

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MENISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT**



**MEMOIRE**

**En vue de l'obtention du diplôme Master 2 en Hydraulique**

**Option : Sciences de l'eau**

**THEME**

**CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES ET**  
**ISOTOPIQUES DES EAUX DES SOURCES **DU SECTEUR****  
****D'EL HAMDANIA, PARC NATIONAL DE CHREA****

Présenté par :

Mr. BANDOUI Mohamed Lamine

Devant le jury composé de :

- |                                  |            |           |
|----------------------------------|------------|-----------|
| - M. BESSENESE Mohamed           | Prof USDB  | Président |
| - M. GUENDOZ Abdelhamid          | Prof USDB  | Promoteur |
| - M. KHOULI Mohamed Réda         | MAA USDB   | Examineur |
| - M. CHERCHALI Mohamed El Hocine | C R CRNA   | Examineur |
| - M. DEHAL RAMDANE               | Dr PNCHREA | Invité    |

Année Universitaire : 2012/2013

## Remerciements

*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 et de mes travaux sur terrain.*

*Ce mémoire de fin d'étude est rendu possible grâce aux opérations de terrain effectuées avec l'équipe du Parc National de Chréa, ainsi qu'au stage qu'on a effectué au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA), sans oublier le laboratoire de la chimie des eaux de l'Agence National des Ressources Hydriques (ANRH) d'Alger, et le parc national de Chréa (PNC).*

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

*«Toujours disponible, d'une gentillesse non mesurable, et d'une patience remarquable ».*

*J'adresse mes vifs remerciements aux membres du jury, BESSENESS Mohamed, M.KHOULI Mohamed Réda et CHERCHALI Mohamed El Hocine qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail.*

*Je voudrais remercier Monsieur CHERCHALI Mohamed El Hocine chef de laboratoire de spectrométrie de masse pour leur aide avec gentillesse et patience dans la réalisation des analyses isotopiques.*

*Hommages respectueux à Monsieur LOUALHI Ismail ;directeur de département de datation et traçage isotopique , Monsieur Pr Moula Adnane : chef de département de datation et traçage isotopique , Melle chaid zoubida Chef de laboratoire de datation du tritium, Monsieur TOUMI Samir et Monsieur OUAREZKI Sidaali chef de laboratoire de l'hydrochimie , pour leurs aides et contribution précieuses dans la réalisation de ce présent travail mise à disposition de moyens humains et logistiques.*

*J*e voudrais aussi remercier Madame KOUIDER , Chef de service de l'Agence National des Ressources Hydriques d'Alger, pour sa disponibilité, complicité et son efficace assistance, durant toute la période de réalisation de ce travail.

*J'*aimerais adresser un remerciement particulier à Monsieur DAHAL, Directeur du Parc National de Chréa, pour son aide, sa gentillesse et son soutien tout au long du travail.

*S*ans la présence permanente sur le terrain, et avec une ambiance conviviale et familiale, de Mr EL FERROUDJI Rédha, Mr FERROUKHI Ahmed et Mr AZZOUT Chafik je n'aurai pu aboutir à la donnée du terrain. Ma reconnaissance, envers cette équipe est très profonde.

*M*a profonde et sincère reconnaissance s'adresse également à Monsieur Bensafia, Monsieur Aouabed, pour leurs aides.

*J'*adresse mes chaleureux remerciements à ma famille, mes amis pour leur soutien. Je les remercie d'avoir toujours cru en moi, cela m'a permis d'atteindre mes objectifs. Puissent-ils trouver ici l'expression de ma gratitude.

*S*ans oublier de remercier, tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour le bon déroulement de notre travail.

# *Dédicace*

*- À mes chers parents*

*- Mon frère Ahmed, Sa femme Khadidja et ses  
enfants Mohcine et Asaa.*

*- À mon frère Loheir*

*- Mes sœurs, Madina,*

*Djazia, Hadjer,*

*et Ikrame.*

*À toute ma famille*

*À mes amies :*

*Bisfel, et Mousoud*

*Je dédie ce travail*

*Je dédie ce travail aussi*

*À ma deuxième famille,*

*Mama Djahida.*

*Mon frère Sid Ahmed, sa femme,*

*et ses enfants*

*et mes sœurs : Hanane et Habiba*

# *Dédicace*

*À ma femme :*

*Sarra*

*À qui j'exprime ma*

*Gratitude pour son soutien*

*Moral durant ce travail.*

*Merci*

*Amine*

## *Introduction*

**L**a bonne connaissance du cheminement hydrogéologique nécessite de répondre aux interrogations sur l'origine de l'eau et de sa minéralisation, sur l'histoire de l'eau depuis les parties profondes où elle a acquis l'essentiel de sa minéralisation jusqu'à la zone d'émergence et enfin sur la durée du circuit. Les méthodes isotopiques se prêtent remarquablement à ce genre d'études et sont souvent performantes [1].

**L**es premières applications des isotopes en Algérie ont été initiées sous l'égide de l'UNESCO au début des années 1970 à l'occasion du projet ERESS (Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional). [2].

**D**ans cette optique, les eaux de sources d'EL Hamdania ont été étudiées dans le cadre du projet de fin d'étude proposé par le département des sciences de l'eau et de l'environnement (Université de BLIDA), en collaboration avec le Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA), au Département de la Datation et du Traçage Isotopique, l'Agence Nationale des Ressources Hydriques d'Alger (ANRH), et le parc national de Chréa (PNC).

**A** partir des campagnes d'échantillonnages des eaux de sources de la région d'El Hamdania, des analyses hydrochimiques (ions majeurs, et quelque traceurs), et isotopiques (isotopes stables, et radioactif de la molécule d'eau) ont été effectuées au CRNA et l'ANRH, ce travail se propose de déterminer l'origine des eaux et leurs chimismes, et le temps de transit afin de comprendre le fonctionnement hydrodynamique des sources

**P**our ce faire, différents aspects liés à la géologie, l'hydrogéologie et aux propriétés physico-chimiques et isotopiques des eaux ont été développés dans cette étude.

**L**e premier chapitre est consacré aux caractéristiques générales du milieu « situation géographique, aperçu géomorphologique, caractéristiques climatologiques, et l'aperçu géologique et hydrogéologique de la région.

**L**e deuxième chapitre concerne la méthodologie du travail, ce chapitre est divisé en deux parties, la partie terrains et échantillonnage, ainsi la présentation des points de prélèvements sur la carte topographique de la région.

***L***a seconde partie concerne le travail en laboratoire pour les analyses des échantillons recueillis sur le plan hydrochimique et isotopique au département de la datation et du traçage isotopique (CRNA).

***L***e dernier chapitre, portera sur la discussion et l'interprétation des résultats obtenues. La phase hydrochimique repose essentiellement sur l'interprétation des résultats des analyses en éléments majeurs et quelques éléments en traces des eaux considérées.

***L***a deuxième phase qui s'intéresse au traçage isotopique sera abordé par des analyses des teneurs mesurées en isotopes de la molécule d'eau ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$ ) dans le but de déterminer l'origine et le temps de parcours des eaux.

## ملخص

تعتبر المياه الجوفية المنبع الرئيسي للماء الشروب بمقاطعة الحمداية التي تقع بالأطلس البليدي جنوب غرب الحظيرة الوطنية للشريعة وتمتد على مساحة تقدر بـ 8825 هكتار. إن تعقيدات التركيبة الجيولوجية والهيدروجيولوجية للتجويات لهذه المنطقة، تقودنا إلى إتباع دراسات تعطينا مفاهيم أكثر دقة. وعليه فإن الدراسة المتبعة في إطار انجاز هذه المذكرة تتمثل في دراسة الخصائص الهيدروكيميائية و النظائر من أجل معرفة هذه المياه الجوفية أكثر. أيضا الدراسة الكيميائية التي أضيفت إليها دراسة النظائر الثابتة  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ , و المشعة  $^3\text{H}$  لذرة الماء, سمحت لنا من تحديد مصدر العناصر المنحلة ومعدنيتها, التأكد من أن مصدر هذه المياه الجوفية هو مياه الأمطار الحالية, وقت العبور, والسن النوعي لمختلف المياه المدروسة, وأيضا المفهوم الإدرو ديناميكي لتركيبات الألواح الصخرية و الكلسية.

كلمات المفتاح: الحمداية، الحظيرة الوطنية للشريعة، مياه المنابع، هيدرو كيمياء، النظائر.

## Résumé

L'eau souterraine constitue la principale source en eau potable dans le secteur d'El Hamdania qui situé sur l'Atlas Blidéen et s'étend au sud-ouest du parc national de Chréa (Wilaya de Blida) avec une superficie de 8825 ha. La complexité du contexte géologique ainsi que le fonctionnement hydrogéologique des aquifères font que l'apport de nouvelles méthodes et prospections sont plus que nécessaires.

L'étude menée dans le cadre de ce mémoire s'inscrit dans cette optique et consiste à appliquer les méthodes hydrochimiques et isotopiques pour la connaissance de ces ressources.

Ainsi l'étude du chimisme des eaux des 16 sources échantillonnées à travers toute la zone couplée à l'étude des isotopes stables de la molécule d'eau Oxygène-18 et Deutérium et radioactifs (Tritium) ont permis de préciser l'origine des éléments dissous, l'acquisition de la minéralisation des eaux, confirmation de la recharge par les eaux de pluie actuelles, le temps de transit et donc l'âge qualitatif des eaux des différentes sources et aussi le fonctionnement hydrodynamique des ces formations schisteuses, marneuse et calcaireuses de la chiffa.

Mots clés : El Hamdania, PNC, Eau des sources, Hydrochimie, Isotopes.

## Abstract

Groundwater is the main source of drinking water in the region of El Hamdania located on the Atlas Blideen and which extends to the south-west of the national park of. (Wilaya of Blida) with an area of 8825 ha. The complexity of the geological context as well as the operation of

hydrogeological aquifers from that the contribution of new methods and surveys are more than necessary.

The study carried out in the framework of this memory is inscribed in this context and is to apply the methods hydrochemical and isotopic to the knowledge of these resources.

Thus the study of the chemistry of waters of 16 sources sampled across the entire area coupled to the study of stable isotopes in the water molecule oxygen-18 and Deuterium and radioactive (Tritium) have helped to clarify the origin of dissolved elements, The acquisition of the mineralization of waters, Confirmation of the recharging by the waters of current rain, The transit time and thus the age of qualitative waters of different sources and also the hydrodynamic functioning of these formations shales, Kentish ragstone and calcaireuses of la Chiffa.

**Key words :**El Hamdania, PNC, Groundwater, Hydrochemical, Isotopic.

**CHAPITRE I**

**PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET**

**GEOMORPHOLOGIQUE DU PARC**

**NATIONAL DE CHREA**

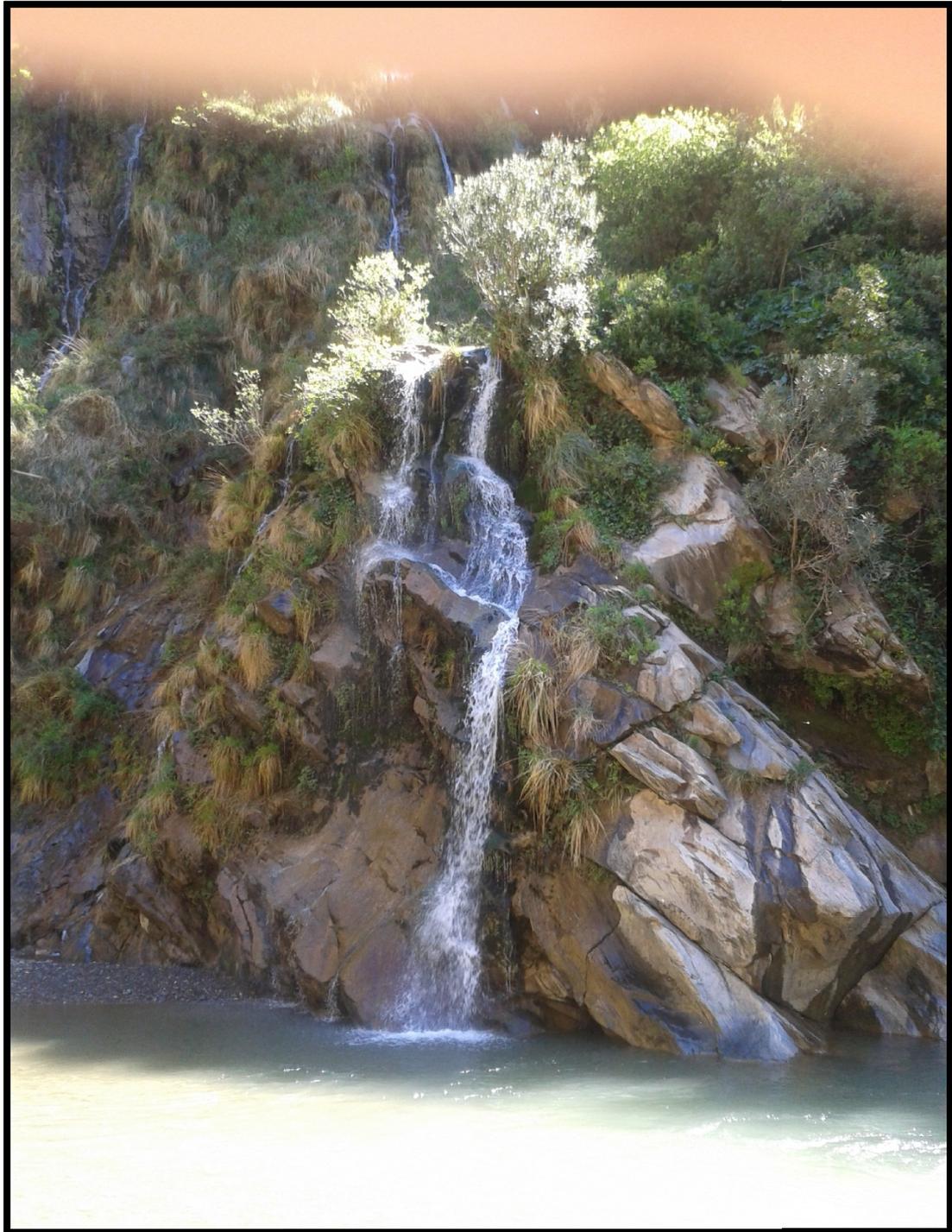
**CHAPITRE II**  
**METHODOLOGIE**

**CHAPIRE III**

**DISCUSSION ET INTERPRETATION DES**

**RESULTATS HYDROCHIMIQUES ET**

**ISOTOPIQUES**



La grande cascade de la Chiffa (photo originale)

## Références bibliographiques

- [1] : **M. SOU. 2008.** Hydrochimie, Chimie isotopique, 2eme édition, version1, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2IE), 37 p.
- [2] : **A.S. MOULLA<sup>1</sup>, A. GUENDOZ<sup>2</sup>, M.EH. CHERCHALI, Z. REGHIS<sup>1</sup>, Z. CHAID<sup>1</sup>, S. OUAREZKI<sup>1</sup>, A. REZKA<sup>1</sup>, D. FENTOUS :** Aperçue de quelque résultats importants de géochimie isotopique obtenues pour les grands ensembles aquifères du Sahara Algérien, <sup>1</sup>Centre de Recherche Nucléaire d'Alger, Département de la Datation et du Traçage Isotopique, <sup>2</sup>Université de Blida, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département de Génie Rural, 170 p.
- [3] : **MEDDOUR R. 1994 :** Contribution à l'étude phytosociologique de la portion Centro-orientale du parc national de Chréa. Essai d'interprétation synthétique des étages et des séries de végétation de l'atlas Blidéen. Thèse de Magister. INA. Alger.
- [4] : **BNEF, 1984 –** Etude du milieu du parc national de Chréa. Bureau national des études forestières. Blida. 150 p.
- [5] : **ANONYME. 2000 :** Plan de gestion I. Période quinquennale 2000– 2005. Parc national de Chréa.
- [6] : **ANONYME. 2005 a –** Plan de gestion II du Parc National de Chréa. Ed, du Parc de Chréa, période quinquennale 2005-2009, 212P.
- [7] : **S.CHANANE. 2011 :** l'étude comparative des paramètres physicochimiques et microbiologiques des eaux de sources du parc national de chréa, Mémoire de Master 2 d, 81p.
- [8] : **MESSAOUD Nassima. 2011 :** Contribution à l'étude de la répartition des chauves-souris au Parc National de Chréa, Mémoire de magistère, Université SAAD DAHLAB BLIDA, 145p.
- [9] : **ABDELOUAHAB Rachid, BELAID Messaouda, 2013.** Contribution à l'étude hydrogéologique des eaux thermo-minérales de Hammam Righa, mémoire de master, université de khemis-Miliana.
- [10] : **M. FICHEUR. 1896 :** Carte géologique de Blida avec notice explicatif.
- [11] : **ANRH.2005.** Etudes des émergences d'eau du versant nord de l'atlas Blideen.

[12]: **RODIER. Jean, 2009.** « L'analyse de l'eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer : physico-chimie, bactériologie et biologie », 9 ième édition, Dunod, Paris.

[13]: **CRNA, ANONYME. 2013 Le spectromètre laser picaro.**

[14] : **MILANKA BABIC, 2006.** Enrichissement électrolytique de l'eau pour dosage du tritium par comptage en scintillation liquide à bas niveau, université d'AVIGNON.

[15] : **Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011,** relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Journal officiel de la République algérienne.2011.

[16] : **MOHAMED FETHI BEN HAMOUDA, 2008.** Approche hydrogéochimique et isotopique des systèmes aquifères côtiers du cap bon: cas des nappes de la cote orientale et d'el haouaria, thèse de doctorat en sciences agronomiques, Université du 7 novembre à Carthage, Tunisie.

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

[18] : **GOUAIDIA Layachi, 2008.** Influence de la lithologie et des conditions climatique sur la variation des paramètres physicochimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien. Thèse de doctorat en sciences, Université de BADJI MOKHTAR-ANNABA, 199 p.

[19] : **DIB IMENE, 2009.** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine - Ain yaghout (Est Algérien), mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar Batna.

[20] : **NEZL Imed Eddine, ACHOUR Samia, HAMDI-AÏSSA Baelhadj, 2009.** Approche hydrogéochimique à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'oued M'ya (OUARGLA), Université de BISKRA.

[21]: **MOHAMED Ahmed Salem, 2012.**Approches hydrodynamique et géochimique de la recharge de la nappe du Trarza, sud-ouest de laMauritanie, Thèse de doctorat, Université de Paris-sud, 180 p.

[22]:**FEHDI Chemseddine<sup>1</sup>, BOUDOUKHA Abderrahmane<sup>2</sup>, ROUABHIA Abdelkader<sup>1</sup>, SALAMEH Elias<sup>3</sup>, 2009.** Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du

complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien), <sup>1</sup>Centre Universitaire de Tébessa, Institut des Sciences de la Terre, <sup>2</sup>Université de Batna, Département d'Hydraulique, <sup>3</sup>University of Jordan, Département of Géology, Amman, Jordanie

**[23] : S.F.R.P. société française de radioprotection.2002.** Le tritium et l'environnement, 11page.

# SOMMAIRE

Introduction

## Chapitre I : Présentation géographique et géomorphologique du PNC

I.	PRESENTATION DU PARC NATIONAL DE CHRÉA.....	1
II.	CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'ETUDE.....	3
1.1.	Situation.....	3
2.1.	Accès.....	3
III.	APERÇU GEOMORPHOLOGIQUE DU PNC.....	4
3.1.	Le réseau hydrographique du PNC.....	4
3.2.	La topographie.....	6
3.3.	La végétation.....	6
IV.	CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES.....	6
4.1.	Les précipitations.....	6
4.2.	La température.....	10
V.	CADRE GEOLOGIQUE.....	11
5.1.	Introduction.....	11
5.2.	Aperçu géologique sur la région d'étude.....	11
5.2.1.	Introduction.....	13
5.2.2.	Description lithostratigraphique.....	13
5.2.2.1.	Primaire.....	13
a)	Schiste d'âge primaire : schiste de la Chiffa.....	13
5.2.3.	Secondaire.....	13
5.2.3.1.	le Lias "L".....	13
5.2.3.2.	Le crétacé.....	13
a)	Crétacé inférieur C.I.V.....	13
b)	Cénomaniens.....	13
c)	Le Sénonien C <sup>(8-7)</sup> .....	13
5.2.4.	Le quaternaire.....	14
1.2.	La tectonique.....	14
1.3.	Contexte hydrogéologique.....	14

## Chapitre II : Méthodologie

I.	Objectif.....	15
----	---------------	----

1.1. Partie terrain.....	15
1.1.1. Echantillonnage.....	15
1.1.2. Les débits.....	17
1.1.3. Présentation géographique des points d'eau sur la carte topographique.....	18
1.2. Partie analytique.....	19
1.2.1. Analyses hydrochimiques.....	20
1.2.2. Analyses isotopique.....	20
II. Mode opératoire.....	20
2.1. Hydrochimie.....	21
2.1.1. Etude des paramètres physico-chimiques.....	21
2.1.1.1. Etude des paramètres physiques.....	21
a) Mesure de la température.....	21
b) Mesure du pH et de la conductivité.....	21
2.1.1.2. Etude des paramètres hydrochimiques (méthodes chimiques) ( ANRH).....	21
2.1.1.2.1. Dosage des cations.....	21
a) Dosage du calcium et magnésium par complexométrie.....	21
b) Sodium et le Potassium (Méthode photométrique de flamme).....	21
2.1.1.2.2. Dosage des anions.....	21
a) Dosage des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).....	21
b) Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).....	22
c) Dosage des Chlorures.....	22
d) Dosage des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).....	22
2.1.1.3. Chromatographe ionique (CRNA).....	22
2.1.1.3.1. Principe.....	22
2.1.1.4. Calcul des balances ioniques.....	24
III. Traçage isotopique .....	25
3.1. Les isotopes stables de l'oxygène 18 et le deutérium D ( $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$ ).....	25
3.1.1. Spectrométrie de masse.....	25
3.2. Tritium ( $^3\text{H}$ ).....	26
3.2.1. Distillation.....	27
3.2.2. L'enrichissement électrolytique.....	27
3.2.3. Le comptage.....	28

### **Chapitre III : Discussions et interprétation des résultats**

A) RESULTATS HYDROCHIMIQUES.....	30
I. Introduction.....	30
II. Présentation des résultats analytiques.....	30
2.1. Caractéristiques physico-chimiques.....	30
2.1.1. pH.....	30
2.1.2. Conductivité électrique et minéralisation.....	31
2.1.3. La dureté.....	32
2.2. Paramètres hydrochimiques.....	33
2.2.1. Anions.....	33
2.2.1.1. Bicarbonates.....	33
2.2.1.2. Nitrates.....	33
2.2.1.3. Sulfates.....	33
2.2.1.4. Chlorures.....	34
2.2.2. Cations.....	34
2.2.2.1. Calcium $\text{Ca}^{2+}$ .....	34
2.2.2.2. Magnésium $\text{Mg}^{2+}$ .....	34
2.2.2.3. Sodium $\text{Na}^+$ .....	34
2.2.2.4. Potassium $\text{K}^+$ .....	35
2.2.3. Les éléments en traces.....	35
2.2.3.1. Lithium.....	35
III. Interprétation des résultats.....	35
3.1. Faciès chimiques des eaux.....	35
3.2. L'indice de saturation.....	38
3.3. L'origine du chimisme des eaux souterraines d'El Hamdania.....	39
3.3.1. Couple $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ .....	40
3.3.2. Couple $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ .....	40
3.3.3. Couple $\text{SO}_4^{2-}, \text{Mg}^{2+} - \text{Cl}^-$ .....	40
3.3.4. Couple $\text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$ .....	43
3.3.5. Couple $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ .....	43
B) RESULTATS ISOTOPIQUES.....	44
I. Introduction.....	44
II. Isotopes stables ( $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$ ).....	44
2.1. Variation isotopique naturelle.....	44

2.2. Abondance isotopique ou Delta pour mille ( $\delta$ ‰).....	44
2.3. Facteur de fractionnement $\alpha$ .....	45
2.4. Facteur d'enrichissement.....	45
2.5. Standards internationaux.....	45
2.6. Composition isotopique lors d'échange de base.....	46
2.6.1. Condensation.....	46
2.6.2. Evaporation.....	47
2.7. Relation: $\delta^2\text{H} / \delta^{18}\text{O}$ .....	47
III. isotopes radioactifs (le tritium $^3\text{H}$ ).....	48
3.1. Principe de datation radiométrique.....	48
3.1.1. Rappel général sur les isotopes radioactifs.....	48
3.2. Tritium: $^3\text{H}$ .....	49
3.2.1. Tritium artificiel.....	50
3.2.2. Méthode d'enrichissement électrolytique du tritium.....	51
3.2.3. Traçage par le Tritium.....	51
3.2.4. Le tritium dans les eaux des précipitations.....	52
IV. Présentation des résultats.....	52
4.1. Isotopes stables $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$ .....	53
4.1.1. Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux des pluies.....	53
4.1.2. Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ .....	53
4.1.3. Relation $\delta^{18}\text{O} - \text{Cl}^-$ .....	54
4.1.4. Relation $\delta^{18}\text{O}$ et altitudes.....	55
4.2. Isotope radioactif : tritium ( $^3\text{H}$ ).....	55

Conclusion générale

Références bibliographiques

annexes

## **Liste des tableaux**

### **Chapitre I : Présentation géographique et géomorphologique du PNC**

Tableau I.1 : coordonnées géographiques des stations météorologiques.

