

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Blida 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

جامعة – البلدية 1

كلية التكنولوجيا

قسم علوم المياه و البيئة

Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Sciences de l'Eau

***CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROCHIMIQUE ET
ISOTOPIQUE DES EAUX DES MONTS DE CHREA***

Présenté par :

Mr MERAMRIA Chouaib

Devant le jury composé de :

M.KHOULI M/R

Président

M.MESSAOUD NACER

Examineur

Mme.BOUZOUIDJA

Examineur

M.GUENDOZ

Promoteur

Année universitaire : 2016 - 2017

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 laboratoire des eaux (ADE, Blida, 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 qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail.

Je voudrais remercier Monsieur BENSAFIA chef de département et tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de mes études.

***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.*

***M**a profonde et sincère reconnaissance s'adresse également à Monsieur BELAROUI Abdelhakim pour son aide en termes de matériels et de conseil*

***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

Je dédie ce modeste travail à

Ma chère mère

ملخص

ان من بين المناطق التي تمثل المياه الجوفية فيها المنبع الرئيسي للماء الشروب هي منابع الحظيرة الوطنية لشريعة التي تقع بالأطلس البليدي و التي تمتد على مساحة تقدر ب 26.587 هكتار. إن تعقيدات التركيبة الجيولوجية والهيكلية للجيولوجية لهذه المنطقة, تقودنا إلى إتباع دراسات تعطينا مفاهيم أكثر دقة.

وعليه فإن الدراسة المتبعة في اطار 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 ^2H , ^{18}O , و المشعة ^3H لذرة الماء, سمحت لنا من تحديد مصدر العناصر المنحلة ومعدنياتها, 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.

الكلمات المفتاحية : الحظيرة الوطنية للشريعة, شفة, الحمداية, مياه المنابع, هيدروكيميا, النظائر.

Résumé

L'eau souterraine constitue la principale source en eau potable dans le parc national de chrea et le secteur d'El Hamdania, Chiffa qui situé sur l'Atlas Blidéen et s'étend sur une superficie de 26.587 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 Chrea National Park, which is located on the Atlas of Blida and extends to the southern west of the city with an area of 26.587 ha.

The complexity of the geological context and the hydrogeological functioning of the aquifers mean that the introduction of new methods and surveys is more than necessary.

The study carried out in this thesis is consistent with this approach and consists in applying the hydrochemical and isotopic methods for the cognition of these resources.

Thus the study of the water chemistry of 16 sources sampled throughout all the zone related to the study of stable isotopes of water Oxygen-18 molecule and Deuterium and radioactive (Tritium) made it possible to specify the origin of dissolved elements, the acquisition of water mineralization, the confirmation of recharge by current rainwater, the transit time therefore the qualitative age of waters of the various sources and also the hydrodynamic functioning of the schistous formations in addition to “marneuse et calcaireuses de la chiffa”.

Keywords: El Hamdania, PNC, Spring water, Hydrochemistry, Isotopes. **Key words :**El Hamdania, PNC, Groundwater, Hydrochimcal, Isotopic.

Sommaire

Introduction	1
---------------------	----------

Chapitre I : Présentation géographique et géomorphologique du PNC

1. PARC NATIONAL DE CHERA	
• 1.2 présentation	3
• 1.3 Situation géographique	3
2. Cadre physique	4
• 2.1. Géologie du Parc National de Chréa	4
• 2.2. Description lithologique	5
• 2.3. Hydrographie	6
• 2.4. Précipitations	7
• 2.5. La température	10

Chapitre II : Méthodologie

1.Objectif	11
• 1.1.Partie terrain	11
• 1.1.1.Echantillonnage	11
• 1.1.2.Les débits	14

• 1.1.3.Localisation topographique des points d'eau étudiées	15
• 2.1Partie analytique	17
• 2.1.1.Mesures et analyses au laboratoire	17
• 2.1.2.Dosage du calcium et du magnésium	17
• 2.1.3.Dosage du sodium et du potassium	18
• 2.1.4.Dosage des nitrates	18
• 2.1.5.Dosage des sulfates	18
• 2.1.6.Dosage des bicarbonates	18
• 2.1.7.Dosage des chlorures	18

Chapitre III : Discussions et interprétation des résultats

A.RESULTATS HYDROCHIMIQUES

1.Introduction	20
2.Présentation des résultats analytiques	
• 2.1.Caractéristiques physico-chimiques	20
• 2.1.1 PH	20
• 2.1.2.Conductivité électrique et minéralisation	21
• 2.1.3..Ladureté	21
• 2.2. Paramètres hydrochimiques	22
• 2.2.1.Anions	22
• 2.2.1.1.Bicarbonates	22
• 2.2.1.2Nitrates	23

• 2.2.1.3.Sulfates	24
• 2.2.1.4.Chlorures	24
• 2.2.1.Cations	25
• 2.2.1.1.Calcium Ca ²⁺	25
• 2.2.1.2.Magnésium Mg ²⁺	25
• 2.2.1.3.SodiumNa ⁺	26
• 2.2.1.4.PotassiumK ⁺	26
3. Interprétation des résultats	28
• 3.1.Faciès chimiques des eau	28
• 3.2.Classification des eaux de sources	27
• 3.2.1.Classification des eaux de sources en fonction de la minéralisation	29
• 3.2.2.Classification des eaux de sources en fonction de la composition ionique	31
• 3.2.3. Classification des eaux de sources en fonction de la dureté	32
4. L'indice de saturation	33
5. L'origine du chimisme des eaux souterraines d'El Hamdania et PNC	34
• 5.1.Origines de la minéralisation Couple (Na ⁺ - Cl ⁻) (HCO ⁻ 3+ SO ⁴ +2)	35
• 5.2.Couple Ca ²⁺ - Cl ⁻	36
• 5.3.Couple SO ⁴ ²⁻ ,Mg ²⁺ + Ca	37
• 5.4.CoupleCa ²⁺ -SO ⁴ ²⁻	39
• 5.5. Couple Ca ²⁺ \ HCO ³	39

B.RESULTATS ISOTOPIQUES	38
1. Introduction	40
2. Isotopes stables (18O, 2H)	40
• 2.1. Variation isotopique naturelle	40
• 2.2. Abondance isotopique ou Delta pour mille (δ ‰)	40
• 2.3. Facteur de fractionnement	40
• 2.4. Facteur d'enrichissement	41
• 2.5. Standards internationaux	41
• 2.6. Composition isotopique lors d'échange de base	42
○ 2.6.1. Condensation	42
○ 2.6.2. Evaporation	43
• 2.7. Relation: δ^{2H}/δ^{18O}	43
3. Rappel général sur les isotopes radioactifs	42
• 3.1 Principe de datation radiométrique	44
• 3.2. Tritium: 3H	44
○ 3.2.1. Tritium artificiel	44
○ 3.2.2. Méthode d'enrichissement électrolytique du tritium	44
○ 3.2.3. Traçage par le Tritium	45
○ 3.2.4. Le tritium dans les eaux des précipitations	46
4. Présentation des résultats	46
4.1. Isotopes stables 18O, 2H	48
• 4.1.1. Relation entre δ^{18O} - δ^{2H} dans les eaux des pluies	48

• 4.1.2. Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$	49
• 4.1.3. Relation $\delta^{18}\text{O}$ – Cl-	50
4.2. Isotope radioactif : tritium (^3H)	50
Conclusion générale	51

Liste des figures

Figures		Pages
---------	--	-------

Chapitre I : Présentation géographique et géomorphologique du PNC

Figure I.1	localisation du parc du chrea	03
Figure I.2	Carte historique de la limite du PNC	04
Figure I.3	Carte schématique montrant les domaines géologiques de l'Algérie	05
Figure I.4	Eau de source de Chréa	07
Figure I.5	La carte pluviométrique du PNC (PNC)	08
Figure I.6	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (période 1967/2009)	09
Figure I.7	Histogrammes des précipitations moyennes annuelles (période 1967/2009)	09
Figure I.8	Températures moyennes mensuelles de la wilaya de Blida	10

Chapitre II : Méthodologie

Figure II.1	La source yemma bahria (24 l/s) au mois d'avril	1
Figure II.2	Photos des points d'eaux échantillonnées	13
Figure II.3	Identification des prélèvements des échantillons	13
Figure II.4	Carte de localisation topographique des différentes sources étudiées	15
Figure II.5	Appareil GPS utilisé (marque MAGELLAN).	16
Figure II.6	Appareil GPS utilisé (marque MAGELLAN).	16
Figure II.7	Préparation de 10ml d'échantillon avec scintillation pour préparer le comptage	19

Figure II.8	Spectrophotomètre de flamme mg	18
Figure II.9	Conductimètre de paillasse Mg/L	19
Figure II.10	Dessiccateur	19
Figure II.11	L'étuve	19

Chapitre III: Discussions et interprétation des résultats

Figure III.1	variation de la concentration en bicarbonate	23
Figure III.2	variation de la concentration en nitrate	23
Figure III.3	variation de la concentration en sulfates	24
Figure III.4	variation de la concentration en chlorure	24
Figure III.5	variation de la concentration en Calcium	25
Figure III.6	variation de la concentration en Magnésium	26
Figure III.7	variation de la concentration en Sodium	26
Figure III.8	variation de la concentration en potassium	27
Figure III.9	Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources d'El Hamdania ,PNC (2017).	28
Figure III.10	Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources d'El Hamdania et PNC (Période des hautes eaux) de l'année 2017	28
Figure III.11	Variation de l'indice de saturation des minéraux des eaux de sources étudiée	34
Figure III.11.1	(Na ⁺ + Cl ⁻) (HCO ⁻ 3+ SO ⁴ +2)	35
Figure III.11.2	Couple (Ca, Cl ⁻)	36
Figure III.11.3	Couple (Ca +Mg , Cl ⁻)	37
Figure III.11.4	Relation entre Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ et K ⁺ , SO ⁴ ²⁻ et le Cl ⁻ des eaux souterraines d'El Hamdania et PNC .	38
Figure III.11.5	III.11.5: Couple Ca ²⁺ /SO ⁴ ²⁻	39

Figure III.11.6	Couple Ca ²⁺ / HCO ₃	39
Figure III.12	Domaine de répartition des eaux naturelles sur un diagramme $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$	43
Figure III.13	Les isotopes de l'hydrogène (SFRP 2002)	45
Figure III.14	Courbe lisse représentant la teneur moyenne en H des précipitations au-dessus de la surface continentale de l'hémisphère Nord. (AIEA 2008)	46
Figure III.15	Carte de localisation topographique des différentes sources	48
Figure III.16	Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de sources d'El Hamdania	49
Figure III.17	Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et Cl ⁻	50

Liste des tableaux

Tableaux **pages**

Chapitre I: Présentation géographique et géomorphologique du PNC

Tableau I.1	coordonnées géographiques des stations météorologiques	8
Tableau I.2	Précipitation moyenne mensuelle (période 1967/2009) ANRH station d'El Hamdania	9
Tableau I.3	Précipitations moyennes annuelles (Période 1967/2009), ANRH	9
Tableau I.4	Variation des températures moyennes mensuelles dans le PNC (1990, 2005)	10

Chapitre II: Méthodologie

Tableau II.1	paramètres mesurés sur le terrain	13
Tableau II.2	Débits moyens des eaux de source étudiées.	14
Tableau II.3	Coordonnées des points d'eaux des sources d'El Hamdania	16

Chapitre III : Discussions et interprétation des résultats

Tableau III.1	Résultats hydrochimiques des eaux de source	20
Tableau III.2	Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité	21
Tableau III.3	Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité	21
Tableau III.4	Norme pour la dureté des eaux de boisson	22
Tableau III.5	Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF	29
Tableau III.6	Minéralisation des eaux des sources	29
Tableau III.7	Classification des eaux de sources en fonction de la minéralisation	30

Tableau III.8	Les caractéristiques hydrochimiques des eaux en fonction de la minéralisation	30
Tableau III.9	Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la composition ionique	31
Tableau III.10	Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la dureté	32
Tableau III.11	indice de saturation IS des eaux échantillonnées	33
Tableau III.12	Teneurs en ^{18}O , ^2H , et ^3H obtenues par spectrométrie de masse et enrichissement électrolytique	47

Liste des annexes

Annexe I

Calcul de la balance ionique

Annexe II

Le mode opératoire.

Annexe III

Coordonnées des points d'eaux des sources et les paramètres mesurés sur terrain

Liste des abréviations

ADE : Algérienne des Eaux

CE : Conductivité électrique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel hydrogène

PNC : Parc National de Chréa

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

U(mV) : force électromotrice et de différence de potentiel

ℓ(KΩcm) : résistivité électrique

□(μS/cm) : Conductivité électrique

°C : degré Celsius

mg : milligramme.

mg/l : milligramme par litre.

m³ : mètre cube.

hm³/an: hectometre cube par an.

m³/sec : mètre cube par seconde.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique.

NH₄⁺: Ammonium.

NO₃⁻: nitrate.

NO₂⁻: Nitrites.

SO₄⁻² : Sulfate.

Min : minimale.

Max : maximale.

μS/cm : micro siemens par centimètre.

T : température.

O2 Diss : Oxygène dissous.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Situé au nord de l'Algérie, le Parc National de Chréa, a été créé en 1983 au centre de l'Atlas Blidéen où il s'étale sur une superficie de 26.587 ha. Il représente ainsi un espace de protection et de promotion des ressources naturelles dont la potentialité hydrique est importante et se distingue par de nombreux petits cours d'eau et plus de 80 sources [1].

La préservation des ressources naturelles est un enjeu très important dans le Parc, c'est pour cette raison que notre étude se portera sur la protection et la valorisation des eaux de surfaces. Pour ce faire, l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de sources a été effectuée.

Dans ce sens, les eaux de sources de PNC ont été étudiées dans le cadre du projet de fin d'études proposé par le département des sciences de l'eau et de l'environnement (Université de BLIDA), en collaboration avec le laboratoire des eaux (ADE), et le parc national de Chréa (PNC). Le cheminement de notre étude, étant orientée d'une part vers le contrôle de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de sources du Parc et d'autre part vers la classification des sources étudiées (dureté, minéralisation, composition chimique), à partir des campagnes d'échantillonnages des eaux de sources de la région d'El Hamdania, Chiffa et du PNC, des analyses hydrochimiques ont été effectuées au laboratoire des eaux de l'ADE(Blida), l'objectif de ce travail est de déterminer l'origine des eaux et leurs chimismes afin de comprendre le fonctionnement hydrodynamique des sources.

De ce fait, différents aspects liés à la géologie, l'hydrogéologie et aux propriétés physico-chimiques des eaux ont été développés dans cette étude.

- Le premier chapitre est consacré aux caractéristiques générales du milieu ; situation géographique, aperçu géomorphologique, caractéristiques climatologiques, et l'aperçu géologique et hydrogéologique de la région.
- Le deuxième chapitre concerne la méthodologie du travail, il est divisé en deux parties, la partie terrains et échantillonnage, et la partie représentative des points de prélèvements sur la carte topographique de la région.

- Le 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.

1. Parc National de Chéra (présentation)

1.1 introduction

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. Il chevauche les wilayas de Blida, de Médéa et d'Ain Defla, avec respectivement 67.1%, 32.6% et 0.30% de la superficie totale de son territoire, il s'étend sur une superficie de 26.587 ha [2].

