1	8,4	11,3	0,6	3,6	678,2
2017	54,3	25,1	144,4	158,6	20,3	104,7	97,5	177,2	70,7	67,7	0	0	920,5
2018	33,6	95,4	144,2	80,7	129	16,3	54,8	47,4	51,6	8,2	4,8	3	669
2019/2020	35,7	22,7	117,1	18,8	17,8	0	93,2	132,2					

**Tableau II-2 : Précipitations enregistrées de la station Douar Makli. [04]**

D'après le tableau (II-2) et figure (II-3) ; le mois le plus pluvieux est Avril .La plus faible précipitation est enregistrée au mois de Juillet.

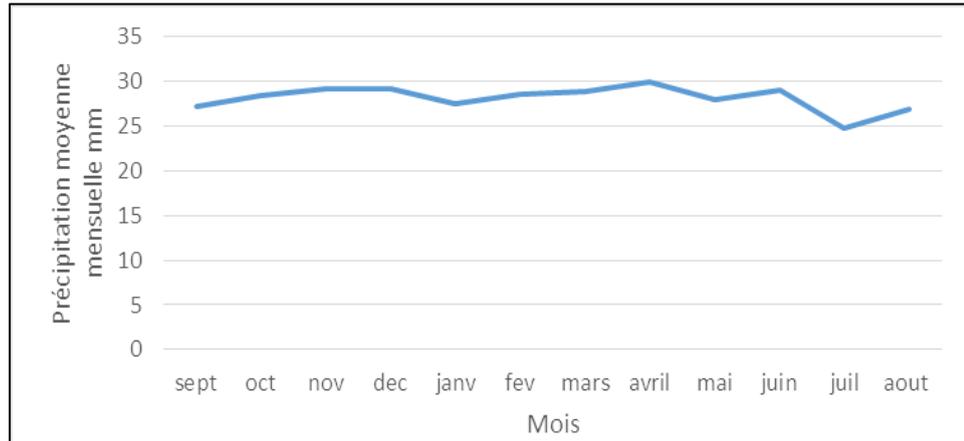


Figure II-4 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (2000.2019).

**II-4-2-b Précipitations annuelles :**

La pluviosité moyenne annuelle est d'environ 662 mm, avec une valeur minimale de 344 mm enregistrée en 2001 et un maximum de 954mm en 2002.

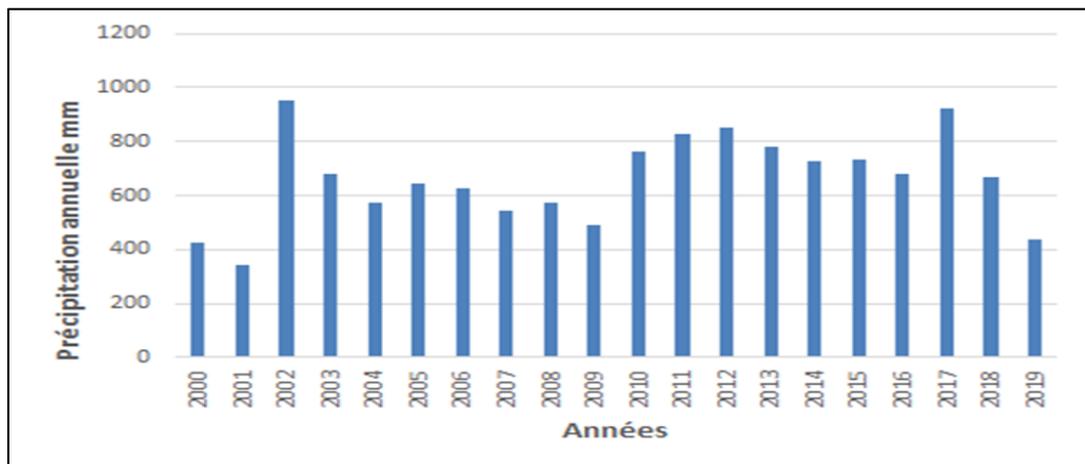


Figure II-5 : Histogramme des précipitations moyennes annuelles (2000/2019).

**Chapitre III :**  
**Caractéristiques des eaux de**  
**surface**

### III-1 Origine des eaux de sources:

Les eaux de surface ont pour origine, soit les nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenue de barrage) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable [7].

### III-2 Relation eau souterraine-eau superficielle :

Aux limites amont, aval, latérales et supérieures d'un aquifère, des échanges importants peuvent avoir lieu avec les eaux de surfaces.

Ainsi, en tout point d'un aquifère libre et dans les secteurs amont d'un aquifère captif, l'infiltration des eaux de précipitations et de ruissellement permet une recharge en eau de la nappe aquifère. L'infiltration des eaux de rivières et de lacs peut aussi contribuer de façon significative à la recharge de la nappe. Latéralement, d'autres aquifères peuvent par ailleurs alimenter la nappe. Inversement, les écoulements de la nappe en aval peuvent alimenter des sources, des rivières, des lacs ou même directement les océans, ainsi que d'autres aquifères.

L'ensemble de ces échanges constitue des conditions aux limites dont la quantification est nécessaire et permet la compréhension de la dynamique du système hydrogéologique. [8].

### III-3 Définition d'une source :

Les sources présentent l'émergence des eaux souterraines, elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses. On distingue trois types de sources :

Les sources d'affleurement, pour lesquelles l'approvisionnement s'effectue sur un fond imperméable dans la vallée.

Les sources d'émergence, ou artésiennes, qui sont alimentées par la couche inférieure de la nappe (ces sources sont plus susceptibles de tarissement). Leur débit est en principe uniforme et presque constant durant toute l'année, tandis que le rendement des autres types de sources dépend du niveau de la nappe et des précipitations saisonnières. Les sources de déversement, naissent sur les pentes au-dessus du fond des vallées [09].

En règle générale, les sources jaillissent ou augmentent leur débit quand la pluie ou la fonte des neiges alimente les réserves souterraines.

Les eaux de source sont des eaux naturellement propres à la consommation humaine [10] ; on parle alors d'eau potable, ces eaux peuvent également être embouteillées.

### III -3-1 Définition légale :

C'est une eau d'origine exclusivement souterraine, apte à la consommation humaine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution.

Le texte signale le fait que les eaux de sources doivent provenir d'une nappe ou d'un gisement souterrain, exploité à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, à proximité desquelles l'eau est conditionnée. Cette dernière ne peut faire l'objet d'aucun traitement ou adjonction autre que :

- La séparation des éléments instables et la sédimentation des matières en suspension par décantation ou par filtration
- L'incorporation de gaz carbonique ou la dénazification [11].

Par ailleurs pour SCHOELLER, une eau de source a une composition physico-chimique qui n'est pas constante, contrairement aux eaux minérales [12].

### III-4 Le chimisme et la qualité des eaux dans le Parc national de Blida :

L'eau de pluie, au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, se charge en ion et acquiert des propriétés physique et chimique qui caractérisent la nature géologique des aquifères.

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

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

L'étude chimique de l'eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité pour voir la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable

ou pour d'autres usages.

L'eau dans son cheminement se charge par un certain nombre d'éléments minéraux en liaison avec la nature des terrains traversés.

L'étude de la chimie des eaux souterraines permet d'étudier la répartition dans l'espace et l'évolution dans le temps des concentrations, et d'apporter de nombreuses informations sur les milieux aquifères, la nature de l'encaissantes zones d'alimentation et la potabilité des eaux.

D'autres éléments sont d'origine anthropique. La qualité des eaux continentales est dépendante d'un certain nombre de paramètres, dont la quantité en présence va définir l'état de la qualité de l'eau.

La vulnérabilité des eaux à la pollution anthropique dépend de type de Nappe libre ou captive et de mode de circulation de l'eau dans l'aquifère.

Les Nappes libres sont les plus vulnérables. Les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique.

La protection de la nappe libre sera d'autant plus meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais que la granulométrie est fine et que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible.

En revanche, les nappes captives sont mieux protégées par les couches imperméables qui le surmontent.

Pour cette étude de synthèse, et par manque de données d'analyse récente couvrant la totalité du terrain d'étude, on a eu recours à des études anciennes qui ont été réalisées dans la région de Chrea, pour une meilleure évaluation de la qualité des eaux des sources. Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la caractérisation de la région d'étude sous différents contextes.

#### **III-4-1 Hydrochimie :**

L'hydrochimie étudie les processus chimiques qui affectent la distribution et la circulation des composés chimiques des eaux [16].

L'étude hydro-chimique donne des informations à l'hydrogéologie, elle permet de comparer les eaux entre elles et trouver une solution pour les besoins d'alimentation [17].

Elle est basée sur l'interprétation des analyses chimiques des échantillons prélevés, ces analyses portent sur :

- Éléments chimiques majeurs:
  - Les cations:  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$
  - Les anions:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ .
- Paramètres physico-chimiques:

Le pH, la température, la conductivité, la turbidité, le résidu sec [18].

### III-5 Généralités sur les caractéristiques physico-chimiques

La qualité de l'eau dépend de la présence de polluants en fonction de leur quantité, de facteurs physiques et chimiques tels que le pH, la conductivité, la quantité de sels présents et de la présence ou non d'éléments indésirables.

L'activité humaine a beaucoup d'influence sur ces facteurs, en rejetant leurs déchets dans l'eau et ajoutant ainsi toutes sortes de substances et de polluants qui ne sont pas présents naturellement dans l'eau.

#### III-5-1 Propriétés physico-chimiques :

##### III-5-1-1 pH :

Le pH est, par définition une mesure de l'activité des ions  $\text{H}^+$  contenus dans une eau :

$$\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$$

Du fait de l'équilibre de dissociation de l'eau, le pH est relié à la teneur en ions  $\text{OH}^-$  et aussi à l'acidité et l'alcalinité de l'échantillon.

Le pH joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- Dans les processus biologiques (dont certains exigent des limites très étroites de pH).
- Dans l'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion).
- La détermination du pH est donc l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment [19].

##### III-5-1-2 Température:

Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, et dans la dissolution des sels dissous, donc sur la conductibilité. Ce paramètre est très important à connaître, car il permet de différencier les eaux qui circulent près de la

surface de celles qui circulent en profondeur, et donc la qualité de l'eau [17].

#### III-5-1-3 Turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc.

L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de la turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle du traitement des eaux brutes.

La mesure de la turbidité de l'eau peut s'effectuer en utilisant l'effet Tyndall ou l'opacimétrie. L'effet Tyndall est utilisé plus spécialement pour la mesure des faibles turbidités (eau de boisson), l'opacimétrie est appliquée aux eaux de fortes turbidités (eaux brutes, eaux résiduaires). Quel que soit le principe utilisé, l'appareil nécessite un étalonnage [19].

#### III-5-1-4 Conductivité :

La conductivité électrique (CE) est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en micro siemens par centimètre ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) à 20 °C [19].

#### III-5-1-5 Résidu sec :

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes d'une eau.

Le résidu sec déterminé à 180 °C est celui qui se rapprocherait le plus de la somme des différents résultats d'analyses, il est pratiquement exempt d'eau de cristallisation [19].

#### III-5-2 Ions majeurs des eaux naturelles :

La minéralisation de la plupart des eaux est dominée par huit ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonates.

##### III-5-2-1 Cations majeurs des eaux naturelles :

Les eaux naturelles contiennent toujours des sels minéraux et une grande part de l'analyse chimique d'une eau consiste à doser les cations et les anions les plus abondants.

Dans les eaux naturelles, les cations les plus abondants sont le calcium, ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium, ( $\text{Mg}^{2+}$ ), puis le sodium, ( $\text{Na}^+$ ), et enfin le potassium, ( $\text{K}^+$ ). D'autres cations peuvent être présents dans l'eau, mais généralement à des teneurs plus faibles : C'est le cas du fer et du manganèse. On les considère comme des cations mineurs [20].

#### III-5-2-1-1 Calcium :

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. On a constaté que la lixiviation du calcium à partir du sol augmentait nettement avec l'acidité de l'eau de pluie [21].

#### III-5-2-1-2 Magnésium :

C'est un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique, de la dissolution de  $\text{MgSO}_4$  dans les terrains gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens [17].

#### III-5-2-1-3 Sodium et potassium :

Le sodium et le potassium sont les sixièmes et septièmes éléments les plus abondants à l'état naturel. Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles, en proportions très variables. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols [19].

Le potassium : bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence, est à peu près constante dans les eaux naturelles et ne dépasse pas habituellement 10 à 15mg/l [22].

Le sodium est beaucoup plus abondant que le potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables.

Il provient du lessivage des formations riches en  $\text{NaCl}$  (argile et marne) [17].

### III-5-2-2 Anions majeurs et mineurs des eaux naturelles :

Outre les ions bicarbonates  $\text{HCO}^-$ , dont la teneur peut être déduite de l'alcalinité, les deux autres anions majeurs des eaux naturelles sont l'ion chlorure et l'ion sulfate. L'eau peut contenir de nombreux autres anions comme des carbonates, des silicates, des nitrates, des phosphates, des fluorures mais, généralement, leur teneur est beaucoup plus faible, souvent négligeable [20].

#### III-5-2-2-1 Bicarbonates ( $\text{HCO}^-$ ):

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



Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est fonction de :

- la nature des terrains traversés ;
- la température de l'eau ;
- et la pression du  $\text{CO}_2$  [18].

#### Remarque :

L'élément (X) peut être le ( $\text{Ca}^{2+}$ ) ou le ( $\text{Mg}^{2+}$ ), il est plus probable que ce soit le  $\text{Ca}^{2+}$ , car le  $\text{Mg}^{2+}$  est très soluble, sauf si l'eau est thermale.

#### III-5-2-2-2 Chlorure :

L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en proportion très variable. Ainsi, les eaux provenant de régions granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage. D'ailleurs la teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau [20].

Les chlorures peuvent être localement impliqués dans les pluies acides et phénomènes d'acidification d'eaux superficielles ou souterraines [18].

#### III-5-2-2-3 Sulfates

Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours du sulfate, en proportions très variables. Leur présence résulte de la légère solubilité du sulfate de calcium

des roches gypseuses ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (comme par exemple, les pyrites  $\text{FeS}_2$ ).

Les fortes concentrations de sulfates provoquent des troubles gastro- intestinaux, elles peuvent donner un gout désagréable à l'eau, et créer des dépôts tenaces dans les chaudières [20].

#### III-5-2-2-4 Nitrate :

Les nitrates sont des composés chimiques naturellement présents dans l'environnement, notamment dans les eaux et dans les sols.

Ces dernières décennies, des concentrations croissantes de nitrates ont été observées dans les eaux suite à des pollutions anthropiques, principalement d'origine agricole : pratiques intensives, modes de culture et d'élevage avec épandage massif d'effluents, d'engrais, etc. [17].