Tableau I.2 : Précipitation moyenne mensuelle (période 1967/2009) ANRH station d'El Hamdania.

Tableau I.3 : Précipitations moyennes annuelles (Période 1967/2009), ANRH station d'El Hamdania.

Tableau I.4 : Variation des températures moyennes mensuelles dans le PNC (1990, 2005).

### **Chapitre II : Méthodologie**

Tableau II.1 : Débits moyens des eaux de source étudiées.

Tableau II.2 : Coordonnées des points d'eaux de sources du PNC région d'El Hamdania.

Tableau II.3 : Résultats d'enrichissement électrolytiques des échantillons des eaux d'El Hamdania

### **Chapitre III : Discussions et interprétation des résultats**

Tableau III. 1 : Résultats hydrochimiques des eaux de source d'El Hamdania.

Tableau III.2 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.

Tableau III.3. Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité.

Tableau III.4 : Norme pour la dureté des eaux de boisson.

Tableau III.5 : indice de saturation IS des eaux échantillonnées.

Tableau III.6 : Teneurs en  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ , et  $^3\text{H}$  obtenues par spectrométrie de masse et enrichissement électrolytique.

## Liste des figures

### Chapitre I : Présentation géographique et géomorphologique du PNC

- Figure I.1 :** Carte des limites du parc national de Chréa (PNC).
- Figure I.2 :** Carte historique de la limite du Parc National de Chréa (PNC).
- Figure I.3 :** Présentation des limites de secteurs du PNC et les accès vers le secteur d'EL Hamdania (PNC).
- Figure I.4 :** Carte hydrographique du parc national de Chréa (PNC).
- Figure I.5 :** Les cours d'eaux drainées vers oued Chiffa présentées sur une carte hydrographique de la région d'EL Hamdania (PNC).
- Figure I.6 :** La carte pluviométrique du PNC (PNC).
- Figure I.7 :** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (période 1967/2009).
- Figure I.8 :** Histogrammes des précipitations moyennes annuelles (période 1967/2009).
- Figure I.9 :** Températures moyennes mensuelles de la wilaya de Blida.
- Figure I.10 :** Carte schématique montrant les domaines géologiques de l'Algérie.
- Figure I.11 :** Carte géologique de Blida (M. FICHEUR).

### Chapitre II : Méthodologie

- Figure II.1 :** Photos des points d'eaux échantillonnées.
- Figure II.2 :** La source d'Ain El Kef Rachi avec un débit de 26 l/s au mois d'avril.
- Figure II.3 :** Identification des prélèvements des échantillons.
- Figure II.4.** Carte de localisation géographique des différentes sources étudiées.
- Figure II.5.** Appareil GPS utilisé (marque MAGELLAN).
- Figure II.6 :** Chromatographe ionique DIONEX 120 (CRNA, 2013).
- Figure II.7 :** Séparation des cations et anions dans un chromatographe ionique.
- Figure II.8 :** Spectromètre de masse Delta-v (CRNA) 2013.
- Figure II.9 :** Technique de dosage du tritium par enrichissement électrolytique.
- Figure II.10:** Pesage des électrodes avant et après remplissage (CRNA 2013) .
- Figure II.11 :** Montage électrique des électrodes dans le bac réfrigérateur (CRNA 2013).
- Figure II.12 :** Préparation de 10ml d'échantillon avec scintillation pour préparé le comptage.

**Figure II.13 :** La série compagne des échantillons avant le lancement de comptage.

### **Chapitre III : Discussions et interprétation des résultats**

**Figure III.1 :** Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources du PNC région El Hamdania (2013).

**Figure III.2 :** Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources du PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2013

**Figure III.3 :** Variation de l'indice de saturation des minéraux des eaux de sources d'El Hamdania.

**Figure III.4 :** Relation entre  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et le  $\text{Cl}^-$  des eaux souterraines d'El Hamdania.

**Figure III.4.1 :** Couple  $\text{Na}^+$  -  $\text{Cl}^-$ .

**Figure III.4.2 :** Couple  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Cl}^-$ .

**Figure III.4.3 :** Couple  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $\text{Cl}^-$ .

**Figure III.4.4 :** Couple  $\text{Mg}^{2+}$  /  $\text{Cl}^-$ .

**Figure III.5.2 :** Détermination de l'origine de  $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ .

**Figure III.5.1 :**  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ .

**Figure III.5.2 :**  $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ .

**Figure III. 6 :** Domaine de répartition des eaux naturelles sur diagramme  $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$ .

**Figure III.7:** Les isotopes de l'hydrogène (SFRP 2002) .

**Figure III. 8 :** Courbe lisse représentant la teneur moyenne en H des précipitations au-dessus de la surface continentale de l'hémisphère Nord. (AIEA 2008).

**Figure III. 9 :** Relation entre  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  des eaux des sources d'El Hamdania.

**Figure III.10 :** Relation entre  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\text{Cl}^-$ .

**Figure III.11 :** Relation entre  $\delta^{18}\text{O}$  et l'altitude d'émergence des sources.



## Annexes



Bac réfrigérateur



Système de distillation à clos



Flacons en polyéthylène



Système de redistillation à clos



Compteur PACKARD



Série des électrodes



Pierres ponçons



Liquide scintillant



Régulateur d'impulsion BAREL  
RM-4 Mocy 3000v

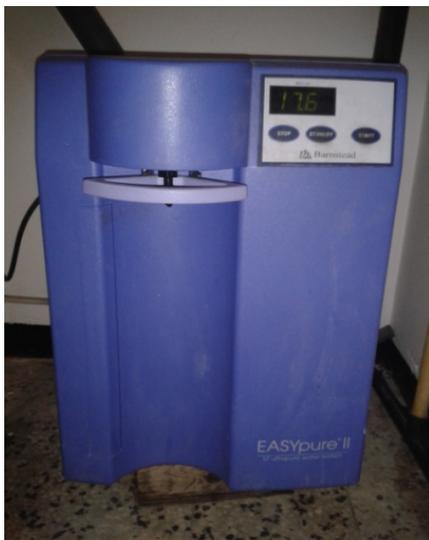
## Annexes



Agitateur OSI



Pompe à vidé MASTERFLEX



Désioniseur BORNSTEAD



Série des échantillons pour  
DIONEX120



Micro filtre 0.45µ



System à filtration sous vide



Balance électronique  
SARTORIUS LP 4200s



Distillateur MILLI-RO\*4

Matériels utilisés aux analyses hydrochimiques et isotopiques (CRNA. 2013)

Départ électrolyse

le : 02/07/2013

à 14h20min

Ah :

**A**

Arrêt électrolyse

compt :

le : 09/07/2013

à 09h05min

Elec	Date de Prlvmt	Echantillons	Demandeurs	X $\mu$ S/cm Av. dist.	Masse Electrodes en g			Observations
					vide	av. elec.	ap. elec.	
1	29/04/2013	BOU FELOUS1	PNC1	0.4	2537.63	3037.13	2557.28	
2	29/04/2013	BOUFELLOUS2	PNC2	0.61	2532.66	3031.67	2551.14	
3	29/04/2013	G- DE LA CHIFFA1	PNC3	0.45	2524.32	3022.88	2541.61	
4	30/04/2013	ELHAMDANIA	PNC4	0.59	2542.48	3041.52	2561.44	
5	30/04/2013	SIDI ISSA	PNC5	0.27	2541.71	3040.81	2560.59	
6	30/04/2013	LE GRAND TUNEL	PNC6	0.41	2532.12	3031.12	2551.81	
7	30/04/2013	G- DE LA CHIFFA2	PNC7	0.40	2512.95	3012.12	2531.87	
8	30/04/2013	G- DE LA CHIFFA3	PNC8	0.42	2506.19	3004.88	2524.10	
9	13/04/2013	AIN SBAA	PNC9	0.33	2542.95	3043.02	2562.85	
10	13/04/2013	R- DES SEINGES1	PNC10	0.72	2528.56	3023.98	2546.01	
11	13/04/2013	R- DES SEINGES2	PNC11	0.41	2521.94	3019.79	2540.12	
12	13/04/2013	AIN ELKAF RACHI	PNC12	0.41	2532.65	3031.11	2551.85	
13	29/04/2013	LA GRde- CASCADE	PNC13	0.29	2533.72	3033.25	2550.29	
14	29/04/2013	ELHOICHEM1	PNC14	0.52	2540.25	3039.25	2559.60	
15	29/04/2013	ELHOICHEM2	PNC 15	0.55	2550.63	3049.97	2571.31	
16	29/04/2013	ELHOICHEM3	PNC16	0.52	2536.34	3035.12	2555.14	
17		BRUIT DE FOND	BF		2534.36	3033.05	2552.69	
18		BRUIT DE FOND	BF		2452.20	2950.81	2471.38	
19		STANDARD	STD		2537.64	3036.40	2555.76	
20		STANDARD	STD		2518.61	3018.49	2537.19	

Tableau II.3 : Résultats d'enrichissement électrolytiques des échantillons des eaux d'El Hamdania

## I. PRESENTATION DU PARC NATIONAL DE CHRÉA

Le massif de l'Atlas Blideen fait partie en Algérie des zones externes de la chaîne Alpine. Situé à 50 km au sud-ouest d'Alger, le Parc National de Chréa, qui est la partie centrale de l'Atlas Tellien, d'orientation générale sud-ouest / nord-est, s'étend entre les parallèles 36°36' et 36°00' et les méridiens 3°20' et 2°40'. La plaine de la Mitidja constitue sa limite nord et l'Oued Mellah sa limite sud [3].

Le Parc National de Chréa, établissement public à caractère administratif, chargé de la protection et de la promotion des ressources naturelles, a été créé en 1983 par le décret n° 83 - 461 du 23 juillet 1983 [4], il se trouve confiné dans les wilayas de Blida, et Médéa avec respectivement 67.1%, 32.6%, et chevauche les limites de la wilaya de Ain-Defla 0.30%, il s'étend sur une superficie de 26.587 ha. (Figure1) [4].

Au point de vue historique le Parc national de Chréa a été créé dans la période coloniale au niveau de la commune de Chréa seulement pour protéger l'espèce de cèdre, sa superficie en 1925 ne dépasse pas 1351 ha.

La limite du Parc National de Chréa actuellement et par rapport de celle en 1925 est présentée sur la (figure 2).

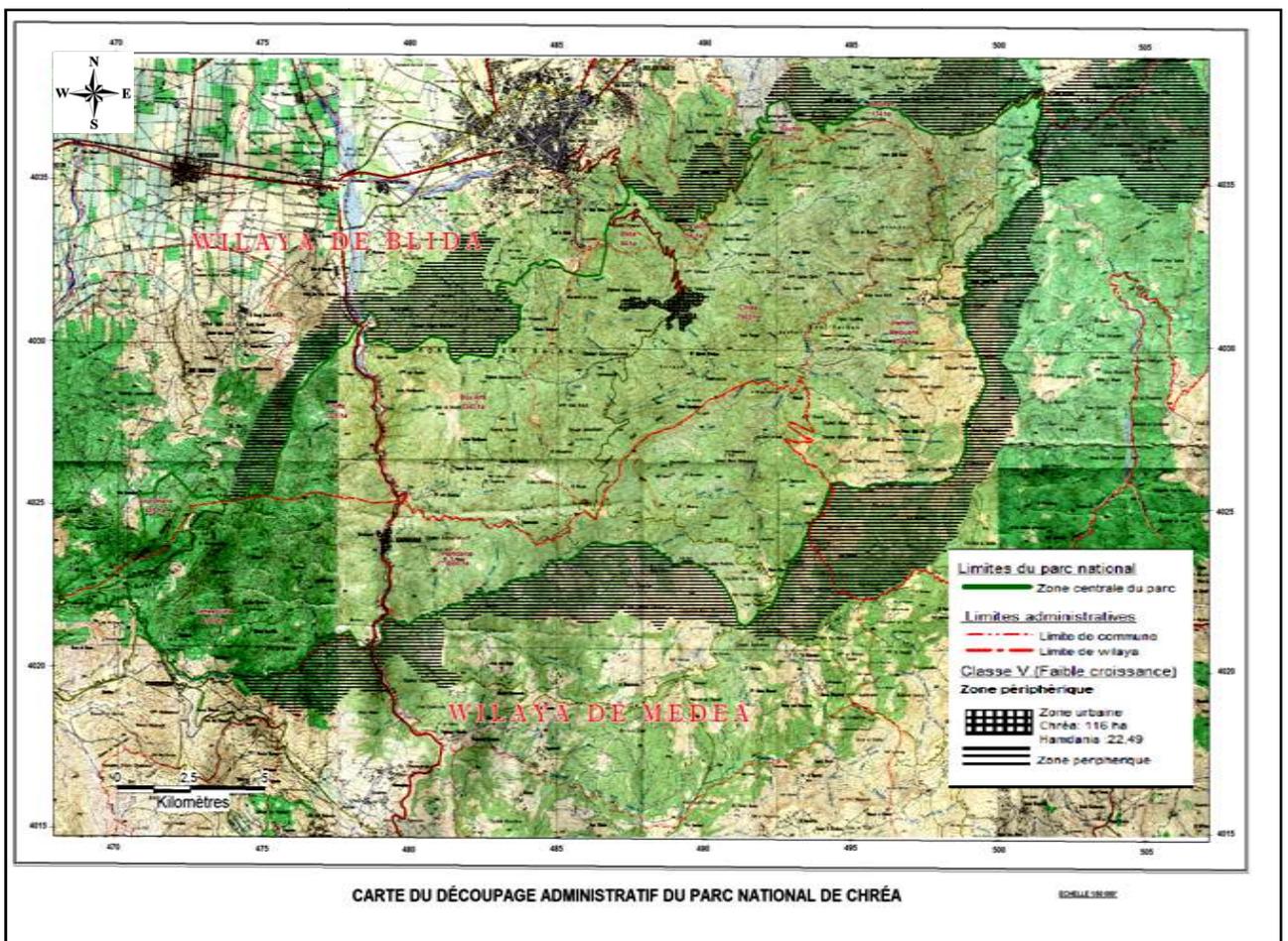


Figure I.1 : Carte des limites du parc national de Chréa (PNC).

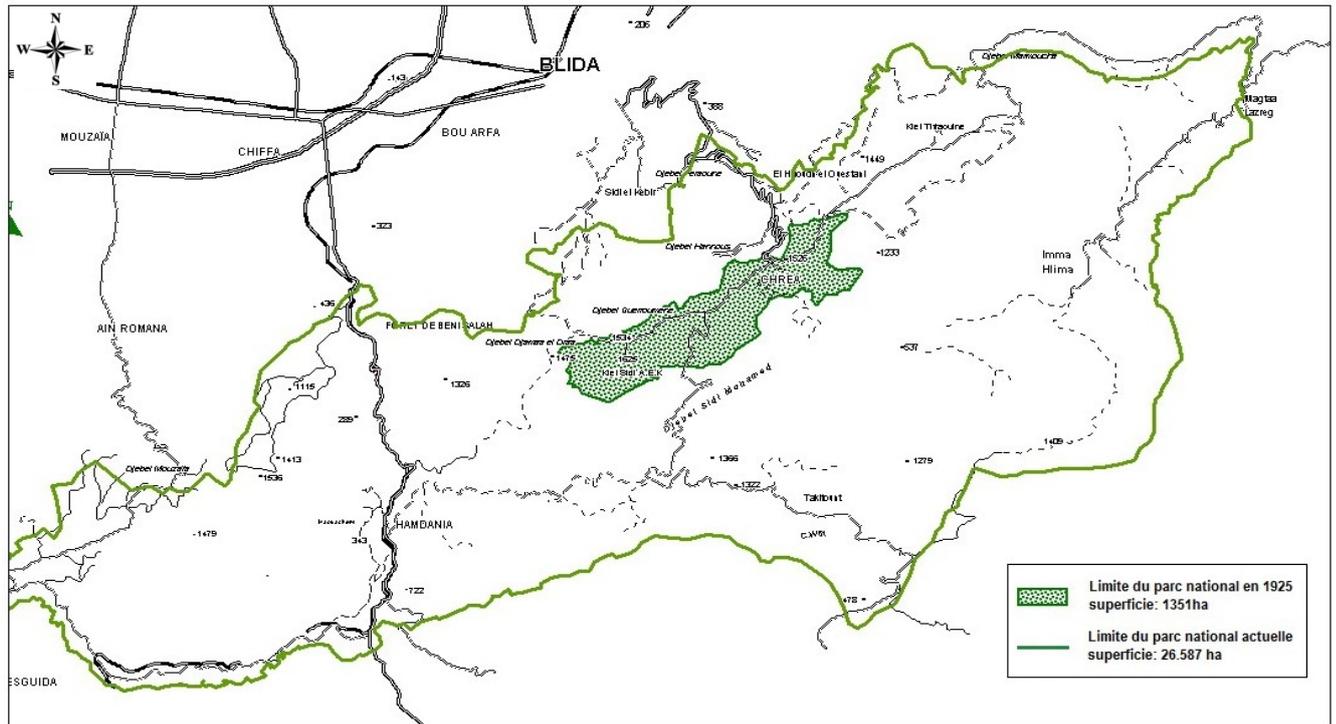


Figure I.2 : Carte historique de la limite du Parc National de Chréa (PNC)

## II. CADRE GEOGRAPHIQUE DE LA REGION D'ETUDE

### 2.1. Situation

Le secteur d'El Hamdania s'étend sur la partie Ouest du parc national du Chréa à 60 km sud-ouest d'Alger, dans une zone montagneuse et reboisée d'altitude moyenne de 1600 m, et une superficie de 8825 ha (figure 3) [5].

Il est limité au Nord par la commune de Chiffa et de Bou arfa, au Sud par la Wilaya de Médé, à l'Est par le secteur de Chréa et Hammam Melouane ,au Ouest par la Wilaya de Ain Defla.

### 2.2. Accès

Le site d'El Hamdania est accessible comme l'atteste la figure 3 principalement par la route nationale N°1, qui relie les deux wilayas (Blida et Médéa), et la route C.W.62 de Ain Romana qui passe par Djebel Mouzaia et Tamezguida jusqu'à l'arrivé en contacte avec la nationale N°1.

Les autres accès s'étend à l'intérieur du parc tel que la voie de Msenou qui relie les secteurs de Chréa et El Hamdania en passant par Djebel Guerroumene, Djebel Sidi Mohamed et Zemourene [5].

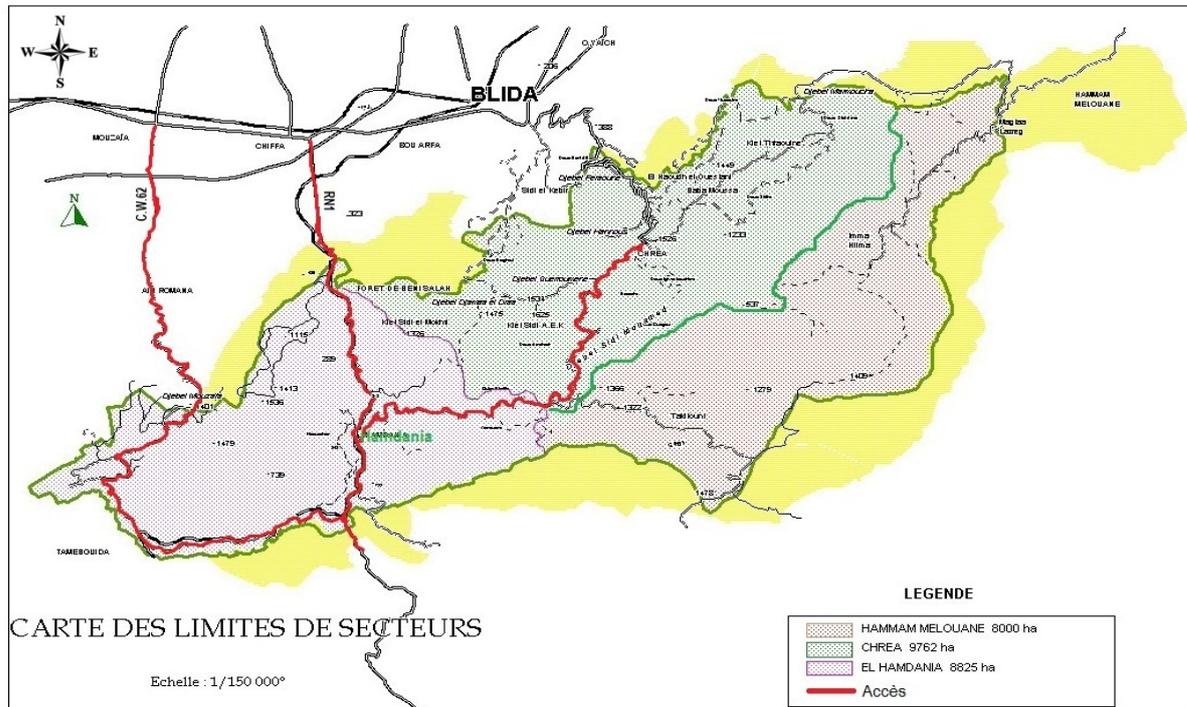


Figure I.3: Présentation des limites de secteurs du PNC et les accès vers le secteur d'EL Hamdania (PNC)

### III. APERÇU GEOMORPHOLOGIQUE DU PNC

#### 3.1. Le réseau hydrographique du PNC

Le Parc National de Chréa présente, de par sa position géographique, une potentialité hydrique importante. C'est une zone très arrosée: 1000 mm de précipitations sur les sommets et les zones d'altitude du versant nord, et autour de 900 mm pour la majorité des stations. La composante hydrographique de ce territoire est divisée en deux grandes parties appartenant aux deux bassins versants des oueds El Harrach et Mazafran (figure I.4) [4].