1.2 Situation géographique

Le massif de l'Atlas Blidéen fait partie en Algérie des zones externes de la chaîne Alpine (BLES et al., 1972) citée par [3]. 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' [1]. La plaine de la Mitidja constitue sa limite nord et l'Oued Mellah sa limite sud [4].

Administrativement, le parc national de Chréa se trouve confiné dans la wilaya de Blida, Médéa et chevauche les limites de la wilaya de Ain-Defla [5]; (figure I.1).

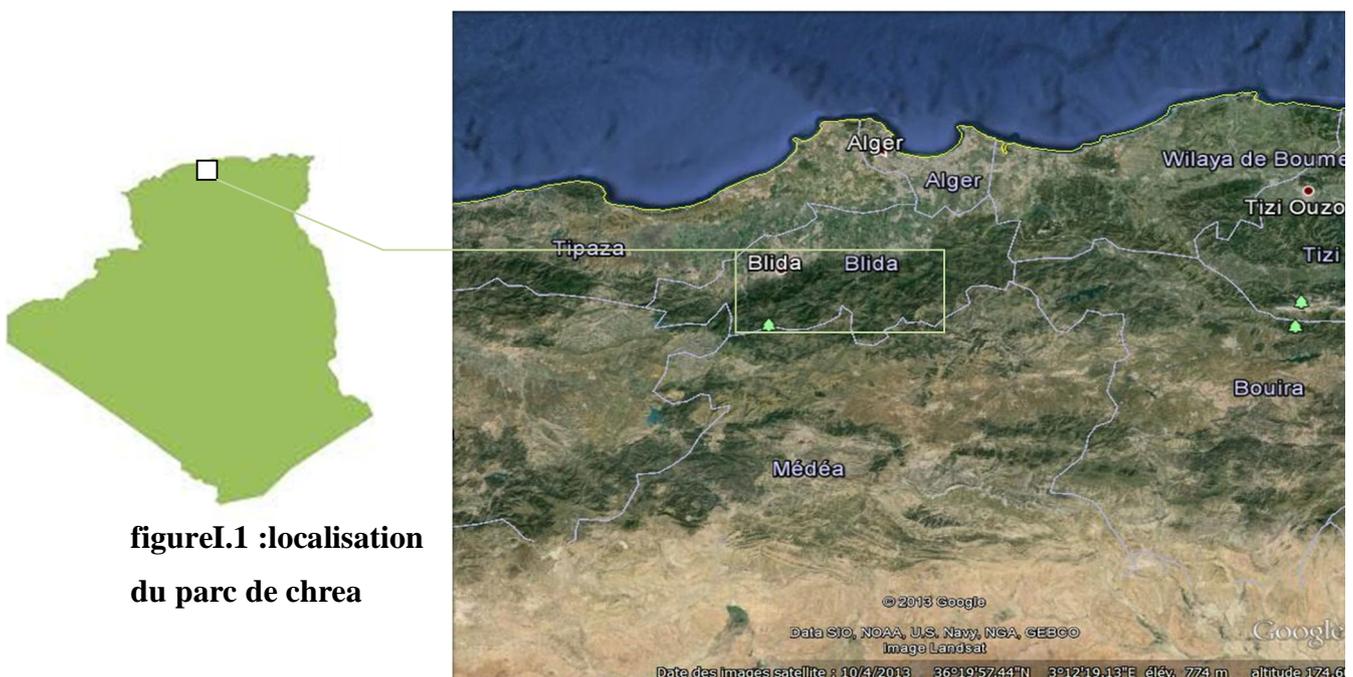


figure I.1 : localisation
du parc de chrea

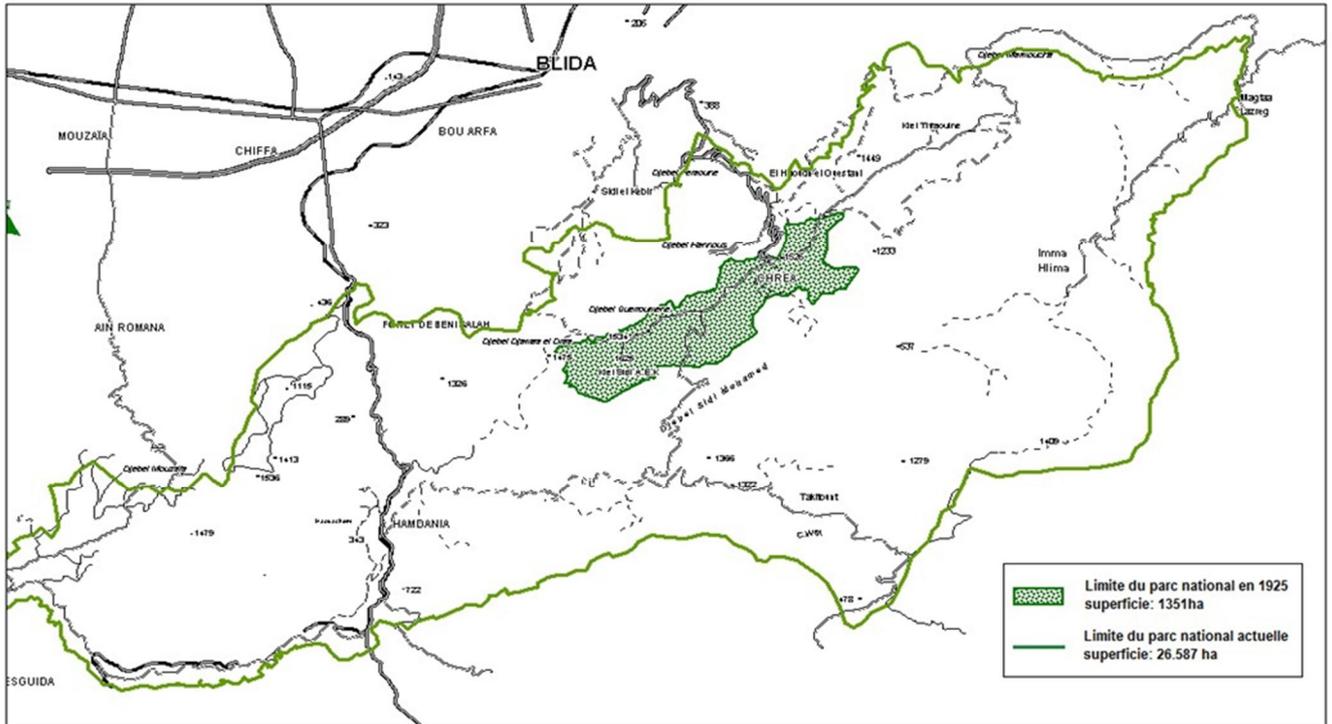


FIGURE I.2 : CARTE HISTORIQUE DE LA LIMITE DU PARC NATIONAL DE CHREA (PNC)

2. Cadre physique

2.1. Géologie du Parc National de Chréa

Du point de vue géologique, le massif de Chréa est très homogène et composé essentiellement de schistes plus ou moins argileux par endroits et rarement fossilifères. La concordance de toute la série schisteuse correspond au Crétacé inférieur (FAUREL, 1945) cité par [6] ; [7].

deux domaines principaux sont mis en évidence (figure I.2) [9] ;

- Un domaine méridional, le Sahara, où 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.

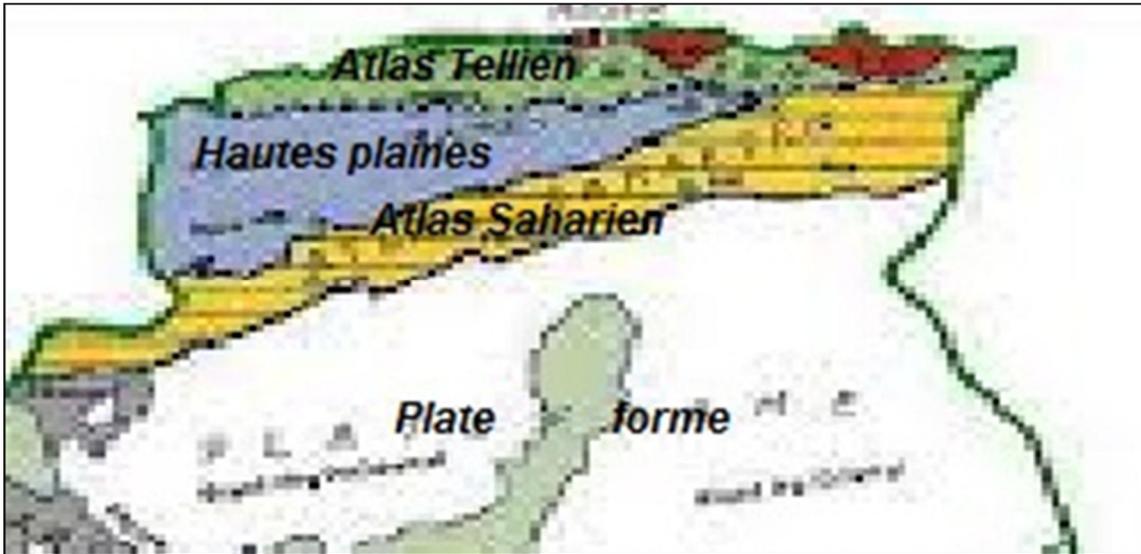


Figure I.3 : Carte schématique montrant les domaines géologiques de l'Algérie

2.2 Description lithologique

La région étudiée n'offre pas une grande diversité de roches ; en effet, les formations les plus anciennes sont représentées par de puissantes assises de schistes argileux (dit : schiste de la Chiffa) avec quelques taches de calcaires jurassiques, puis viennent la formation composée d'Argile et quartzite et enfin le facies marneux qui se développe sur la bordure Nord du pied du contrefort de Blida.

b) Les schistes de la Chiffa :

Cette formation se présente comme une puissante assise de schistes argileux, très monotone, finement litée et intercalée de quartzite à sa partie supérieure. Ces schistes portent des traces de nombreux efforts tectoniques.

a) Les calcaires jurassiques :

Les terrains jurassiques sont très limités dans le secteur du Parc. On peut les rencontrer, en dehors de quelques lambeaux ou chicots isolés, qui viennent se placer entre les schistes

précédents et le néocomien. Cette formation composée de calcaire, massifs, cristallins, parfois gréseux très tectonisés, comme en témoignent les affleurements de l'Oued-El-Kebir au sud de Blida et au Douar Bou-Zougua à l'Est du périmètre d'étude.

a) Les Argiles et quartzites du crétacé :

Les dépôts sont représentés par une épaisse série d'Argiles schisteuses avec grès et quartzites surmontées de marnes et de lentilles calcaire ; qu'on les trouve en plusieurs lambeaux discontinus. Ils sont d'âge de crétacé inférieur.

b) Les formations marneuses :

Les facies marneux sont constitués en vérité de marnes feuilletés avec des rognons de calcaire passant en quelques points à des calcaires marneux, d'épaisseur inégale.

c) Les dépôts quaternaires :

Les terrains quaternaires regroupent aussi bien les alluvions récentes anciennes qui dominent des vallées, que les alluvions récentes du fonds des Oueds [8].

2. 3 Hydrographie

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 [2].

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 El Harrach sont principalement drainées par Oued Maktaa

(dont les principaux affluents sont Oued Kerrach, Oued Tamda, Oued Edhib, Oued Taberbout, oued Isselsel, et Oued Boussaad), et Oued Maâne (drainant les eaux situées au sud de cette partie). L'Oued Maâne constitue la limite sud-est du parc [1].

A ceux-là s'ajoutent de nombreux petits cours d'eau et plus de 80 sources [5],

La figure I.2 montre une eau de source de Chréa (Ruisseau des singes). Elle se caractérise par un débit d'eau important 64 l/s, qui s'écoule tout au long de l'année.



Figure I.4. Eau de source de Chréa

2.4 Précipitations

Le Parc National de Chréa est compris entre les isohyètes 760 et 1400 mm/an de précipitations moyennes annuelles. Pour les précipitations journalières, il a été dénombré sur la base de 30 années d'observation soit 10958 jours, 2820 jours pluvieux à la station de Chréa et presque le même nombre à la station de Blida.

Dans l'ensemble, les moyennes mensuelles des précipitations annuelles sont plus importantes dans les stations situées sur le versant Nord Ouest que dans les stations situées sur le versant Sud Est. Les stations les plus arrosées font face aux vents humides venant du Nord Ouest [2].

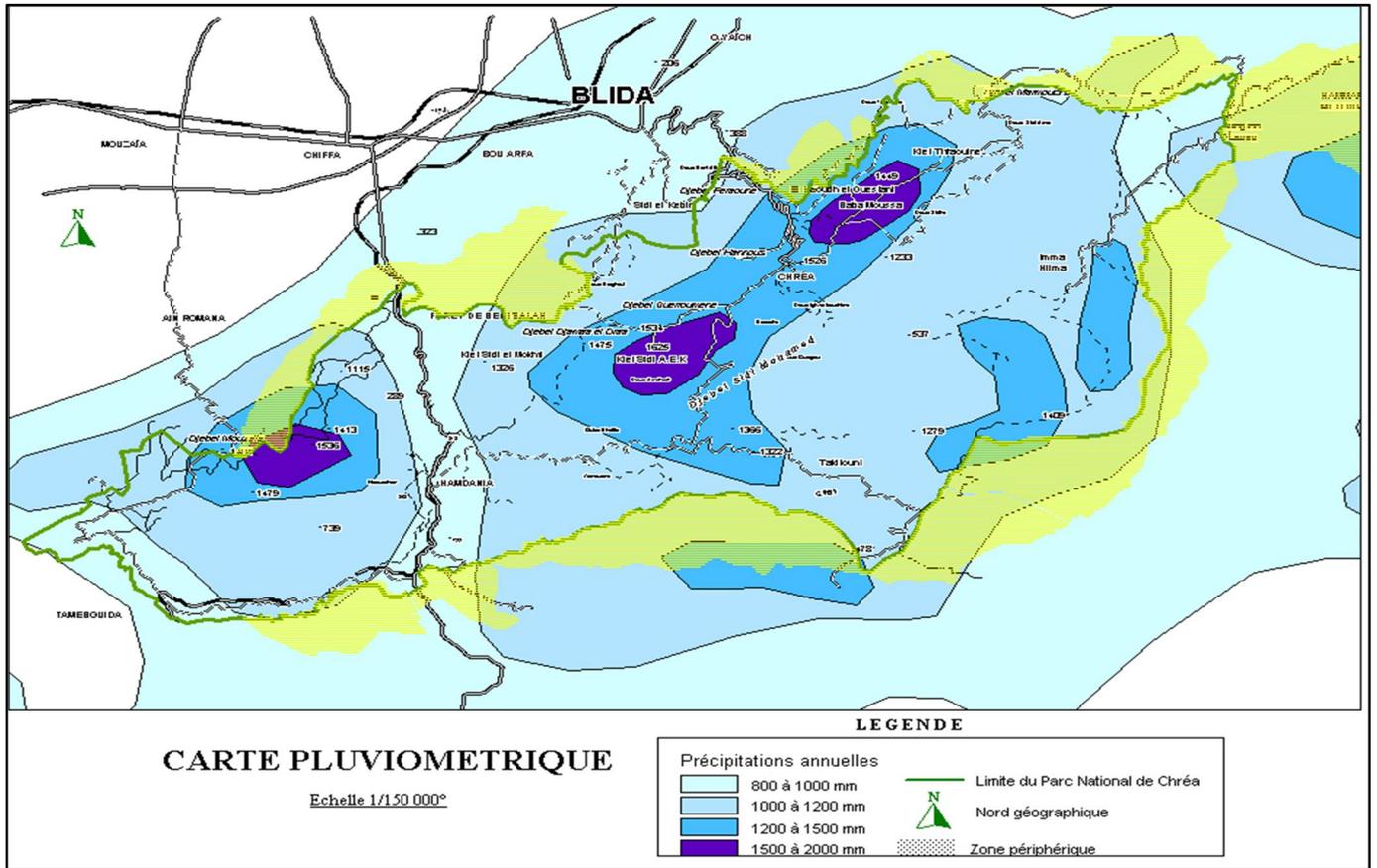


Figure I.5. La carte pluviométrique du PNC (PNC)

Les précipitations représentées par les pluies ont été mesurées au niveau de la station de Chiffa, El Hamdania et la station de Chréa.