En plus des bicarbonates, des chlorures, des sulfates et des nitrates, parmi les anions que l'on peut trouver dans les eaux naturelles, il faut citer :

#### III-5-2-2-5 La Silice :

Qui peut être relativement abondante dans les régions granitiques. Aux pH usuels des eaux naturelles, la silice se présente surtout sous forme covalente :  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ . Elle tend à polymériser et à donner ainsi des colloïdes. Dans les eaux naturelles, la silice peut se trouver à des teneurs de 1 à 50 mg/L environ. La silice est d'ailleurs utilisée, en traitement de l'eau, comme aide coagulant ou pour prévenir la corrosion des conduites [20].

# **Chapitre IV :**

## **Discussion et interprétation**

Sources	Para physico- chimique		Cation						Anions			
	pH	SiO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Ain tihamamine	7,50	46	123	14	20	7	13	147	0	304	2,8	
Ain oued elanser	7,70	38	107	32	50	2	45	163	0	310	0,0	
Ain elmerbouni	7,50	25	167	30	28	2	35	305	0	259	0,0	
Ain bousserdina	7,80	-1	141	51	45	1	25	305	0	341	0,0	
Ain tiguelmamine	7,80	-1	364	407	120	6	50	2375	0	470	0,0	
Bir magtaa lazreg	7,40	-1	172	61	1,52	1	33	258	0	430	33,5	
Ain mazala	7,50	-1	149	72	25	1	13	267	0	510	0,0	
Ain bouhadj	7,70	-1	139	31	18	1	34	140	0	337	0,3	
Oued sghir	7,80	16,8	161	54	18	1	8	470	0	195	0,0	
Ain talilene	7,70	-1	255	40	50	2	22	498	0	348	2,2	
Ain tala ali	7,96	-1	101	5	15	1	8	15	0	318	0,0	
Ain mehieddine	7,20	17,6	111	52	98	2	103	140	0	460	19,1	
Ain elharas	7,00	9,2	119	34	100	4	92	128	0	433	53,2	
Ain elmadjadi	7,10	16	121	59	95	3	130	142	0	488	3,8	
Ain elharba	7,00	32,4	161	67	75	2	92	205	0	589	29,7	
Ain echorfa	7,00	36	111	48	70	3	52	90	8,30	506	11,0	
Ain elmalha	7,30	2,6	425	65	5,46	8	2130	883	0	206	0,0	
Oued elmogranat	7,70	9,6	245	125	650	5	1190	875	0	181	0,0	
Ain gammansour	7,40	7,4	85	22	15	0	6	83	0	228	0,0	
Oued gammansour	7,50	6,8	54	54	15	0	10	113	0	298	0,0	
Ain eldjoudi	7,20	9,1	82	74	20	0	11	263	0	337	0,0	
Ain ezhairya	7,00		148	11	25	1	33	53	0	417	0,0	
Ain sidi serhane	7,00	11	118	35	35	1	26	176	0	346	0,0	
Ain tafren	7,30	7	31	10	10	1	8	10	0	148	0,0	
Ain etrik												
Ain tabayent	7,10	6	87	11	20	1	17	50	0	248	12	
Ain berrehal	7,70	17,1	102	34	45	1	5	220	0	364	0,0	
Ain sidi habchi	7,00	5,4	118	35	35	1	28	176	0	346	0,0	
Oued azza	7,90	5	67	26	10	0	9	67	0	249	0,1	
Ain teberkechent	7,30	-1	58	5	15	1	20	5	0	180	99	
Ain hmed elaarbi	7,00	-1	57	12		15	8	50	0	210	0,0	
Oued saouda	7,40	-1	74	21	20	1	13	60	0	282	0,0	
Ain elaamariche	7,70	-1	83	17	23	1	20	78	0	258	0,0	
Oued echarchar	7,00	-1	132	34	25	1	15	242	0	294	0,0	
Ain nesreddine	7,00	-1	39	5	20	1	23	42	0	93	2,5	
Ain fradjna	6,6	-1	42	30	33	1	47	65	0	182	0,0	
Ain babamoussa	7,10	-1	80	27	50	1	83	85	0	204	100	
Ain hamleli	7,30	-1	72	28	25	1	22	90	0	260	0,0	
Ain douali	0,00	-1	62	32	15	1	7	28	1	245	0,0	
Tala zit	0,00	-1	65	29	10	1	4	33	0	262	0,0	
Oued yefrane	0,00	-1	73	18	10	1	3	25	0	224	0,0	
Oued essalgou	0,00		77	32	13	0	6	0	0	267	0,0	
Oued sidi yekhllef	0,00	-1	107	44	35	1	26	95	0	430	0,0	
Ain elmaten	0,00	-1	99	107	45	1	36	223	0	500	0,0	
Elonsor	0,00	-1	91	15	30	1	25	35	0	253	0,00	
Ain elplatane	0,00	-1	117	26	30	1	26	108	0	285	3,5	
Ain sidi fodil	7,30	-1	44	1	15	1	13	15	0	153	5,0	
Ain mihoub	7,50	-1	52	1	15	1	8	26	0	149	1,0	
Ain echikh	7,00	-1	36	2	15	1	14	13	0	111	4,0	

Tableau IV-1 : Les résultats hydro chimiques des échantillons, prélevés des eaux des sources.

## IV-1 Introduction

L'étude hydro-chimique consiste à déterminer dans le 1er volet les caractéristique physico- chimique des eaux de sources et d'étudier leurs qualités .Dans le 2eme volet et dans le but de mieux connaitre leurs origines nous examinant des diagrammes et des corrélations. Des données ont été identifier, décrire, localiser, trier et structurer relatives à la zone d'étude, qui ont été recueillie au niveau de l'ANRH.

## IV-2 Outils Informatiques utilisées:

### IV-2-1 Diagramme:

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (version 4, 2008) (fig.17), qui nous permet de classer les eaux en faciès chimique et en classe d'eau potable et d'irrigation, et de construire en particulier les diagrammes de Piper, de Schoeller-Berkaloff et de Riverside.

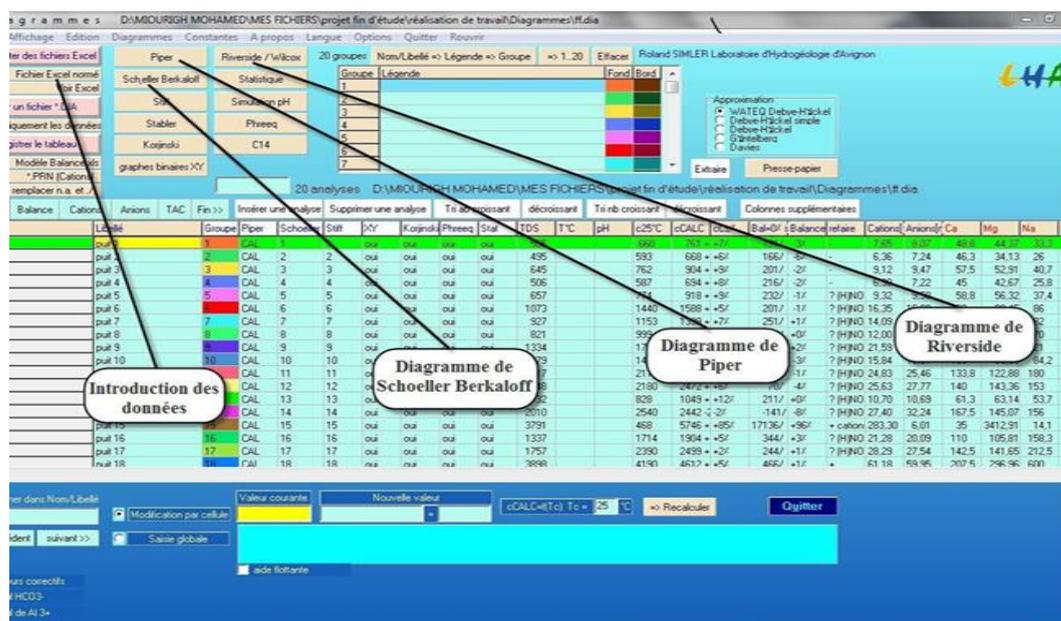


Figure IV-1 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.

### IV-2-2 Arc-gis :

Est un système d'information géographique(SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental System Research Institute, Inc). Pour travailler avec des cartes et des informations géographiques.ce système est utilisé pour :

- créer et utiliser des cartes,
- compiler les données géographiques,
- analyser les informations cartographiées,

- partager et découvrir géographiques,
- gestion de l'information géographique dans une base de données.

#### IV-2-3 ACP :

L'analyse en composantes principales (ACP) : C'est une méthode basée sur des statistiques descriptives multidimensionnelles permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables quantitatives. L'objectif est de visualiser et résumer l'information contenue dans les différentes données afin d'avoir une représentation permettant plus facilement l'interprétation. [14]

	Nom	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3	CE
1	Ain tihamamine	7,50	123,00	14,00	20,00	7,00	304,00	13,00	147,00	2,80	,77
2	Ain oued elans	7,70	107,00	32,00	50,00	2,00	310,00	45,00	163,00	.	1,18
3	Ain elmerbouni	7,50	167,00	30,00	28,00	2,00	259,00	35,00	305,00	.	1,31
4	Ain bousserdin	7,80	141,00	51,00	45,00	1,00	341,00	25,00	305,00	.	1,53
5	Ain tiguelmami	7,80	364,00	407,00	120,00	6,00	470,00	50,00	2375,00	.	5,70
6	Ain magtaa laz	7,40	172,00	6,00	1,52	1,00	430,00	33,00	258,00	33,50	1,70
7	Ain mazala	7,50	149,00	72,00	25,00	1,00	510,00	13,00	267,00	.	1,53
8	Ain bouhadj	7,70	139,00	31,00	18,00	1,00	337,00	34,00	140,00	,30	,88
9	Oued sghir	7,80	161,00	54,00	18,00	1,00	195,00	8,00	470,00	.	1,53
10	Ain talilene	7,70	255,00	40,00	50,00	2,00	348,00	22,00	498,00	2,20	1,92
11	Ain tala ali	7,96	101,00	5,00	15,00	1,00	318,00	8,00	15,00	.	,79
12	Ain mehieddine	7,20	111,00	52,00	98,00	2,00	460,00	103,00	140,00	19,10	1,00
13	Ain elharas	7,00	119,00	34,00	100,00	4,00	433,00	92,00	128,00	53,20	1,20
14	Ain elmadjadi	7,10	121,00	59,00	95,00	3,00	488,00	32,00	142,00	3,80	1,17
15	Ain elharba	7,00	161,00	67,00	75,00	2,00	589,00	92,00	205,00	29,70	2,09
16	Ain echorfa	7,00	111,00	48,00	70,00	3,00	506,00	52,00	90,00	11,00	1,57
17	Ain elmalha	7,30	425,00	65,00	5,46	8,00	206,00	2130,00	883,00	.	7,70
18	Oued elmograna	7,70	245,00	125,00	650,00	5,00	181,00	1190,00	875,00	.	5,75
19	Ain gammansour	7,40	85,00	22,00	15,00	,00	228,00	6,00	83,00	.	,89
20	Oued gammansou	7,50	54,00	54,00	15,00	,00	298,00	10,00	113,00	.	,78
21	Ain eldjoudi	7,20	82,00	74,00	20,00	,00	337,00	11,00	263,00	.	1,33
22	Ain ezhairya	7,00	148,00	11,00	25,00	1,00	417,00	33,00	53,00	.	,60
23	Ain sidi serha	7,00	118,00	35,00	35,00	1,00	346,00	26,00	176,00	.	,53

Figure IV-2 : Structure de la base de données.

#### PRINCPE :

Construire un système de représentation de dimension qui préserve les distances entre les individus. On peut la voir comme une compression avec perte de l'information.

La méthode permet donc de répondre aux trois questions que l'on se pose au bu d'un tableau de résultats d'analyses chimiques

- l'observation des proximités relatives entre échantillons, on eut voir s'il existe des groupements (c'est-à-dire des familles différentes du point de vue chimique) et quelles sont les évolutions d'une famille a l'autre.

- l'observation des proximités relatives entre éléments, on peut voir s'il existe des relations (ou corrélations) entre différents éléments.

- l'observation des proximités entre éléments et échantillons, on peut voir quels éléments caractérisent quels échantillons ou quelles familles d'échantillons.

## **Méthodologie :**

-la technique d'analyse en composantes principales peut être présentée de divers points de vue. Pour le statisticien classique, il s'agit de la recherche des axes principaux de l'ellipsoïde d'une distribution normale multidimensionnelle, ces axes étant estimés à partir d'un échantillon. C'est la présentation initiale de Hotelling (1933), puis celle des manuels classiques d'analyse multi variée.

-pour le factoraliste classique, il s'agit d'un cas particulier de la méthode d'analyse factorielle des psychométriciens (cas de variances spécifiques nulles ou égales).

-enfin, du point de vue plus récent des analystes de données, il s'agit d'une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques, et que l'on utilise en général sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier.

-ce point de vue, fort répandu actuellement est peut-être le plus ancien. C'est celui qui avait été adopté par Pearson (1901). Bien entendu, il ne s'agissait pas de l'analyse en composantes principales telle que nous la présentons, mais les idées essentielles de la méthode étaient déjà présentées par cet auteur.

-l'analyse en composantes principales présente de nombreuses variantes selon les transformations apportées au tableau de données : le nuage des points- individus peut être centré ou non, réduit ou non. Parmi ces variantes, l'analyse en composantes principales normée (nuage centré-réduit) est certainement la plus utilisée et c'est celle-ci que nous choisissons pour présenter les principes de l'analyse.

-l'analyse en composantes principales, souvent notée ACP, fait partie des techniques descriptives multidimensionnelles.

### **IV-3 Présentation géographique des points d'eau échantillonnée au niveau du PNC :**

La région d'étude est située dans la partie occidentale du Parc National de Chréa au niveau du commun de Bouaarfa, Chiffa et Béni Ali. Ces sources d'eau fig. : IV-3 sont retenues par l'Agence National des Ressources Hydriques.