Le partage des eaux est naturellement fait; d'une part par la ligne de crêtes (d'orientation nord-est, sud-ouest) reliant les massifs de djebel Mermoucha, Djebel Ferroukha, et Djebel Guerroumène, et d'autre part par la ligne de crête orientée du nord vers le sud à partir de Djebel Guerroumène (Koudiat Sidi Abdelkader) jusqu'au point coté 1297 à Takitount, en croisant Djebel Sidi Mohamed. Ces deux lignes de crêtes scindent le territoire du parc national de Chréa en deux zones distinctes d'orientation sud-est et nord-ouest. Les eaux collectées au nord du parc se déversent dans l'oued Mazafran et la partie sud-est afflue vers

l'oued El-Harrach. Les eaux du parc liées au bassin versant de l'oued Mazafran sont principalement drainées par Oued El Merdja, Oued Mouzaia, Oued El Djir et Oued Si Ali [6]. ( les eaux situées drainant vers l'Oued de la Chiffa) (figure I.5) [1].

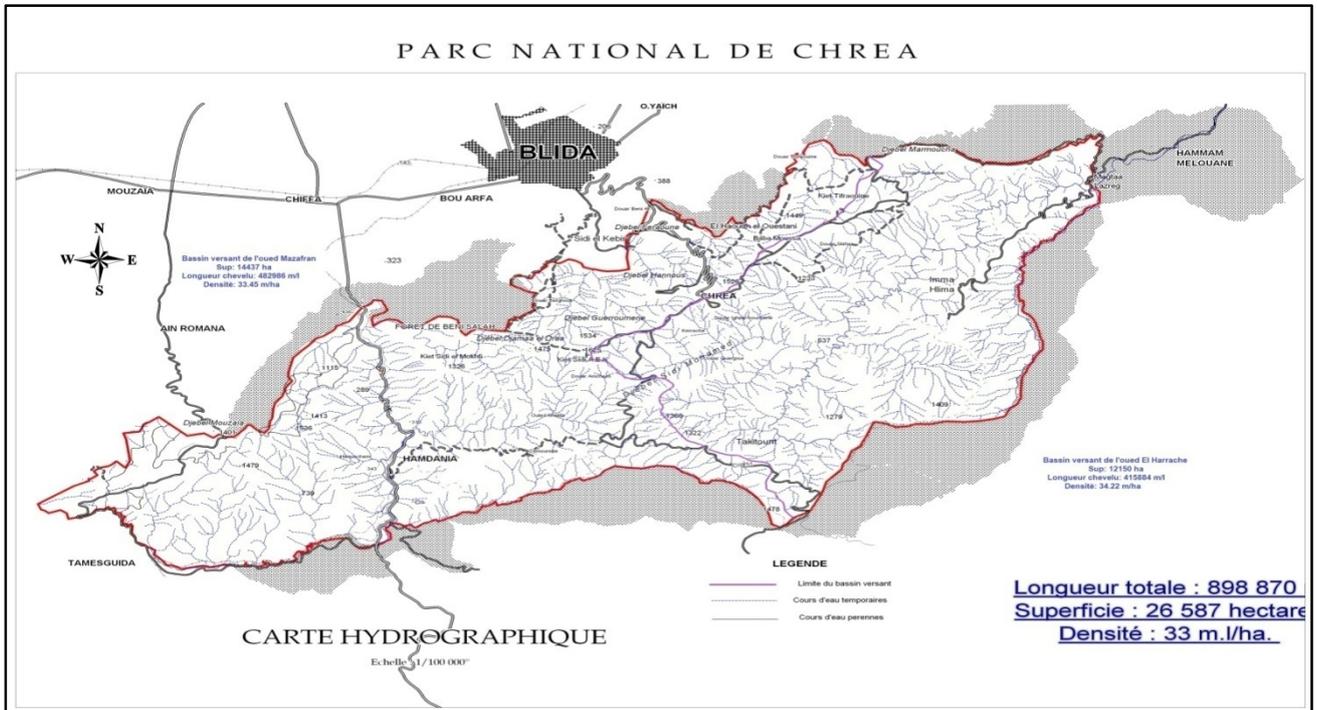


Figure I.4 : Carte hydrographique du parc national de Chréa (PNC)

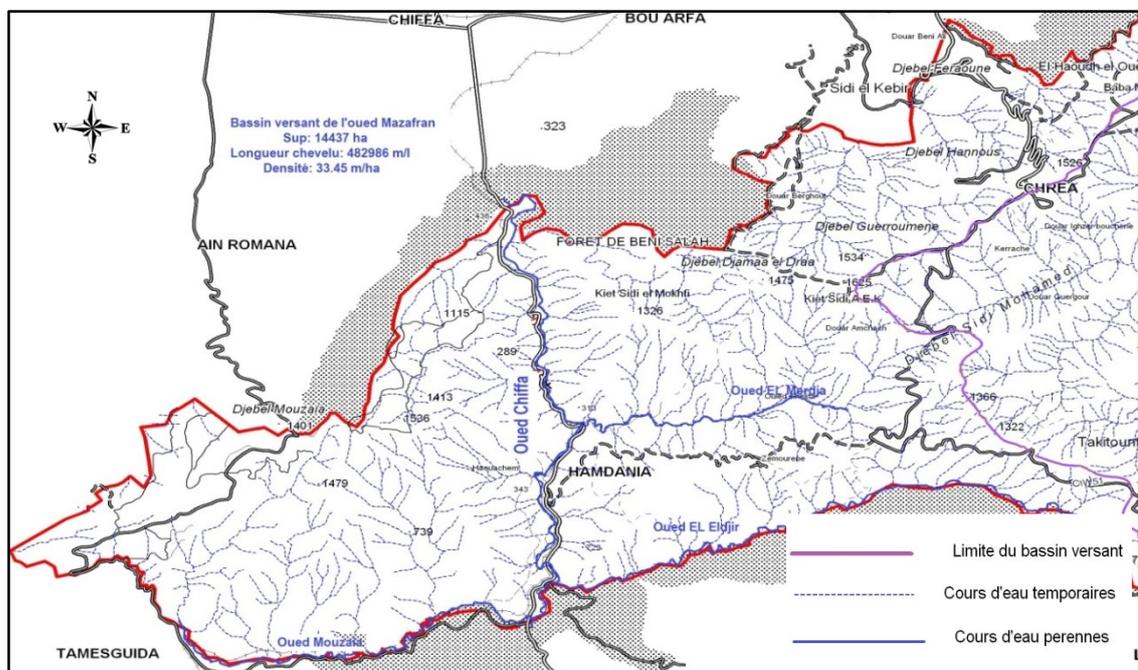


Figure I.5: Carte hydrographique des cours d'eau drainés vers l'oued Chiffa

### 3.2. La topographie

Le massif de Chréa présente une grande variabilité topographique, il est composé de plusieurs montagnes telles que: Djebel Mouzaia, djebel Ferroukha et Marmoucha qui représentent 25% de la surface de l'Atlas Tellien (1572 Km<sup>2</sup>), Djebel Sidi Mohamed et Djebel Gueroumane. Sa ligne de crête principale oscille entre 1400 et 1600m d'altitude, s'étire de djebel Mouzaia (1603 m) au sud-ouest à la Koudiat Arbain Ouali (1392 m) au nord-est et culmine au pic de Sidi Abdelkader (1629 m) [7].

### 3.3. La végétation

La végétation est de type méditerranéen dans le parc national de Chréa. La forêt (chênes-lièges, caroubiers, pins...) et le maquis dominant tout le territoire du parc plus différentes sortes de fleurs et de plantes poussent dans les jardins et vergers (jasmin, rosier, géranium, romarin...) [8].

Les principales unités de végétation au niveau du parc national de Chréa :

- Unité de cèdre : elle se situe dans les endroits perhumides de 1300 a 1600 m; d'altitude elle occupe 1200 ha ;
- Unité de chaine verte 800 à 1400 m d'altitude ;
- Unité de chêne Zeen. 300-450 m d'altitude ;
- Unité de pin d'Alep et Unité de thuya de Berberie. 280-700m ;
- Unité ripisylves au bord des oueds ;

Dans le secteur d'El Hamdania en retrouve la formation de l'unité du chaine liège au niveau de Djbel Mouzaia et Tamezguida elle se développe maximum entre 400 et 700 m d'altitude.

## IV. CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES

### 4.1. Les précipitations

Le Parc National de Chréa est compris entre les isohyètes 760 et 1400 mm/an de précipitations moyennes annuelles. Dans l'ensemble, les moyennes mensuelles des précipitations annuelles sont plus importantes dans les stations situées sur le versant Nord

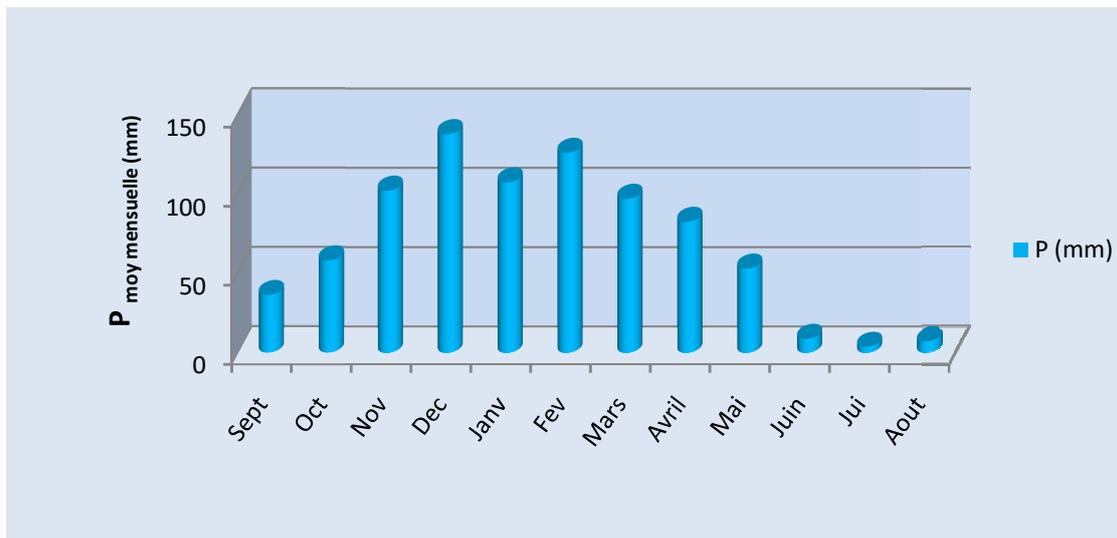


Les tableaux (I.2 et I.3) présentent les données des précipitations moyennes annuelles et mensuelles, enregistrés entre (1967 et 2009).

La figure I.7 montre que les valeurs les plus élevées de la pluviométrie sont enregistrées dans la période hivernale avec un maximum enregistré au mois de Décembre (137,97 mm). La période sèche commence de juin à aout avec une valeur minimale enregistrée de 4,08 mm au mois de Juillet.

**Tableau I.2 :** Précipitation moyenne mensuelle (période 1967/2009) ANRH station d'El Hamdania

Moi	Sep	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jui	Aout
P (mm)	36,4	58,23	102,37	137,97	107,6	126,22	97,25	82,76	53,26	9,02	4,08	6,98

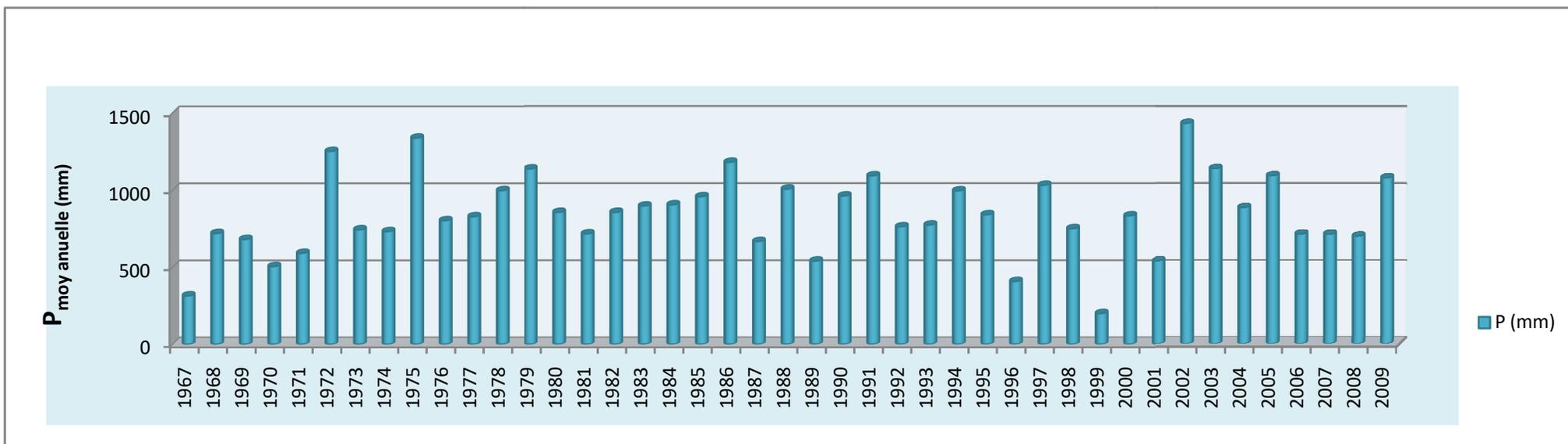


**Figure I.7:** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (période 1967/2009)

L'étude des variations des précipitations établies par l'ANRH d'Alger au niveau de la station d'El Hamdania montre que la région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles supérieures à 1400 mm.

**Tableau I.3 :** Précipitations moyennes annuelles (Période 1967/2009), ANRH station d'El Hamdania

années	P (mm)						
1967	314,6	1978	997,2	1989	539,8	2000	832,8
1968	719,1	1979	1137,1	1990	961,9	2001	538,9
1969	680,4	1980	855,3	1991	1092,5	2002	1432,6
1970	504,7	1981	716,2	1992	761,9	2003	1138,8
1971	590,8	1982	855,6	1993	773,2	2004	885,7
1972	1251,4	1983	896,6	1994	995,1	2005	1092,6
1973	743,4	1984	904,5	1995	839,9	2006	713,4
1974	731,5	1985	956,8	1996	407,4	2007	712,3
1975	1338,3	1986	1180,2	1997	1031,2	2008	699,4
1976	802,4	1987	666,5	1998	749,8	2009	1078,5
1977	828,1	1988	1006,2	1999	199,3	/	/



**Figure I.8 :** Histogrammes des précipitations moyennes annuelles (période 1967/2009)

## 4.2. La température

La région d'El Hamdania jouit d'un climat méditerranéen caractérisé par les hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et secs.

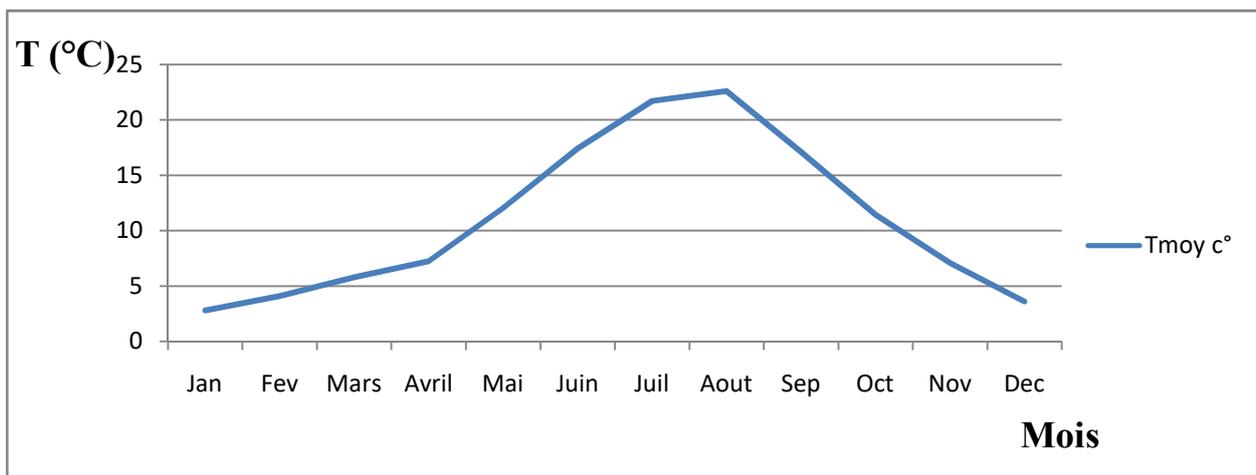
La variation de la température durant les saisons de l'été et l'hiver se traduit par 26.3 et 33.6 °C en été et oscillant entre 0.4 et 7.31 °C en hivers alors que la température moyenne est d'environ 18 °C [5].

Le tableau (I.4) illustre les températures de parc national dans la période (1990 à 2005).

**Tableau I.4 :** Variation des températures moyennes mensuelles dans le PNC (1990, 2005)

Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	aout	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>T<sub>moy</sub>°C</b>	2,81	4,12	5,8	7,21	12,06	17,4	21,71	22,59	17,08	11,45	7,06	3,61

Les températures illustrées dans le tableau ci dessus donnent l'historique des températures de la wilaya de Blida y compris la région d'étude.



**Figure I.9:** Températures moyennes mensuelles de la wilaya de Blida

## V. CADRE GEOLOGIQUE

### 5.1. Introduction

L'Algérie fait partie de l'ensemble Nord-Ouest africain. Dans le schéma structural de cette zone, deux domaines principaux sont mis en évidence (figure I.10) [9] ;

- Un domaine méridional, le Sahara, ou affleure le socle précambrien du Hoggar et des Eglab, et leur couverture, la plate forme saharienne ;
- Un domaine septentrional, la zone atlasique, comportant :
  - L'atlas saharien au sud, forme une longue suite de relief orienté NE-SO s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie.
  - Au nord, l'atlas tellien, constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales
  - Entre les deux atlas affleurent les hautes plaines qui se terminent à l'est par la chaîne du Hodna et se continuent à l'Ouest par la Meseta oranaise.

La région d'El Hamdania fait partie de l'atlas Blideen qui appartient à l'atlas tellien.

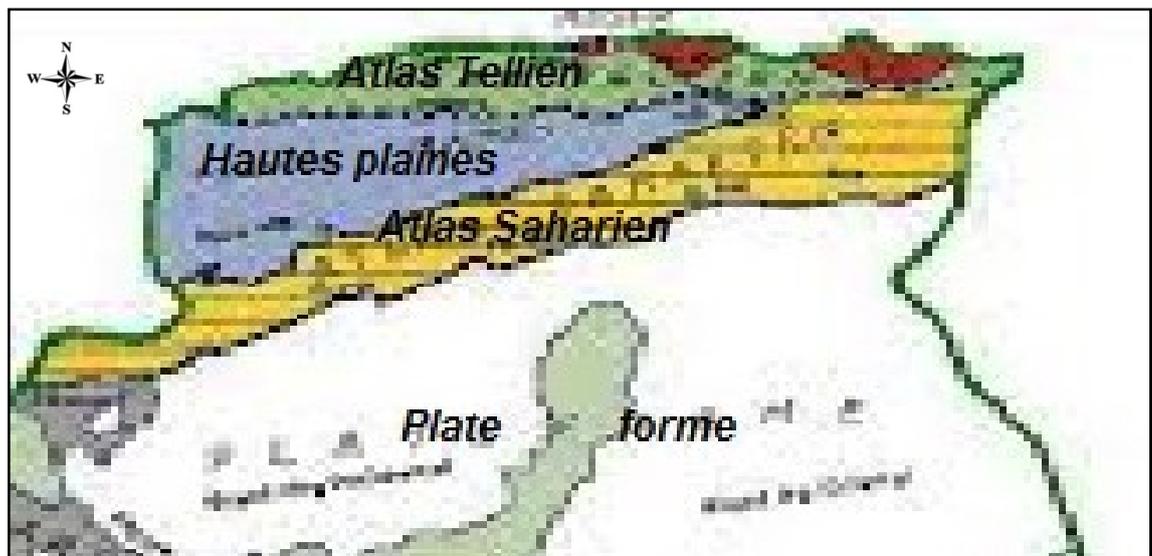


Figure I.10 : Carte schématique montrant les domaines géologiques de l'Algérie

### 5.2. Aperçu géologique sur la région d'étude

La description géologique de la région d'étude est faite par l'analyse de la carte géologique de la feuille de Blida (figure I.11) [10].



### 5.2.1. Introduction

En dehors de la plaine de la Mitidja, qui s'étend au Nord, et au N.O, cette feuille comprend la partie la plus importante de l'Atlas Metidjen, à laquelle peut s'appliquer la désignation du Massif de Blida, cette région montagneuse se divise en deux zones d'aspect différent. L'arête principale schisteuse est formée par la crête de Benisalah, boisée de cèdres dans la zone médiane, dont l'altitude moyenne dépasse: 1,500 m, et qui atteint 1629 m au sommet culminant de Sidi – Abdelkader ; elle se prolonge à l'Est par la crête monotone et dénudée de Feroukha (1497 m) et de Mermoucha, rocheux à son flanc Nord, du côté de l'ouest, elle continue, au-delà, de la profonde coupure de la Chiffa, par le mont de Mouzaia (1604 m), Cette région de formation crétacée, présente le plus fréquemment des superpositions anormales du cénomanien et du le sénonien, qui proviennent du renversement des plis vers le sud, à partir de la crête de BENI SALAH, au nord de cet axe s'étale un grand pli couché sur tout le versant nord, Ou les schistes de la Chiffa recouvrent la série crétacée et le cartenien.

### 5.2.2. Description lithostratigraphique des formations de l'Atlas Blidéen

#### 5.2.2.1. Primaire

##### a) Schiste d'âge primaire : schiste de la Chiffa

Puissante formation de schistes argileux phyllades ardoisiers, quartz phyllades intercalés de quartzites. Ces schistes composent les gorges de la Chiffa.

#### 5.2.3. Secondaire

Il est représenté par des terrains datant du lias et surtout du crétacé

##### 5.2.3.1. Le lias 'L''

Calcaires compacts gris à bleuâtres intercalés à la partie supérieure des couches marneuse avec des silex rogneux (que l'on trouve en plusieurs ilots sur le versant).

##### 5.2.3.2. Le crétacé :

Les terrains correspondant à cette période datent:

##### a) Crétacé inférieur C.I.V :

Ce sont de puissantes formations de marnes bleutâtes avec intercalation de lentilles calcaires avec :

##### b) Le cénomanien C<sup>(5-4)</sup>

Il est représenté par des calcaires et des marnes en couches bien réglées.

##### c) Le Sénonien C<sup>(8-7)</sup>

Terrains formés de marnes bleuâtres feuilletées avec des calcaires jaunes.

#### **5.2.4. Le quaternaire:**

Il est représenté par des alluvions anciennes, récents, et actuelles.

### **5.3. Tectonique**

Les diverses structures ont été affectées par trois phases tectoniques. Les deux premières phases accompagnées de schistosités et d'un épimetamorphisme ont donné naissance à des plis semblables couchés ou déversés.