Tableau I.1 : les coordonnées géographiques des stations météorologiques

Nom de la station	Code de la station	X (Km)	Y (Km)
El Hamdania	021115	506,15	340,4
Chréa Col	021305	516,3	347,6
RN4 Chiffa	021105	502,1	357,6

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

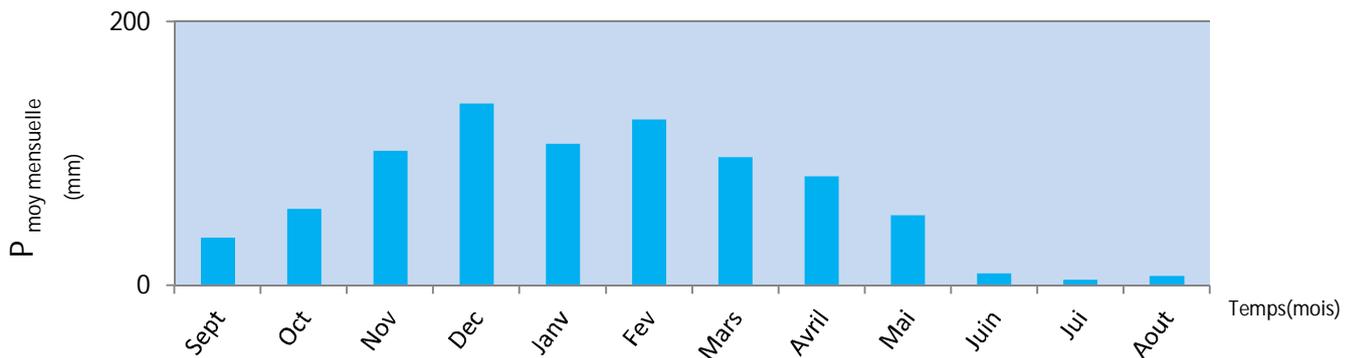


Figure I.6: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (période 1967/2009)

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

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	/	/

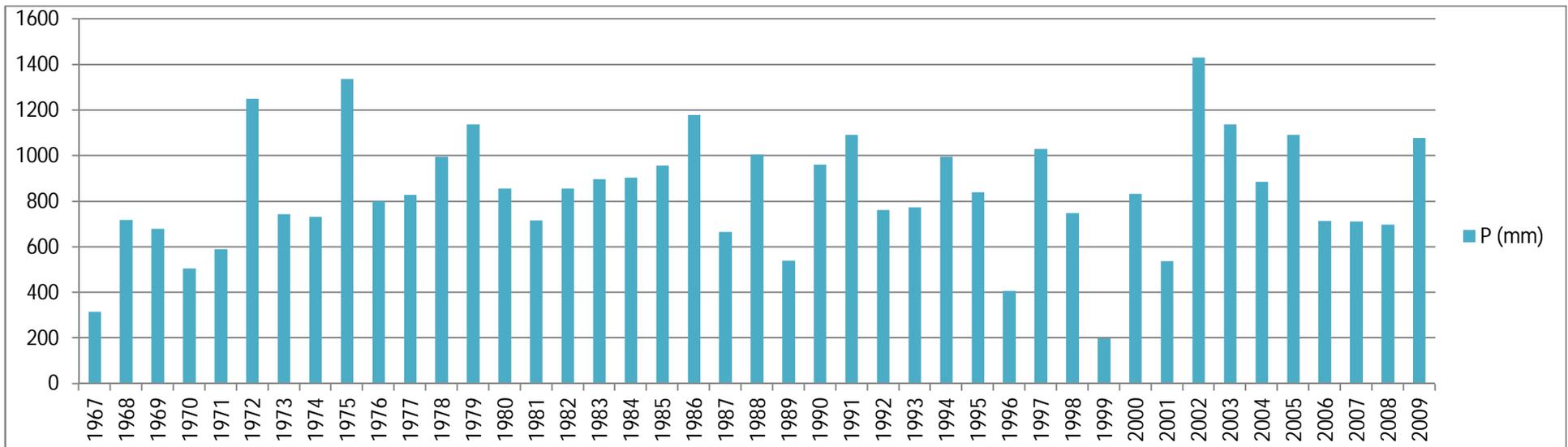


Figure I.7 : Histogrammes des précipitations moyennes annuelles (période 1967/2009)

2.5 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
T _{moy} °C	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'histogramme des températures de la wilaya de Blida y compris la région d'étude.

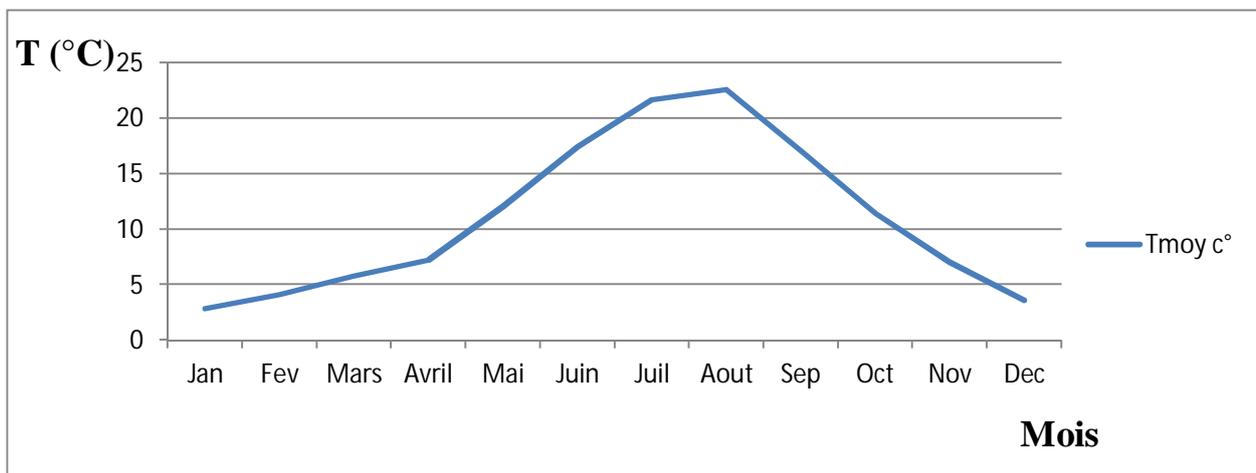


Figure I.8: Températures moyennes mensuelles de la wilaya de Blida

1. 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 mars et avril , 10 échantillon ont été prélevés et acheminés vers le laboratoire des analyses fondamentales de l'ADE. Selon la structure topographique du site les échantillons ont été prélevés au bord de la route nationale N°1, (figure II.1) et dans la region central du parc.

Pour la campagne d'échantillonnage qui concerne le secteur d'El Hamdania (régions de Bou Arfa, Chiffa, El Hamdania, et Tamezguida) et le. Le choix des prélèvements des sources à été fait sur la base d'un écoulement continu durant toute l'année, exemple de yemma bahria (24 l/s) figure (II.2).

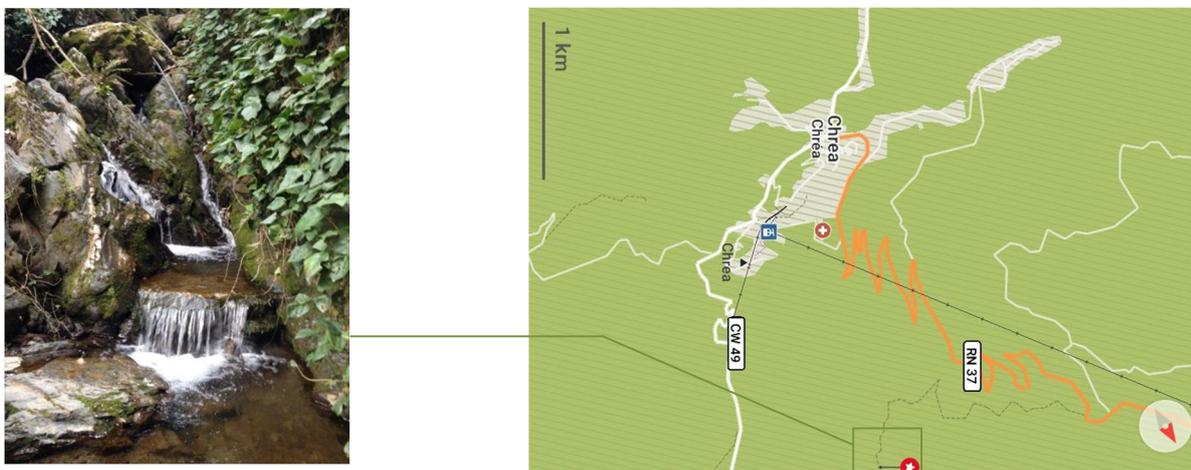


Figure II.1 : La source yemma bahria (24 l/s) au mois d'avril

Figure II.2 : Photos des points d'eaux échantillonnées



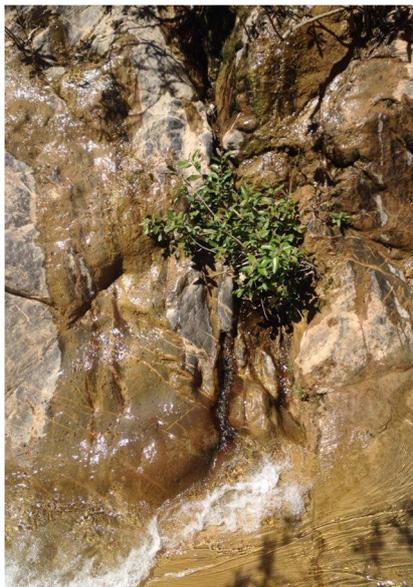
Gorge de la Chiffa 01



Ain yemma bahria



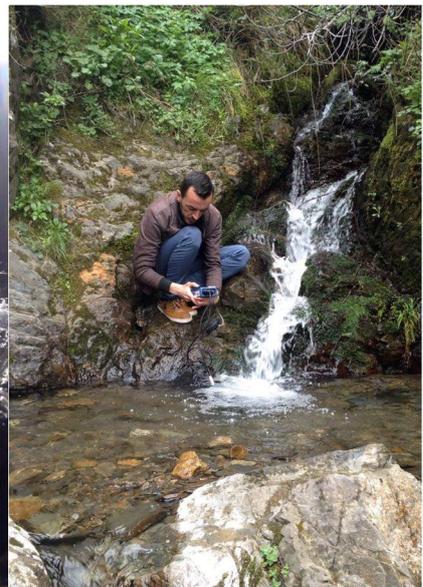
Ain haroucha



Ain zoneday



Gorge de la Chiffa 02



Ain tisrawine

Au avril 10 sources, les prélèvements ont été effectués manuellement au trop plein, les flacons en matière plastique de 0.5 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'heur de prélèvement (figure III.3)



Figure II.3 : Identification des prélèvements des échantillons

Les paramètres physiques (température, pH, conductivité électrique et salinité) des eaux souterraines du bassin versant des sources ont été mesurés sur le terrain.

Tableau II.1 paramètres mesurés sur le terrain

N° Source	Nom de la source	T	pH	TDS(mg/l)	Salinité	U(mV)	ℓ(KΩcm)	□(μS/cm)
01	Yemma bahria	8.3	9.19	101.1	0.1	-206.4	4.40	164.7
02	Source n02	9.8	11.67	107	0.0	-206.4	5.34	187.6
03	Source n03	8.4	9.48	41	0.0	-206.4	18.55	61.9
04	Source n04	7.8	9.6	131	0.1	-150	4.34	231
05	Ain tisrawine	9.7	8.3	96	0.0	-71.6	5.97	167.5
06	Ain haroucha	11.1	9	103	0.0	-108	5.39	185.5
07	Ain tirayeur	11.9	7.56	82	0.0	-34.8	6.60	151.3
08	G.chiffa 1	16	8,80	560	0.2	-101.1	1.78	561
09	G.chiffa 2	13.7	8,54	286	0	-88	3.48	287
10	G.chiffa 3	15.2	9.22	405	0.1	-123	2.45	408

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 II.2 présente les débits en litre par seconde des sources de la région El Hamdania et PNC au mois d'avril et mars 2017.

Tableau II.2 : Débits moyens des eaux de source étudiées.

Source	Q (l/s)
Yemma bahria	3.5
Source n02	2.7
Source n03	1.8
Source n04	2.2
Ain tisrawine	4.5
Ain haroucha	3.1
Ain tirayeur	2.5
Gorge de la Chiffa 01	1.3
Gorge de la Chiffa 02	1.1
Gorge de la Chiffa 03	1.6

1.1.3. Localisation topographique des points d'eau étudiées :

La région d'étude se divise en deux grandes parties, la partie centrale du parc et la partie occidentale (chiffa ,hamdania). La position des points d'eaux retenus dans l'étude est représentée sur la carte topographique ci-dessous (FigureII.4).

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



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



Figure II.6. Analyseur portatif multi-paramètres

Tableau II.3 : Coordonnées des points d'eaux des sources d'El Hamdania

N°	NOM	X (Km)	Y(Km)	Z(m)
S1	Yemma bahria	481, 573	4024, 800	900
S2	Source n02	481, 000	4025, 113	600
S3	Source n03	478, 866	4026, 463	300
S4	Source n04	480, 015	4024, 153	780
S5	Ain tisrawine	479, 828	4027, 787	1020
S6	Ain haroucha	480, 236	4027, 558	1160
S7	Ain tirayeur	478, 327	4026, 918	600
S8	Gorge de la Chiffa 01	478, 534	4025, 909	600
S9	Gorge de la Chiffa 02	478, 112	4025, 457	840
S10	Gorge de la Chiffa 03	478, 422	4028, 656	400

2.1. Partie analytique

La partie analytique (analyses hydrochimiques) des échantillons d'eau recueilles sur le terrain à été effectuées au laboratoire de L'ADE (Blida).

Afin de suivre les analyses, nous avons effectués un stage pratique de deux mois effectué sur la période allant du mars au avril 2017 au laboratoire des eaux (ADE , Blida) Durant ce stage, les analyses des échantillons d'eau ont été faites selon les mesures suivant :

2.1.1. Mesures et analyses au laboratoire

Les analyses chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire des eaux de l'ADE (algerienne des eaux) unite de blida

- Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ ;
- Anions: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} et NO_3^- .
- La conductivité électrique (CE) à 25°C et le résidu sec (RS).