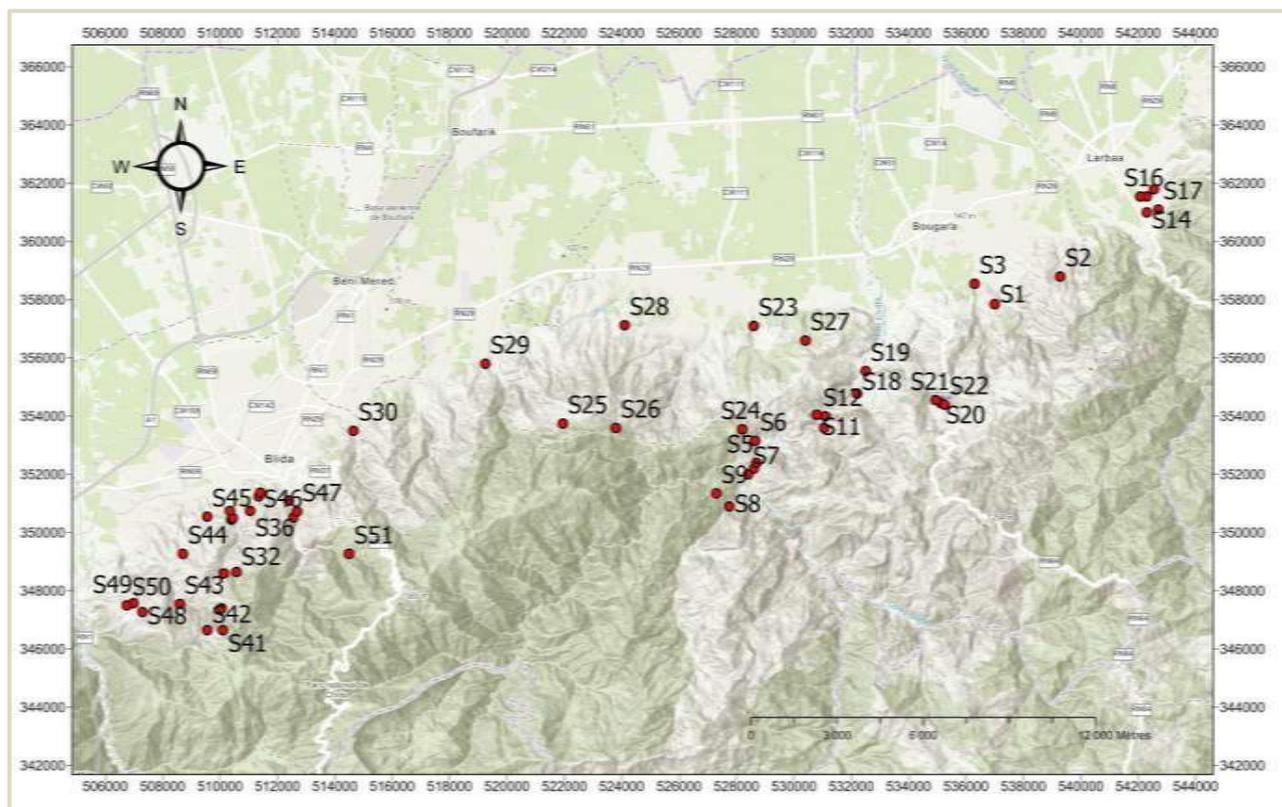


Figure IV -3 : Localisation des points d'eau

### IV-3-1 Caractères physico-chimiques

#### IV-3-1-1 Le pH :

Les propriétés des eaux naturelles dépendent du Ph, ce dernier dépend des concentrations en ions d'hydrogène présent dans l'eau.

Les valeurs de Ph obtenues pour les 50 sources oscillent entre 6.6 et 8, ces valeurs sont proches de la neutralité avec une légère tendance vers la basicité ce qui explique la présence des ions  $\text{HCO}_3^-$ .

Les valeurs les plus élevés ont été marqué au niveau de s11 et s29 est de 8.

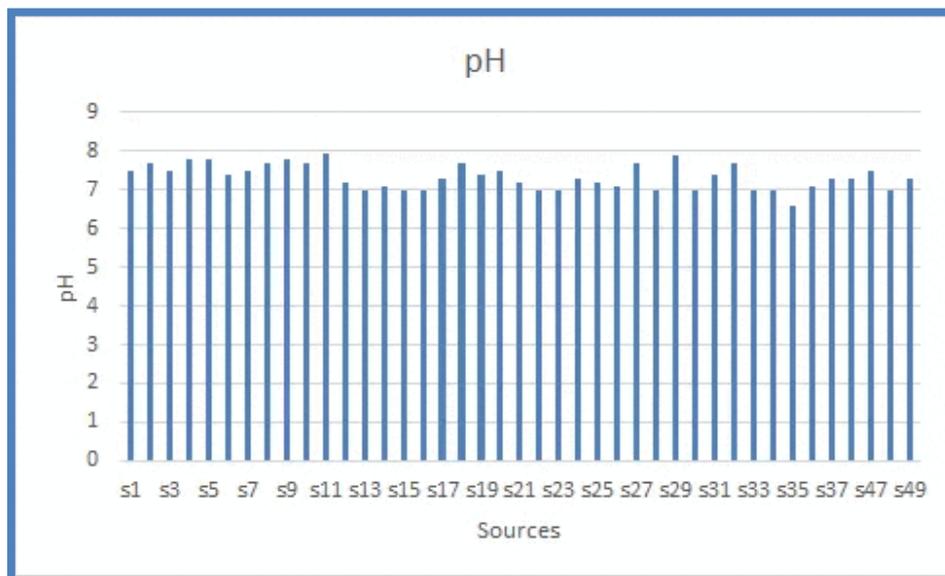


Figure IV-4 : variation des valeurs de Ph des sources.

### IV-3-1-2 Alcalinité (TA- TAC) :

Le titre alcalimétrique TA mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates alcalins caustiques. D'après les résultats obtenus, la valeur du TA dans les échantillons est nulle, ce qui nous permet de conclure que les eaux ne contiennent que des hydrogénocarbonates. Cependant, le TAC enregistré dans l'ensemble des sources est important mais irrégulier. Il varie entre 0.08°F et 0.49°F

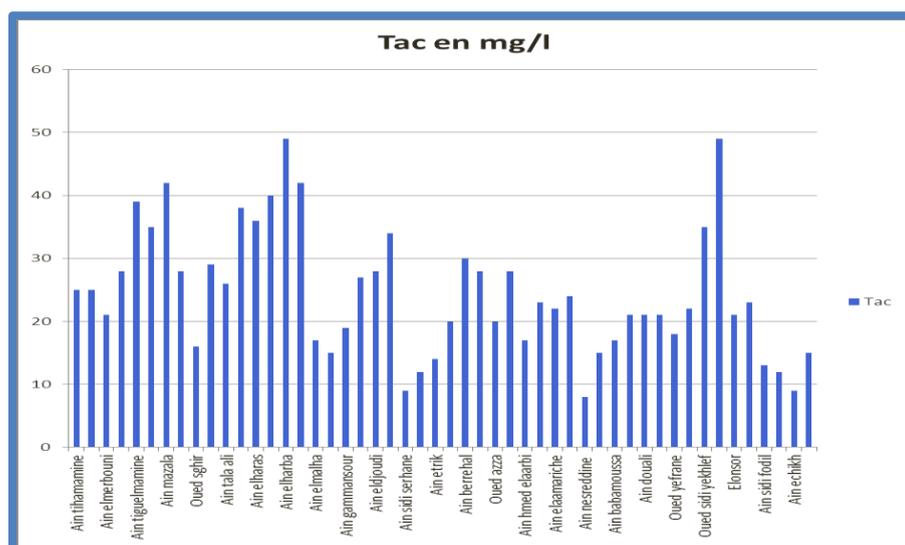


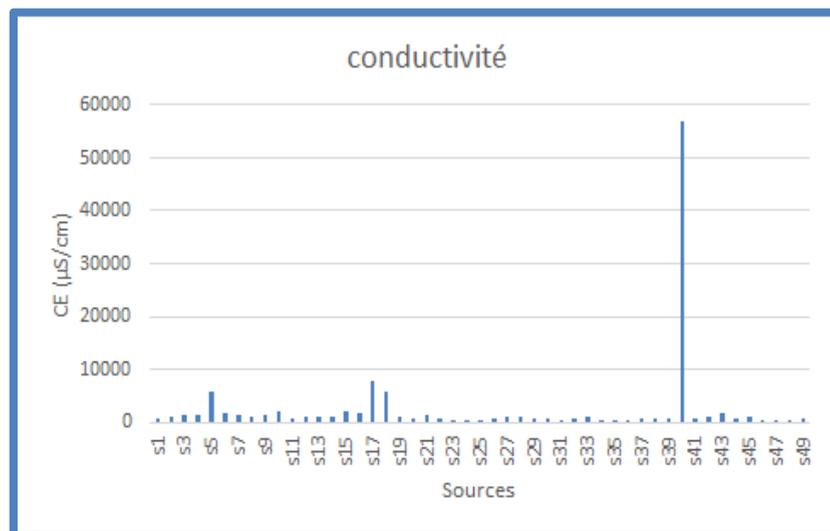
Figure IV-5 : variation des valeurs de Ph des sources.

### IV-3-1-3 Conductivité électrique:

La conductivité électrique est généralement liée à la concentration des ions dissous, elle traduit les fluctuations globales de la charge ionique de l'eau. Elle est en étroite liaison avec la nature lithologique, la vitesse de l'écoulement d'une nappe et le temps de séjours d'une eau. L'augmentation de la conductivité est favorisée par une augmentation de la température.

Conductivité électrique ( $\mu\text{S/cm}$ )	Minéralisation
cond < 100	Eau de minéralisation très faible
100 < cond < 200	Eau de minéralisation faible
200 < cond < 333	Eau de minéralisation peu accentuée
333 < cond < 666	Eau de minéralisation moyenne
666 < cond < 1000	Eau de minéralisation importante
cond > 1000	Eau de minéralisation élevée

**Tableau IV-2 :** Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité.



**Figure IV-6 :** variation des valeurs de conductivité.

### IV-3-1-4 Dureté :

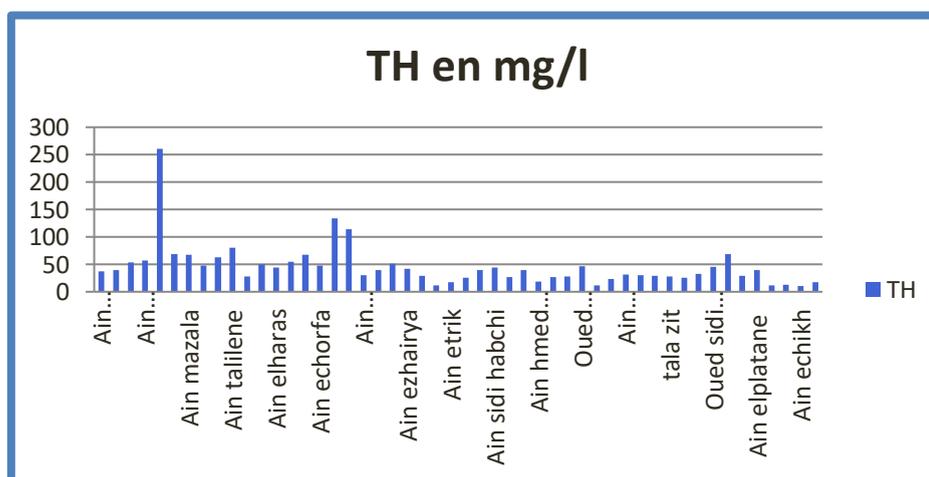
La dureté totale ou titre hydrotimétrique est due essentiellement aux ions du calcium et de magnésium, c'est un indicateur de la minéralisation de l'eau. La pollution peut aussi, dans certaine mesure, augmenter la dureté de l'eau.

L'OMS fait classer l'eau selon la dureté totale, le Tableau IV-2 présente les normes de la dureté de l'eau de boisson fixées par l'OMS.

TH (°F)	TH < 15	15 < TH < 30	30 < TH < 50	TH > 50
<b>Dureté de l'eau</b>	eau douce	moyennement douce ou moyennement dure	eau dure	très dure

**Tableau IV-3:** Norme pour la dureté des eaux de boisson.

Les eaux de source (S1, S3, S4, S5.....S50) sont des eaux DURE et TRES DURE puisque les valeurs du TH enregistrées sont comprises entre 30 °F et 50°F, en particulier la source S5 enregistre des valeurs un peu plus élevée, avec un pic (261°F).



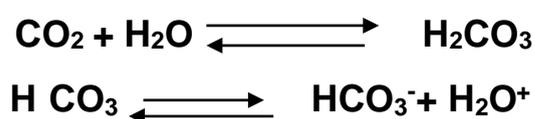
**Figure IV-7 :** variation des valeurs de TH des sources.

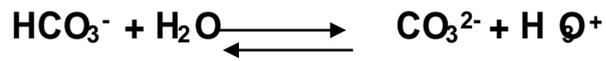
#### IV-4 Paramètres hydro-chimiques :

##### IV-4-1 Anions :

##### IV-4-1-1 Bicarbonates :

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des carbonates de calcium ou de magnésium selon les réactions chimiques suivantes :

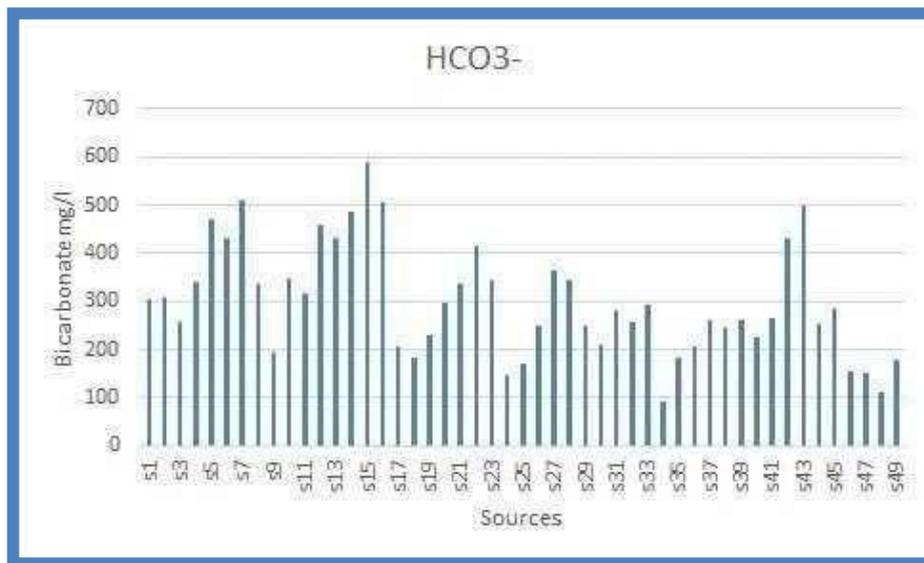




Ces réactions nécessitent donc la présence du CO<sub>2</sub> dans l'eau. En effet, le CO<sub>2</sub> provient de l'air et de l'activité intense des bactéries dans le sol.

Les concentrations des bicarbonates enregistrées varient environ entre 100 et 600 mg/l pour l'ensemble des points analysés.

Dans les eaux des sources étudiées les bicarbonates constituent l'anion dominant avec une concentration de 589mg/l (S15).