- ❖ Les plis de la première phase ont des directions venant de N.E. ou S.O à E.O.
- ❖ Les plis de la 2eme phase de direction N.O. sud Est sont déversés au N.E de l'anticlinal de Blida.
- ❖ La 3<sup>ème</sup> phase post-schisteuse ce produit des plis cassants de direction E.N.E – O.S.O – à E.O et à double déversement.

Anticlinaux et synclinaux sont affectés de grandes failles transversales recoupées par des failles longitudinales.

### **5.4. Contexte hydrogéologique**

Sur le plan hydrogéologique, il n'existe sur la région d'étude que des sources qui émergent au bas des formations géologiques aquifères (schistes fracturées, calcaire et marnes fissurés). Le contexte lithologique et structural des formations des monts de la Chiffa (fracturation, fissuration et schistosité) fait que l'approche hydrochimique et isotopique est le plus indiquée dans cette région.

Sur le plan d'inventaire des sources à l'échelle de l'atlas Blideen, une étude à été réalisé par l'ANRH [11], mais qui touche uniquement le versant nord-est de l'atlas.

## I. Objectif

Le travail présenté dans ce mémoire est scindé en deux parties :

- un travail de terrain avec des campagnes d'échantillonnage des points d'eau existants sur la zone (sources et autres) ;
- un travail au laboratoire qui permet d'analyser les échantillons recueillis sur le plan hydrochimique et isotopique.

### 1.1. Partie terrain

#### 1.1.1. Echantillonnage

L'échantillonnage est une action qui consiste à prélever une partie considérée comme représentative d'une masse d'eau en vue de l'examen de diverses caractéristiques définies.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau [12].

Sous l'organisation de la direction du parc national de Chréa et en coordination avec le chef de secteur d'El Hamdania et son guide forestier, on a effectué une campagne d'échantillonnage au mois d'avril 2013, 16 échantillon ont été prélevés et acheminés vers le laboratoire des analyses fondamentales de l'ANRH et le laboratoire des analyses hydrochimiques et isotopiques au CRNA. Selon la structure topographique du site les échantillons ont été prélevés au bord de la route nationale N°1, (figure II.1).

Pour la campagne d'échantillonnage qui concerne le secteur d'El Hamdania (régions de Bou Arfa, Chiffa, El Hamdania, et Tamezguida). Le choix des prélèvements des sources à été fait sur la base d'un écoulement continu durant toute l'année, exemple de la source d'Ain El kaf Rachi (26 l/s) figure (II.2).



Figure II.2 : La source d'Ain El Kef Rachi avec un débit de 26 l/s au mois d'avril



El Hoichem 2



Ruisseau des singes 2



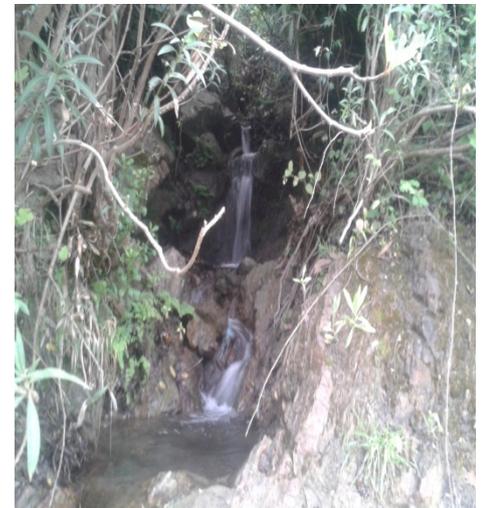
Ruisseau des singes 1



El Hoichem 3



Oued El Merdja



El Hoichem 1



Cherkia 1



Cherkia 2

Figure II.1 : Photos des points d'eaux échantillonnées

Au nombre de 16 sources, les prélèvements ont été effectués manuellement au trop plein, les flacons en matière plastique de 1 litre de capacité, seront de nouveau rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'au bord ces flacons. En fin l'échantillon doit toujours être parfaitement identifié et porter le nom de la source, la date et l'heure de prélèvement (figure III.3)



Figure II.3 : Identification des prélèvements des échantillons

Les paramètres physiques (température, pH, conductivité électrique) des eaux souterraines du bassin versant de l'oued Mazafran ont été mesurés.

### 1.1.2. Les débits

Les mesures des débits ont été effectuées par la méthode volumétrique, (jaugeage capacitif), qui consiste à mesurer le temps nécessaire pour remplir d'eau un récipient d'une contenance connue. Ces méthodes sont en général pratiquées pour des faibles débits. Le tableau N°6 présente les débits en litre par seconde des sources de la région El Hamdania au mois d'avril 2013.

Tableau II.1 : Débits moyens des eaux de source étudiées.

Source	Q (l/s)	source	Q (l/s)
Cherkia 1	2.51	Ain sbaa	9.36
Cherkia 2	0.37	Ruisseau des singes 1	0.25
Gorge de la Chiffa1	4.82	Ruisseau des singes 2	0.31
El Hamdania	13.2	Ain El kaf rachi	26
Sidi issa	15.8	La grande cascade	14.6
Le grand tunnel	1.56	El Hoichem 1	5.5
Gorge de la Chiffa2	0.75	El Hoichem 2	8
Gorge de la Chiffa3	0.58	El Hoichem 3	11.3

1.1.3. Localisation topographique des points d'eau étudiés

La région d'étude est située dans la partie occidentale du parc national de Chréa. La position des points d'eau retenus dans l'étude est représentée sur la carte topographique ci-dessous (Figure II.4).

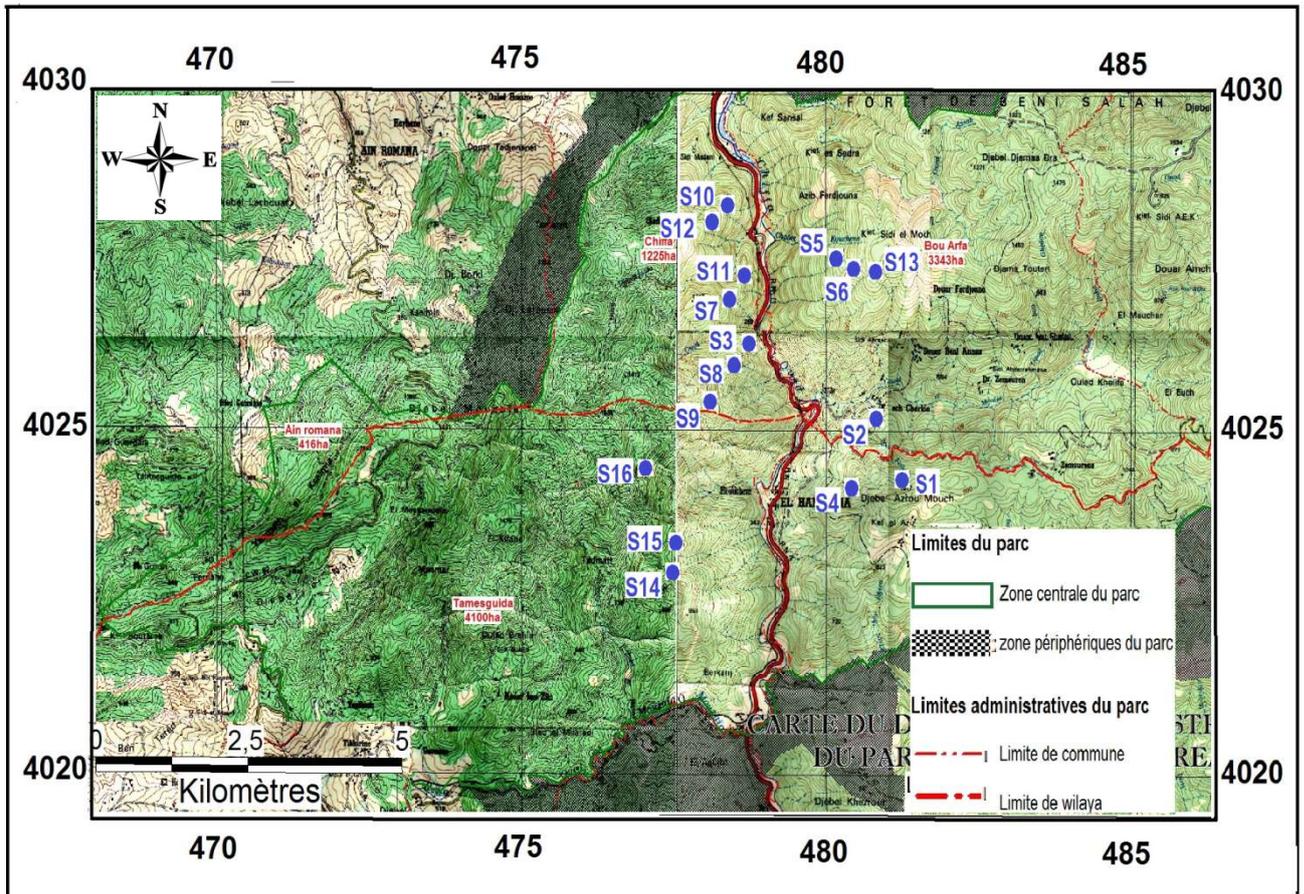


Figure II.4. Carte de localisation topographique des différentes sources étudiées.

Les coordonnées géographiques représentées sur le tableau (III.2) sont prises pour chaque point d'eau à l'aide d'un GPS (marque MAGELLAN).



Figure II.5. Appareil GPS utilisé (marque MAGELLAN).

Tableau II.2 : Coordonnées des points d'eaux des sources d'El Hamdania

N°	NOM	X (Km)	Y(Km)	Z(m)
S1	Cherkia 1	481, 573	4024, 800	900
S2	Cherkia 2	481, 000	4025, 113	600
S3	Gorge de la Chiffa1	478, 866	4026, 463	300
S4	El Hamdania	480, 015	4024, 153	780
S5	Sidi issa	479, 828	4027, 787	1020
S6	Le grand tunnel	480, 236	4027, 558	1160
S7	Gorge de la Chiffa2	478, 327	4026, 918	600
S8	Gorge de la Chiffa3	478, 534	4025, 909	600
S9	Ain sbaa	478, 112	4025, 457	840
S10	Ruisseau des singes 1	478, 422	4028, 656	400
S11	Ruisseau des singes 2	478, 400	4027, 387	500
S12	Ain El kaf rachi	478, 301	4028, 206	500
S13	La grande cascade	480, 596	4027, 177	1280
S14	El Hoichem 1	477, 776	4022, 902	800
S15	El Hoichem 2	477, 319	4023, 365	760
S16	El Hoichem 3	476, 839	4024, 424	1000

## 1.2.Partie analytique

La partie analytique (analyses hydrochimiques et isotopiques) des échantillons d'eau recueillies sur le terrain à été effectuées au laboratoire de CRNA/ COMENA et à l'ANRH d'Alger.

Afin de suivre les analyses, nous avons effectués un stage pratique d'un mois effectué sur la période allant du 26 juin au 25 juillet 2013 au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) qui fait partie du (COMENA): commissariat à l'énergie atomique, ce dernier appartient au ministère de l'énergie et des mines, est une entité opérationnelle d'étude et de recherche chargée de la réalisation des programmes de développement dans le domaine de l'énergie et des techniques nucléaire [13].

Durant ce stage, les analyses des échantillons d'eau ont été faites selon le programme suivant :

- Analyses hydrochimiques ;
- Analyses isotopiques :
  - ❖ Spectrométrie de masse (Oxygène 18 et Deutérium) ;
  - ❖ L'analyse de tritium.

### 1.2.1. Analyses hydrochimiques :

Elle consiste à analyser les paramètres, chimiques en ions majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), et les éléments en traces ( $\text{L}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ ).

### 1.2.2. Analyses isotopiques :

Elle consiste à mesurer les teneurs isotopiques en deutérium  $^2\text{H}$  et oxygène 18  $^{18}\text{O}$  par la méthode de spectrométrie de masse, ainsi en isotope instable du tritium  $^3\text{H}$  de la molécule d'eau.

D'autre part, l'agence nationale des ressources hydriques d'Alger réalise chaque année des campagnes d'échantillonnages et des mesures physicochimiques tels que les températures, les pH, les conductivités, ect, ainsi faire ressortir les teneurs en éléments majeurs et mineurs, afin de suivre l'évolution spatiotemporelle des sels minéraux et la qualité de potabilité des eaux de sources. Les résultats des analyses physicochimiques des eaux de sources d'EL Hamdania sont représentés dans le tableau (II.3).

## II. Mode opératoire

Déférents procédés d'analyses pour déterminer les concentrations ioniques dissoutes, et les teneurs en isotopes stables et radioactif ont été utilisés :

Les méthodes d'analyses des ions à l'ANRH sont réalisées par différentes méthodes tel que la spectrophotométrie, Photométrie, et au CRNA par la méthode de chromatographie ionique.

Pour les isotopes stables et radioactifs les méthodes d'analyses au CRNA sont :

- La spectrométrie de masse avec un spectromètre à double collection de type CF-IRMS Delta-V de thermo finnigan pour  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  ;
- Par compteur à scintillation liquide pour le  $^3\text{H}$ .

### 2.1. Hydrochimie

#### 2.1.1. Etude des paramètres physico-chimiques

##### 2.1.1.1. Etude des paramètres physiques

Les principaux paramètres physicochimiques à mesurer sur le terrain sont : la température ( $T^\circ$ ), le potentiel hydrogène (pH), et la conductivité ( $\sigma$ ).

**a) Mesure du pH, température**

Les mesures sont effectuées sur le lieu de prélèvement de l'échantillon, à l'aide d'un pH-mètre, CENTER-370 .RTd (ADE Chiffa). Qui mesure en même temps les températures.

**b) Mesure de la conductivité**

Les mesures du pH et la conductivité électrique sont effectuées à l'aide d'un conductivimètre (HANNA.HI 9828) (ADE Chiffa).

**2.1.1.2. Etude des paramètres hydrochimiques (méthodes chimiques) (ANRH)**

**2.1.1.2.1. Dosage des cations**

**a) Dosage du calcium et magnésium par complexométrie**

**Principe**

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide Ethylène Tétra Acétique (EDTA) à pH 10. Le noir érichrome T qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur [12].

**b) Sodium et le Potassium (Méthode photométrique de flamme)**

**Principe**

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable, à un niveau énergétique supérieur à la normale (on dit que les atomes sont excités par la flamme).

On sélectionne la radiation attendue au moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme étalon pour chaque élément dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du photomètre de flamme [12].

**2.1.1.2.2. Dosage des anions**

**a) Dosage des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )**

**Principe**

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution dilué nécessaire pour neutraliser, au niveau de pH=8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première

détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) [12].

### **b) Dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

#### **Principe**

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur.

Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie: diazotation avec l'acide sulfanilique et capulation avec l' $\alpha$  - Naphtylamine. On mesure la densité du colorant ainsi formé à 520nm[12]

### **c) Dosage des Chlorures**

#### **Principe**

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm[12].

### **d) Dosage des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

#### **Principe**

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum. Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495nm[12].

### **2.1.1.3. Chromatographe ionique (CRNA)**

#### **2.1.1.3.1. Principe**

La chromatographie ionique est une technique qui permet l'analyse qualitative (par séparation des espèces présentes), et quantitative des espèces ioniques présentes dans un échantillon liquide dépourvu de matière organique (figure II.6). Le chromatographe ionique permet de détecter et de quantifier une grande variété d'anions. Cette technique est fondée sur des processus d'échange entre une phase liquide (éluant et échantillon) et une phase solide (résine échangeuse d'ions). Un échantillon liquide est injecté dans l'appareil et ensuite poussé à l'aide d'une pompe dans une colonne faite d'une résine échangeuse d'ions. L'échantillon est mélangé à un éluant, c'est-à-dire, une solution facilitant la séparation des différents ions contenus dans l'échantillon à l'intérieur de la colonne.

Les ions contenus dans l'échantillon sont séparés parce qu'ils se déplacent à différentes vitesses dans la colonne, le tout dépendant de leur affinité pour la résine échangeuse d'ions. La séparation des ions est fonction de leur charge et de leur taille. Plus les ions sont petits, moins ils seront retenus. Plus les ions sont chargés, plus ils seront retenus ( $\text{HPO}_4^{-2} > \text{NO}_3^-$ ).

L'éluant et l'échantillon passent à travers un suppresseur, un module permettant d'augmenter la sensibilité du détecteur en soustrayant la conductivité électrique spécifique à l'éluant et en diminuant les bruits de fond.

Un détecteur mesure la conductivité électrique de chaque ion séparé contenu dans l'échantillon et un signal est envoyé à l'ordinateur. Les ions des solutions électrolytiques ont des conductivités électriques spécifiques qui peuvent être quantifiées. Le dosage est possible en comparant le signal obtenu pour un échantillon avec le signal d'une solution de concentration connue. L'identification des ions est possible grâce à leur temps de rétention particulier, obtenus préalablement lors de la préparation des courbes de calibration tracées à partir de solutions témoins [12].



Figure II.6 : Chromatographe ionique DIONEX 120 (CRNA, 2013)

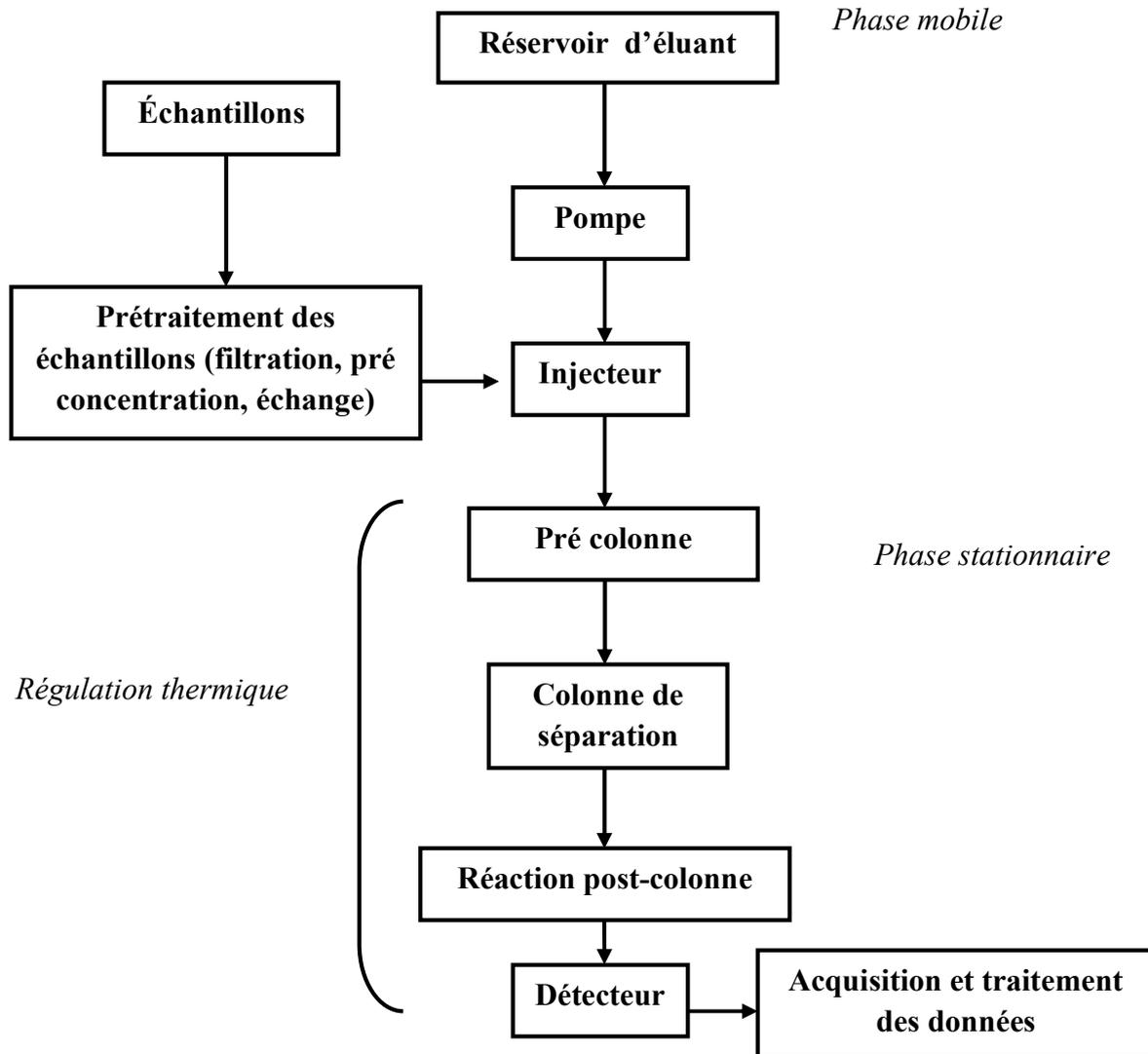


Figure II.7 : Séparation des cations et anions dans un chromatographe ionique [12].

#### 2.1.1.4. Calcul des balances ioniques

La qualité des analyses chimiques peut être appréciée par le calcul de la balance ionique de l'eau [5].

En effet, l'erreur de la balance ionique est calculée par le rapport de la différence des anions et des cations sur leur somme :

$$E = \left| \frac{(\Sigma \text{ cations} - \Sigma \text{ anions})}{(\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions})} \times 100 \right| \quad [11].$$

Pour une erreur  $E$  inférieure à 5 %, l'analyse sera considérée acceptable ; dans le cas contraire, elle sera rejetée ou remise en question.

Les balances ioniques calculées témoignent d'une bonne qualité des analyses (la balance ionique, exprimée en valeur absolue, est inférieure à 5 %), (Chapitre3 tableau IV).

### III. Traçage isotopique

#### 3.1. Les isotopes stables de l'oxygène 18 et le deutérium D ( $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$ )

##### 3.1.1. Spectromètre laser PICARRO [13]:

Le laboratoire a acquis depuis peu un nouveau spectromètre permettant de mesurer les deux isotopes de l'eau pendant la même mesure. Il s'agit du modèle L2110-i de PICARRO.

Les spectromètres PICARRO utilisent la dernière technologie de spectrométrie. Le fonctionnement se base sur le principe des raies d'absorption de chaque atome. En effet, les différents isotopes d'un même élément n'ont pas les mêmes raies d'absorption. En se plaçant à ces longueurs d'ondes précises, on peut mesurer l'absorbance de l'isotope étudié et ainsi déterminer sa quantité dans l'échantillon.

Grâce au spectromètre L2110-i, on peut étudier soit des échantillons liquides soit des échantillons gazeux. Dans le laboratoire, cet appareil est dédié à la mesure d'échantillons liquides.

Le système comporte plusieurs appareils de fonctionnement :

- un système de pompage,
- une cellule de vaporisation,
- une cavité laser CRDS ( Cavity Ring-Down Spectroscopy),
- un passeur automatique d'échantillons,
- une interface graphique pour l'analyse.