Les résultats des analyses chimiques d'une eau doivent être impérativement soumis à un test de validité qui consiste au calcul de la déviation relative entre la somme des cations et la somme des anions.

Ce paramètre permet de vérifier la précision des méthodes analytiques utilisées et la validité des déterminations chimiques. S'il est inférieur à 5% les analyses sont considérées comme correctes, lorsque sa valeur est comprise entre 5% et 10%, les analyses peuvent être à la rigueur retenues. Par contre au delà de 10% les analyses doivent être refaites.

2.1.2. Dosage du calcium et du magnésium :

Les dosages du calcium et du magnésium ont été réalisés par complexométrie.

Principe :

Le sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (EDTA) cristallisé avec H_2O , appelé aussi complexon ou versénate forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH

2.1.3. Dosage du sodium et du potassium

Les dosages du sodium et du potassium ont été faits par spectrophotomètre de flamme (Figure II.8).

Principe de la méthode

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). Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément.

On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. 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.

2.1.4. Dosage des chlorures :

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

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l.

2.1.5. Dosage des sulfates :

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 495 nm.

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l.

2.1.6. Dosage des bicarbonates :

L'ion bicarbonate... avec un acide minéral et libère du gaz carbonique dans la solution (Rodier, 2009).

2.1.7. Dosage des nitrates :

Le dosage des nitrates se fait par colorimétrie dans un photomètre UV 440nm avec le réactif sulfophérique (Rodier, 2009). Les (fig II.7 , II.8) indiquent le matériel utilisé au laboratoire



Figure II.7 : Préparation de 10ml d'échantillon avec scintillation pour préparé le comptage

Figure II.8 : Spectrophotomètre de flamme mg/



Figure II.9 Conductimètre de
paillasse Mg/L



Figure II.10 Dessiccateur



Figure II.11 L'étuve

A. RESULTATS HYDROCHIMIQUES

1. Introduction

Les analyses hydrochimiques des eaux de sources de la région (PNC, El Hamdania, Chiffa) (Compagne 2017), ont été effectuées par le laboratoire des eaux au sein de l'ADE (Blida), 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.

2. Présentation des résultats analytiques

Les résultats hydrochimiques des échantillons prélevés des eaux des sources sont illustrés dans le tableau récapitulatif suivant:

Tableau III. 1 : Résultats hydrochimiques des eaux de source

Sources	T (°C)	pH	Balance ionique	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
S1	8.3	9.10	0.31	30.1	12.4	13	1	1.77	13.76	158.60	0.5
S2	9.8	11.67	0.2	16.16	0.44	16	1	3.54	2.50	195.2	0.02
S3	8.4	9.48	0.12	41.50	13.77	12	0	3.50	16.86	189.10	1.6
S4	7.8	9.6	0.14	30.01	6.87	16	1	1.71	11.30	274.50	1.8
S5	9.7	8.3	0.51	49.25	17.40	10	1	1.7	48.70	111.33	3
S6	11.1	9	0.34	33.10	6.8	20	1	8.86	14.48	164.70	1
S7	11.9	7.56	0.30	10.4	33.51	12	0	3.54	75.90	164.09	0.8
S8	16	8.80	0.23	55.40	22.97	12	1	1.71	63.83	163.18	2.5
S9	13.7	8.54	0.22	49.25	17.90	11	1	1.7	57.87	106.75	1.8
S10	15.2	9.22	0.21	25.16	7.34	35	1	1.71	1.77	186.05	0.6

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⁺ 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 10 sources oscillent entre 7 et 9, ces valeurs sont proches de la neutralité avec une légère tendance vers la basicité ce qui explique la présence des ions HCO₃⁻ (tableau du pH). La S2 a la valeur la plus élevée (11.67)

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

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

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

Pour l'ensemble des source la valeur de la conductivité est largement en dessous de la norme Algérienne (2800 $\mu\text{S/Cm}$) [15], les sources S1 ,S2, S3, S4, S6, S7, S8, S9, S10 présentent une conductivité qui varie de 60 $\mu\text{S/cm}$ à 400 $\mu\text{S/cm}$, ce qui nous amène à classer ces eaux comme étant moyennement minéralisée (tableau III.2).

2.1.3. La durezza

La durezza 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 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
Dureté de l'eau	eau douce	moyennement douce ou moyennement dure	eau dure	très dure

Les eaux des sources enchantelle 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

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 CO₂ magmatique et des couches superficielles[17].

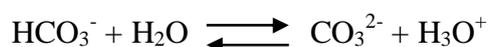
Pour la législation française, il n'existe pas de limites supérieures ni de niveau guide de la dureté totale. Néanmoins le Ministère de la santé qualifie l'idéal un TH compris entre 15°F et 25°F, mais la limite inférieure est fixée à 15°F [17].

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 CO₂ dans l'eau. En effet, le CO₂ provient de l'air et de l'activité intense des bactéries dans le sol [17].

Les concentrations des bicarbonates enregistrées varient entre 100 et 274 mg/l pour l'ensemble des points analysés, sauf pour les eaux d'El Hamdania S4 qui ont une teneur nettement supérieur à 200 mg/l.

Dans les eaux des sources étudiées les bicarbonates constituent l'anion dominant avec une concentration de 274.5mg/l (S4) (**figure III.1**).

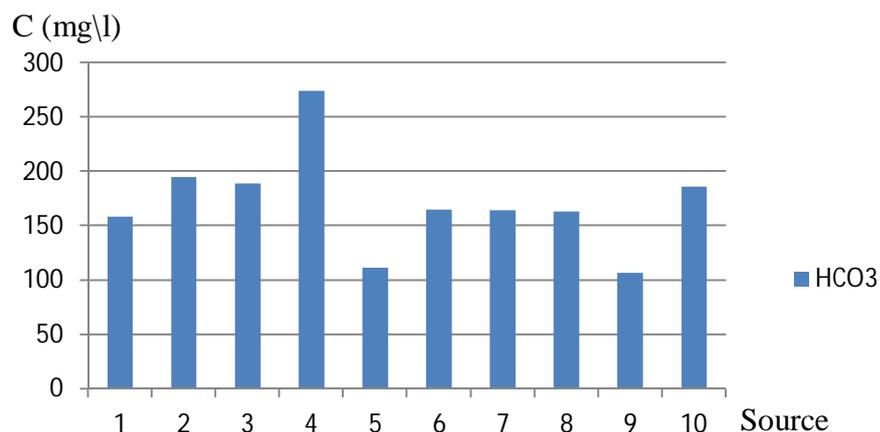


Figure III.1 : variation de la concentration en bicarbonate

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 (Figure III.2), ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité (50 mg/L) [15].

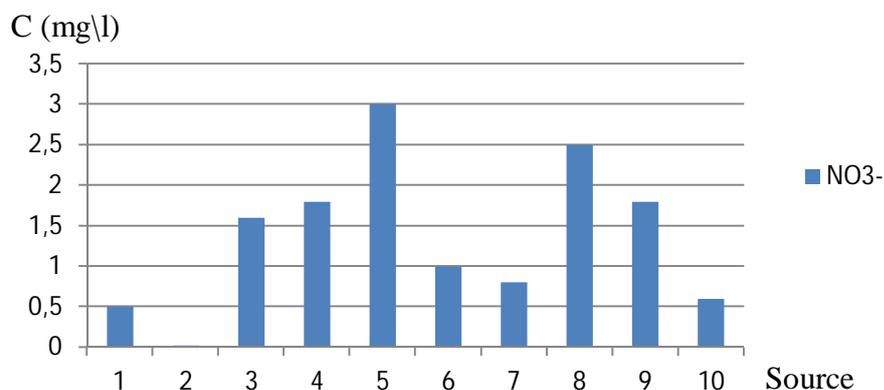


Figure III.2 : variation de la concentration en nitrate

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 75.9 mg/L pour la S7 (figure III.3). ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne (400 mg/L) [15].

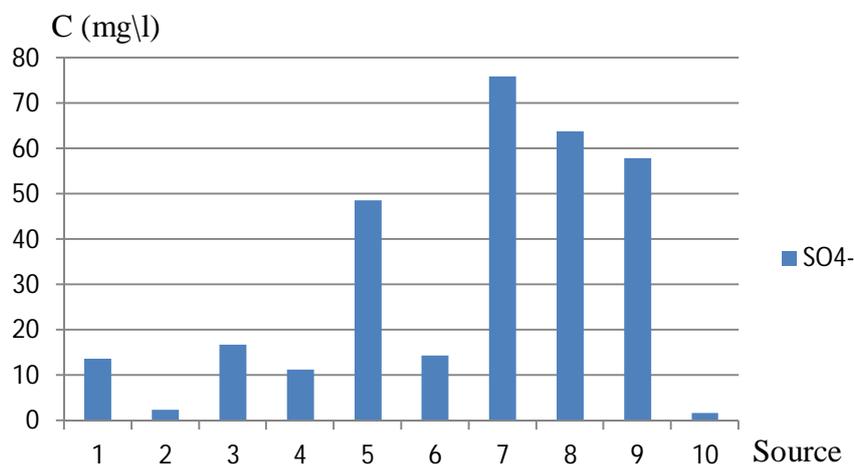


Figure III.3 : variation de la concentration en sulfates

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 sont très inférieures aux normes (OMS, 250 mg/L), (norme algérienne, 500mg/l), [12].[15](figure III.4).

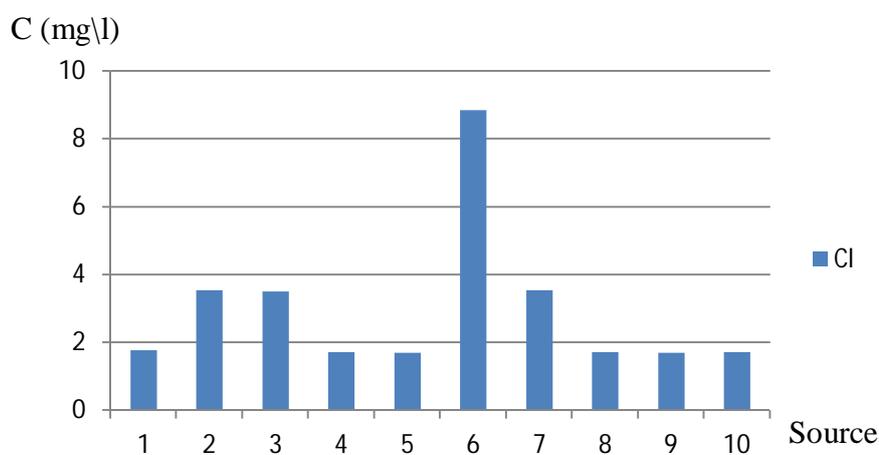


Figure III.4 : variation de la concentration en sulfates

2.2.2. Cations

2.2.2.1. Calcium 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 60mg/l). Les eaux de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/L de calcium [12].

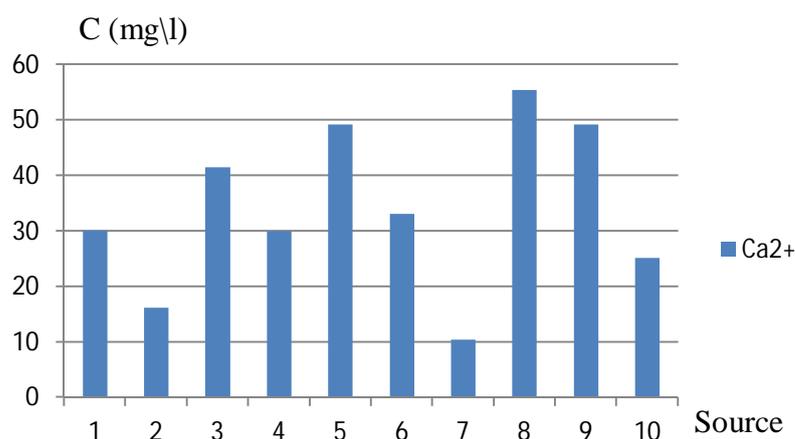


Figure III.5 : variation de la concentration en Calcium

2.2.2.2. Magnésium 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 0.5 et 33.5mg/l.

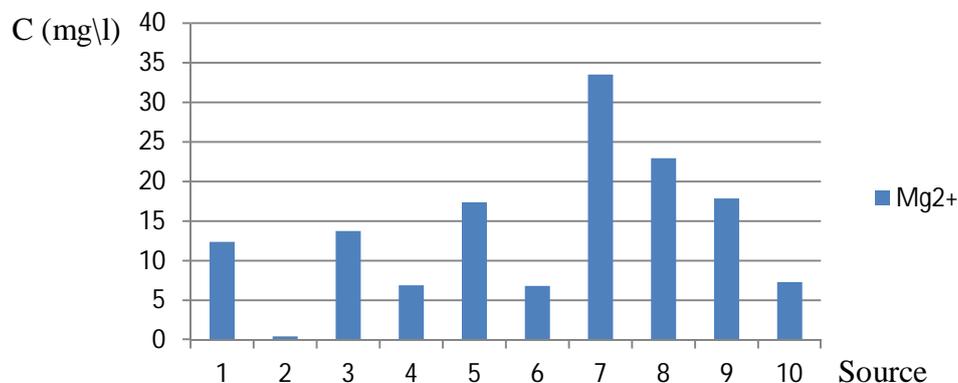


Figure III.6 : variation de la concentration en Magnésium

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 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 dépassent pas les 35 mg/l pour l'ensemble des sources (figure III.7), (la valeur guide Algérienne est de 200 mg/L)[16].

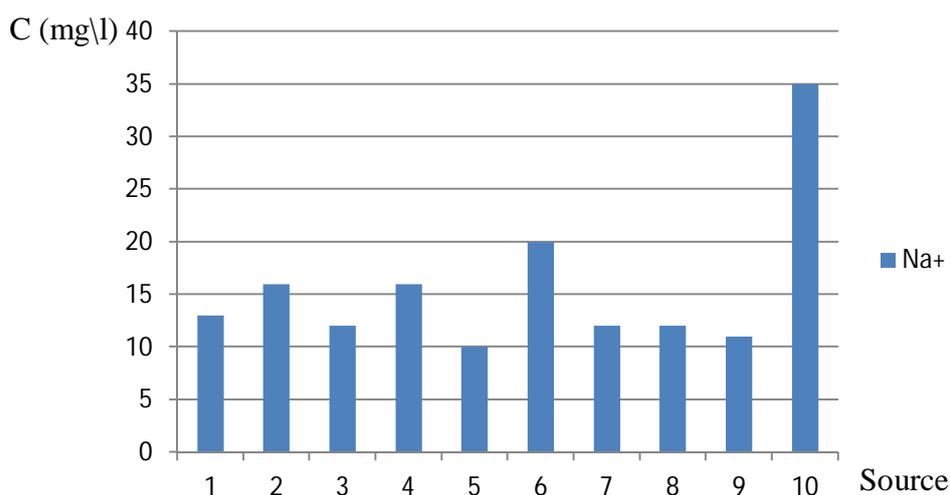


Figure III.7 : variation de la concentration en Sodium

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].