**Figure IV-8** : variation de la concentration en Bicarbonate.

#### IV-4-1-2 Nitrate :

La présence de nitrates dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines, principalement d'origine agricole : pratiques intensives, modes de culture et d'élevage avec épandage massif d'effluents, d'engrais, etc.

Pour l'ensemble des sources, les nitrates enregistrent des concentrations assez stables avec des valeurs inférieures à 20 mg/l, sauf pour : S6, S13, S37, ces trois valeurs ne dépassent la norme de potabilité (50 mg/L).

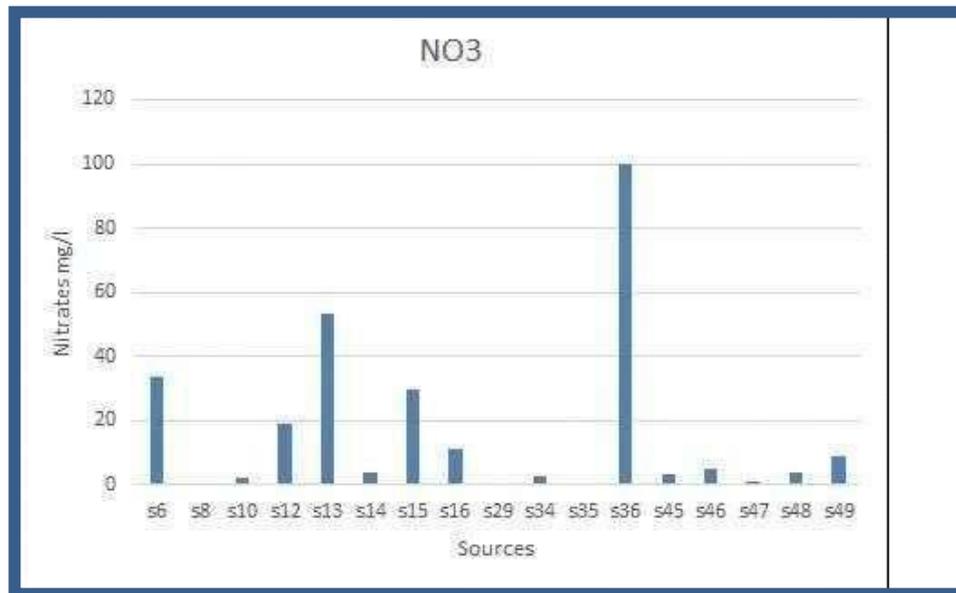


Figure IV-9 : variation de la concentration en Nitrate.

#### IV-4-1-3 Sulfate :

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable, les valeurs enregistrées montrent que l'eau de source chargée en sulfate sa valeur maximale de 2375 mg/L pour la S6.

Les fortes concentrations de sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux, elles peuvent donner un gout désagréable à l'eau.

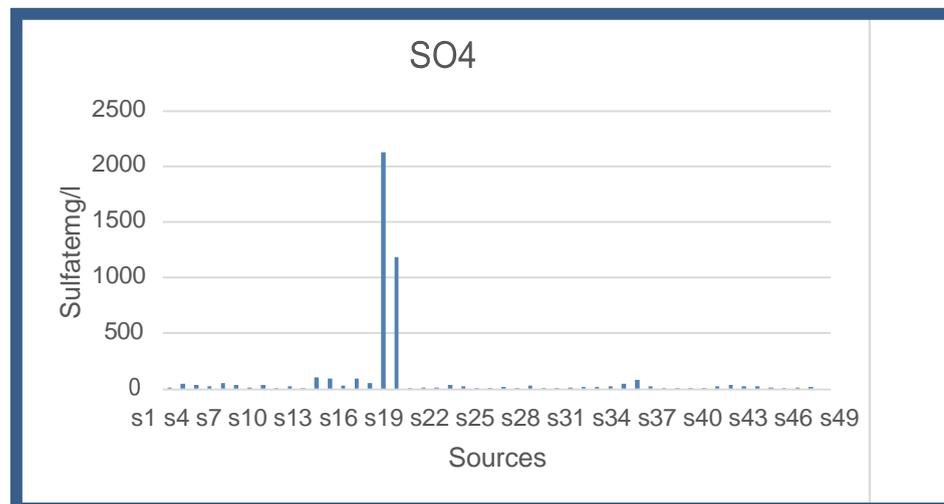
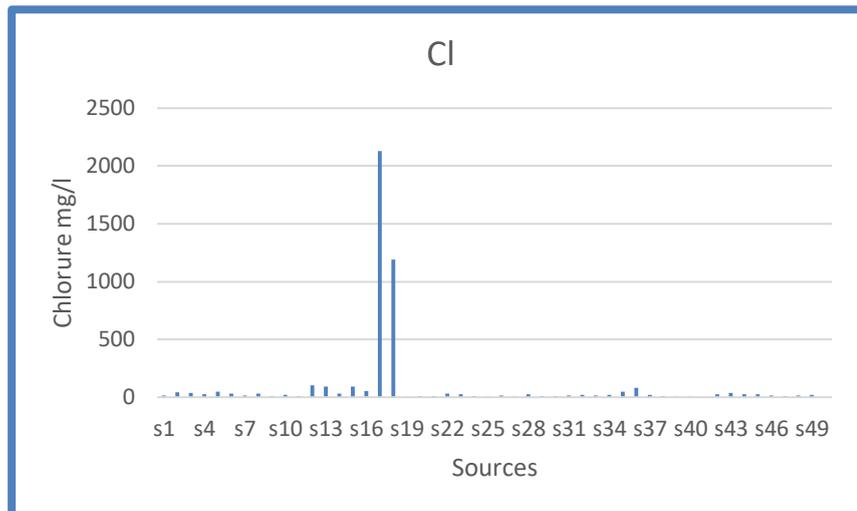


Figure IV-10 : variation de la concentration en Sulfate.

#### IV-4-1-4 Chlorure :

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés, les teneurs en chlorures enregistrées sont inférieures aux normes (OMS, 250 mg/L), (norme algérienne, 500mg/l), sauf pour les

deux sources S18 et S19.



**Figure IV-11** : variation de la concentration en Chlorure.

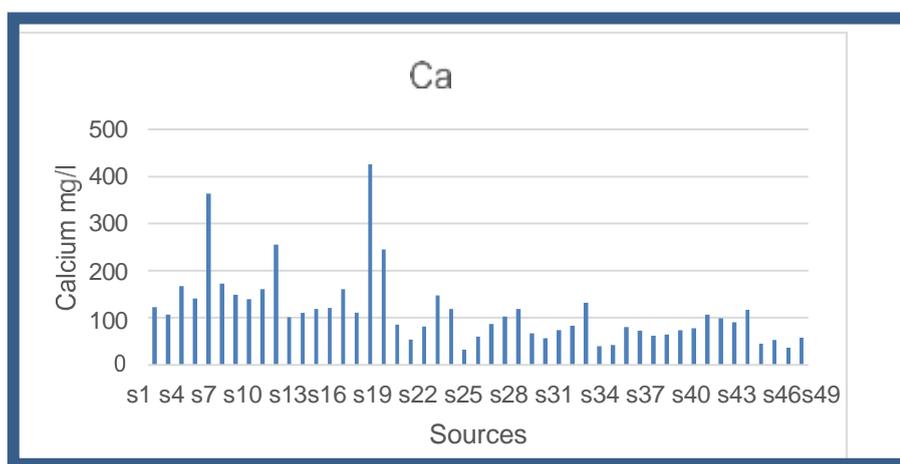
#### IV-4-2 Cations

##### IV-4-2-1 Le Calcium:

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates.

Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés.

Les eaux de sources prélevées présentent des valeurs relativement variés en calcium, (de 31mg/l à 425mg/l). Les eaux de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/L de calcium.



**Figure IV-12** : variation de la concentration en Calcium.

#### IV-4-2-2 Le Magnésium :

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1 % de l'écorce terrestre, dont sa teneur en eau dépend des terrains traversés.

Les valeurs du magnésium enregistrées, sont nettement inférieures à celles du calcium, elles varient entre 5 et 407 mg/l, la S5 contient la concentration maximale.

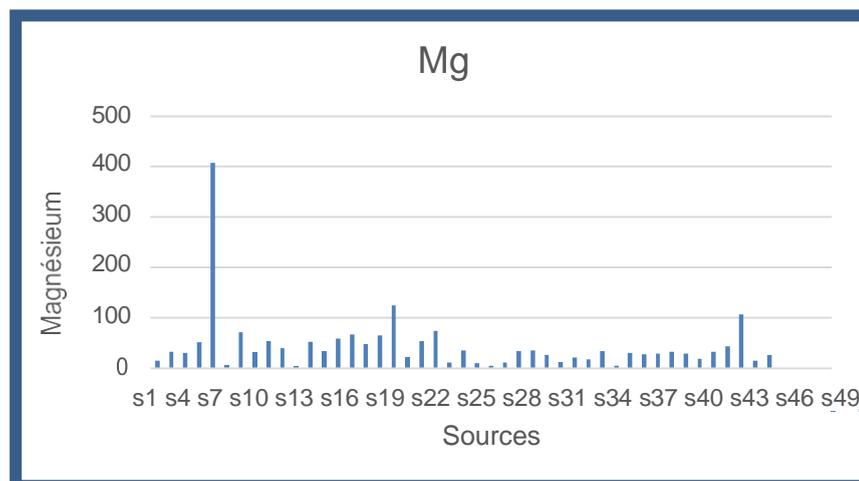
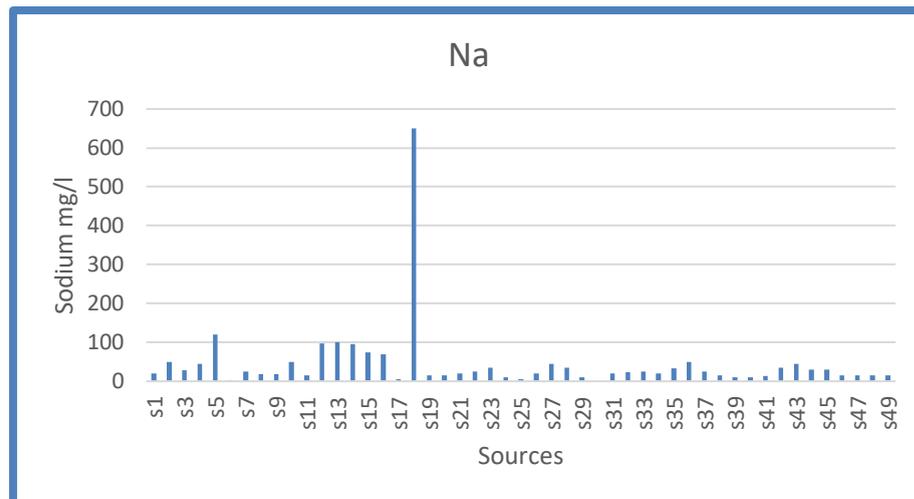


Figure IV-13 : variation de la concentration en Magnésium.

#### IV-4-2-3 Sodium :

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles, en proportions très variables. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols.

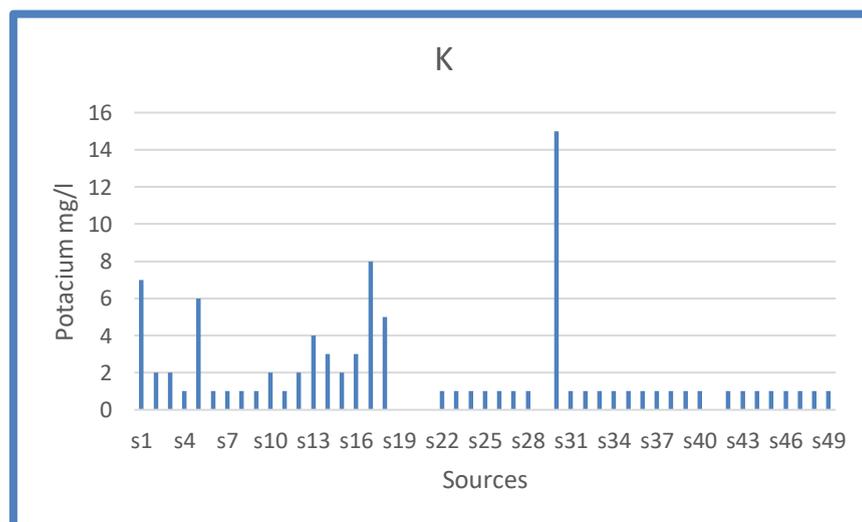
Au vu des résultats obtenus, on constate des teneurs faibles en sodium qui se varient entre 10 et 120mg/l, sauf la source S19 a la concentration maximale 650mg/l (la valeur guide Algérienne est de 200 mg/L).



**Figure IV-14** : variation de la concentration et sodium.

#### IV-4-2-4 Potassium :

Le potassium : bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium. Les valeurs obtenues du potassium sont inférieures de la norme de potabilité de 12 mg/l , sauf pour la source S31 C=15mg/l.



**Figure IV-15** : variation de la concentration en Potassium.

## IV-5 Interprétation des résultats :

Afin de comprendre l'origine des éléments chimiques dans les eaux des sources ainsi que la minéralisation, nous examinerons respectivement les faciès chimiques, les corrélations binaires et l'ACP.

### IV-5-1 Faciès chimiques des eaux :

La représentation des données d'analyse des eaux de sources (campagne 2003) sur le diagramme de PIPER indique que les sources sont du types : Bicarbonatée calcique et magnésienne, chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, chlorurée sodique et potassium. La représentation des résultats chimiques des eaux prélevées au niveau des 50 sources de Hammam Louan de l'année 2003 sur le diagramme de Piper montre que trois groupes ont été formés :

- groupe 1 est caractérisé par le faciès Bicarbonaté calcique et magnésienne avec un pourcentage de 80% et il est considéré comme le faciès le plus dominant ;
- groupe 2 est défini par le faciès Chlorurée et sulfaté, calcique et magnésienne de 14% ;
- groupe 3 présentes un faciès hyper chloruré calcique et hyper sulfaté calcique de 6%.