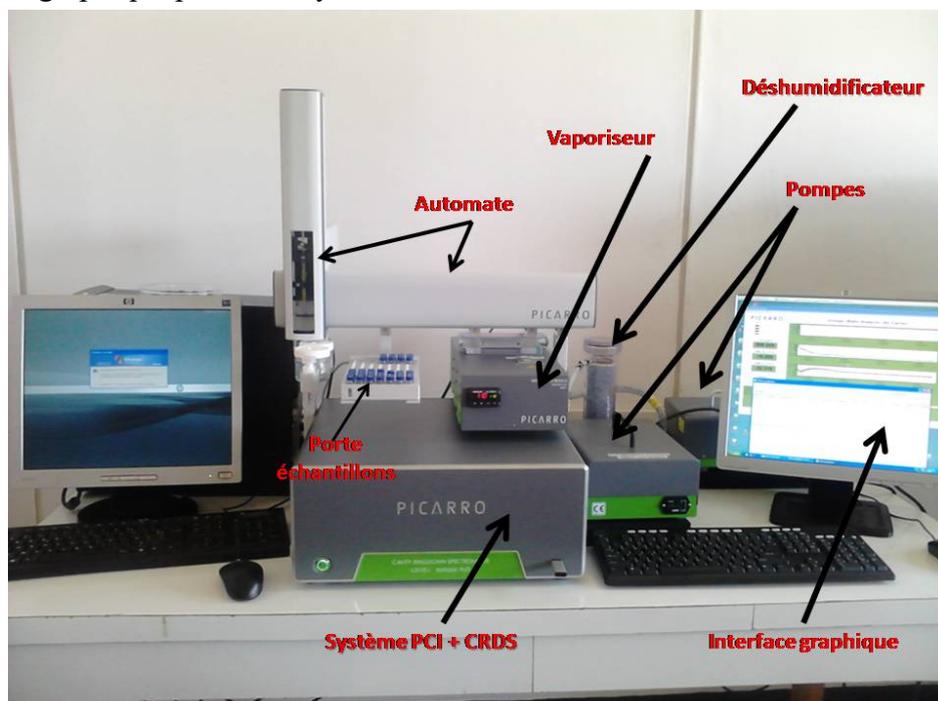


Figure II.8 : Spectromètre laser PICARRO (CRNA) 2013 [9].

➤ Le système de pompage

Le système de pompage sert à maintenir la cavité laser légèrement dépressurisée, mais aussi à créer le flux d'azote nécessaire pour entraîner l'échantillon et pour que la cavité soit exempte de toute molécule d'H<sub>2</sub>O extérieure qui pourrait fausser la mesure. Un tel flux est entretenu par un système de pompe à palettes en fonctionnement continu.

➤ La cellule de vaporisation

Les spectromètres lasers nécessitent que l'échantillon soit à l'état gazeux pour pouvoir étudier les raies d'absorption des atomes. Pour pouvoir étudier un échantillon liquide, il faut d'abord le mettre à l'état gazeux. On va donc utiliser une cellule de vaporisation. L'échantillon est introduit dans la cellule qui est chauffée à une température de 140 °C. Ainsi, l'échantillon est rapidement vaporisé et est entraîné dans la cavité laser par un flux d'azote constant. Le système d'introduction de l'échantillon se fait grâce à un septum, évitant ainsi des pertes de gaz.

➤ La cavité laser CRDS ("Cavity Ring-Down Spectroscopy")

Entraîné par le flux d'azote, l'échantillon rentre sous forme de vapeur dans la cavité laser, elle-même étant légèrement dépressurisée et saturée en azote pour éviter une quelconque interaction entre l'échantillon et d'autres molécules restantes.

La cavité CRDS se base sur le principe que chaque molécule de gaz a une raie d'absorption unique. Ces raies sont bien distinctes et connues. On pourra donc déterminer la concentration de chaque molécule étudiée en mesurant la valeur de leur absorption. Mais dans un spectromètre infrarouge conventionnel, les traces de gaz injecté n'absorbent pas suffisamment pour la sensibilité des capteurs (une partie par million au mieux).

La CRDS évite cette limite de sensibilité en produisant une absorption sur plusieurs kilomètres.

Le faisceau d'une diode laser mono-fréquence pénètre dans une cavité définie par trois miroirs à haute réflectivité. Un photodétecteur enregistre une variation de signal lorsque la lumière traverse l'un des miroirs. Quand le signal atteint une valeur seuil (après une dizaine de microsecondes), le signal continu du laser est brutalement arrêté. Le rayon toujours dans la

cavité continue à rebondir sur les miroirs (100 000 fois). Mais les miroirs n'étant pas réfléchissants à 100 % (à 99,999 % en réalité) l'intensité lumineuse à l'intérieur de la cavité diminue d'une manière exponentielle jusqu'à atteindre une valeur nulle. Cette décroissance (« Ring-Down » en anglais) est mesurée en temps réel par le photodétecteur. Le temps pour que la décroissance lumineuse soit suffisante est directement lié à la réflectivité des miroirs (pour une cavité sous vide).

On considère que pour une cavité de 25 cm de longueur, grâce au jeu de miroirs, la distance parcourue par le faisceau dans la cavité peut être supérieur à 20 kilomètres.

$$I = I_0 e^{(-\alpha l)} = I_0 e^{(-\varepsilon l C)}$$

L'exploitation de la loi de BEER-LAMBERT permet ensuite de faire le lien entre le temps de décroissance et la concentration :

Avec :

- $I$  l'intensité du signal de sortie,
- $I_0$  l'intensité du signal incident,
- $\alpha$  le coefficient d'absorption,
- $l$  la longueur du trajet optique dans la cavité,
- $\varepsilon$  l'absorptivité molaire,
- $C$  la concentration molaire ou densité de l'échantillon.

➤ Le passeur automatique d'échantillon.

Le passeur est muni d'une seringue et vient prélever un échantillon liquide dans le flacon et le dirige vers la cellule de vaporisation. Un boîtier de commande nous permet de régler le nombre et la position des flacons à étudier et le nombre d'injections à effectuer. On peut ainsi définir des méthodes différentes et les enchaîner sans perte de temps.

➤ L'interface graphique

On peut visualiser en temps réel les mesures du  $\delta^{18}\text{O}$  et du  $\delta^2\text{H}$  réalisées par le spectromètre grâce à l'interface sur l'ordinateur. Une interface graphique nous permet de visualiser le niveau d' $\text{H}_2\text{O}$  ou d'isotopes dans la cavité au cours du temps. C'est grâce aussi à cette interface que l'on lance le programme de l'analyse. Les résultats sont enregistrés directement

sur le spectromètre ; il suffit de les mettre sous un format tableur pour les interpréter rapidement.

Pour le bon fonctionnement de l'appareil, il est nécessaire d'injecter une quantité de 20 000 ppm d'H<sub>2</sub>O, ce qui correspond à une quantité de 1,8 microlitre par injection.

➤ Les avantages technique du PICARRO

Le laboratoire possède déjà des spectromètres pour mesurer les isotopes étudiés, mais le spectromètre laser PICARRO présente quelque avantage non négligeable du point de vue technique :

- Tout d'abord, il ne nécessite presque aucune maintenance alors que l'ISOPRIME nécessite une maintenance régulière pour le changement de colonne,
- Il a un coût tout à fait inférieur, en effet il coute 50 k€ à l'achat (contre 150 k€ pour l'ISOPRIME) et il ne coute presque rien en consommable alors qu'une colonne de chrome coute 300€.

Enfin il est capable de mesurer les deux isotopes simultanément, ce qui fait gagner un temps considérable.

### 3.2. Tritium (<sup>3</sup>H)

La mesure de la teneur en tritium des échantillons d'eau passe essentiellement par trois étapes, la distillation, l'enrichissement électrolytique et le comptage par scintillation liquide à bas niveau (figure II.9).



Figure II.9 : Technique de dosage du tritium par enrichissement électrolytique

### 3.2.1. Distillation

- Avant d'entamer la distillation, il est préalable de mesurer la conductivité électrique de l'échantillon à analyser [14].

- Si  $C_e > 50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , il faut distiller l'échantillon pour éviter la formation d'un précipité après ajout de peroxyde de sodium qui fournit les porteur de charge ( $\text{Na}^+$  et  $\text{OH}^-$ ) à l'eau à électrolyser (le cas de notre étude).
  - Si  $C_e > 10000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , remesurer la conductivité après la distillation et souvent il faut distiller à nouveau pour éviter la formation d'un précipité avec le peroxyde de sodium.
- Nous distillons 500 ml d'échantillon dans un ballon à fond rond dans un système clos pour éviter la contamination par l'air, on introduit des pierres ponce dans les ballons pour réguler l'ébullition, nous récupérons le distillat dans un erlan rodé en verre de 500 ml, et on note clairement l'identification de l'échantillon.

### 3.2.2. L'enrichissement électrolytique

- On Introduit 1.6g de peroxyde de sodium ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) dans une fiole jaugée à col rodé et rincer la capsule avec 1/3 de l'échantillon, agité puis laisser dissoudre. Lorsque tous le peroxyde de sodium dissous, ajuster à 500 ml.
- On Pèse les électrodes (cathodes, anodes) vides sur une balance de précision, et on note les masses sur la feuille d'électrolyse, (tableau II.3 annexe)
- Après qu'on à agité les solutions des fioles à jaugées, on les introduit dans les anodes, et en introduit aussi doucement les cathodes dans les anodes pour la quel l'étanchéité soit bonne entre les électrodes.
- On pèse une seconde fois les électrodes et noter les nouvelles masses des électrodes (figure II.11)



Figure II.10: Pesage des électrodes avant et après remplissage (CRNA 2013)

- On place la série des électrodes de 16 échantillons, 2 standards, et 2 bruits de fond dans un bac réfrigérateur puis on fait le montage électrique en série entre les

électrodes (figure II.10). L'adaptation des tuyaux souples avec les électrodes et aux barboteurs qui eux-mêmes relient à un tube rigide menant à l'extérieur du bâtiment pour éviter l'explosion à la moindre étincelle, si l'oxygène et l'hydrogène sont dégagés par l'électrolyse de l'eau. La production de gaz à travers les barboteurs permet le bon fonctionnement de l'électrolyse.

Une fois le branchement de circuit et d'étanchéité est bon on commence l'électrolyse et on note la date et l'heure de départ.

On met les ampères /heurs sur 1415 et débute avec 6 ampère /heur et après 7 heures on augmente l'ampérage jusqu'à 10 ampère/heur, après 7 jours notre électrolyse a été stoppé seul lorsque les volumes atteints les 15 ml environ. On note la date et l'heure de l'arrêt d'électrolyse.

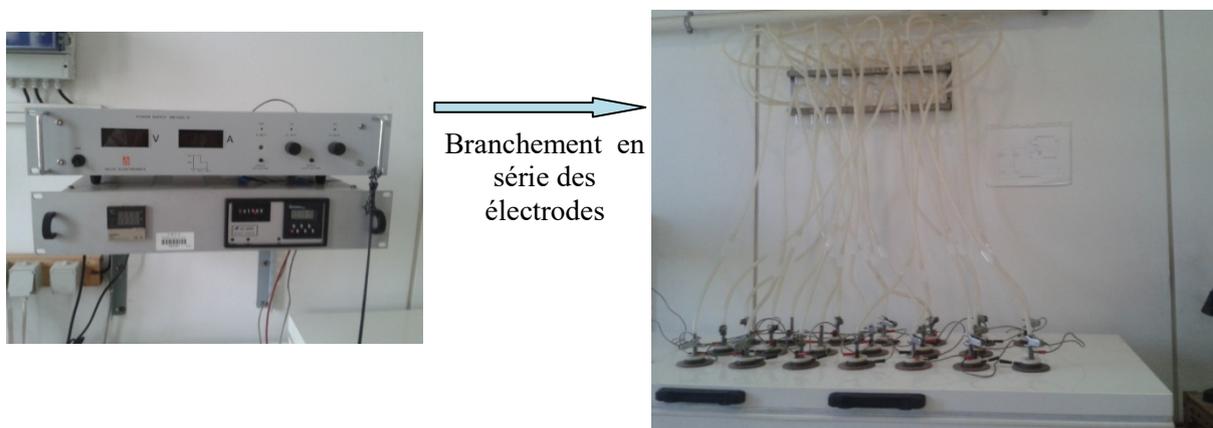


Figure II.11 : Montage électrique des électrodes dans le bac réfrigérateur (CRNA 2013)

- En fin on débranche la connexion électrique et d'étanchéité, peser les électrodes après qu'elles soient revenues à température ambiante. Neutraliser l'électrolysât avec 4g de chlorure de plomb et distiller totalement une deuxième fois la solution et préparer la pour le comptage.

### 3.2.3. Le comptage

Déposer 10ml d'eau d'échantillon dans un flacon spécial de comptage en polyéthylène (figure II.12) et en lui additionne le liquide scintillant, on bien fermer et identifié le flacon avant agiter, on prépare aussi 2 étalons d'eau tritiée à activité connue, 2 bruit de fond (eau sans  $^3\text{H}$ ), et 2 traceurs (spyke) correspondant à une eau de faible activité.

Avant le comptage, il faut laisser les flacons à refroidir dans le compteur 10 à 12 heures (figure II.13) [14]. Le comptage se fait d'une manière que chaque échantillon doit être compté 12 fois (12 passages), chaque passage dur 50 min, donc un temps total de 600 min pour 1 flacon.



Figure II.12 : Préparation de 10ml d'échantillon avec scintillation pour préparé le comptage



Figure II.13 : La série compagne des échantillons avant le lancement de comptage

## A) RESULTATS HYDROCHIMIQUES

### I. Introduction

Les analyses hydrochimiques des eaux de sources de la région d'El Hamdania (compagne 2013), ont été effectuées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrique d'Alger (A.N.R.H) et au (CRNA), dans le but de déterminer les teneurs en éléments majeurs (cations, anions) et les éléments en traces, mais aussi les caractéristiques spécifiques tels que le faciès chimique, l'indice de saturation IS et l'origine de la minéralisation de ces eaux.

### II. Présentation des résultats analytiques

Les résultats hydrochimiques des échantillons prélevés des eaux d'El Hamdania sont illustrés dans le tableau récapitulatif suivant:

Tableau III. 1 : Résultats hydrochimiques des eaux de source d'El Hamdania

Sources	T (°C)	pH	Balance ionique	Ce <sub>µs/cm</sub>	IONS									
					CATION(+)					ANION (-)				
					Li <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>
S1	6	7.63	0.48	400	0.00	50.9	13.3	13	1	12.52	53.66	0	158.60	0.5
S2	7	7.58	0.5	610	0.2	80.1	22.8	16	1	13.78	147.46	0	195.2	0.02
S3	8	7.72	0.5	450	0.00	63.4	14	12	0	15.52	69.75	0	189.10	1.6
S4	11	7.68	0.49	590	0.22	92.1	19.4	16	1	25	72.41	0	274.50	1.8
S5	8	7.84	0.47	270	0.00	35.6	09	10	1	15.32	27.69	0	111.33	3
S6	7	7.93	0.47	410	0.00	55.2	13.4	20	1	17.94	65.25	0	164.70	1
S7	8	7.75	0.48	400	0.00	53.1	13	12	0	15.57	46.15	0	164.09	0.8
S8	11	7.64	0.47	420	0.21	60	14	12	1	25.23	54.2	0	163.18	2.5
S9	8	7.61	0.5	330	0.00	31.9	09.3	11	1	8.16	44.94	0	106.75	1.8
S10	9	8.08	0.45	720	0.21	75.5	26.5	35	1	66.04	112.12	0	186.05	0.6
S11	6	7.41	0.46	410	0.00	51.8	13.6	15	1	29.1	41.76	0	152.50	2.4
S12	13	7.6	0.49	410	0.26	56.8	11	11	1	13.04	32.08	0	189.10	2.3
S13	9	7.45	0.48	290	0.00	30.3	11.5	9	1	19.92	17.52	0	112.85	0.09
S14	11	7.69	0.46	520	0.26	64.7	21	23	1	12.51	86.01	0	204.35	0.13
S15	9	7.61	0.48	550	0.00	61.8	21.2	22	2	13.5	94.33	0	198.25	2.8
S16	12	7.87	0.49	520	0.26	70.4	20.2	11	1	11.29	108.71	0	176.90	0.14

### 2.1. Caractéristiques physico-chimiques

#### 2.1.1. pH

Les propriétés des eaux naturelles dépendent du pH, ce dernier dépend des concentrations en ions d'hydrogène présent dans l'eau (les ions H<sup>+</sup> présents dans les eaux naturelles sont dues à des causes diverses en particulier à l'ionisation de l'acide carbonique et de sels) [12].

Les valeurs du pH obtenues pour les 16 sources oscillent entre 7 et 8, ces valeurs sont proches de la neutralité avec une légère tendance vers la basicité ce qui explique la présence des ions  $\text{HCO}_3^-$  (tableau du pH). La S10 a la valeur la plus élevée (8.08) mais reste toujours proche de la neutralité

Les normes Algériennes fixent un niveau guide compris entre 6.5 et 9 pour les eaux de consommation, donc les eaux de notre région d'étude sont conformes aux normes [15].

### 2.1.2. Conductivité électrique et minéralisation

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 [16]. Cependant, il existe une relation entre la minéralisation et la conductivité électrique [12], le tableau présente cette relation :

Tableau III.2 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité [12].

Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation (mg/L)
Conductivité inférieure à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$1,365\ 079 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 50 et 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,947\ 658 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 166 et 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,769\ 574 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 333 et 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,715\ 920 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité comprise entre 833 et 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,758\ 544 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$
Conductivité supérieure à 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	$0,850\ 432 \times \text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ à } 20\ ^\circ\text{C}$

Le Tableau III.2 donne des indications sur la relation entre la minéralisation d'une eau et sa conductivité.

Tableau III.3. Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité [12].

conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	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

Pour l'ensemble des sources la valeur de la conductivité est largement en dessous de la norme Algérienne (2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) [15], les sources S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8, S11, S12, S14, S15, S16 présentent une conductivité qui varie de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui nous amène à classer ces eaux comme étant moyennement minéralisée (tableau III.2).

Les sources S5, S9 et S13, présentent une conductivité qui varie de 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , peuvent être classés comme des Eaux de minéralisation peu accentuée.

La source S10 sort du lot, et présente une conductivité de 720  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et peut être classé comme une eau de minéralisation importante (tableau III.2).

### 2.1.3. La dureté

La dureté totale ou titre hydrotimétrique correspond dans la plupart des cas aux ions du calcium et de magnésium, auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium c'est un indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en  $\text{CaCO}_3$ . Elle est aussi très souvent donnée en degrés français [12].

L'OMS fait classer l'eau selon la dureté totale, le Tableau III.3 présente les normes de la dureté de l'eau de boisson fixées par l'OMS [7].

**Tableau III.4.** Norme pour la dureté des eaux de boisson [12].

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

Les eaux des sources (S2, S3, S6, S7, S8, S11, S12, S14, S15, S16) sont des eaux moyennement douces à moyennement dures puisque les valeurs du TH enregistrées sont comprises entre 15 °F et 30 °F, en particulier les sources S4 et S10 ayant une eau dure car leur valeurs sont élevée, par contre en remarque que les sources S5, S8 et S12 présentent une eau douce avec un TH < 15 °F.

Les valeurs de la dureté, peuvent être expliquées par la dissolution du calcium et du magnésium, qui est accrue par la présence dans l'eau de gaz carbonique provenant de l'atmosphère ou de  $\text{CO}_2$  magmatique et des couches superficielles [17].

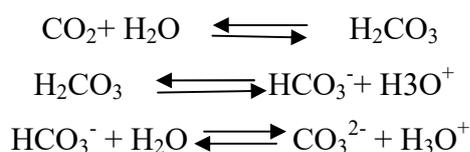
Pour la législation française, il n'existe pas de limites supérieures ni de niveau guide de la dureté totale. Néanmoins le Ministère de la santé qualifie l'idéal un TH compris entre 15°F et 25°F, mais la limite inférieure est fixée à 15°F [17].

## 2.2. Paramètres hydrochimiques

### 2.2.1. Anions

#### 2.2.1.1. 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 [17].

Les concentrations des bicarbonates enregistrées varient entre 100 et 200 mg/l pour l'ensemble des points analysés, sauf pour les eaux d'El Hamdania qui ont une teneur nettement supérieure à 200 mg/l.

Dans les eaux d'El Hamdania les bicarbonates constituent l'anion dominant avec une concentration de 274.5 mg/l (S4).

#### 2.2.1.2. Nitrates

La présence de nitrates dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines, et peut provoquer la méthémoglobinémie chez les nourrissons appelée également la maladie bleue [19]. Pour l'ensemble des sources, les nitrates enregistrent des concentrations assez stables avec des valeurs inférieures à 20 mg/l, ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité (50 mg/L) [15].

#### 2.2.1.3. Sulfates

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable, les valeurs enregistrées de la campagne (avril 2013) montrent que les eaux de sources sont moins chargées en sulfate (valeurs maximale de 147.46 mg/L pour la S2). Ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne (400 mg/L) [15].

#### **2.2.1.4. Chlorures**

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés [12], les teneurs en chlorures enregistrées pour les eaux de sources d'El Hamdania sont très inférieures aux normes (OMS, 250 mg/L), (norme algérienne, 500mg/l), [12].[15].

#### **2.2.2. Cations**

##### **2.2.2.1. Calcium $\text{Ca}^{2+}$**

Dans l'eau, le calcium existe surtout à l'état de bicarbonates, et en quantité minimale sous forme de sulfate, chlorure...etc. Les eaux de pluie n'en renferment que des traces [12].

Les eaux de sources prélevées en moi d'avril présentent des teneurs relativement faibles en calcium, (de 30mg/l à 90mg/l).

Les eaux de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/L de calcium [12].

##### **2.2.2.2. Magnésium $\text{Mg}^{2+}$**

Le magnésium est un élément indispensable de la dureté de l'eau dont la teneur dépend des terrains traversés [12].

Les valeurs du magnésium enregistrées, sont nettement inférieures à celles du calcium, elles varient entre 9 et 26mg/l.

La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens.

Les directives du Conseil des communautés européennes indiquent comme teneur du magnésium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 30 mg/L et une concentration maximale admissible de 50 mg/ L [12].

##### **2.2.2.3. Sodium $\text{Na}^+$**

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/L et même au-delà [12].

Au vu des résultats obtenus, on constate des teneurs très faibles en sodium qui ne dépasse pas les 25mg/l pour l'ensemble des sources, (la valeur guide Algérienne est de 200 mg/L) [16].

#### 2.2.2.4. Potassium $K^+$

C'est un élément alcalin, très réactif avec l'eau, on le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais. Il se trouve aussi dans la végétation sous forme de carbonate [12].

Les valeurs obtenues du potassium sont inférieures de la norme de potabilité de 12 mg/l [16], Les anciennes directives du Conseil des communautés européennes indiquaient comme teneur du potassium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 10 mg/L et une concentration maximale admissible de 12 mg/l [12].

### 2.2.3. Les éléments en traces

#### 2.2.3.1. Lithium

Le lithium existe dans la nature sous forme de mélange des deux isotopes :  $^6Li$  et  $^7Li$ . Certaines eaux douces peuvent en contenir quelques milligrammes par litre et des teneurs de l'ordre de 0,1 mg/L peuvent exister dans les eaux de puits ; en général dans les eaux de surface les concentrations sont de l'ordre de quelques microgrammes par litre. Les teneurs en lithium les plus élevées sont rencontrées dans les eaux minérales et les eaux saumâtres [12].

Le lithium est souvent considéré comme un indicateur de lithofaciès, il indique aussi le degré d'interaction eau-roche, par conséquent il donne une idée sur le temps de résidence des eaux souterraines [9]. C'est un élément hydrophile et sensible à la variation de la température.

Le lithium peut être présent dans une évaporite en se substituant au sodium dans la halite ou au potassium dans la sylvite, comme il peut être lié aussi aux minéraux carbonatés en substituant au calcium [9].