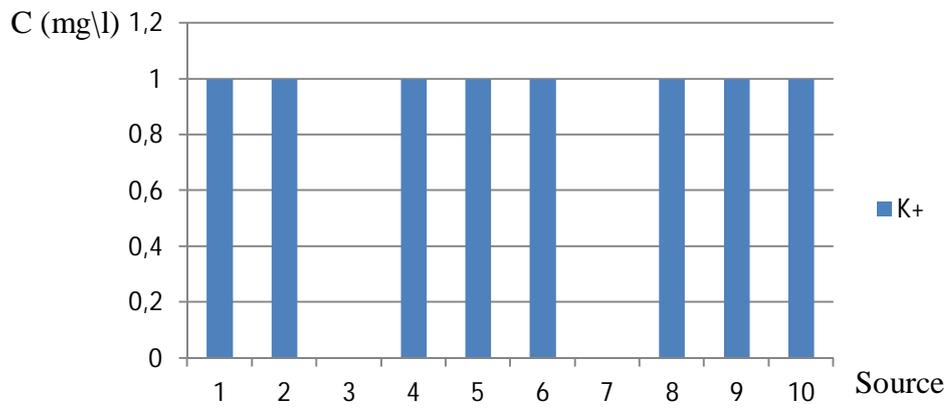


Figure III.8 : variation de la concentration en Sodium

3. Interprétation des résultats

3.1. Faciès chimiques des eaux

La représentation des données d'analyse des eaux de sources (campagne 2017) sur le diagramme de PIPER indique que toutes les sources sont du type **bicarbonaté calcique** avec une présence des concentrations sodique plus élevées dans les sources S2 et S10 (Figure III.9)

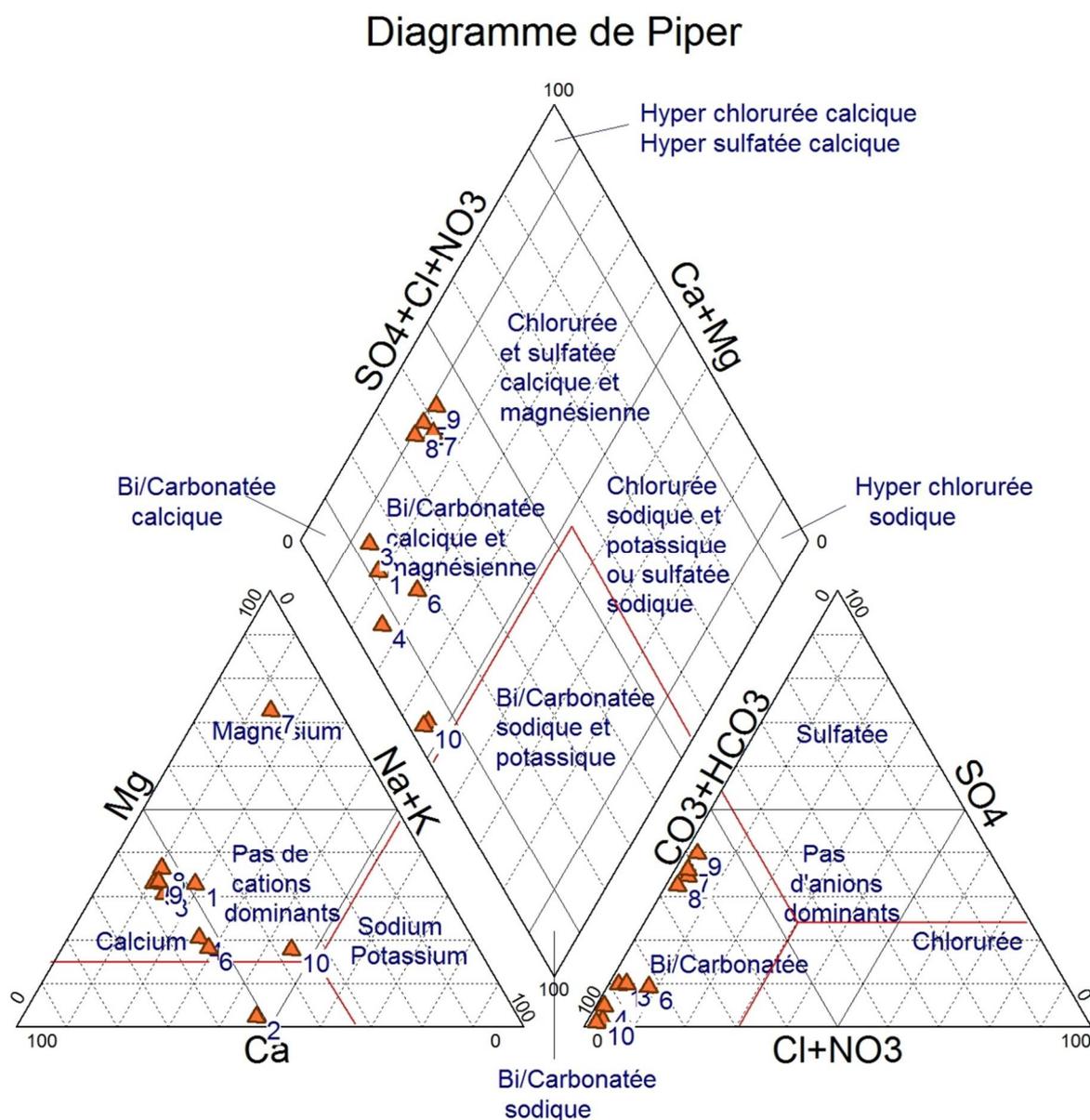


Figure III.9 Diagramme de Piper relatif aux eaux de sources d'El Hamdania ,PNC (2017).

• **Interprétation :**

Pour les 10 échantillons, le diagramme de Piper montre bien le faciès **bicarbonaté calcique**, bicarbonaté des eaux souterraines dans la partie central du parc (Plaine et versants des deux massifs montagneux) (Figure II.4). Des eaux de quelques sources ont une tendance vers un faciès différent localement(S2,S10) bicarbonaté sodique et potassique pour les eaux du(Chiffa, hamdania), Cette évolution vers un pôle potassique plus que calcique pourrait être due à la minéralogie de l'aquifère; tandis que le faciès au niveau de ce deux sources est induite par une pollution locale au niveau des zone des travaux .

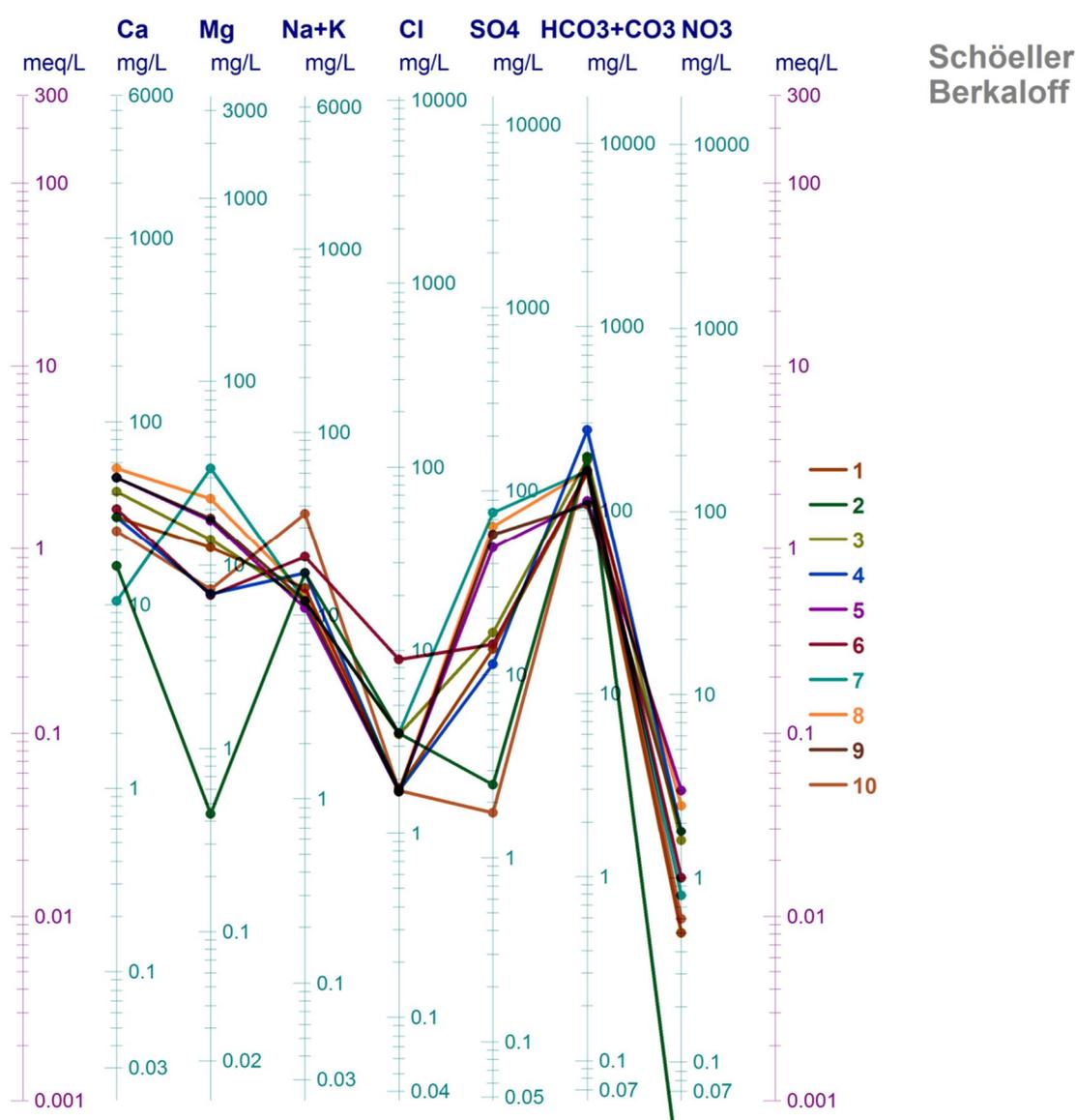


Figure III.10 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de sources d’El Hamdania et PNC (Période des hautes eaux) de l’année 2017

Le diagramme de H. SCHOELLER BERKALOFF montre une seule famille d'eau, **Bicarbonatée Calcique** (Tableau III.5, Figure III.10).

Tableau III.5 : Classification des eaux selon SCHOELLER-BERKALOFF.

les sources	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
S1	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S2	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S3	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S4	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S5	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S6	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S7	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S8	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S9	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique
S10	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$	Bicarbonatée Calcique

3.2. Classification des eaux de sources

Les eaux de sources étudiées ont été classées suivant leur minéralisation, la composition ionique ainsi que la dureté.

3.2.1. Classification des eaux de sources en fonction de la minéralisation :

Cette classification est basée sur la concentration en taux de solide dissouts (TDS) qui correspond à la valeur du résidu sec (Tableau III.6) [18].

Tableau **Tableau III.6 :** Minéralisation des eaux des sources

Source	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TDS	231	321	279	344	242	250	300	323	247	259
Résidu sec(mg/l)	150	115	110	140	280	70	668	360	350	150

Tableau Tableau III.7: Classification des eaux de sources en fonction de la minéralisation

Classes d'eau	Les sources	%
Eaux faiblement minéralisées Résidu sec ≤ 50 mg/l	-	-
Eaux oligo-minérales $50 \text{ mg/l} < \text{Résidu sec} \leq 500 \text{ mg/l}$	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 S8, S9, S10	100
Eaux modérément minéralisées $500 \text{ mg/l} < \text{Résidu sec} \leq 1500 \text{ mg/l}$		
Eaux riches en sels minéraux. Résidu sec > 1500 mg/l		-

Par ailleurs une nouvelle classification a été faite par **Carla Lourenço [47]**, nous a permis de bien connaître les ions prédominants selon la minéralisation des eaux (tableau V.5).

Tableau Tableau III.8 : Les caractéristiques hydrochimiques des eaux en fonction de la minéralisation [47].

Type hydrochimique	principales caractéristiques	sources
Eau de minéralisation très faible	minéralisation < 100 mg/L, la teneur en silice $> 25\%$ de la minéralisation totale	
eau de minéralisation faible	Minéralisation totale entre 100 et 1000 mg / L. Présence d'une paire ionique dominante: $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 S8, S9, S10
Eau de minéralisation moyenne	Minéralisation totale entre 1000 et 1500 mg / L. Présence d'une paire ionique dominante: $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$	
Eau de minéralisation élevée	Minéralisation totale > 1500 mg/L. Présence d'une paire ionique dominante : $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ La teneur en fluor 1 mg / L; le montant élevé de CO_2	

La minéralisation des eaux est principalement contrôlée par l'équilibre de l'eau « roche-interaction », et par conséquent, dépend de la nature des minéraux présents, les eaux de sources analysées sont des eaux oligo-minérales (tableau III.7), elles se caractérisent par une prédominance des ions suivants :

$\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$,
 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$,
 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$ voir (tableau III.5).

3.2.2. Classification des eaux de sources en fonction de la composition ionique

Cette classification tient compte de la teneur des constituants ioniques (calcium [Ca^{2+}], magnésium [Mg^{2+}], chlorures [Cl^-], sulfates [SO_4^{2-}]. . .) (tableau III.9).

Tableau III.9. Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la composition ionique [18].

Catégories d'eau	Sources	%
Eaux calciques : Teneur en calcium > 150 mg/l	-	-
Eaux sulfatées : Teneur en sulfates > 200 mg/l	-	-
Eaux magnésiennes : Teneur en magnésium > 50 mg/l	-	-
Eaux bicarbonatées : Teneur en bicarbonate > 600 mg/l	-	-
Eaux pauvres en sodium : Teneur en sodium < 20 mg/l	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 S8, S9, S10	100
Eaux chlorurées : Teneur en chloruré > 200 mg/l	-	-

On trouve ainsi que toutes les eaux de sources étudiées (100 %) sont des eaux pauvres en sodium.

3.2.3. Classification des eaux de sources en fonction de la dureté

Tableau III.10. Classification des eaux de sources du PNC en fonction de la dureté [39].

types d'eau	Les sources	%
Eaux douces TH < 15°F	-	-
Eaux moyennement douces à moyennement dures 15 < TH < 30	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 S8, S9, S10	100
Eaux dures 30 < TH < 50	-	-
Eaux très dures TH > 50°F	-	-

Apartir de ce tableau on peut ressortir que les eaux de sources étudiées sont des eaux **Moyennement douces à moyennement dures**.

- **Conclusion**

Les eaux de sources sont faiblement minéralisées (eaux oligo-minérales). Vue la faible composition chimique, les eaux de sources n'ont pas une composition chimique marquée. On note néanmoins que ces eaux sont pauvres en sodium.

Enfin, la classification des eaux par rapport à la dureté a montré que l'ensemble des sources sont moyennement douces à moyennement dures.

4. 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-2017 tableau (III.5).