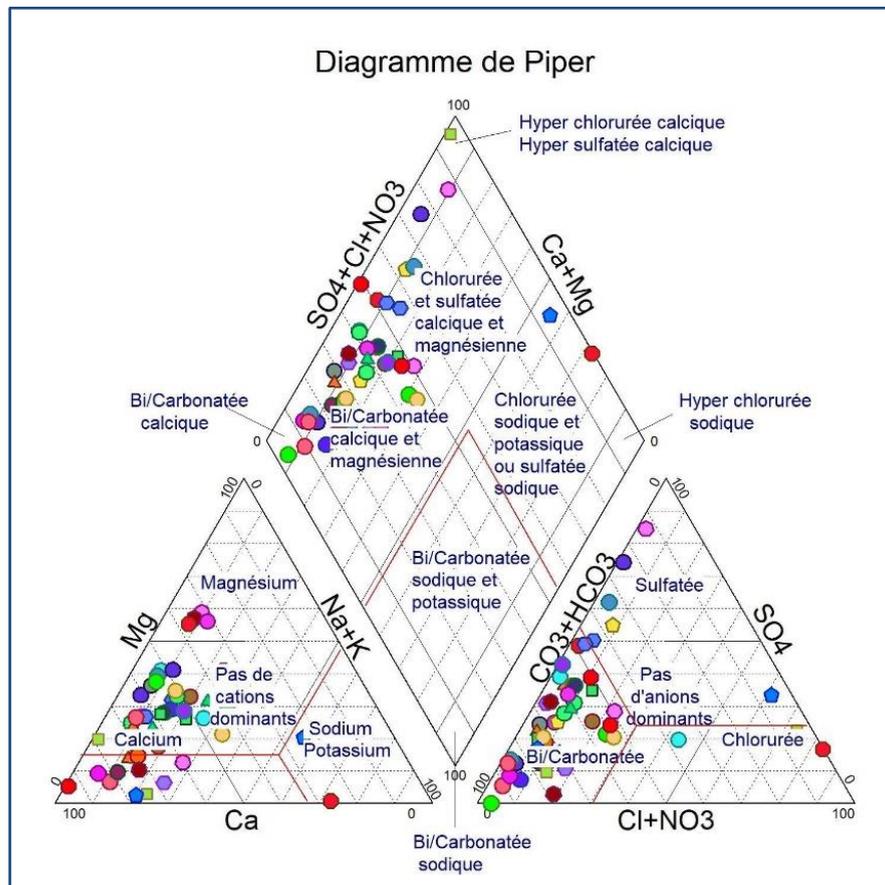


Figure IV-16 : Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources, PNC(2003).

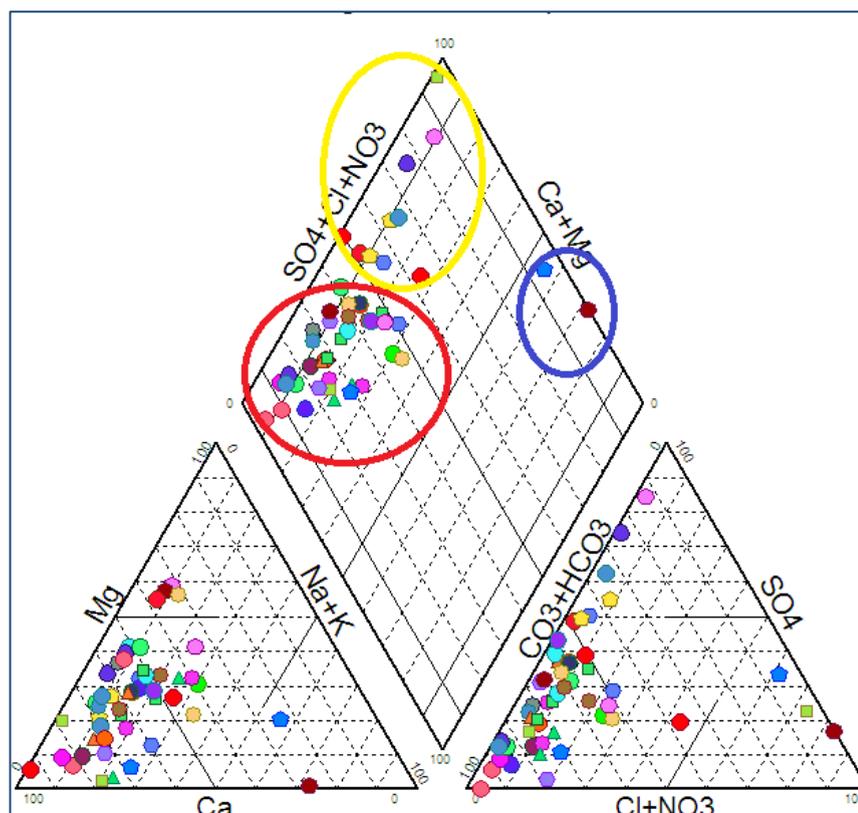


Figure IV-17 : Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources par groupe, PNC(2003).

### Interprétation :

Pour les 50 échantillons des sources, le diagramme de Piper nous a montré les trois faciès du types : Bicarbonatée calcique et magnésienne, chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, chlorurée sodique et potassium. On a fait présentation des diagrammes de Berkaloff selon les points de sources situé dans chaque faciès (groupe).

Groupe1 :

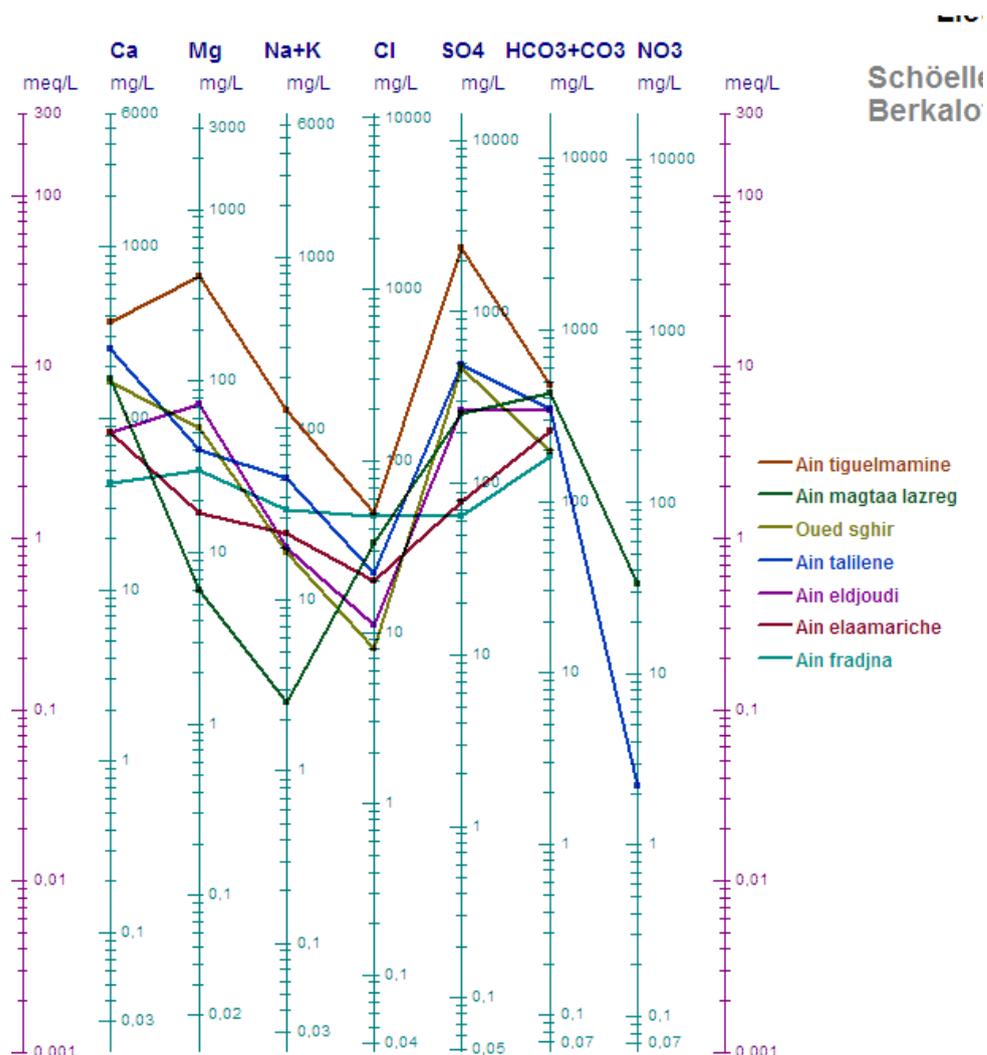


Figure IV-18 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G1.

Groupe2

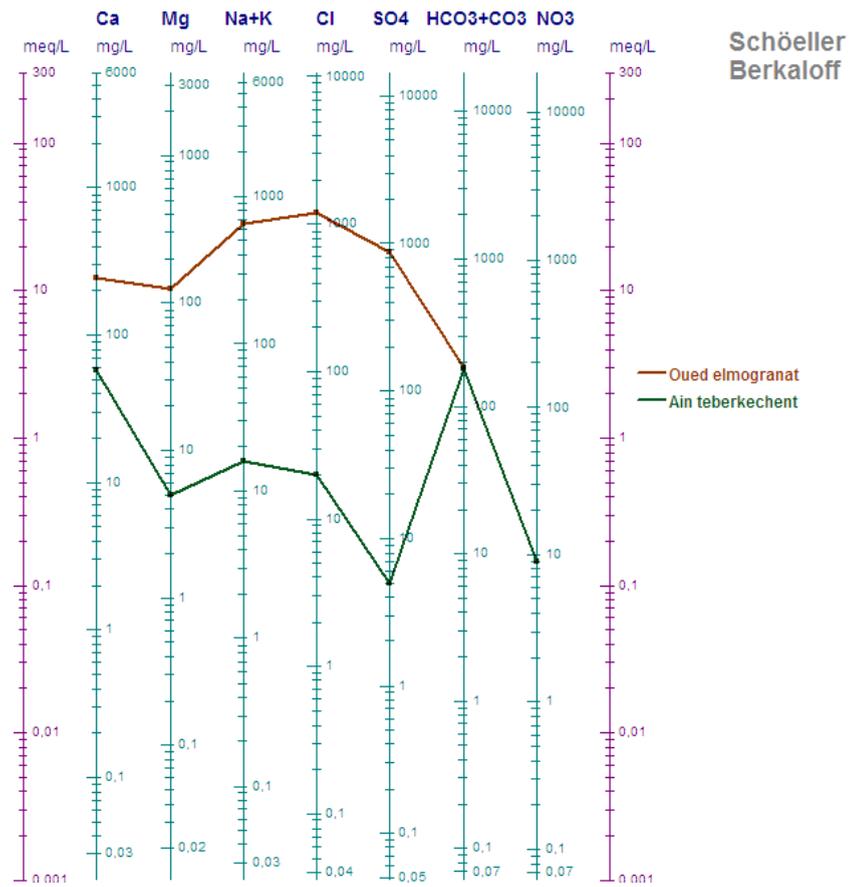


Figure IV-19 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G2.

**Groupe3** : On a divisé le 3ème groupe en 3 sous groupes pour qu'on puisse obtenir les diagrammes de Shoeller-Berkaloff.

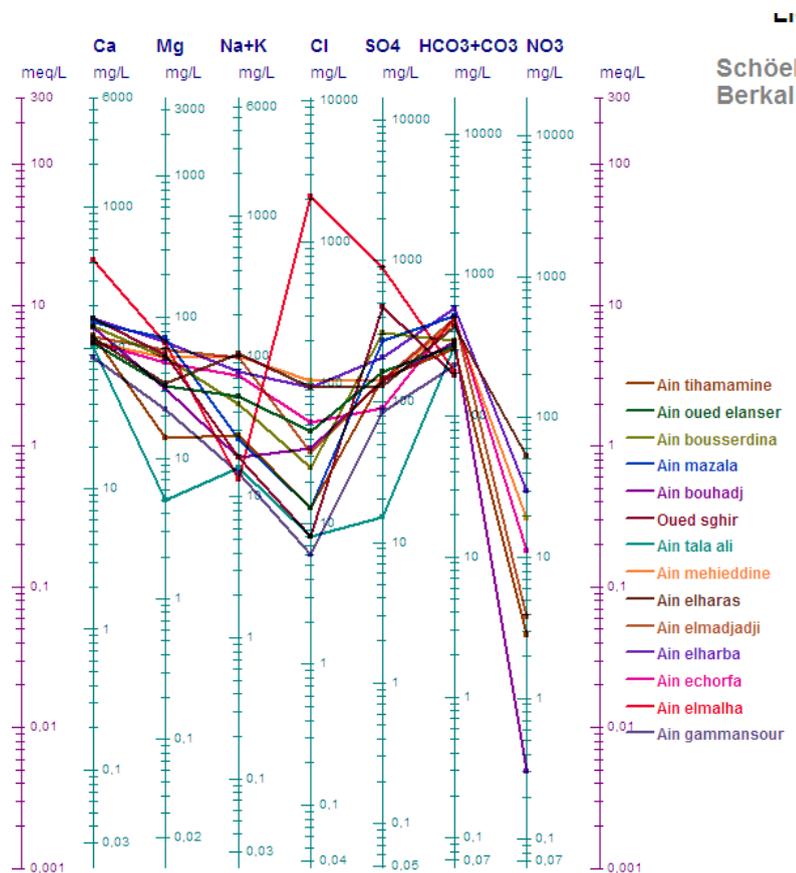


Figure IV-20 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G3.1.

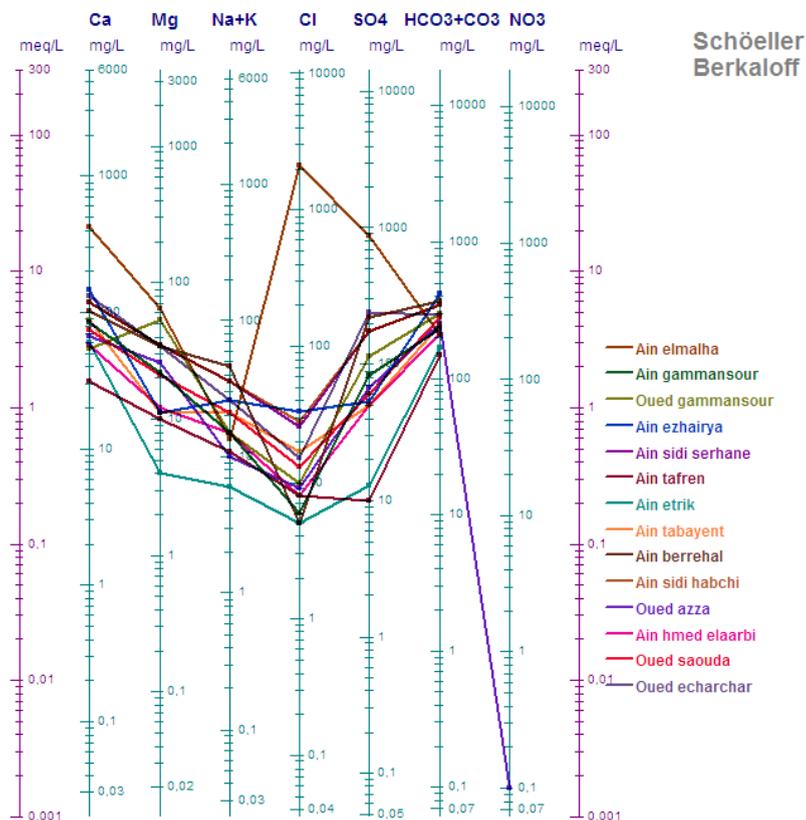


Figure IV-21 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G3.2.