Pour les eaux d'El Hamdania, les concentrations en lithium sont très faibles et dans la plus part des sources il est nul, ces valeurs correspondent peut être à la nature géologique des réservoirs (crétacé inférieur schistes), ceci peut expliquer les faibles teneurs en  $Ca^+$ ,  $HCO_3^-$  de l'eau.

## III. Interprétation des résultats

### 3.1. Faciès chimiques des eaux

La représentation des données d'analyse des eaux de sources (campagne 2013) sur le diagramme de PIPER et SCHOELLER BERKALOFF indique que toutes les sources sont du type **bicarbonaté calcique** avec une présence des concentrations sulfatées plus élevées dans les sources S2 et S10 (Figure. V.1).

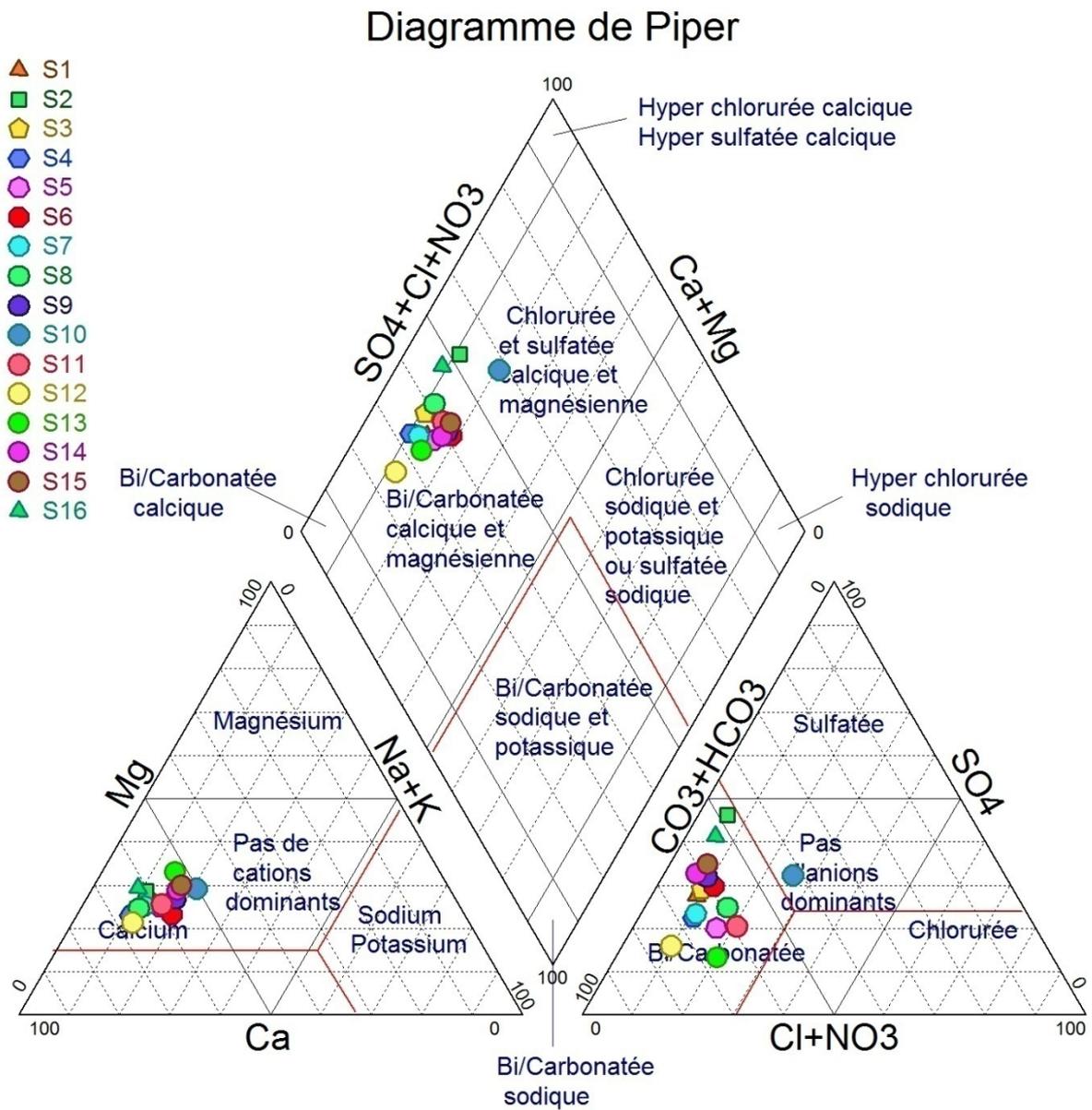


Figure III.1 Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources d'El Hamdania, (2013).

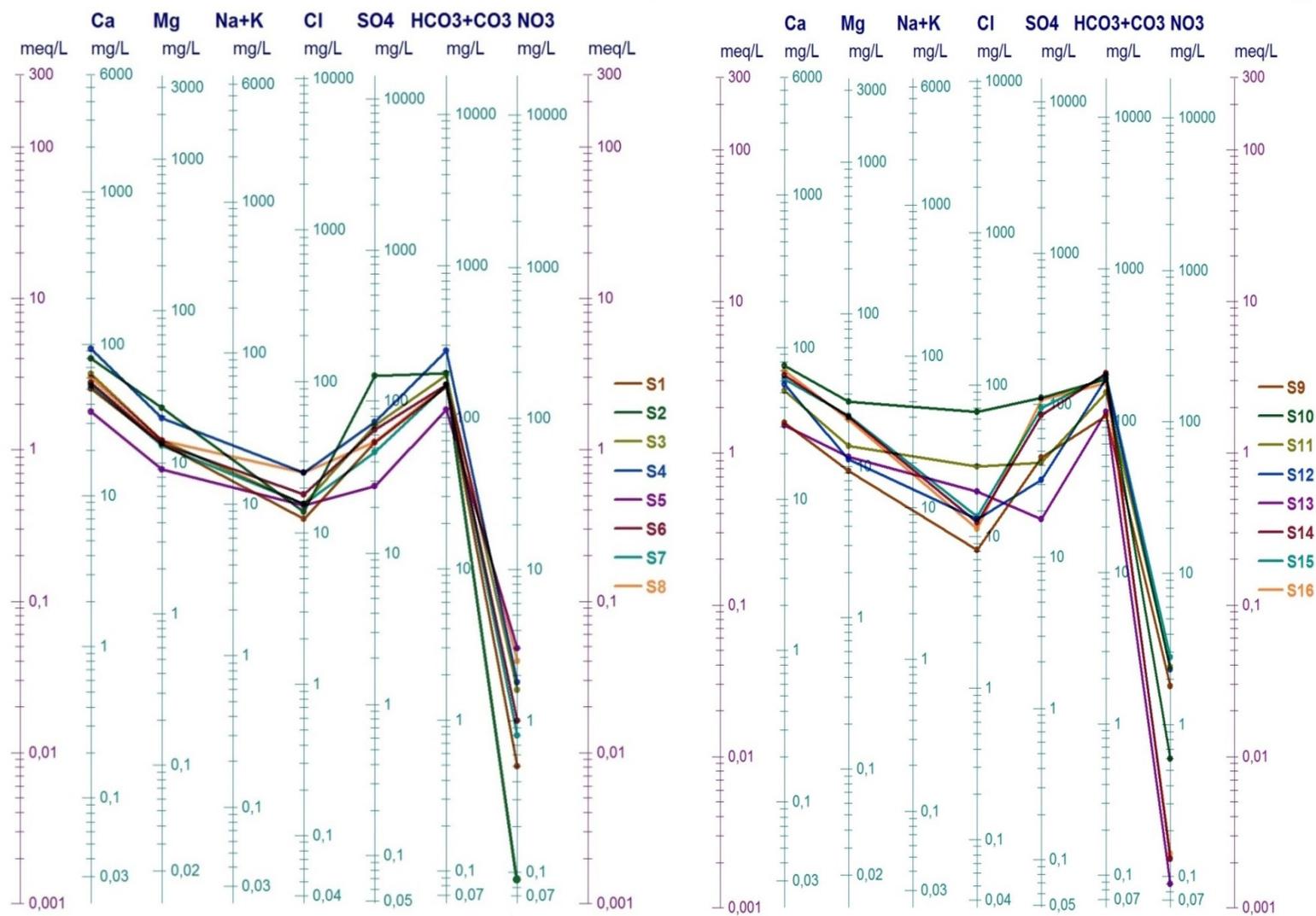


Figure III.2 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources d'El Hamdania, (Période des hautes eaux) de l'année 2013

### 3.2. L'indice de saturation

L'indice de saturation indique l'état d'équilibre ou de déséquilibre existant entre l'eau et les principaux minéraux présents dans les sources [20].

Le calcul de l'indice de saturation des minéraux dissous dans l'eau a été fait à partir de l'équation de Debye et Huckel (1923) [21].

$$IS = \frac{\log PAI}{\log Ks} \text{ Avec}$$

- PAI : produit d'activité ionique ;
- Ks : constante d'équilibre.

Lorsque :

- IS > 0 l'échantillon est sursaturé vis-à-vis du minéral (reprécipitation possible du minéral, sous réserve de cinétique);
- IS < 0 l'échantillon est sous-saturé (eau agressive si le minéral est présent) ;
- IS = 0 l'échantillon est à saturation (en équilibre). Cette fourchette de saturation tient en compte des éventuelles erreurs sur les mesures du pH qui se percutent sur les calculs d'IS.

Dans notre étude le calcul des indices de saturation (IS) a été effectué, avec le logiciel DIAGRAMMES, à partir des analyses de la campagne d'avril-2013 tableau (III.5).

Les valeurs des indices de saturation des points d'eaux analysés sont consignées dans le tableau N°

Tableau III.5 : indice de saturation IS des eaux échantillonnées

Source	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite	Source	Calcite	Aragonite	Dolomite	Gypse	Anhydrite
S1	-0,50	-0,65	-1,24	-1,82	-2,04	S9	-0,85	-1,00	-1,89	-2,07	-2,29
S2	-0,26	-0,41	-0,72	-1,24	-1,46	S10	-0,31	-0,46	-0,73	-1,39	-1,61
S3	-0,35	-0,49	-1,00	-1,63	-1,85	S11	-0,51	-0,66	-1,26	-1,92	-2,14
S4	-0,10	-0,19	-0,43	-1,49	-1,71	S12	-0,38	-0,52	-1,12	-1,99	-2,21
S5	-0,79	-0,93	-1,82	-2,23	-2,45	S13	-0,85	-0,99	-1,77	-2,49	-2,71
S6	-0,46	-0,6	-1,19	-1,71	-1,93	S14	-0,32	-0,46	-0,77	-1,55	-1,77
S7	-0,47	-0,61	-1,20	-1,87	-2,09	S15	-0,35	-0,49	-0,82	-1,53	-1,75
S8	-0,43	-0,57	-1,14	-1,75	-1,97	S16	-0,35	-0,49	-0,88	-1,41	-1,63

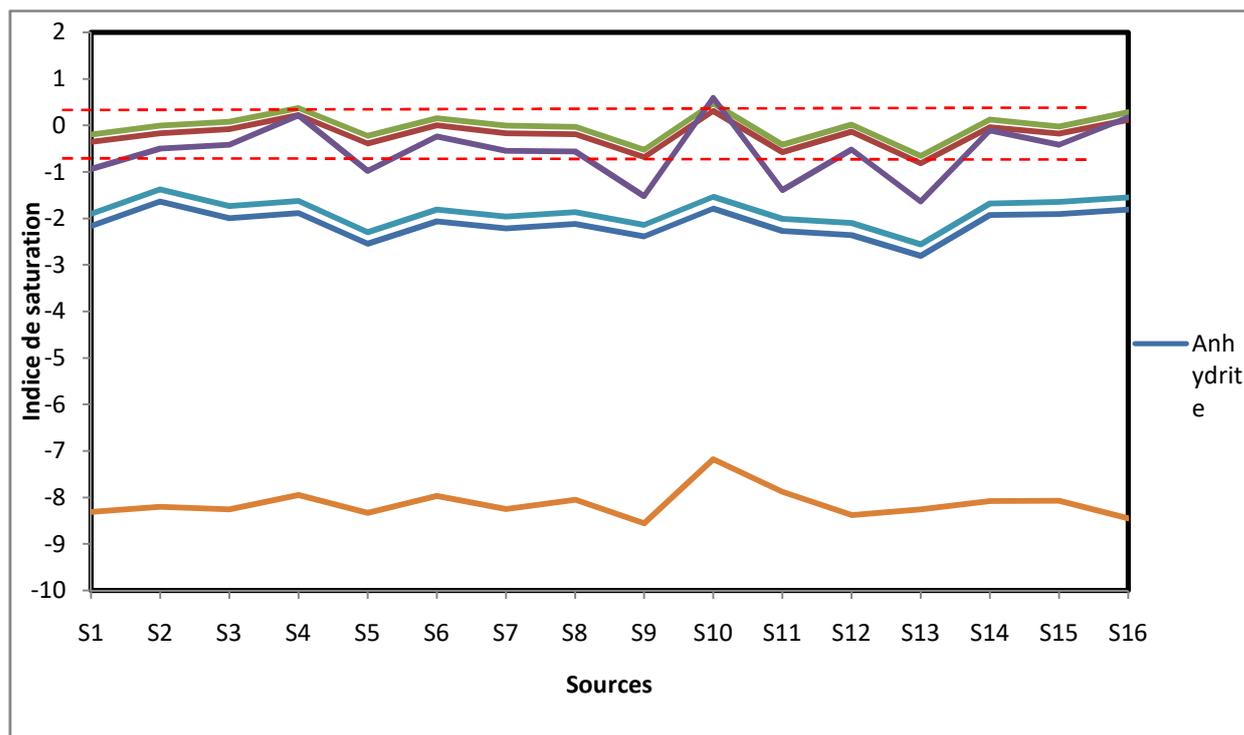


Figure III.3 : Variation de l'indice de saturation des minéraux des eaux de sources d'El Hamdania.

Pour les eaux de sources de notre étude, tous les échantillons présentent une saturation vis-à-vis des minéraux carbonatés (calcite et la dolomite, aragonite), et une sous saturation vis-à-vis des minéraux sulfatés (gypsum, halit et anhydrite).

### 3.3. L'origine du chimisme des eaux souterraines d'El Hamdania

Pour mieux comprendre le processus de minéralisation des eaux souterraines d'El Hamdania, nous avons représenté les éléments majeurs en fonction des chlorures.

Ce dernier est un élément conservé, ne participe pas aux interactions eau-roche, caractérise l'origine de la salinité des eaux et constitue un traceur de mélange[21].

Les réactions majeures reconnues comme responsables d'enrichissement ou d'appauvrissement des éléments dans les eaux souterraines sont l'échange  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  dû à[22]:

- l'interaction eau-roches carbonatées ;
- l'échange de base  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ;
- la réduction ou la dissolution des sulfates.

Dans un environnement carbonaté, l'enrichissement simultané de  $\text{Ca}^{2+}$  et l'appauvrissement de  $\text{Mg}^{2+}$  est expliqué surtout par le phénomène d'interaction eau-roche comme la dolomitisation, dissolution et précipitation[21].

### 3.3.1. Couple $\text{Na}^+$ - $\text{Cl}^-$

Le digramme  $\text{Na}^+$  -  $\text{Cl}^-$  (figure VI.4.1), montre que la majorité des eaux des sources se trouvent sur la droite de dissolution de la halite de pente 1-1 ce qui traduit une origine communes de ions, les points S1, S2, S4 présentent un légère enrichissement en sodium liééprobablement à des réactions d'échange ionique.

### 3.3.2. Couple $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Cl}^-$

Le digramme  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{Cl}^-$  (figure VI.4.2), montre un enrichissement qui n'est pas lié aux ions chlorures ce qui suggère que le calcium n'est pas lié à la dissolution des évaporites.

### 3.3.3. Couple $\text{SO}_4^{2-}, \text{Mg}^{2+}$ - $\text{Cl}^-$

Les digrammes  $\text{SO}_4^{2-}, \text{Mg}^{2+}$  -  $\text{Cl}^-$  (figure VI.4.3) montrent un enrichissement en ions  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  par rapport aux chlorures liée à la dissolution des niveaux de calcaires, marnes et schiste. Ils ne montrent aucune évolution avec les ions chlorures.

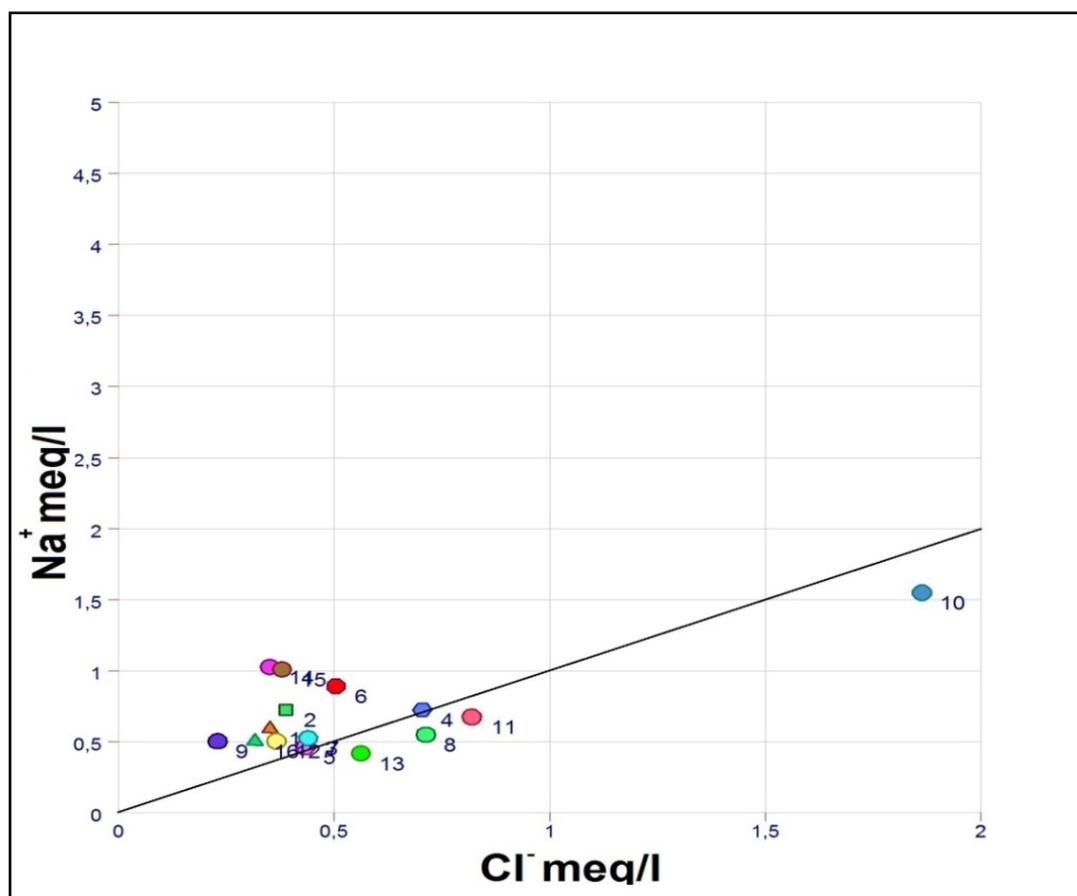


Figure III.4.1 : Couple  $\text{Na}^+$  -  $\text{Cl}^-$

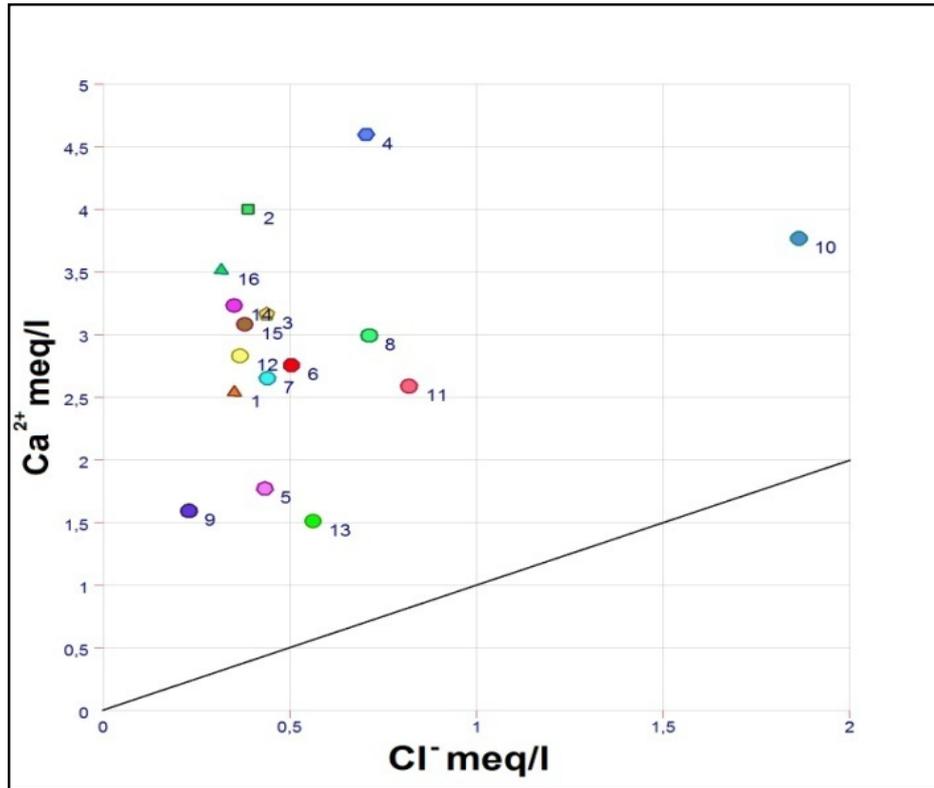


Figure III.4.2 : Couple Ca<sup>2+</sup>- Cl<sup>-</sup>

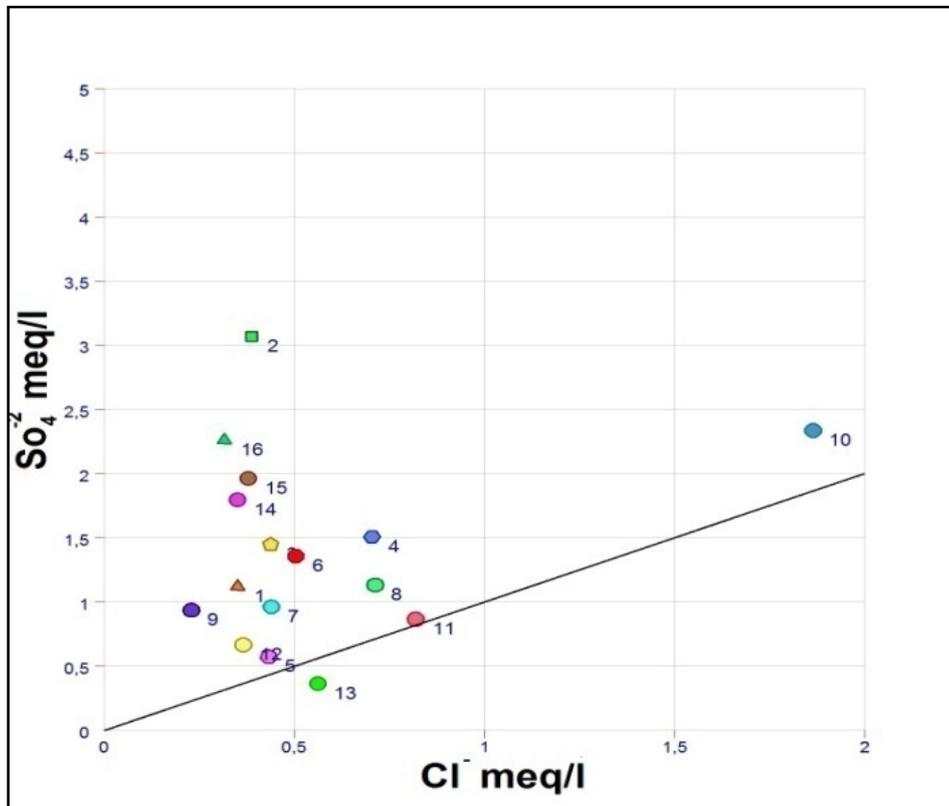


Figure III.4.3 : Couple SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Cl<sup>-</sup>