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

Tableau III.11 : indice de saturation IS des eaux échantillonnées

Source	IsCalcite	IsAragonite	IsDolomite	IsGypse
1	1.39	1.25	2.75	-2.6
2	3.77	3.63	6.33	-3.63
3	1.98	1.83	3.82	-2.39
4	2.12	1.98	3.96	-2.7
5	0.63	0.49	1.16	-1.87
6	1.35	1.21	2.37	-2.54
7	-0.62	-0.76	-0.38	-2.36
8	1.33	1.19	2.63	-1.72
9	0.85	0.71	1.61	-1.8
10	1.51	1.37	2.83	-3.57

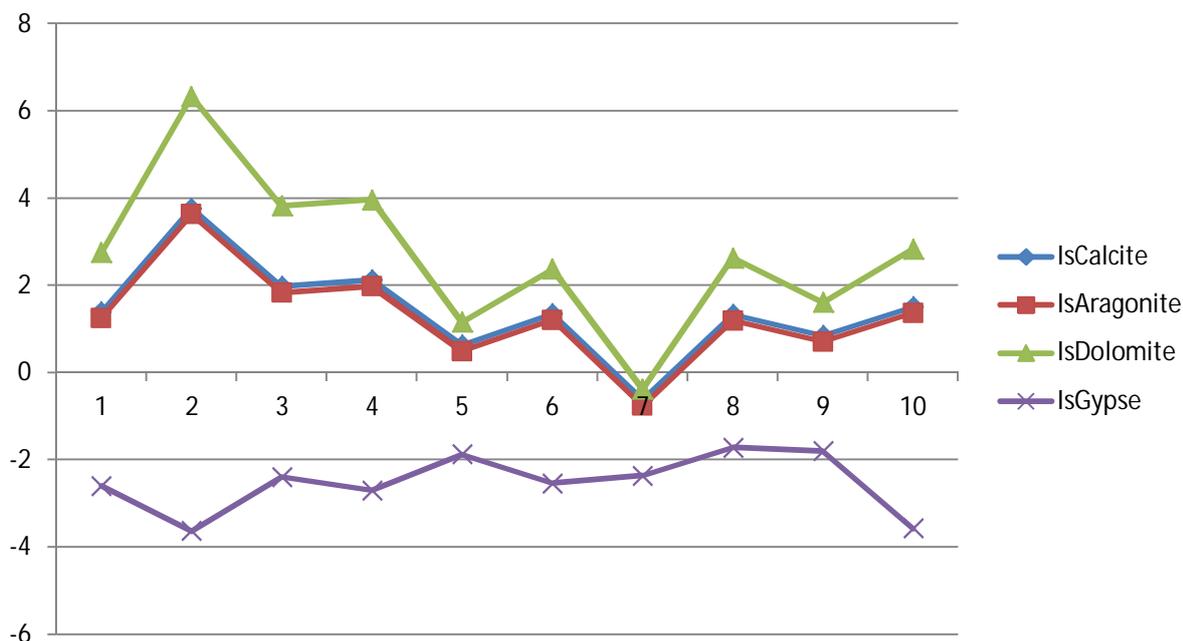


Figure III.11 : Variation de l'indice de saturation des minéraux des eaux de sources étudiée

- **Interprétation :**

L'observation du tableau III.5 montre que les indices de saturation sont positifs, indiquant une saturation vis-à-vis des minéraux suivants : La calcite, la dolomite, l'aragonite,. Le graphe (Figure III.11), confirme cette tendance et montre que la calcite, l'aragonite, calcite et dolomite réagissent en même temps, par contre le gypse, avec un IS faible. En effet, une éventuelle dissolution de ces minéraux peut contribuer à l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines. Le calcul de l'indice de saturation des différents minéraux dans l'eau indique que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à atteindre l'équilibre. Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous saturation, malgré les fortes concentrations qu'ils acquièrent. Ceci est dû à la solubilité respective de ces minéraux.

5. || L'origine du chimisme des eaux souterraines d'El Hamdania et PNC

Pour mieux comprendre le processus de minéralisation des eaux souterraines de la zone d'étude, 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 Ca^{2+} , Mg^{2+} dû à[22]:

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

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

5.1. Origines de la minéralisation Couple ($\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$) ($\text{HCO}_3^- - 3\text{SO}_4^{2-} + 2$)

On détermine ici l'origine géologique des éléments chimiques à partir de la bonne corrélation qui existe entre eux. La représentation graphique de l'évolution du Cl^- en fonction de Na^+ a montré un excès des teneurs en Na^+ , qui s'explique par l'existence, autre que l'halite d'une autre origine pour les ions sodique (autre que l'Halite). La projection des différents points sur le diagramme ($\text{HCO}_3^- - 3\text{SO}_4^{2-} + 2$), ($\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$) (Figure III.11.) montre que 61.53% des points d'eau subissent un échange de base et 30.77% des points présentent l'état naturel. D'après l'interprétation des graphiques illustrant les relations ($\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$), ($\text{HCO}_3^- - 3\text{SO}_4^{2-} + 2$), on constate que cette augmentation des teneurs en Na^+ est due au phénomène d'échange de base. Les argiles du substratum peuvent libérer des ions Na^+ . Les fortes teneurs en sodium et en Cl^- sont attribuées à la dissolution de l'halite contenue dans les évaporites.

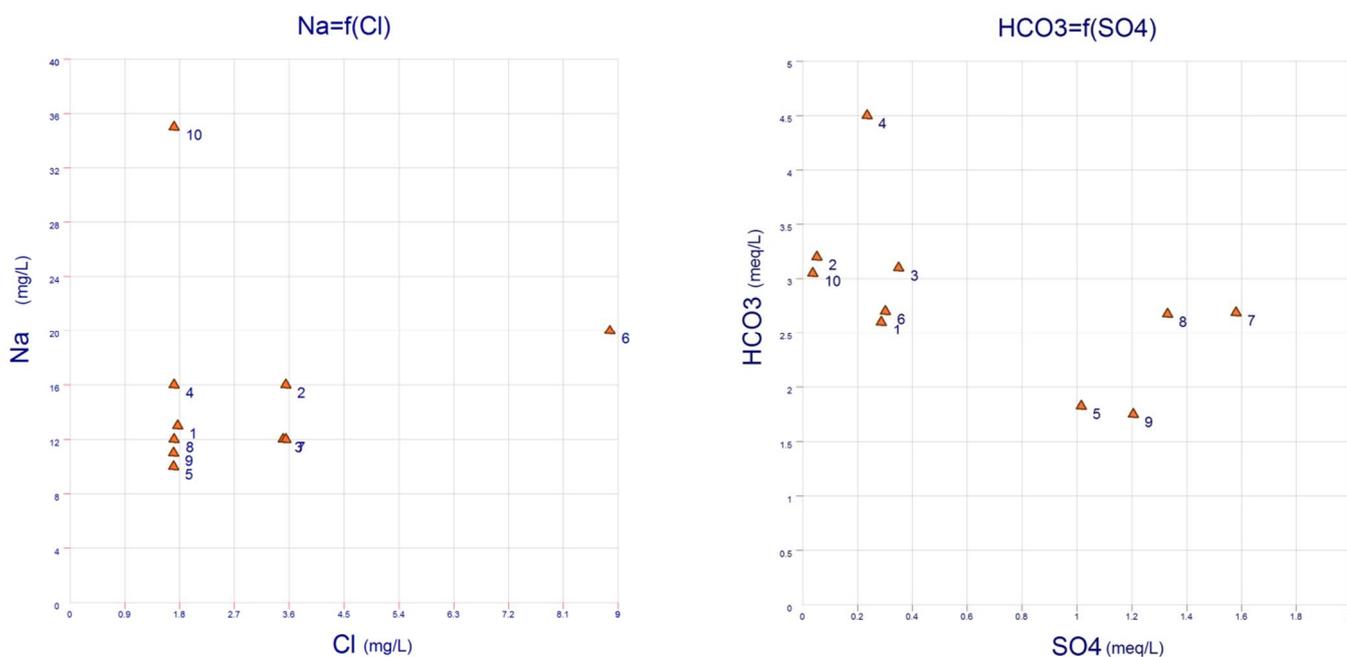


Figure III.11.1: ($\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$) ($\text{HCO}_3^- - 3\text{SO}_4^{2-} + 2$)

5.2. Couple Ca^{2+} - Cl^-

Le digramme Ca^{2+} - Cl^- (figure III.11.2), 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.

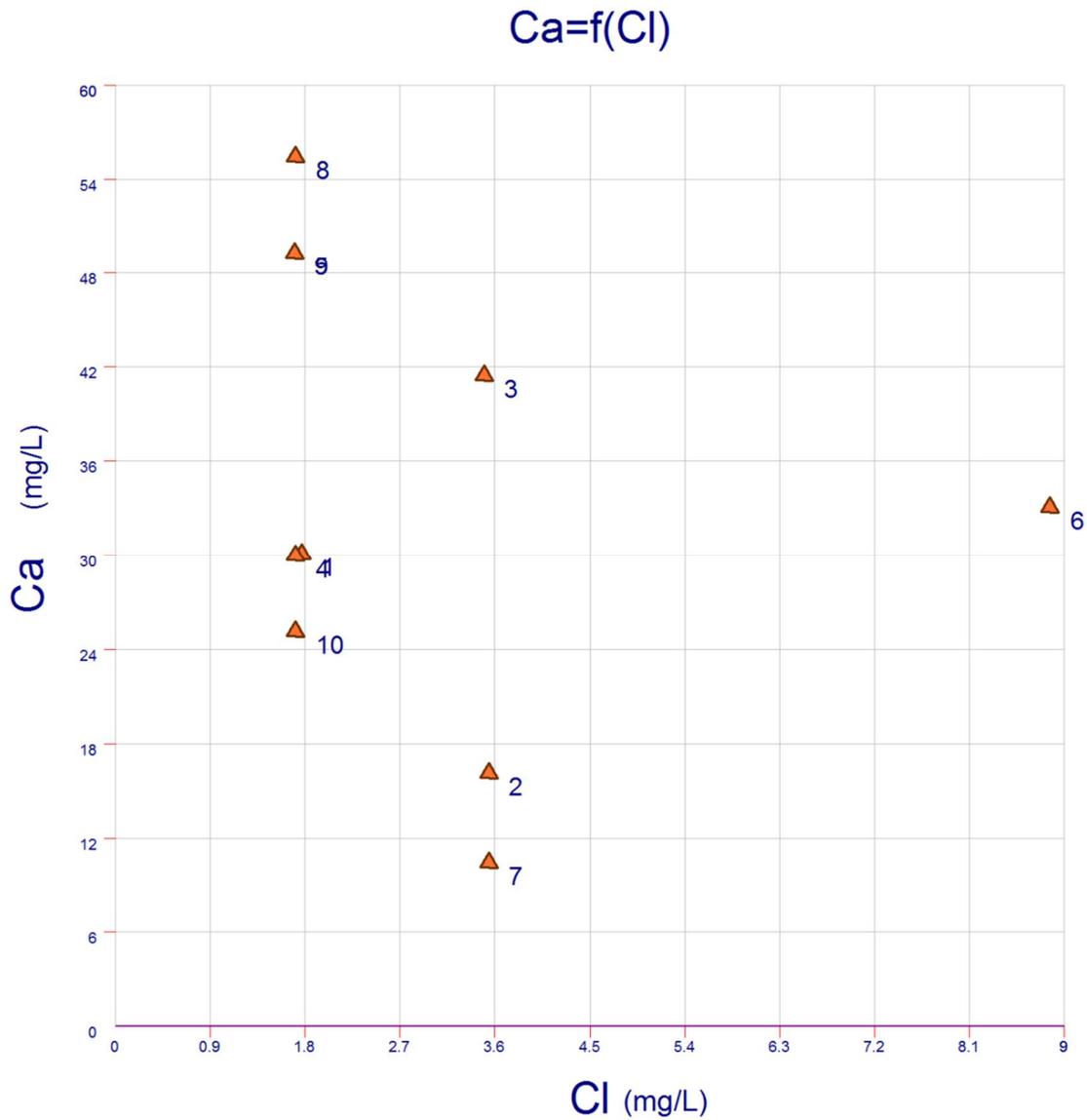


Figure III.11.2: Couple (Ca, Cl^-)

5.3. Couple $\text{SO}_4^{2-}, \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}$

Les digrammes $\text{SO}_4^{2-}, \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}$ (Figure III.11.3) montrent un enrichissement en ions SO_4^{2-} , Mg^{2+} par rapport au calcium liée à la dissolution des niveaux de calcaires, marnes et schiste. Ils ne montrent aucune évolution avec les ions Ca^{++} .

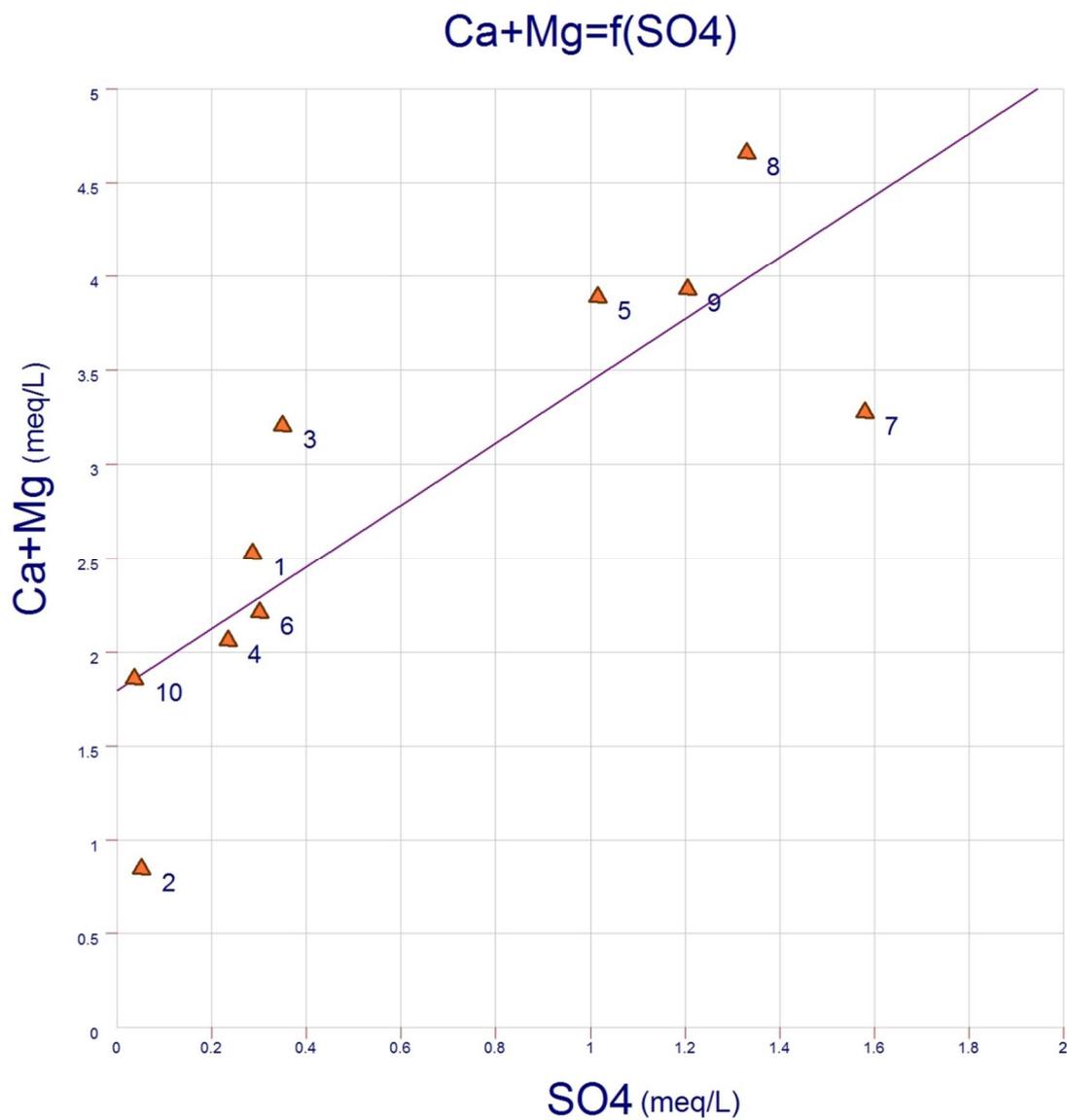


Figure III.11.3: Couple (Ca +Mg , Cl⁻)