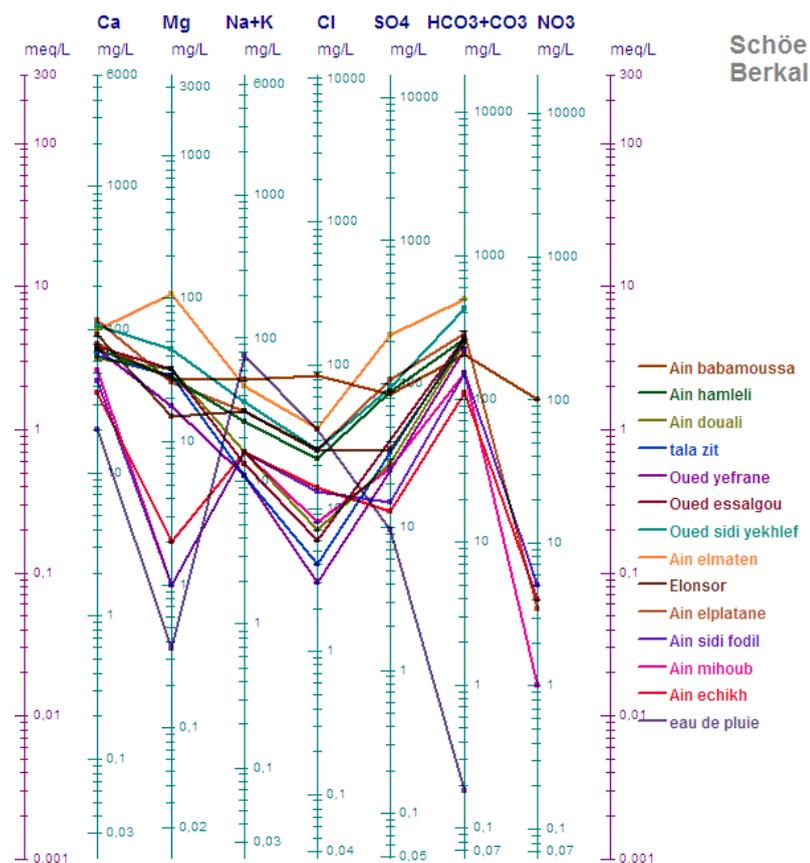


Figure IV-22 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources G3.3.

Les diagrammes de H. SCHOELLER BERKALOFF montrent trois familles d'eau, Bicarbonatée calcique et magnésienne, chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, chlorurée sodique et potassium.

Les groupes	Formules Caractéristiques		Faciès Chimiques
G1	$SO_4 > HCO_3 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	sulfatée calcique
G2	$Cl > SO_4 > HCO_3 > NO_3$	$Na+K > Ca > Mg$	chlorurée sodique
G3.1	$HCO_3 > SO_4 > Cl > NO_3$	$Ca > Mg > Na+K$	Bicarbonatée calcique
G3.2	$HCO_3 > SO_4 > Cl$	$Ca > Mg > Na+K$	Bicarbonatée calcique
G3.3	$HCO_3 > SO_4 > Cl > NO_3$	$Ca > Na+K > Mg$	Bicarbonatée calcique

Tableau IV-4: Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF.

#### IV-5-2 Origine des éléments chimiques et de la salinité :

Afin de déterminer l'origine des éléments chimiques et de la minéralisation totale des eaux des sources nous représenterons sur les diagrammes binaires ci- dessous les corrélations entre les principaux éléments ainsi que certains rapports caractéristiques.

#### IV-5-2-1 Couple (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) :

Le diagramme Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> montre que les points se répartissent le long d'une droite parallèle à la droite de dissolution de la halite ce qui suggère une origine liée à la dissolution au contact des niveaux argileuse et évaporitique qui pourraient exister dans les formations schisteux argileuses de la Chiffa.

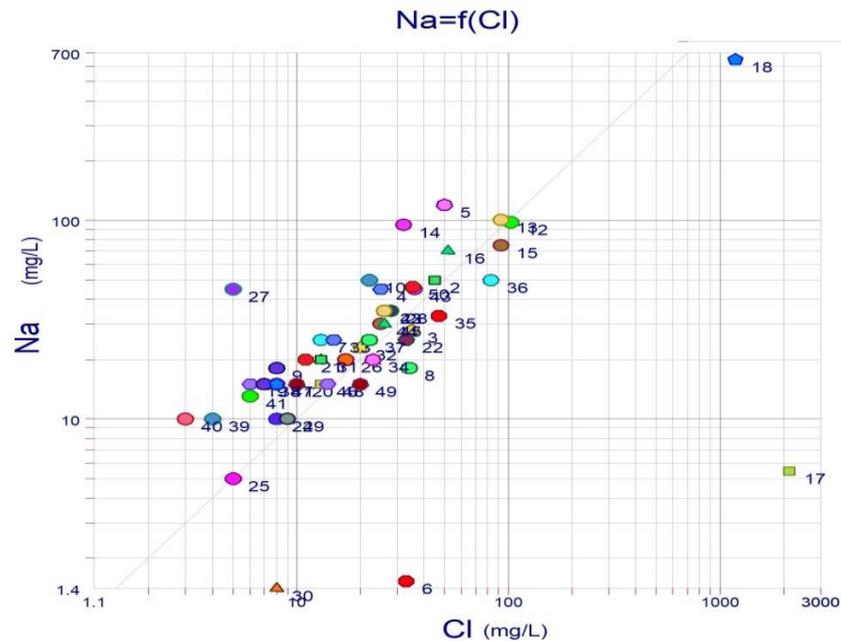


Figure IV-23 : Couple (Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>).

#### IV-5-2-2 Couple (Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>) :

Le digramme Ca<sup>2+</sup>- Cl<sup>-</sup> montre un enrichissement en ion Ca<sup>++</sup> qui n'est pas lié aux ions chlorures ce qui suggère que le calcium n'est pas lié la dissolution des évaporites ; mais il liée un phénomène soit de dissolution des niveaux carbonatés ou bien a un échange de base qui se produit dans les formations géologiques.

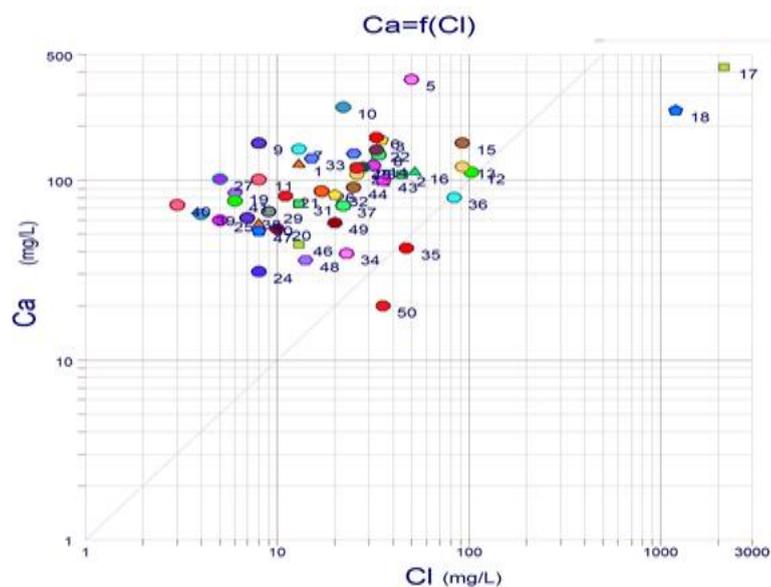


Figure IV-24 : Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ).

#### IV-5-2-3 Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ) :

La corrélation de  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ , les points d'eau qui se répartissent au-dessus et en dessous de la droite la dissolution de gypse  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Cette répartition se fait selon des droites parallèles à la droite de dissolution du gypse.

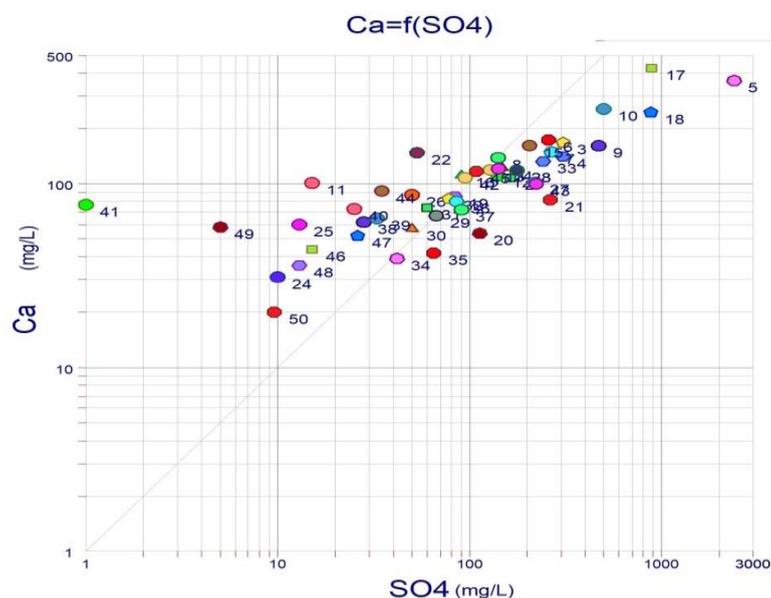


Figure IV-25: Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

#### IV-5-2-4 Couple (Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>):

La relation entre les ions de Mg/SO<sub>4</sub> montre que tous les points se répartissent sous la droite de pente 1 :1 sur une droite parallèle a la droite de la dissolution du minérale appelé celstite (MgSO<sub>4</sub>) donc leur origine pourrait être liée a la présence de ce minéral dans les formation géologiques de l'Atlas Blideen.

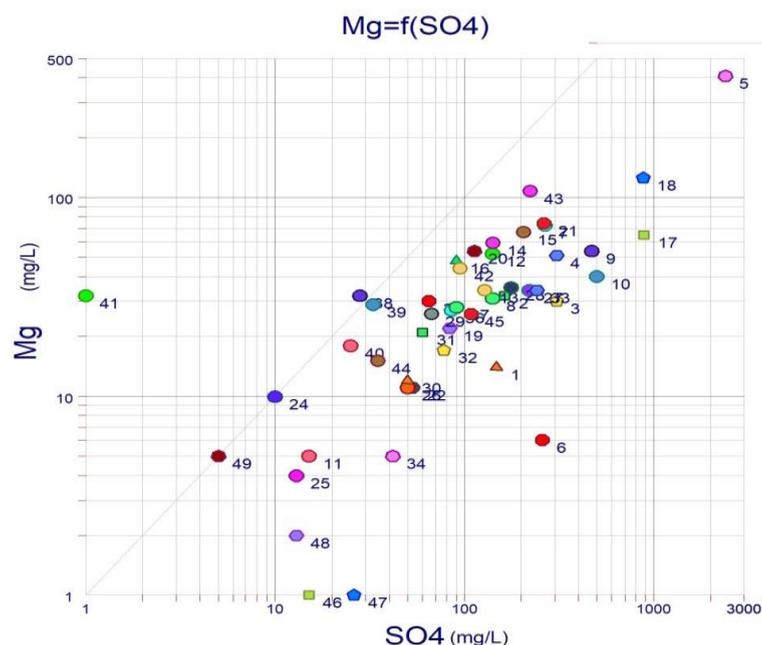


Figure III-26: Couple (Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

#### IV-5-2-5 Couple (Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) :

Le diagramme **Ca/HCO<sub>3</sub>** et **Mg/HCO<sub>3</sub>** montrent que la majorité des eaux des sources se trouvent en dessous de la droite de pente 1/1 et s'alignent sur une droite parallèle donc de même pente ce qui suggère une origine commune dissolution des carbonates (calcaire) et mise en solution du CO<sub>2</sub> dans un contexte calco carbonique.

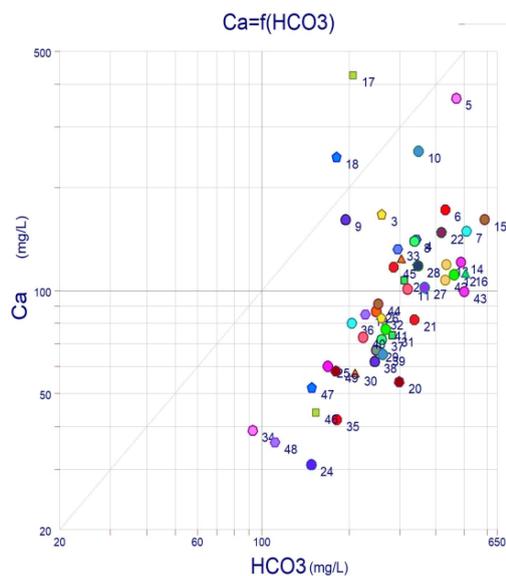


Figure IV-28 : Couple ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )

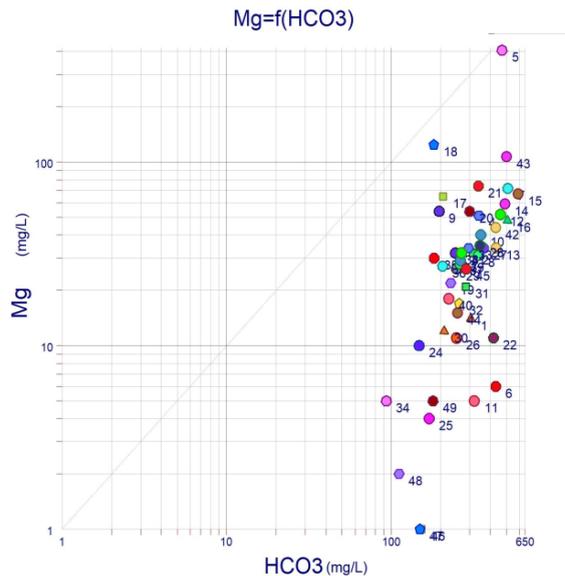


Figure IV-29 : Couple ( $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ )

#### IV-5-2-6 Le couple (TDS, $\text{Cl}^-$ ) :

Le diagramme montre une augmentation de la charge saline avec les ions chlorures ce qui suggère et confirme l'acquisition de la salinité par dissolution des différents niveaux de minéraux et sels présents dans les formations schisteux carbonatés et argileuses de l'Atlas Blidienne (Formations de la Chiffa).