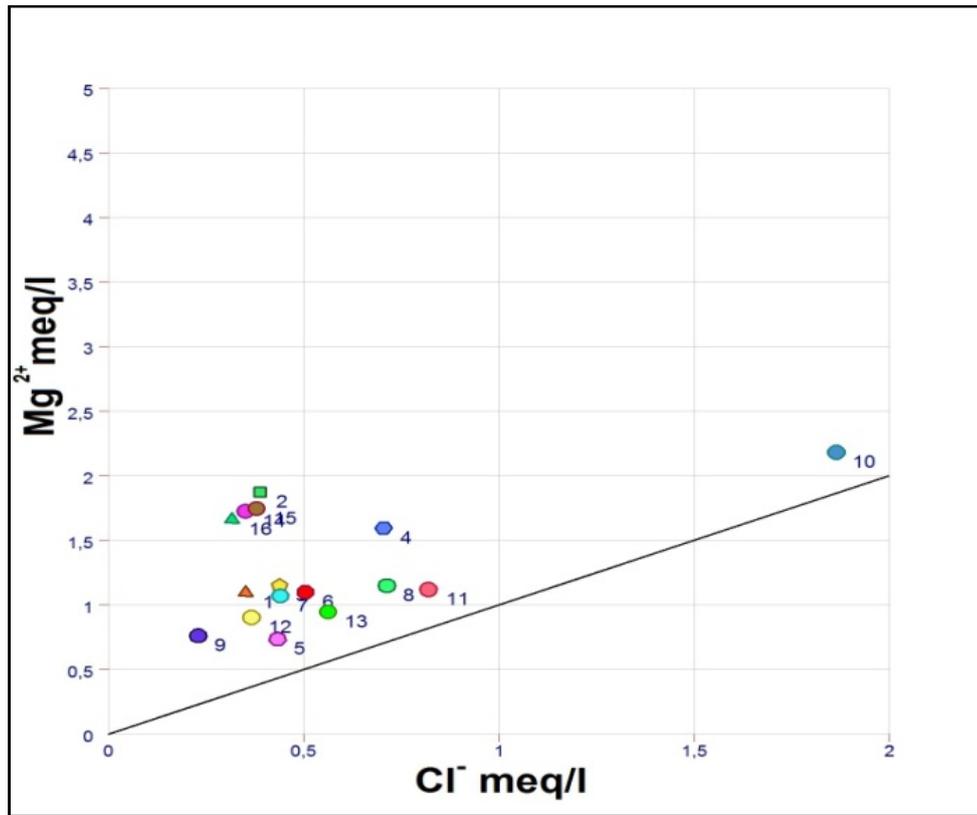


Figure III.4.4 : Couple Mg<sup>2+</sup> / Cl<sup>-</sup>

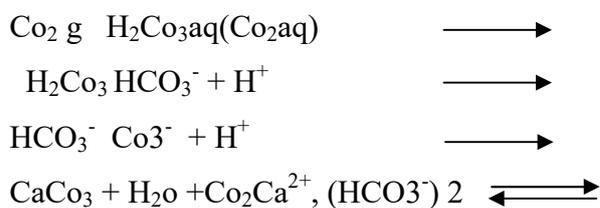
Figure III.4 : Relation entre Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et le Cl<sup>-</sup> des eaux souterraines d'El Hamdania.

### 3.3.4. Couple Ca<sup>2+</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

Le digramme Ca<sup>2+</sup>- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (figure VI.4.3) montre que l'ion calcium est en partie lié à l'ion sulfate, mais se trouve enrichi par rapport à celle-ci, ce qui traduit une origine d'une partie du calcium à la dissolution des niveaux marneux schisteuse.

### 3.3.5. Couple Ca<sup>2+</sup>- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Le diagramme Ca<sup>2+</sup>- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (figure VI.4.3) montre qu'une grande partie des points présente une bonne liaison entre le calcium Ca<sup>2+</sup> et l'ion bicarbonaté HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ce qui suggère une origine commune de ces deux ions ; équilibre calco-carbonique



Cette origine serrait conforme à un schéma d'infiltration des eaux des pluies et émergence des eaux des sources assez rapidement (un temps de séjour court).

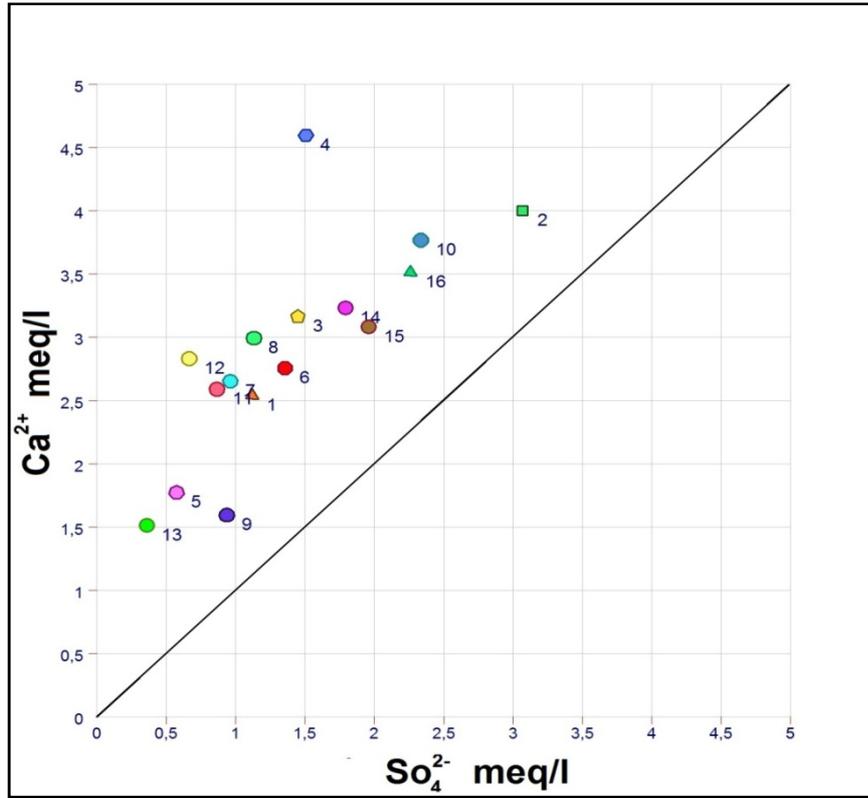


Figure III.5.1: Couple Ca<sup>2+</sup>/So<sub>4</sub><sup>2-</sup>

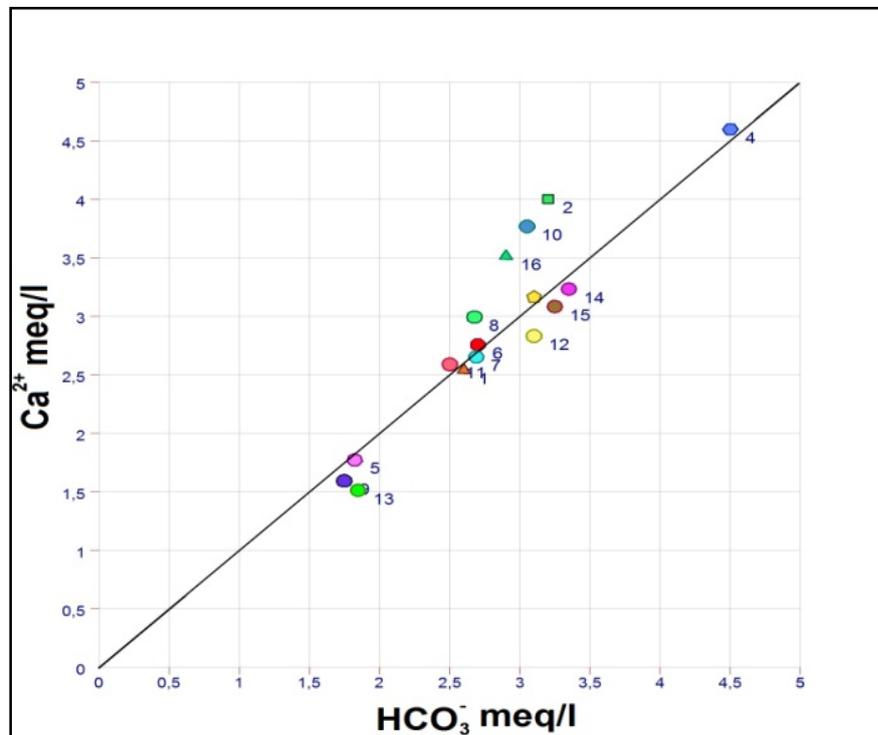


Figure III.5.2: Couple Ca<sup>2+</sup>/ HCO<sub>3</sub>

Figure III.5.2 : Détermination de l'origine de Ca<sup>2+</sup>/ HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

## B) RESULTATS ISOTOPIQUES

### I. Introduction

Les isotopes les plus communément utilisés en Hydrologie Isotopique sont logiquement ceux qui font partie intégrante de la molécule d'eau à savoir : l'oxygène 18 ( $^{18}\text{O}$ ), le Deutérium ou Hydrogène lourd ( $^2\text{H}$  ou D) et le Tritium ou Hydrogène radioactif ( $^3\text{H}$  ou T) qui sont dits traceurs intrinsèques. Les autres isotopes sont ceux de la forme dissoute : le Carbone-13 qui est stable ( $^{13}\text{C}$ ) et le radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ )[2].

### II. Isotopes stables ( $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$ )

La molécule d'eau est constituée de deux éléments (O et H) possédant chacun trois isotopes stables ou radioactifs. L'abondance relative d'un isotope dépend de plusieurs facteurs, dont le lieu de précipitation de la pluie (altitude, latitude, distance de l'océan), le cycle d'évaporation- condensation. Les échanges avec les minéraux, le mélange avec l'eau magmatique, etc. L'abondance relative moyenne de ces isotopes est[13]:

$$\begin{array}{lll} ^1\text{H}:99,984\% & ^{16}\text{O}:99,76\%; & ^{18}\text{O}:0,10\%. \\ ^2\text{H}: 0,015\% & ^{17}\text{O}: 0.037\%; & \end{array}$$

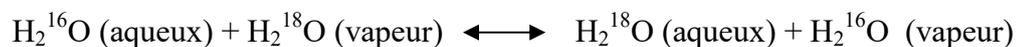
#### 2.1. Variation isotopique naturelle :

Cas de l'eau:

Les isotopes rares obéissent aux mêmes lois de la thermodynamique chimique que les isotopes banales. Lors de changement de phase, il se produit des transferts isotopiques entre phases, par exemple, entre les phases liquides et vapeur:

#### 2.2. Abondance isotopique ou Delta pour mille ( $\delta \text{‰}$ )

Dans un échange isotopique de l'atome d'oxygène entre deux phases de la molécule d'eau



La mesure de la différence relative des rapports isotopiques de ces deux phases est suffisante, de plus, elle est plus facilement mesurable que les rapports eux mêmes. Cette différence que l'on nomme exprime la concentration en isotope lourd d'un échantillon relativement à un étalon; elle est exprimée en part pour mille[13] :

$$\delta = (\text{R}_{\text{échantillon}} / \text{R}_{\text{standard}} - 1) * 10^3$$

Où,  $\text{R}_{\text{échantillon}}$ , est le rapport isotopique de F échantillon ou teneur en isotope lourd, ou concentration de F espèce isotopique rare, et  $\text{R}_{\text{standard}}$ , le rapport isotopique du standard.

### 2.3. Facteur de fractionnement $\alpha$ :

Lors des réactions chimiques et différents processus physiques, les molécules contenant des isotopes différents subissent une séparation ou un fractionnement isotopique. Le facteur de fractionnement est exprimé généralement par rapport à la valeur  $\delta$  que l'on mesure par spectrométrie de masse[13] :

$$\alpha = (\delta_1 + 10^3) / (\delta_2 + 10^3)$$

Les réactions isotopiques obéissent à la loi d'action de masse sous conditions d'équilibre, le facteur de fractionnement est alors relié à la constante d'équilibre K. par:

$$\alpha = K^{1/n} = R_{\text{échant 1}} / R_{\text{échant 2}}$$

Où,  $n_i$ , le nombre d'atomes échangés. On note  $K = a$ , si la réaction est monoatomique. Le facteur  $\alpha$  est corrélé avec la température par:

$$10^3 \cdot \ln \alpha = a + b T^{-1} + c T^{-2}$$

T, étant la température en degré kelvin: a, b et c, étant des paramètres empiriques propres à chaque système (Frit/, et Fontes. 1980 In AMMARY 2007).

### 2.4. Facteur d'enrichissement :

La plupart des facteurs de fractionnement isotopique sont proches de l'unité. C'est la raison pour laquelle on exprime le facteur  $\varepsilon$  en part pour mille. Cette valeur est appelée: facteur d'enrichissement, exprimée par[13] :

$$\varepsilon = (\alpha - 1) \cdot 10^3$$

$\varepsilon$  peut prendre des valeurs positives ou négatives, et on peut en obtenir une approximation en reprenant la définition de  $\alpha$  et en tenant compte du fait que  $\delta$  est très petit devant mille par:

$$\varepsilon \approx \delta_1 - \delta_2$$

### 2.5. Standards internationaux:

Toute espèce chimique est exprimée par rapport à un standard approprié conventionnellement admis. L'étalon utilisé pour le deutérium ( $^2\text{H}$ ) et l'oxygène 18 ( $^{18}\text{O}$ ), est le SMOW ou le Vienna SMOW: une eau océanique moyenne. Les teneurs en espèces chimiques du SMOW ou VSMOW. Sont des standards fixés d'après l'analyse d'un échantillon moyen d'eau de l'océan Atlantique, prélevé à la verticale d'un lieu situé à  $0^\circ$  de

latitude et 0° de longitude, et dont la composition isotopique est [13]:

$$\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰} \text{ et } \delta^2\text{H} = 0 \text{ ‰}$$

Le standard, VSMOW, est distribué par l'AIEA aux différents laboratoires qui sont appelés à exprimer les résultats d'analyses par rapport au VSMOW. Pour le  $^{13}\text{C}$ , l'étalon international, est le PDB (Peedee Belemnite americana); une calcite biogénique marine (rostre de la Belemnite Americana de "la Peedee formation") du crétacé supérieur de la Caroline du sud aux USA.

## 2.6. Composition isotopique lors d'échange de base:

Les processus de changement de phase dans le cas de l'eau peuvent s'effectuer suivant deux modes: la condensation et l'évaporation.

### 2.6.1. Condensation:

La condensation est une réaction qui a lieu à l'équilibre. Le fractionnement isotopique entraîne un enrichissement en isotopes lourds de la phase liquide au détriment de la phase vapeur. Dans le cas de précipitation, la masse de vapeur qui leur donne naissance est soumise à ce processus de condensation chaque fois que, au voisinage de la saturation la température s'abaisse, ou la pression augmente. « Dansgaard. 1964 a montré que la teneur en isotopes lourds des précipitations diminue avec la température de condensation ». Il a établi les relations suivantes à l'échelle globale entre les teneurs en Oxygène 18 et en  $^2\text{H}$  et la température moyenne annuelle au niveau de sol pour la station océaniques.  $T < 10^2 \text{ C}$  [13].

$$\delta^{18}\text{O} = 0,69T^2\text{C} - 13.6 \qquad \delta^2\text{H} = 5.6 \text{ TX} - 100 \text{ ‰}.$$

Toutefois, cette relation n'est en générale pas vérifiée à l'échelle locale et en particulier pour les stations très continentales ou celles de moyenne et basses latitudes à saison contrastées. Cette dépendance entre les teneurs en isotopes lourds des précipitations et les températures est importante puisqu' elle conduit à des variations de la composition isotopique des précipitations en fonction des paramètres géographiques ou paléogéographiques suivantes: La latitude, l'altitude, la saison et la période climatique. A l'échelle du globe, les teneurs en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  des précipitations d'origine océaniques qui sont corroies linéairement à la température de condensation sont donc corrélés entre elles de façon également linéaire, la relation:

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$$

Est en général acceptée pour les précipitations d'origine océanique et à l'échelle globale. La constance de la pente 8 de cette relation montre que la condensation est un phénomène qui a lieu à l'équilibre. Toutefois, des variations locales de pentes peuvent avoir lieu: elles seraient dues à des effets d'évaporation cinétique en cours de précipitation. L'excès en deutérium

$$d = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O}$$

ou ordonné à l'origine de la corrélation des précipitations d'origine océanique est  $d = +10\text{‰}$ . Cependant cette valeur peut devenir plus élevée.  $-22 \text{‰}$  en méditerranée orientale (Nir, 1967 In GÏIF.NDOUZ 1985),  $d = +13.4$  à Alexandrie, Egypte. La valeur du paramètre ( $d$ ) est liée à l'humidité relative de l'air et à la température de l'interface océan-atmosphère dans les zones de formation des masses de vapeur atmosphérique[13].

### 2.6.2. Evaporation:

L'évaporation est une réaction qui a lieu dans des conditions de non équilibre. Les variations isotopiques engendrées au cours de l'évaporation d'une masse d'eau, consistent en un enrichissement de la fraction restante du liquide en isotope lourds. Le fractionnement isotopique est alors régi non seulement par le partage à l'équilibre mais aussi par des effets cinétiques dus à des vitesses de diffusion différentes des molécules d'eau dans l'air humide.

L'ensemble des résultats obtenus expérimentalement, montrent que les enrichissements en  $^{18}\text{O}$  et en deutérium causés par l'évaporation des masses d'eau est un phénomène complexe qui fait intervenir différents paramètres: température, vitesse d'évaporation et teneur en eau de l'atmosphère. Il est bien établi que ce processus d'évaporation hors d'équilibre est caractérisé par une droite de pente variable et intérieure à 8[13].

### 2.7. Relation: $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$

D'une façon générale, aussi bien sur terre que sur les océans, les teneurs en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  des eaux de pluies vérifient la droite des eaux météoriques mondiales (DMM) de Craig (1961), d'expression:  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \text{‰SMOW}$ , appelée GMWT. (Global Météorique Water Line). Cependant, localement et notamment dans les mers fermées et sur les continents où le recyclage de la vapeur est important, l'excès en deutérium ( $d = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O}$ ) peut être plus grand que 10. Celle des eaux de la Méditerranée orientale présente un excès en deutérium de 22 ( $\delta^2\text{H} = 8^{18}\text{O} + 22 \text{‰ SMOW}$ )[13].

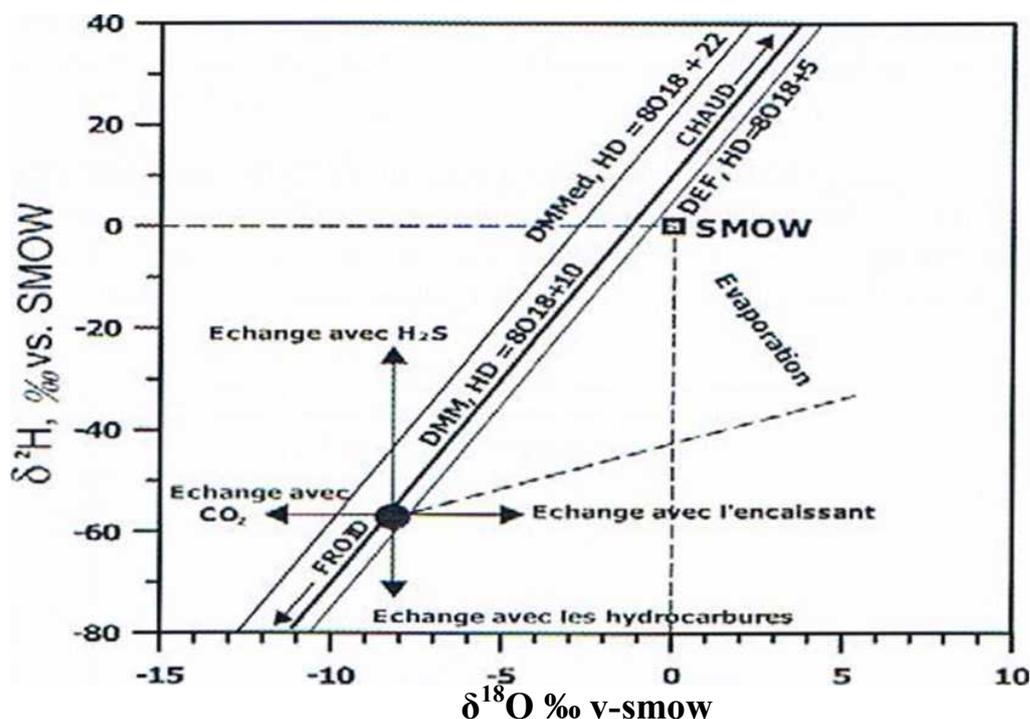


Figure III.6 : Domaine de répartition des eaux naturelles sur un diagramme  $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$

La pente est inférieure à 8, ceci traduit une ré-évaporation des gouttes de pluies en cours de chute, en milieu non saturée. Cette diminution de la pente est due à l'effet de fractionnement cinétique, lui-même, lié à la différence entre les taux de diffusivité des isotopes. La tendance horizontale d'enrichissement en  $^{18}\text{O}$  (Figure VI-1) indiquerait un processus d'échange avec un rocheux rencaissant. Dans la zone non saturée du sol, qui est le siège d'un fractionnement de type cinétique entre l'eau et la vapeur du sol, montrent que les teneurs isotopiques des eaux des sols, sont également corrélées selon des droites décalées par rapport à la DMM, dont la pente varie de 2 à 5.

### III. isotopes radioactifs (le tritium $^3\text{H}$ )

#### 3.1. Principe de datation radiométrique.

##### 3.1.1. Rappel général sur les isotopes radioactifs. [13]

Toutes les datations radiométriques sont basées sur le phénomène de désintégration des éléments radioactifs naturels, qui est le changement de composition de leur noyau atomique. Cette désintégration est marquée par une radioactivité qui se manifeste par un ou plusieurs des trois phénomènes suivants:

- radioactivité a (alpha) : émission d'un noyau d'hélium (2 neutrons et 2 protons) ;
- radioactivité b (bêta) : émission d'un électron ;
- radioactivité g (gamma) : émission de photons de haute énergie.