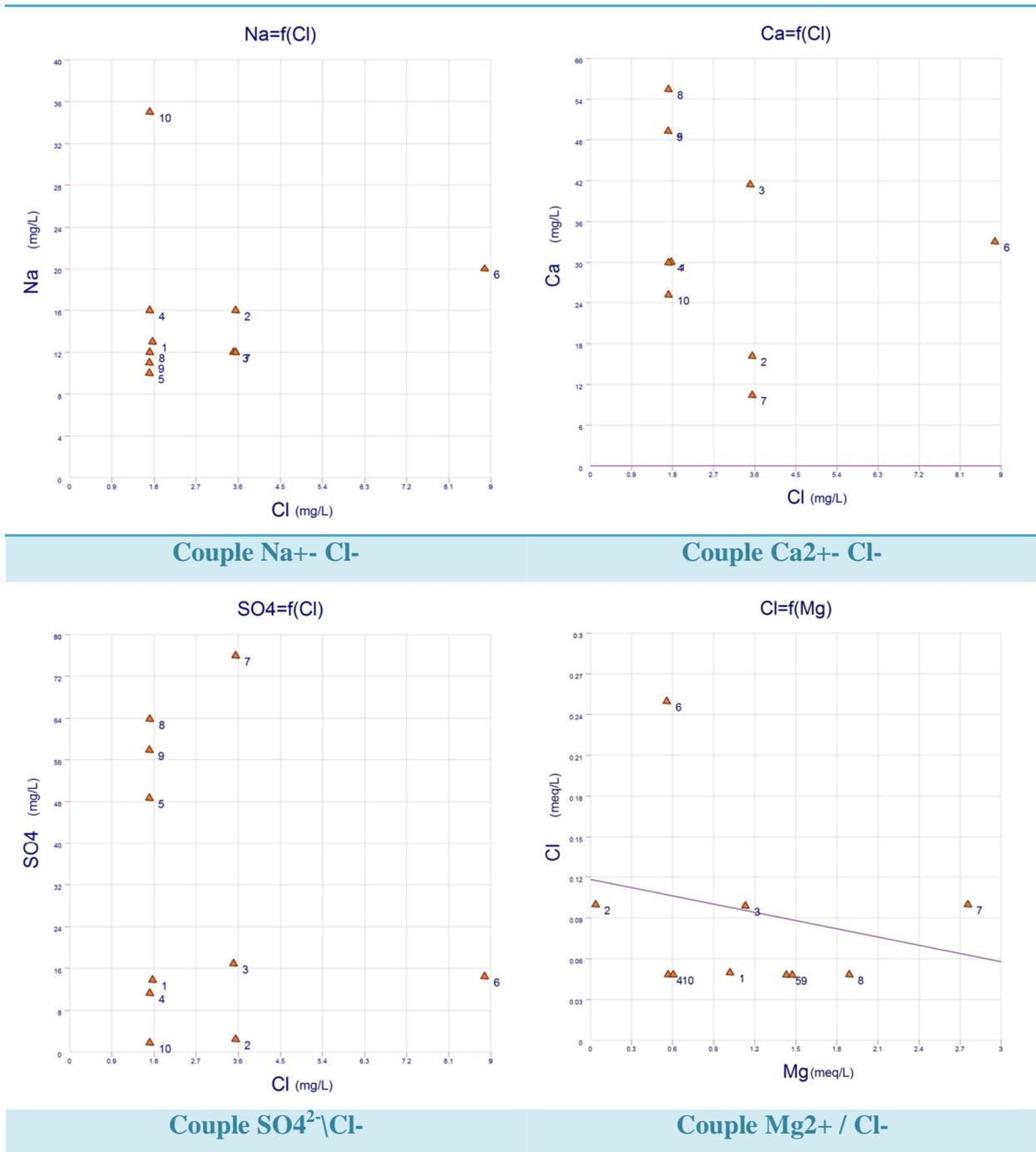


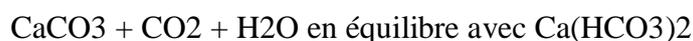
Figure III.11.4: Relation entre Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ et K⁺, SO₄²⁻ et le Cl⁻ des eaux souterraines d’El Hamdania et PNC .

5.4. Couple Ca^{2+} - SO_4^{2-}

Le digramme Ca^{2+} - SO_4^{2-} (Figure III.11.5) 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.

5.5. Couple Ca^{2+} - HCO_3^-

Le diagramme Ca^{2+} - HCO_3^- () montre qu'une grande partie des points présente une bonne liaison entre le calcium Ca^{2+} et l'ion bicarbonaté HCO_3^- , Son équilibre dans l'eau est soumis à des interactions avec le dioxyde de carbone de cet équilibre dépend le caractère agressif (dissolution du carbonate) ou incrustant (précipitation) d'une eau



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

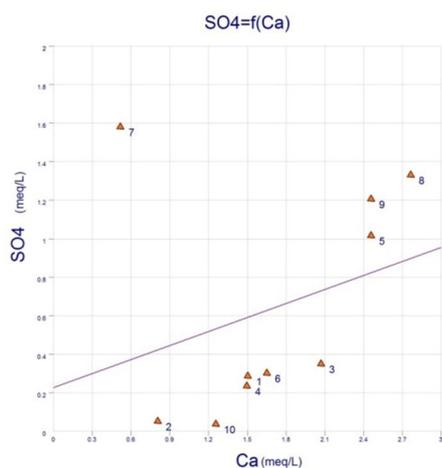


Figure III.11.5: Couple Ca^{2+} / SO_4^{2-}
HCO3

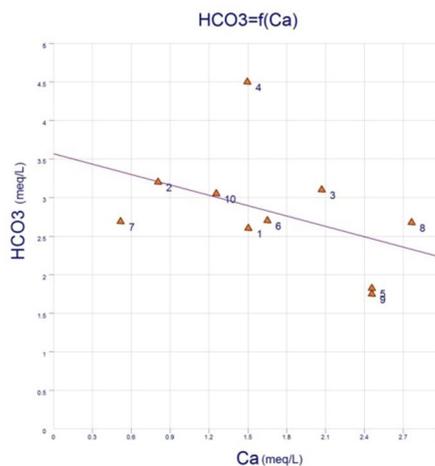


Figure III.5.2: Couple Ca^{2+} /
HCO3

- **Conclusion:**

L'étude des couples des éléments majeurs, 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 Ca^{2+} - SO_4^{2-} montre que l'origine de calcium dû à la dissolution aux niveaux marneux schisteuse.

B. RESULTATS ISOTOPIQUES

1. Introduction

Devant l'impossibilité de réaliser des analyses isotopiques (isotopes stables de la molécule d'eau) sur les eaux des sources échantillonnées; nous étions contraint d'utiliser les résultats des quelques analyses antérieures existantes du même secteur d'étude

Généralité sur les isotopes stables de la molécule d'eau (l'oxygène 18 (^{18}O), Deutérium ^2H ou D. Tritium (^3H)) [23].

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}O), le Deutérium ou Hydrogène lourd (^2H ou D) et le Tritium ou Hydrogène radioactif (^3H ou T) qui sont dits traceurs intrinsèques. Les autres isotopes sont ceux de la forme dissoute : le Carbone-13 qui est stable (^{13}C) et le radiocarbone (^{14}C) [2].

2. Isotopes stables (^{18}O , ^2H)

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]:

^1H : 99,984% ^{16}O : 99,76%; ^{18}O : 0,10%.
 ^2H : 0,015% ^{17}O : 0,037%;

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 (δ ‰)

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

2.3. Facteur de fractionnement α

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 δ 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, ni, le nombre d'atomes échangés. On note $K = a$. si la réaction est monoatomique. Le facteur α 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 ε en part pour mille. Cette valeur est appelée: facteur d'enrichissement, exprimée par [13] :

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

ε peut prendre des valeurs positives ou négatives, et on peut en obtenir une approximation en reprenant la définition de α et en tenant compte du fait que δ est très petit devant mille par:

$$\varepsilon = \delta_1 - \delta_2$$

2.5. Standards internationaux

Toute espèce chimique est exprimée par rapport à un standard approprié conventionnellement admis. L'étalon utilisé pour le deutérium (^2H) et l'oxygène 18 (^{18}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° 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}C , l'étalon international, est le PDB (Peedee Belemnitella americana); une calcite biogénique marine (rostre de la Belemnitella 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 ^2H 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}O et ^2H des précipitations d'origine océaniques qui sont corréliées 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 $d = +10\%$. Cependant cette valeur peut devenir plus élevée. -22% en méditerranée orientale (Nir. 1967 In GİIF.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}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}O et ^2H 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].

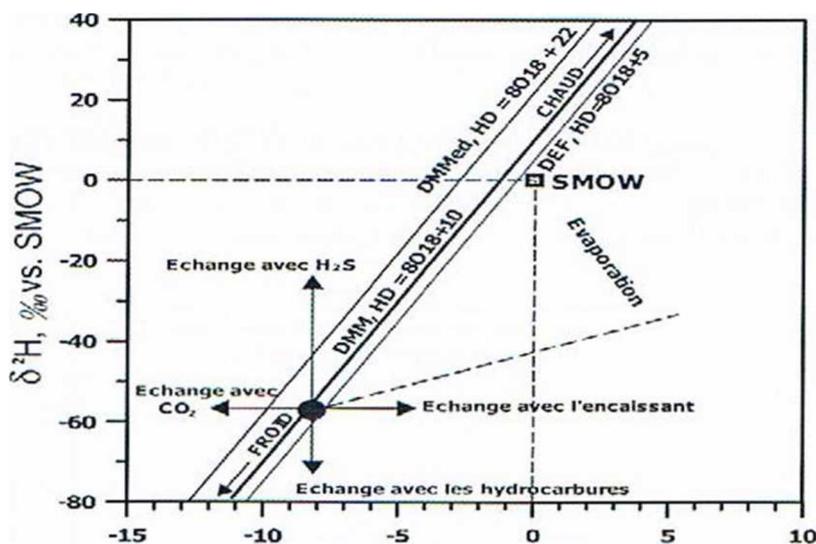


Figure III.12 : Domaine de répartition des eaux naturelles sur un diagramme $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$

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}O (Figure VI-1) indiquerait un processus d'échange avec rencaissant rocheux. 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.

3. isotopes radioactifs (le tritium ^3H)

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 λ 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}C , 1.31 millions d'années pour le ^{40}K , 4,51 millions d'années pour le ^{238}U .

3.2. Tritium: ^3H

Le tritium, symbolisé par ^3H 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 (^3He), en émettant un électron (rayonnement β^-) 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.13: 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.

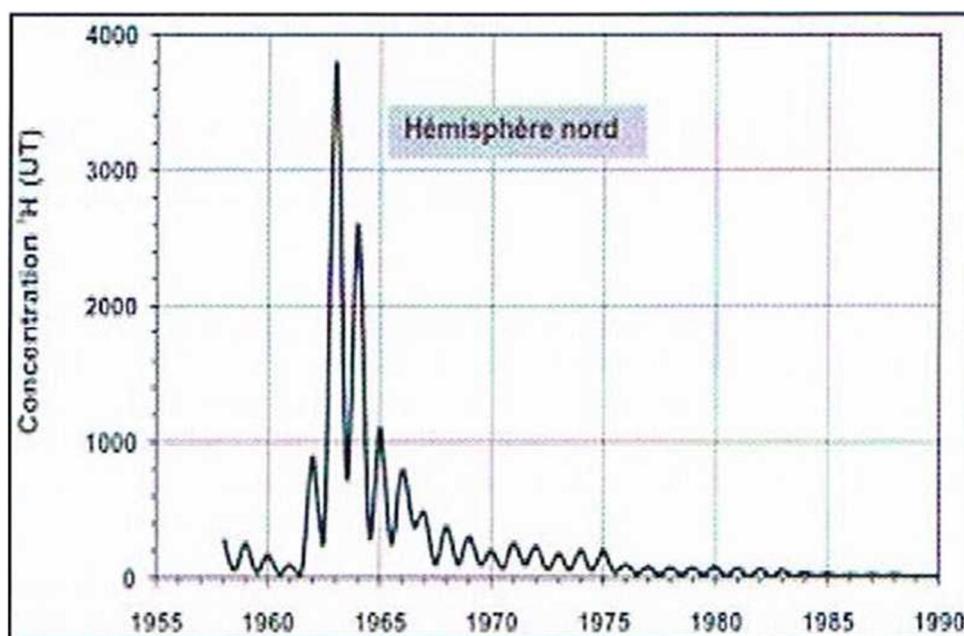


Figure III.14 : Courbe lisse représentant la teneur moyenne en H des précipitations au-dessus de la surface continentale de l'hémisphère Nord. (AIEA 2008) [13].

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 Na_2O ou de NaOH , l'eau est ensuite décomposée par le passage d'un courant électrique : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ [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 la quelle 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 model 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].

4. 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}O , ^2H , et ^3H obtenues par spectrométrie de masse et enrichissement électrolytique.