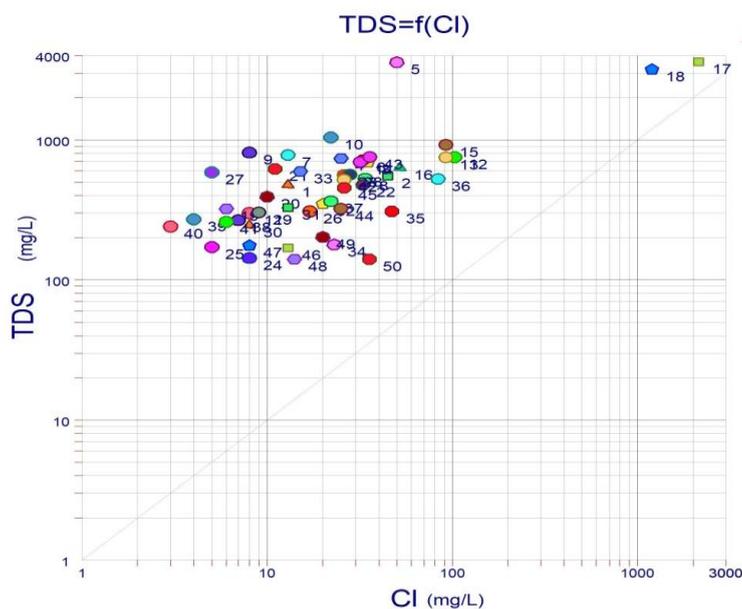


Figure IV-29 : Couple (TDS,  $\text{Cl}^-$ ).

#### IV-5-2-7 Le couple ( $\text{HCO}_3$ , Ph) :

La représentation graphique de l'évolution des points d'eau montre que y'en a une relation

linéaire entre l'augmentation du 'PH / HCO<sub>3</sub>), (ph/ca ) ,ce qui suggère que l'acquisition des ion de HCO<sub>3</sub> provient d'équilibre avec CO<sub>2</sub> atmosphérique et la dissolution des niveaux carbonatés lors du transit souterrain des eaux de pluie qui s'infiltrent en altitude .

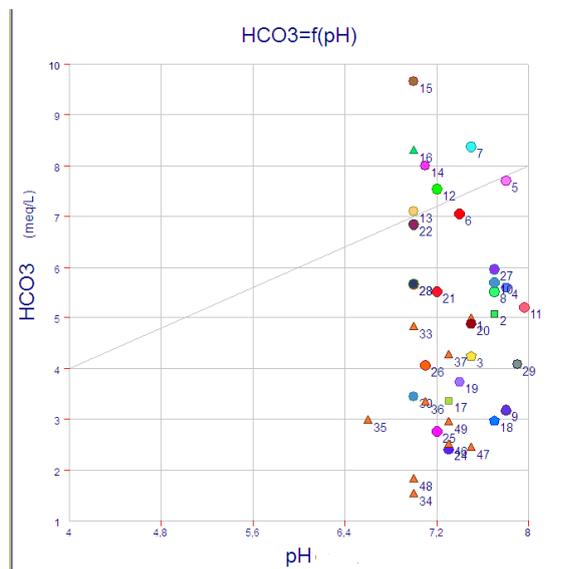


Figure IV-30 : Couple (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ph).

### IV-6 Application de l'outil statistique : L'Analyse en Composante Principale (ACP)

#### IV-6-1 Introduction :

On traite les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines des sources implantés dans les régions blidéen par l'analyse en composantes principale (ACP), dont l'objectif est d'identifier les faciès chimiques et l'interaction eau-roche afin d'expliquer l'occurrence de tel élément par rapport a un autre.

#### Variance totale expliquée

Composante	Valeurs propres initiales			Sommes de rotation du carré des chargements		
	Total	% de la variance	% cumulé	Total	% de la variance	% cumulé
1	3,228	35,866	35,866	3,081	34,235	<b>34,235</b>
2	1,520	16,884	52,750	1,640	18,221	<b>52,456</b>
3	1,025	11,392	64,142	1,052	11,686	<b>64,142</b>
4	,994	11,045	75,187			
5	,856	9,513	84,700			
6	,706	7,846	92,546			
7	,543	6,030	98,576			
8	,121	1,347	99,923			
9	,007	,077	<b>100,000</b>			

Tableau IV-5 : Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

		Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	CE
Corrélation	Ca	1,000	,624	,327	,068	,364	,659	,808	,040	,079
	Mg	,624	1,000	,361	,056	,397	,172	,925	,031	,060
	Na	,327	,361	1,000	,143	,037	,426	,381	,072	,036
	K	,068	,056	,143	1,000	-,278	,201	,133	,007	,016
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	,364	,397	,037	-,278	1,000	-,123	,239	,129	-,058
	Cl	,659	,172	,426	,201	-,123	1,000	,379	,036	,106
	SO <sub>4</sub>	,808	,925	,381	,133	,239	,379	1,000	,010	,071
	NO <sub>3</sub>	,040	,031	,072	,007	,129	,036	,010	1,000	,006
	CE	,079	,060	,036	,016	-,058	,106	,071	,006	1,000

**Tableau IV-6 :** Matrice de corrélation.

	Composante		
	1	2	3
Ca	,274	,061	,003
Mg	,316	-,111	-,105
Na	,093	,242	,198
K	-,070	,426	,009
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	,226	-,453	,138
Cl	,071	,393	,120
SO <sub>4</sub>	,307	,022	-,120
NO <sub>3</sub>	-,065	-,040	,930
CE	,009	,126	-,062

**Tableau IV-7 :** Matrice des coefficients des composantes.

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Méthode de rotation : Varimax avec normalisation Kaiser.

Scores des composantes.

Composante	1	2	3
1	1,000	,000	,000
2	,000	1,000	,000
3	,000	,000	1,000

**Tableau IV-8 :** Matrice de covariance des coefficients des composantes.

Méthode d'extraction : Analyse en composantes principales.

Méthode de rotation : Varimax avec normalisation Kaiser.

Scores des composantes

#### IV-6-2 Interprétation des données de l'ACP :

L'analyse en eau pesante principale (ACP) est une méthode de l'analyse statistique de données multidimensionnelle. Elle permet de rechercher les relations entre les variables chimiques et de regrouper celle qui présentent un comportement semblable afin d'avoir une idée sur l'évolution du chimisme des eaux souterraines.

Dans ce mémoire l'ACP a été appliquée aux données hydro-chimiques des sources de l'Atlas Blidéen pour extraire les principaux facteurs correspondants aux différentes sources de variations.

L'ACP a été faite sur les 50 sources réparties sur toute la zone d'étude

#### Interprétation selon les variables (éléments chimiques)

-Matrice de corrélation

-La matrice de corrélations déterminées à partir de logiciel, montre qu'il existe plusieurs corrélations significatives à moins significatives. Les coefficients de corrélations supérieurs à  $>0,7$  sont considérés comme significatifs et tous ceux compris entre  $0,5-0,7$  moins significatif

- Le cercle de corrélation selon les 2 principaux axes factoriels (F1 –F2).

- La répartition des différents variables selon les axes F1/F2 (cations, anions) montré que :

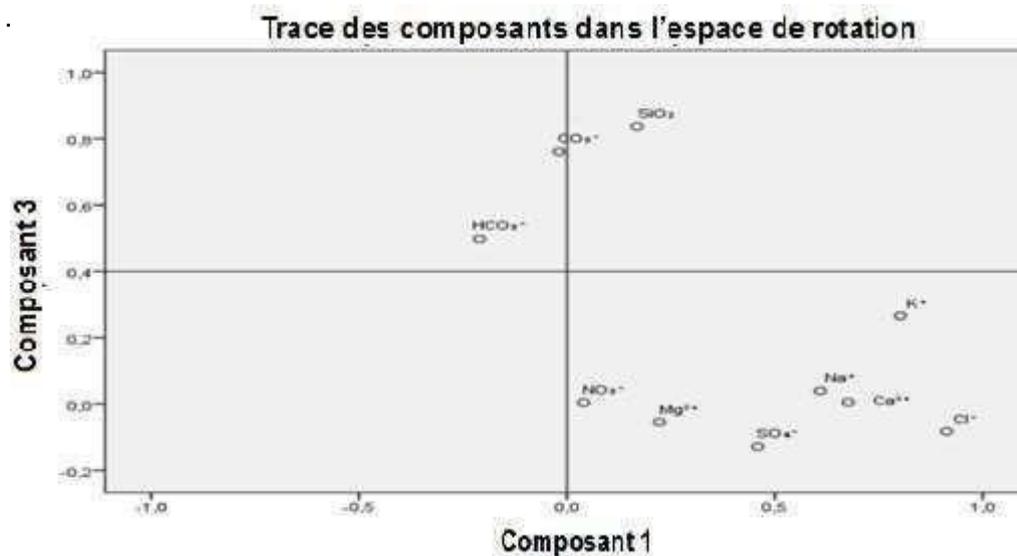
-La projection des variables sur le plan factoriel F1-F2 montre que l'axe F1 exprime plus de 39% de la variance totale, il est déterminé par les variables physico-chimiques :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , cet axe correspondant aux mécanismes d'acquisition de la salinité ou minéralisation des niveaux évaporitriques et salifères d'origine géologique (Interaction eau- roche).

On signifie la bonne corrélation entre ( $0,7-0,9$ ) l'axe F1 et les variables physico-chimiques  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ .

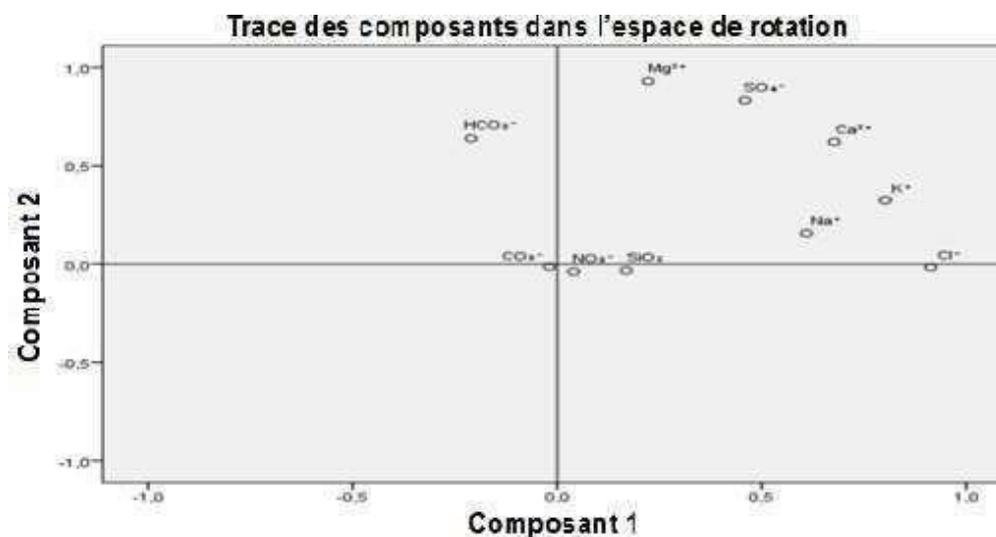
Le facteur F2 exprime 17% de la variance totale, il est représenté par les variables  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , cet explique sur l'équilibre calco-carboniques dans les formations aquifères.

-Analyse de l'espace des individus ( les sources de l'ATLAS Blidéen) L'analyse de la projection des individus sur le plan factoriel (1xZ) révèle que la répartition des échantillons se fait selon 3 groupes :

- Groupe 1 est représenté par la majeure partie des sources (S1 à S2), à l'exception des sources S17, S18 (groupe 2), (S30, S50) groupe 3 et S5 point singulier.
- Le groupe 1 est caractérisé par des eaux moyennement minéralisées, les points se placent sur la partie négative de l'axe factoriel 1 (entre -1 et +1) ;
- Le groupe 2 composé des sources S17, S18 qui se distingue par leur situation sur l'axe positif du F1, et avec leur minéralisation moyenne et souvent constituent des zones de circulation complètement différentes des autres sources.



**Figure IV-31** : Trace des composants 1 et 3.



**Figure IV -32** : Trace des composants 1 et 2.

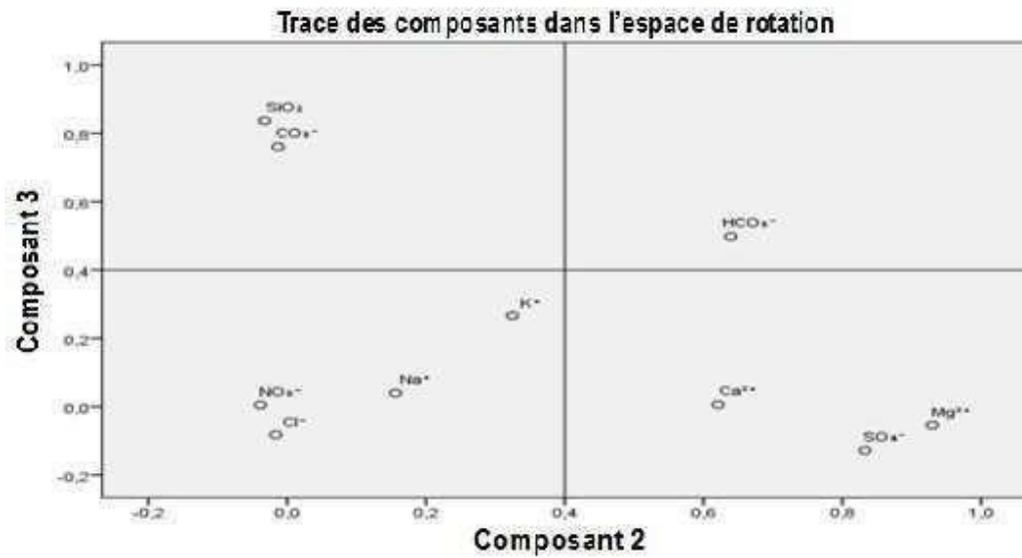
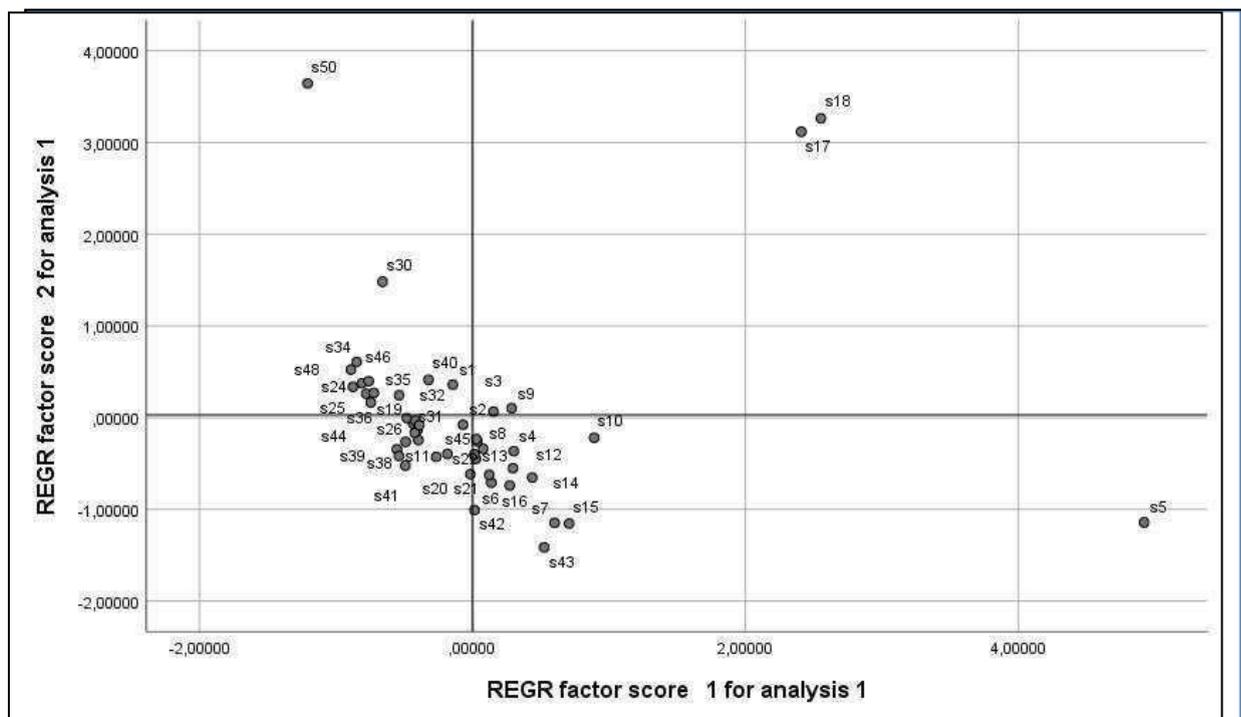