Pour chaque atome d'un corps radioactif, il existe une certaine probabilité de se désintégrer (c'est-à-dire de voir la composition de son noyau se modifier) pendant un intervalle de temps donné. En pratique, cela signifie que, durant un petit intervalle de temps, une quantité proportionnelle à la masse du corps va se désintégrer. La masse du corps va diminuer d'autant, et le processus va se continuer, la quantité qui se désintègre diminuant toujours, puisque la masse diminue. Cette décroissance est exponentielle et obéit à la loi :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N_0$  étant le nombre d'atomes au début de la réaction,  $N$  ce nombre au temps  $t$  et  $\lambda$  une constante qui dépend de l'élément. Il n'est pas possible de caractériser ce phénomène par sa durée totale puisque, théoriquement, il restera toujours une certaine quantité de l'élément radioactif. On utilise, pour ce faire, le temps que met le corps à se désintégrer de moitié, que l'on nomme la période radioactive de ce corps ou, improprement, mais ce terme est consacré, sa demi-vie. Les périodes de radioactivité sont très diverses, par exemple 5730 ans pour le  $^{14}\text{C}$ , 1.31 millions d'années pour le  $^{40}\text{K}$ , 4,51 millions d'années pour le  $^{238}\text{U}$ .

### 3.2. Tritium: $^3\text{H}$

Le tritium, symbolisé par  $^3\text{H}$  ou T, est l'isotope radioactif de masse 3 de l'élément hydrogène. Il a été découvert en 1934 par Rutherford et identifié par *Alvarez en 1937*. Sa transformation radioactive, selon une période de 12,32 ans, conduit à un isotope stable de l'hélium ( $^3\text{He}$ ), en émettant un électron (rayonnement  $\beta^-$ ) de faible énergie[22].

Lors des essais nucléaires de surface de 1952 à 1963, le tritium a été produit artificiellement en abondance dans l'atmosphère. Sa concentration est passée dans l'hémisphère nord de 25 à 2200 UT en 1964. Depuis le moratoire de 1963 sa concentration décroît pour tendre actuellement vers des activités faibles de l'ordre de quelques unités[22] :

1UT = 7.1 désintégration de tritium par minute et par litre d'eau (d/mn/l).



Figure III.7: Les isotopes de l'hydrogène (SFRP 2002)[23]

### 3.2.1. Tritium artificiel:

Le tritium a été produit par tous les types de tests nucléaires en atmosphère, sachant que les bombes à fission produisent quatre fois moins de tritium que les bombes à fusion. La quantité de tritium injectée dans l'environnement a été énorme. Entre octobre 1952 et la fin de 1962, approximativement 600 kg de tritium ont été injectés dans l'atmosphère par les tests russes, américains et anglais[13].

Les explosions en atmosphère ont cessé en 1963 quand ces pays ont signé un traité de limitation des tests. 1963 est l'année où les activités en tritium dans l'atmosphère ont atteint leur maximum. On parle du «pic de 1963». Par la suite, seules la Chine et la France ont effectué de tels tests produisant dans l'atmosphère environ 20 kg de tritium entre 1967 et 1980. A partir de 1980, aucune explosion en atmosphère n'a eu lieu. Environ 75% de tout ce tritium a été injecté dans l'hémisphère nord (Figure VI-8) de la stratosphère, et le reste dans la partie équatoriale de la stratosphère. La stratosphère au dessus du pôle sud n'a subi aucune injection de tritium.

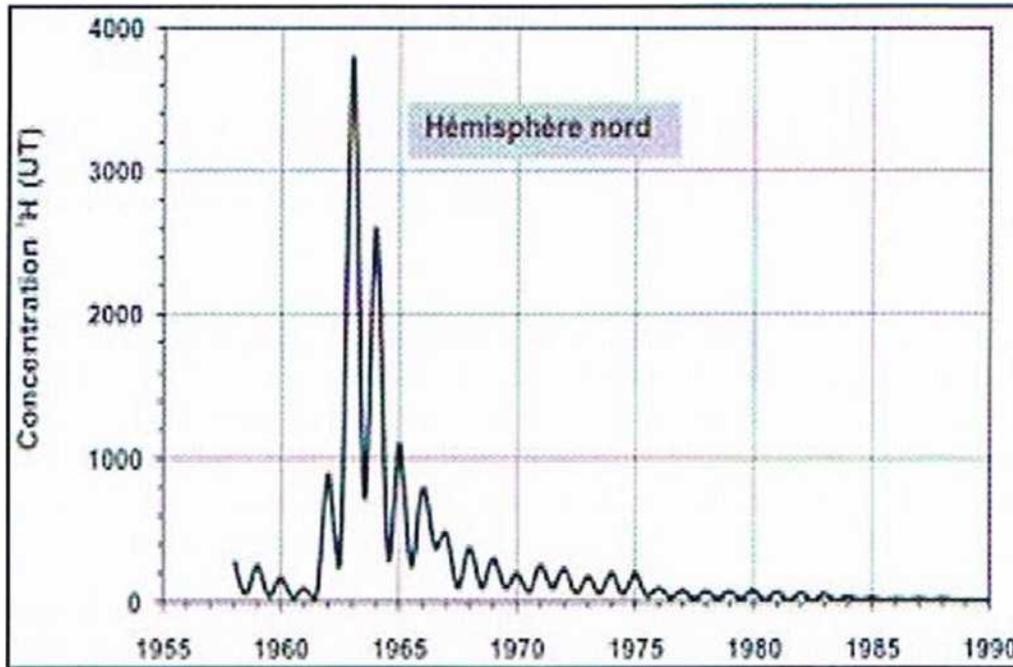


Figure III.8 : Courbe lisse représentant la teneur moyenne en H des précipitations au-dessus de la surface continentale de l'hémisphère Nord. (AIEA 2008) [13].

### 3.2.2. Méthode d'enrichissement électrolytique du tritium:

Cette méthode est relativement simple et nécessite peu de manipulation ou de surveillance si ce n'est les précautions contre l'accumulation d'hydrogène et les risques d'explosion associés. La conductivité de l'eau est augmentée par l'ajout de  $\text{Na}_2\text{O}$  ou de  $\text{NaOH}$ , l'eau est ensuite décomposée par le passage d'un courant électrique :  $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$  [13].

Le fractionnement isotopique de l'hydrogène est élevé, 90 % du tritium de l'échantillon restant dans l'eau. Ainsi, si le volume d'eau diminue d'un facteur 10, l'enrichissement est environ d'un facteur 9.

A la fin de l'électrolyse. L'échantillon est distillé à nouveau pour supprimer l'électrolyte avant la mesure de la radioactivité.

### 3.2.3. Traçage par le Tritium:

L'estimation quantitative des teneurs en tritium utilise la distribution de ces teneurs dans les précipitations (fonction entrée) à laquelle sont comparées les teneurs mesurées sur les eaux prélevées, ce qui permettra de préciser plusieurs paramètres du système [13]:

Paramètres de dispersion, vitesse d'infiltration, taux de renouvellement. Dans le cas de mélange des eaux de recharge successive, ces teneurs pourraient être estimées par un modèle de mélange.

L'évaluation qualitative est basée sur une estimation empirique des teneurs en tritium qui permettent d'identifier :

- Les eaux infiltrées avant ou après les essais Thermonucléaire de 1952-1962.
- Mélange des eaux, présence de recharge récente.

### 3.2.4. Le tritium dans les eaux des précipitations:

L'IAEA mesure à l'échelle mondiale les concentrations isotopiques dans les eaux de précipitations. Les activités du tritium dans l'hémisphère sud sont largement inférieures à celles de l'hémisphère nord. Les plus grosses activités dues au pic de 1963 ne sont arrivées dans l'hémisphère sud qu'à partir de 1964-1965 du fait des circulations atmosphériques globales[13].

## IV. Présentation des résultats

Les résultats des analyses isotopiques sont représentés dans le tableau IV.1 pour les 16 échantillons. Les teneurs en isotopes stable de la molécule d'eau varient entre -7.96 ‰ et -6.88 ‰ v-smow pour le  $\delta^{18}\text{O}$  avec une moyenne de -7.52 ‰, et entre -45.2 ‰ et -38.7 ‰ v-smow pour le  $\delta^2\text{H}$  avec une moyenne de -41.93 ‰.

Pour le tritium les teneurs oscillent entre 0.20 UT et 3.48 UT.

Tableau III.6 : Teneurs en  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ , et  $^3\text{H}$  obtenues par spectrométrie de masse et enrichissement électrolytique.

Sources	$\delta^{18}\text{O}\%$	$\delta^2\text{H}\%$	$^3\text{H}$ UT	Sources	$\delta^{18}\text{O}\%$	$\delta^2\text{H}\%$	$^3\text{H}$ UT
S1	-7,83	-42,8	2.80	<b>S9</b>	<b>-6,88</b>	<b>-38,7</b>	3.11
S2	-7,56	-40,8	0.51	<b>S10</b>	-7,01	-39,9	3.29
S3	-7,29	-41	0.58	<b>S11</b>	-7,53	-41,1	1.92
S4	-7,96	<b>-45,2</b>	<b>0.20</b>	<b>S12</b>	-7,32	-40,7	1.75
S5	-7,9	-43,9	1.25	<b>S13</b>	-7,53	-42,4	1.39
S6	-7,24	-40,7	<b>3.48</b>	<b>S14</b>	<b>-7,97</b>	-44,5	2.03
S7	-7,42	-41,4	3.00	<b>S15</b>	-7,65	-42,5	1.29
S8	-7,74	-43,4	2.61	<b>S16</b>	-7,53	-42	1.84

#### 4.1. Isotopes stables $^{18}\text{O}$ , $^2\text{H}$

##### 4.1.1. Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ dans les eaux des pluies

L'étude des teneurs en  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  des eaux souterraines des sources étudiées doit être confrontée aux teneurs en isotopes stables des eaux de pluie de la région afin de déterminer l'origine. En l'absence des données représentatives des eaux des pluies de l'atlas Blideen, nous ferons recours aux droites des eaux de pluie à l'échelle mondiale et régionale.

Sur le diagramme  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  de la figure VI.8 sont représentées les droites suivantes :

- Droite des eaux météoriques mondiales (DMM), dont l'équation :

$$\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$$

- Droite des eaux de la méditerranée orientale et occidentale, dont les équations :

$$\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 14. \text{ Droite des eaux de la méditerranée orientale}$$

$$\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 22. \text{ Droite des eaux de la méditerranée occidentale}$$

##### 4.1.2. Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$

Représentées sur un diagramme  $\delta^{18}\text{O}$ -  $\delta^2\text{H}$ , les eaux des sources de la région d'El Hamdania, se répartissent au-dessus de la droite des eaux météoriques mondiales d'équation

$$\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$$

Cependant, cette répartition fait ressortir deux groupes :

- **Groupe 1 :**

Formée par les sources S1, S2, S4, S8, S11, S14, et S15.

Les eaux de ces sources ne montrent pas de caractères ou des trace d'évaporation et se répartissent sur une droite d'équation :  $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 19$ , et sont représentatives des eaux de pluies récentes.

- **Groupe 2 :**

Formée par les sources S3, S5, S6, S7, S9, S10, S12, S13, et S16, d'équation :

$$\delta^2\text{H} = 4.9 * \delta^{18}\text{O} - 5.14.$$

Les eaux de ces sources sont répartissent sur une droite dont la pente est inférieure à 8, ce qui implique qu'elles ont subi une évaporation explicable, en effet le point de leurs émergence est assez loin de leur lieu de prélèvement (difficulté d'accès).

Toute fois le prolongement de cette droite sur celle du groupe 1, atteste qu'il s'agit d'une même origine, c'est-à-dire d'eau des pluies récentes.

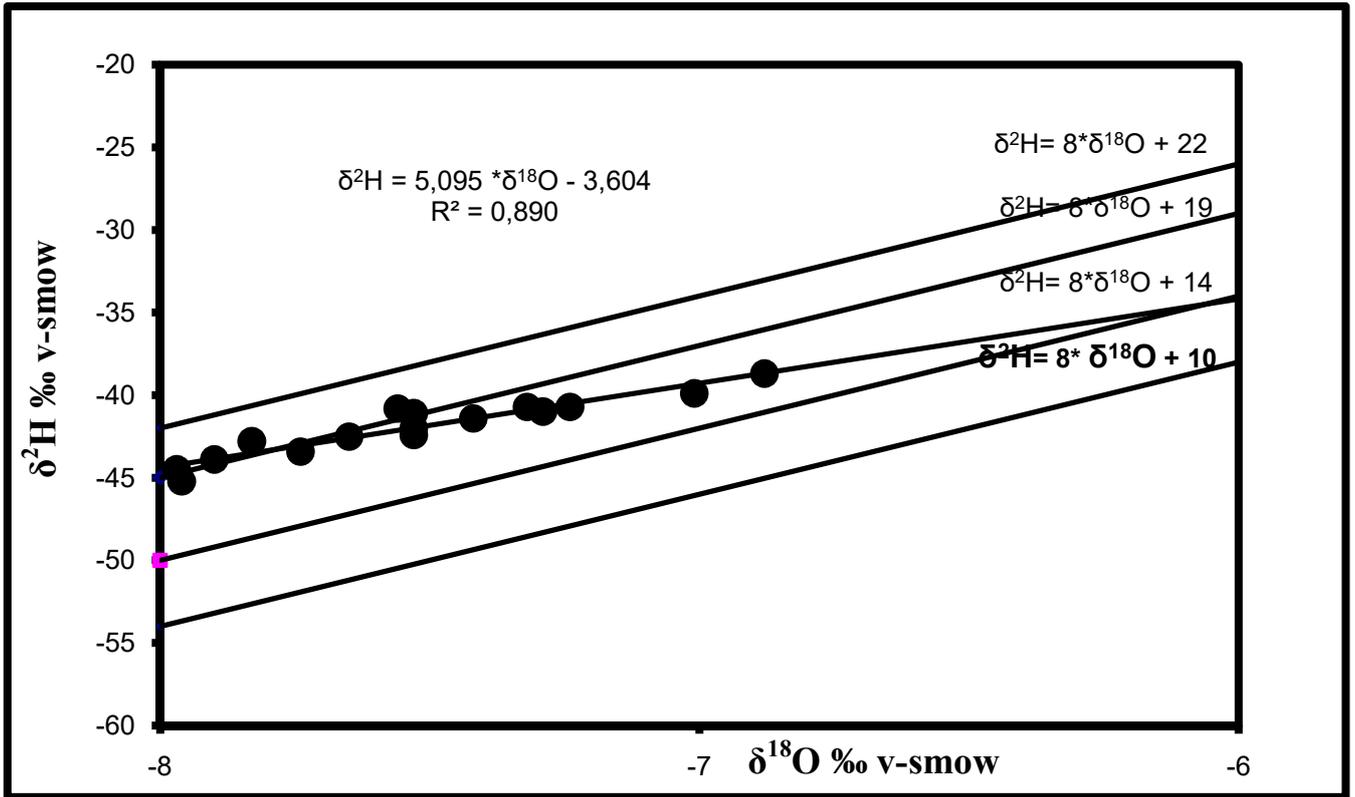


Figure III.9 : Relation entre  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^2\text{H}$  des eaux de sources d'El Hamdania

#### 4.1.3. Relation $\delta^{18}\text{O}$ – $\text{Cl}^-$

La figure VI.10, représente la relation entre l'oxygène 18 et l'ion chlorure, qui montre que l'enrichissement isotopique en  $^{18}\text{O}$  de certaines sources n'est gouverné que par l'évaporation, ce qui conforme à la relation  $\delta^{18}\text{O}$  -  $\delta^2\text{H}$

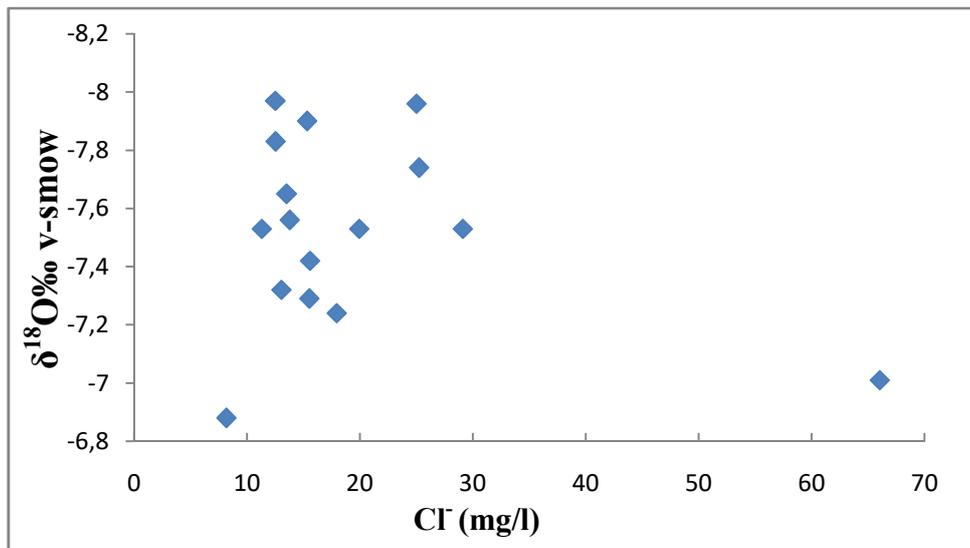


Figure III.10 : Relation entre  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\text{Cl}^-$

#### 4.1.4. Relation $\delta^{18}\text{O}$ et altitudes :

A défaut de données en isotopes stables ( $^{18}\text{O}$ -  $^2\text{H}$ ) pour les eaux des précipitations sur la région de l'atlas Blideen, on a tenté de le présenter la relation ( $^{18}\text{O}$  – Altitude d'émergence des sources) des eaux des sources de la région d'El Hamdania, cette relation montre globalement un appauvrissement en  $^{18}\text{O}$  en fonction de l'altitude, l'équation est la suivante :  $A = -592,9 \delta^{18}\text{O} - 3858$

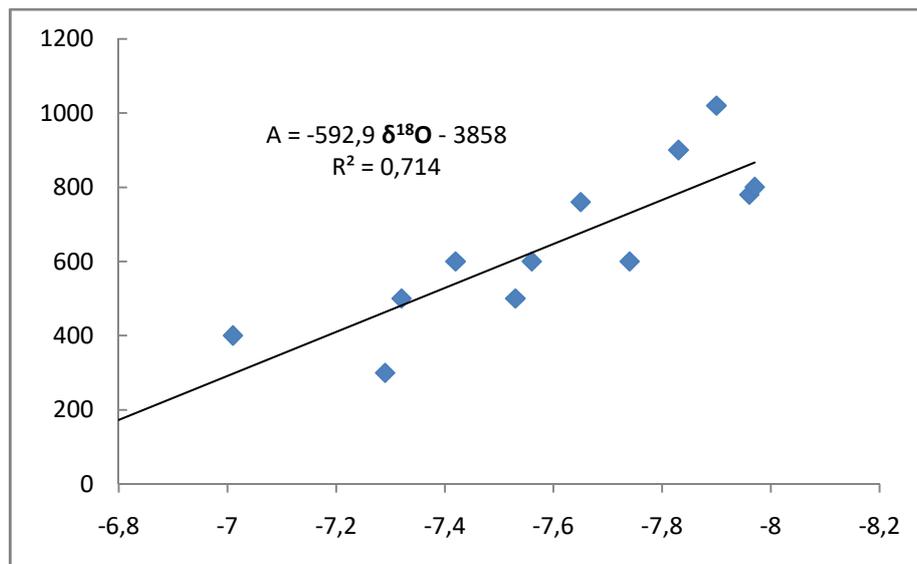


Figure III.11 : Relation entre  $\delta^{18}\text{O}$  et l'altitude d'émergence des sources

#### 4.2. Isotope radioactif : tritium ( $^3\text{H}$ )

Les teneurs en tritium des eaux des sources prélevés sur la région d'El Hamdania sont relativement basses, les valeurs varient entre 0.2 UT pour la source S4, à 3.48 UT pour la source S6.

L'interprétation qualitative de ces teneurs suggère l'existence de deux groupes :

- Groupe 1 : teneurs de 0.2 à 2 UT.
- Groupe 2 : teneurs de 2 à 3.5 UT.

Le premier groupe correspondant à des eaux anciennes des sources dont le cheminement est assez profond et un temps de résidence plus grand (5 à 8 ans).

Le deuxième groupe correspondant à des eaux récentes est dans le cheminement est superficielle (échelle de la saison), ce qui explique d'ailleurs leur tarissement en été. Ce fonctionnement hydrodynamique est conforme aux structures géologiques de la zone :

formation puissante de schistes très fracturé en surface et entre coupées de formations calcaireux gréseuses et marneuse (schiste des gorges de la Chiffa).

## Conclusion générale

Le secteur d'El Hamdania s'étend sur la partie Ouest du parc national du Chréa, il est caractérisé par un climat méditerranéen, doux et humide en hiver, chauds et secs en été, avec une précipitation moyenne annuelle dépasse les 1400mm/an.

La difficulté d'avoir des informations sur les aquifères et les circulations d'eaux souterraines en milieu crétacé contraint à avoir une bonne approche hydrogéologique sur la région. En effet, la nature des formations géologiques engendre une distribution des schistes fracturés et des marnes fissur es (gorges de la Chiffa).

L'objectif de l'étude basé sur la détermination des caractéristiques hydrochimiques et isotopiques des eaux des sources d'El Hamdania. Pour cela, 16 prélèvements ont été choisis pour représenter tous les différents types d'eaux. Les échantillons ont été prélevés dans la période des hautes d'eaux, et leurs analyses sont effectuées au CRNA, et à l'ANRH.

Les analyses hydrochimiques des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$ ) nous a permis de comprendre le processus de minéralisation des eaux étudiés, ces éléments sont présents dans l'ensemble des sources, on peut conclure sur une bonne qualité physico-chimique des eaux de sources.

Les eaux de sources d'El Hamdania répondent aux normes de potabilité avec une minéralisation faible à moyenne, une dureté totale de 15 à 30  F classant ces eaux moyennement douces à moyennement dures. Le faciès déterminé par les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, montre clairement la dominance du faciès bicarbonaté calcique de ces eaux.

L'absence des éléments en traces ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , ect), et la sous saturation en calcite, dolomite, aragonite, gypse et anhydrite des eaux souterraines de la région d'étude est un indicateur de la présence des eaux récentes dans le réservoir.

L'étude des couples des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  - $\text{Cl}^-$ ), donne un aperçu sur la minéralisation globale des eaux des sources étudiées, et que l'évolution des ions n'a pas une relation avec les chlorures ce qui implique l'écoulement rapide à l'intérieur des aquifères. Le couple  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{SO}_4^{2-}$  montre que l'origine de calcium d  à la dissolution aux niveaux marneux schisteuse.

L'étude des isotopes stables  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  et radioactifs  $^3\text{H}$  faite sur les eaux souterraines d'El Hamdania donne les résultats suivants :

Les teneurs en  $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$  sont homogènes, varient respectivement entre,  $-7,97\text{‰}$  v-smow,  $-6,88\text{‰}$  v-smow, et  $-45.2$ ,  $-38,7\text{‰}$  v-smow. La répartition des eaux sur le diagramme  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  montre que toutes les eaux au point d'émergence sont des eaux récentes.

Les faibles teneurs en tritium comprise entre 0,2 et 3,48 UT, donne deux groupes, le premier groupe correspondant à des eaux anciennes des sources dont le cheminement est assez profond et un temps de résidence plus grand, le deuxième groupe correspondant à des eaux récentes est dont le cheminement est superficielle (échelle de la saison)

En perspectives, il sera intéressant de faire une étude hydrogéologique complète sur tous le massif de l'atlas Blidéen, qui englobera une étude isotopique sur les eaux des pluies afin de déterminer l'origine et l'altitude de la recharge, le temps d'écoulement, l'âge des eaux, et le suivi du chimisme des eaux.