Figure IV-33 : Trace des composants 2 et 3



### IV-6-3 Conclusion :

L'étude des caractéristiques chimiques des eaux des sources de l'Atlas Blideen montre que ; Les eaux présentent trois faciès chimiques différents réparties selon trois groupes : sulfatée calcique, chlorurée sodique, bicarbonatée calcique

Les relations binaires entre les éléments chimiques suggèrent que la minéralisation est acquise par un double processus ; équilibre des eaux avec le CO<sub>2</sub> atmosphérique pour l'acquisition des ions hydrocarbonates et dissolution des différents sels présents dans les formations géologiques (puissante formation des schistes de la chiffa avec des intercalations carbonatés)

L'utilisation de l'outil statistique pour le traitement des données chimiques (ACP) a permis de voir les relations et corrélations entre tous les éléments chimiques ainsi que les relations entre les différentes sources ; en effet il ressort que la majorité des sources présentent des interconnexions entre elles sur le plan hydrodynamique.





## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude que nous avons menée dans le cadre de la protection et de la valorisation des eaux de sources du Parc National de Chr a a permis de mettre en évidence la bonne qualité physico-chimique des eaux étudiées.

En effet, l'exploitation des résultats de la campagne d'analyse obtenus par l'ANRH durant l'année (2003-2004) a permis de mettre en évidence une composition physico-chimique très équilibrée. Une dureté totale de 15 à 30  F classant ces eaux moyennement douces à moyennement dures.

Les composés Azotés trouvés sont égales à zéro pour les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ). Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont souvent très inférieurs à 50 mg/L pour l'ensemble des sources. . La source d'Ain babamoussa (S41), présente une teneur excessive en nitrates (100 mg/L), cette valeur est due essentiellement aux activités agricoles et aux élevages au voisinage de la source.

Les ions essentiels ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ ) sont présents dans l'ensemble des sources, on peut conclure sur une bonne qualité physico-chimique des eaux de sources.

Le faciès chimique des cinquante sources a été déterminé à partir de diagramme de Schoeller-Berkaloff ainsi que sur le diagramme de Piper, il ressort clairement que la dominance du faciès bicarbonaté calcique pour les cinquante sources étudiées. Les diagrammes binaires ont montré le prédominance du calcium parmi les cations et celle des bicarbonates parmi les anions dont le couple ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) donne une bonne corrélation ce que suggère que l'origine de ces deux éléments est liées entre eux.

La campagne d'analyse effectuée cette année a montré que la composition physico-chimique des eaux des cinquante sources n'a pas subi de grandes modifications et que les eaux ont gardé le même faciès chimique à savoir bicarbonaté-calcique.

Parmi les cinquante sources étudiées, la source S17 qui présente le plus faible débit (0.01l/s), est celle qui est la plus vulnérable, du essentiellement aux activités humaines et aux élevages.

L'A.C.P. permet d'explorer les liaisons entre variables et les ressemblances entre individus à travers la projection des variables dans les principaux axe factoriels Les résultats comparatives par l'analyse en composante principales (ACP) présente une corrélation des ions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ ).

En perspectives, il sera intéressant de faire une étude hydrogéologie complète sur tous le massif Blidéen, qui englobera une étude isotopique de l'eau afin de déterminer le volume de ces réserves, le sens d'écoulement, l'âge des eaux, le suivi du chimisme des eaux.



# ANNEXES

N°	Nom	X(Km)	Y(Km)	Z(Km)
S1	Ain tihamamine	537000	357850	200000
S2	Ain Oued elanser	539275	358800	160000
S3	Ain elmerbouni	536300	358550	120000
S4	Ain bousserdina	528600	352200	195000
S5	Ain bousserdina	528700	352400	150000
S6	Ain teguelmamine	528650	353150	190000
S7	bir maktaa lazreg	528400	352000	180000
S8	Ain mazala	527750	350900	210000
S9	Ain bouhadj	527300	351350	170000
S10	Oued sghir	531050	353600	120000
S11	Ain talilene	530800	354050	138000
S12	Ain tala ali	531100	354000	180000
S13	Ain mehieddine	542550	361800	120000
S14	Ain elharas	542300	361000	160000
S15	Ain elmadjadji	542300	361550	158000
S16	Ain elharba	542075	361550	158000
S17	Ain echorfa	542700	361100	120000
S18	Ain elmalha	532200	354775	120000
S19	Oued elmogranate	532500	355550	138000
S20	Ain gammansour	535125	354450	610000
S21	Oued gammansour	534950	354550	596000
S22	Ain eldjoudi	535250	354400	600000
S23	Ain ezhairya	528600	357100	150000
S24	Ain sidi serhane	528200	353550	480000
S25	Ain tafrent	521950	353750	1000000
S26	Ain etrik	523800	353600	758000
S27	Ain tabayent	530400	356600	300000
S28	Ain berrehal	524100	357125	245000
S29	Ain sidi habchi	519250	355800	205000
S30	Oued azza	514650	353500	280000
S31	Ain djeghdjough	510125	348600	530000
S32	Ain hmedelaarbi	510575	348650	520000
S33	Oued saouda	510400	350450	320000
S34	Ain laamariche	510450	350500	330000
S35	Oued echarchar	510350	350750	280000
S36	Ain nesreddine	511050	350750	400000
S37	Ain fradjna	511350	351250	325000
S38	Ain babamoussa	511400	351370	300000
S39	Ain hamleli	512400	351100	280000
S40	Ain douali	510050	347400	780000
S41	Tala zit	510100	346650	1090000
S42	Oued yefrane	509550	346650	1080000
S43	Oued essalgou	508600	347550	460000
S44	Oued sidi yekhlef	508710	349275	480000
S45	Ain elmaten	509550	350550	320000
S46	Elonser	512560	350525	330000
S47	Ain elplatane	512690	350725	310000
S48	Ain sidi fodil	507300	347275	440000
S49	Ain mihoub	506975	347575	450000
S50	Ain echikh	506750	347500	420000
S51	Ain teberkechent	514500	349275	610000

Sources	date	minéralisation	débit	conductivité
Ain tihamamine	07/07/2003	477	9	0,77
Ain oued elanser	06/07/2003	733	6	1,18
Ain elmerbouni	08/07/2003	810	0,8	1,31
Ain bousserdina	09/07/2003	948	0,1	1,53
Ain tiguelmamine	09/07/2003	3531	0,08	5,70
Bir magtaa lazreg	09/07/2003	1053	impo de jauger	1,70
Ain mazala	10/07/2003	1010	1,5	1,53
Ain bouhadj	10/07/2003	546	0,8	0,88
Oued sghir	11/07/2003	948	27	1,53
Ain talilene	10/07/2003	1190	0,8	1,92
Ain tala ali	10/07/2003	489	0,1	0,79
Ain mehieddine	12/07/2003	620	0,1	1,00
Ain elharas	12/07/2003	744	0,02	1,20
Ain elmadjadj	12/07/2003	725	0,02	1,17
Ain elharba	12/07/2003	1295	0,03	2,09
Ain echorfa	12/07/2003	971	0,01	1,57
Ain elmalha	13/07/2003	4774	0,03	7,70
Oued elmogranat	14/07/2003	3563	10	5,75
Ain gammansour	14/07/2003	552	5	0,89
Oued gammansour	14/07/2003	481	9	0,78
Ain eldjoudi	14/07/2003	826	0,8	1,33
Ain ezhairya	15/07/2003	496	2,2	0,60
Ain sidi serhane	15/07/2003	391	1,8	0,53
Ain tafren	15/07/2003	176	5,3	0,28
Ain etrik	15/07/2003	176	1,2	0,28
Ain tabayent	15/07/2003	468	0,5	0,75
Ain berrehal	15/07/2003	570	1,1	0,92
Ain sidi habchi	20/07/2003	570	0,3	0,92
Oued azza	20/07/2003	425	2,8	0,68
Ain djeghdhjough	22/07/2003		3,2	
Ain hmed elaarbi	22/07/2003	387	0,6	0,62
Oued saouda	23/07/2003	329	3,2	0,53
Ain elaamariche	23/07/2003	372	2	0,60
Oued echarchar	23/07/2003	589	2,8	0,95
Ain nesreddine	23/07/2003	180	0,7	0,29
Ain fradjna	23/07/2003	322	0,1	0,52
Ain babamoussa	23/07/2003	322	0,09	0,52
Ain hamleli	23/07/2003	391	0,1	0,63
Ain douali	26/07/2003	421	0,1	0,68
Tala zit	26/07/2003	418	6	0,67
Oued yebrane	26/07/2003	354	4	57
Oued essalgou	26/07/2003	458	>50	0,74
Oued sidi yekhlef	26/07/2003	727	0,08	1,17
Ain elmaten	27/07/2003	1150	0,15	1,85
Elonsor	27/03/2003	494	1,6	0,80
Ain elplatane	27/07/2003	626	0,9	1,01
Ain sidi fodil	28/07/2003	180	1,7	0,29
Ain mihoub	27/07/2003	167	2,7	0,27
Ain echikh	28/07/2003	136		0,22
Ain teberkechent	25/07/2003	354	0,3	0,57

## Référence Bibliographiques :

[01] : **BNEF, 1984**- Etude du milieu du parc national de Chrèa. Bureau national des études forestières. Blida. 150 P.

[02] : **ONU pour l'alimentation et l'agriculture**, rapport technique Optimiser la production des biens et services par les écosystèmes boisés méditerranéens dans un contexte de changements globaux, Avril 2016.

[03] : **DEGREMONT SA ; 2005** « Mémento technique de l'eau », Tome I, deuxième édition, page 39.

[04] : Bureaux du PNC.

[05] : **MEDDOUR R. 1994** : Contribution à l'étude phyto sociologique de la portion Centro-orientale du parc national de Chrèa. Essai d'interprétation synthétique des étages et des séries de végétation de l'atlas Blidéen. Thèse de Magister. INA. Alger.

[06] : **ANONYME, 2005 a –plan de gestion du parc national de chrèa. Ed, du parc de chrèa, période quinquennale 2005-2009,212P.**

[07] : **R.DAHEL ,2015.** Le parc national de Chrèa et une aire protégée à l'influence régionale, revue agrobiologie.

[08] : **SBABDJI M. 1997** : Contribution à l'étude de la perte de croissance de *Cedrus atlantica* Manetti suite aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* schiff. Mémoire de magistère. INA. Alger.

[09] : **SBABDJI M., OLDACHE E. H., HADDAD A., KADIK B. & LAMBS L. 2009:** Cedar tree growth (*Cedrus atlantica* Manetti) in chrèa national park, Algeria, and the influence of defoliation by the pin processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* schiff). Rev. Écol. (Terre vie), vol. 64.

[10] : **Ch.BELAMRIA, 2017.** Etude contribution à l'étude hydro chimique et isotopique des eaux des monts de chrea. Mémoire fin d'étude, Université de SAAD DAHLEB BLIDA.

[11] : **MEDDOUR, R.2002.** Bioclimats, étages et séries de végétation de l'Atlas Blidéen (Algérie). Phytocoenologia, 32, 101-128.

[12] : **YAHY, N.2007.** Les cédraies d'Algérie : phytoecologie, phytosociologie, dynamique et conservation des peuplements. Université des sciences et de la technologie «Houari Boumediene». 265p.

[13] : **I.GUECHOU, 2016.** Cartographie et structure de *tacus baccata* à chrea en relation avec la structure de l'espace dominante (cèdre de l'Atlas). magistère en science agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[14] : **N.OUADAH, 2016.** Parc National de Chrèa, Algérie. Estimation de la valeur économique et sociale des services rendus par les écosystèmes forestière méditerranéens-Parc National de Chrèa, Algérie.

[15] : **RAMADE F., 2002** : Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, 2eme édition DUNOD, Paris.

[16] : **JEAN-CHRISTOPHE BLIGNY, PHILIPPE HARTEMANN, 2005**. Les eaux minérales naturelles et les eaux de source : cadre réglementaire et technique, Département « Environnement et Santé publique », SERES, faculté de médecine, France

[17] : **Décret exécutif n 04-196 du 15 juillet 2004**, relatif a l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et les eaux de sources. Journal Officiel de la République Algérienne 2004

[18] : **SCHOELLER H ; 1974**, les eaux souterraines. Ed : Multon, 520p.

[19] : **KASSIM COULIBALY ; 2005**, Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako, thèse de doctorat, Université de Bamako.

[20] : **Monique TARDAT-HENRY, Jean-Paul Beaudry, 1993** : « Chimie des eaux ». 2eme éditions, Ed le Griffon d'argile, Québec, 537p.

[21] : **Overrein, L.N. 1972**, Sulfur pollution patterns observed: leaching of calcium in forest soil determined. Ambio, p145.

[22] : **Raymond Desjardins**, « *le traitement des eaux* », Edition de l'E.P. Montréal, (1990).

[23] : Rapport scientifique sur l'eau santé public (2003), Nitrates/ Nitrites, Dans Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de santé publique du Québec, 12 p.