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

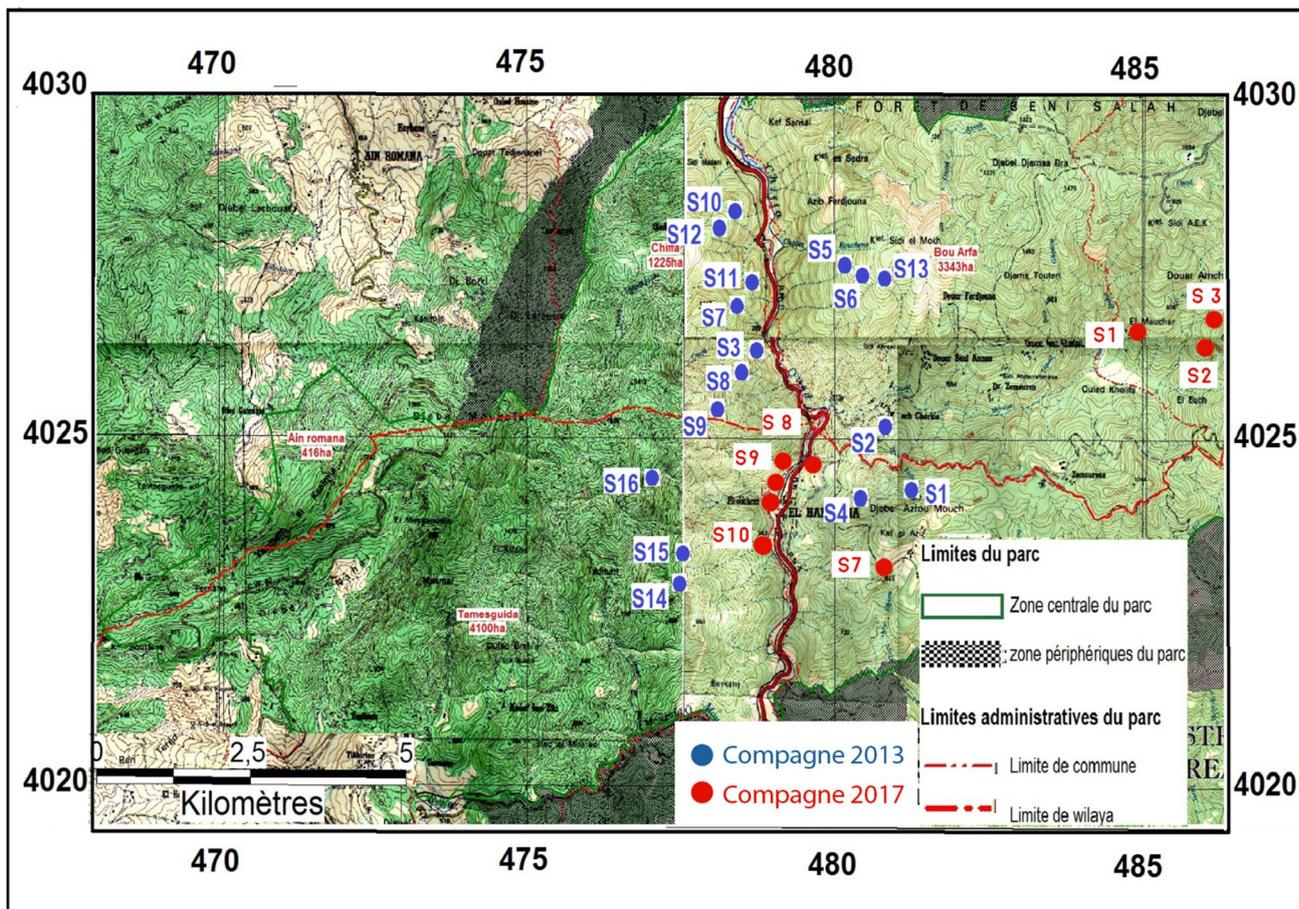


Figure III.15 : : Carte de localisation topographique des différentes sources [14]

4.1. Isotopes stables ^{18}O , ^2H

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 météorique mondiale (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 traces 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.

- **Groupe2 :**

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

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

Les eaux de ces sources se 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 leur émergence est assez loin de leur lieu de prélèvement (difficulté d'accès).

Toutefois 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.

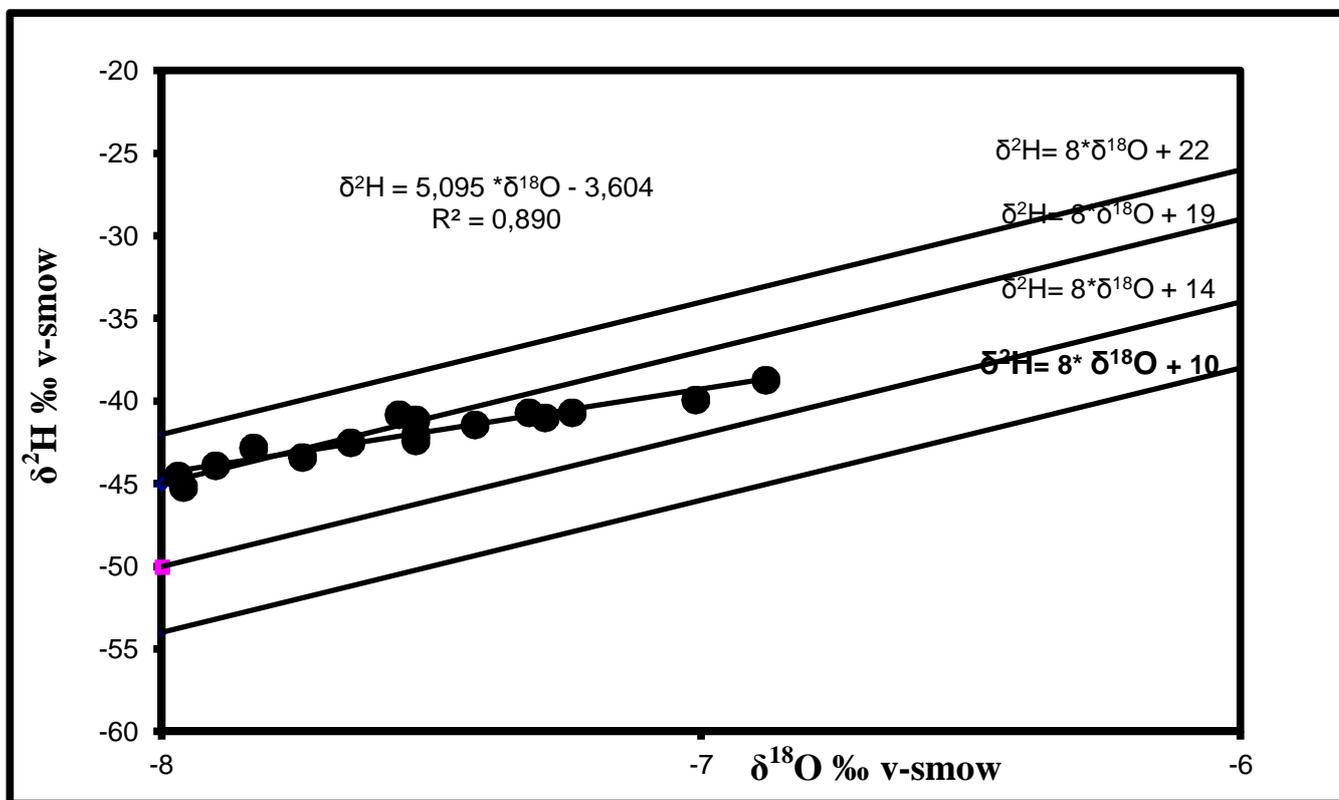


Figure III.9 : Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ des eaux de sources d'El Hamdania

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

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

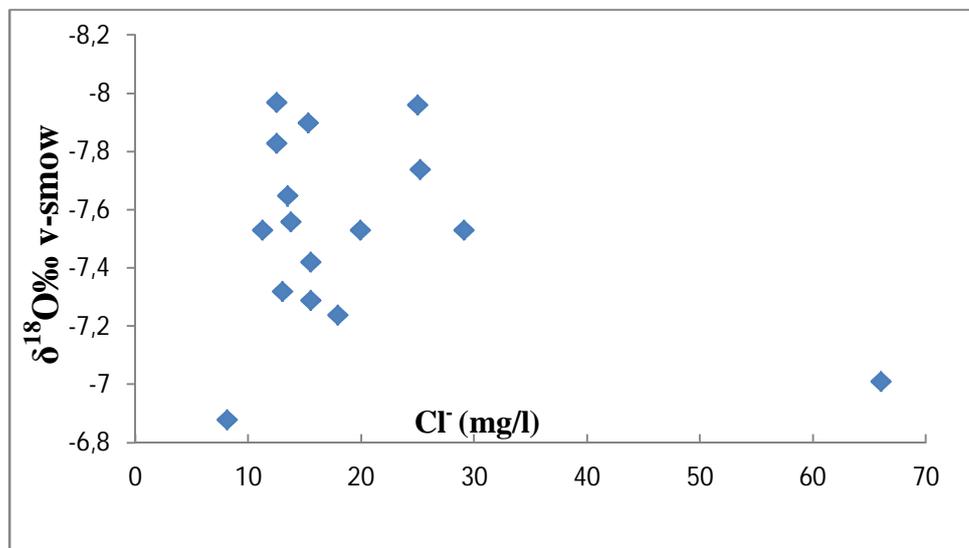


Figure III.10 : Relation ente $\delta^{18}\text{O}$ et Cl⁻

4.2. Isotope radioactif : tritium (^3H)

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 formation calcaireuse gréseuse et marneuse (schiste des gorges de la Chiffa).

Conclusion générale

L'étude que nous avons menée dans le cadre de la valorisation des eaux de sources du Parc National de Chréa s'étend sur la partie Ouest du parc national du Chréa jusque à Oued Mellah sa limite sud, il est caractérisé par un climat méditerranéen, doux et humide en hiver, chauds et secs en été, avec une précipitation moyenne annuelle qui 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 fissurées (gorges de la Chiffa).

L'objectif de l'étude basé sur la détermination des caractéristiques hydrochimiques des sources du PNC. Pour cela, 10 prélèvements ont été choisis pour représenter tous les différents types d'eaux. Les échantillons ont été prélevés dans la période des hautes d'eaux (mars, avril 2017), et leurs analyses sont effectuées au laboratoire ADE .

Les analyses hydrochimiques des éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- et 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 du PNC 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 (Li^+ , Br^- , F^- , Sr^{2+} , 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 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} - 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 Ca^{2+} - SO_4^{2-} montre que l'origine de calcium dû à la dissolution aux niveaux marneux schisteuse.

Par rapport à l'étude isotopique qui a été faite (2013), on observe sur les eaux souterraines d'El Hamdania les résultats suivants :

Les teneurs en ^{18}O et ^2H sont homogènes, varient respectivement entre, -7,97 ‰ v-smow, -6,88‰ v-smow, et -45.2, -38,7‰ 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 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.

Références bibliographiques

- [1] : **BNEF, 1984** – Etude du milieu du parc national de Chréa. Bureau national des études forestières. Blida. 150 p.
- [2] : **ANONYME. 2005 a** – Plan de gestion II du Parc National de Chréa. Ed, du Parc de Chréa, période quinquennale 2005-2009, 212P.
- [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] : **ANONYME. 2000** : Plan de gestion I. Période quinquennale 2000– 2005. Parc national de Chréa.
- [5] : **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.
- [6] : **SBABDJI M. 1997** : Contribution a l'étude de la perte de croissance de *Cedrus atlantica* Manetti suite aux attaques de la processionnaire du pin *Thaumetopoea pityacampa* schiff. Mémoire de magister. INA. Alger.
- [7]: **SBABDJI M., OLDACHE E. H., HADDAD A., KADIK B. & LAMBS L. 2009**: Cedar tree growth (*Cedrus atlantica* Manetti) in chréa national park, algeria, and the influence of defoliation by the pin processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* schiff). Rev. Écol. (Terre vie), vol. 64.
- [8] : **BNEF. 1981** : Etude de protection de la ville de Blida contre les eaux pluviales, Phase I «Analyse de la situation actuelle et propositions de l'aménagement ».108p.
- [9] : **DEGREMONT SA ; 2005** « Mémento technique de l'eau », Tome I, deuxième édition, page 39.

[10] : **Adrar Karim, Hamaga Samira.2005**, Contribution à l'étude de quelques paramètres physico-chimiques et bactériologiques de deux eaux minérales MOUZAIA et TOUDJA, mémoire d'ingénieur, Institut National Agronomique, Alger.

[11] : **MUSTAPHA BOUZIANI. 2006**. « L'eau dans tous ses états : sources de vie, ressource épuisable, maladies hydriques, pollutions chimiques ».p 32.

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

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

[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 la Mauritanie, Thèse de doctorat, Université de Paris-sud, 180 p.

[22]:FEHDI Chemseddine¹, BOUDOUKHA Abderrahmane², ROUABHIA Abdelkader¹, SALAMEH Elias³, 2009. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud-Est algérien), ¹Centre Universitaire de Tébessa, Institut des Sciences de la Terre, ²Université de Batna, Département d'Hydraulique, ³University of Jordan, Département of Géology, Amman, Jordanie

[23] : Bandoui ,2013 étude hydrochimique et isotopique secteur hamdania

Annexe I

Calcul de la balance ionique « Logiciel Hydrowin »

La concentration en méq/L qui figure dans les tableaux (A.1 et A.2) est calculée de la manière suivante :

$$C_{\text{méq}} = \frac{C(\text{mg/l})}{ME} \quad (\text{A.I.1})$$

$$ME = \frac{M}{Z} \quad (\text{A.I.2})$$

Où :

C (méq/l) : concentration en milliéquivalent/l

C (mg/l) : concentration en mg/l

ME : masse équivalente = masse molaire / valence.

Exemple de calcul : (cas de la source d'Ain Sbiha)

Tableau A.1 : Cations de la source « Ain Sbiha »

Cations	mg/l	méq/l
Ca ²⁺	82	4.0918
Mg ²⁺	17	1.3984
Na ⁺	2	0.0870
K ⁺	1	0.0255

Tableau A.2 : Anions de la source « Ain Sbiha »

Anions	mg/l	méq/l
Cl ⁻	37	1.0436
SO ₄ ²⁻	23	0.4808
HCO ₃ ⁻	241	3.9695
NO ₃ ⁻	9.6	0.1555

$\Sigma \text{cations} = 5.6027 \text{ méq/L}$

$\Sigma \text{anions} = 6.6494 \text{ méq/L}$

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

E = 0.41 %

E < 5 % donc l'analyse est considérée **acceptable**

Annexe II

«Modes opératoires»

A.II.1. Paramètres physico-chimiques

A.II.1.1. Les résidus secs

Mode opératoire

- Évaporer progressivement au bain-marie dans une capsule tarée 500 ml d'eau filtrée, la capsule n'étant remplie qu'à mi-hauteur.
- Laver la fiole qui a servi à mesurer le volume d'eau avec de l'eau distillée. les eaux de lavage seront ajoutées en cours d'évaporation.
- Une fois toute l'eau évaporée, porter la capsule à l'étuve à 105 °C pendant 4 heures et laisser refroidir 1/4 d'heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement, le résidu étant en général hygroscopique. Cet inconvénient sera évité en prenant la précaution de déposer 1 ou 2 dg de fluorure de sodium au fond de la capsule avant d'en déterminer la tare.

Expression des résultats

La masse du résidu sec multipliée par 2 donne la masse du résidu sec de 1 litre d'eau.

A.II.1.2. Dosage des cations

A.II.1.2.1. Le calcium et Magnésium

Dosage du calcium et magnésium par complexométrie

Mode opératoire

- Introduire 50 ml de l'échantillon à analyser dans une fiole, et ajouter 4 ml de la solution tampon et 3 gouttes de l'indicateur au noir érichrome ;
- Doser a l'aide de la solution d'EDTA en agitant constamment ;
- Ajouter, goutte la solution d'EDTA dès que la couleur de la solution commence a virer du rouge et du violet au bleu.

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+}) exprimée en milli moles par litre, est donnée par la formule :

$$1000 * (C * V_1) / V_2$$

Ou :

C : C'est la concentration, exprimée en moles par litre, de la solution d'EDTA.

V_1 : est le volume, en millilitre de solution d'EDTA utilisée par le titrage.

V_2 : est le volume, en millilitre d'échantillon dosé ($V_2=50\text{ml}$).

Remarque

La dureté totale, exprimée en CaCO_3 (mg/l), est égal à :

$$(V_1 + V_2) / 50 * 1000$$

A.II.1.2.2. Le Sodium et le Potassium

Méthode photométrique de flamme

Mode opératoire

1- Préparation des solutions d'étalonnage :

- Solution fille de sodium (Na^+) à 10 mg/l de la solution mère de NaCl à 1000 mg/l d'eau distillée.
- Solution fille de potassium (K^+) à 10 mg/l = 1 ml de la solution mère de KCl à 1 g/l dans 100 ml d'eau distillée.

On obtient des solutions étalons contenant respectivement:

500, 400, 300, 150, 100, 50 et 20mg/l de Na^+ .

100, 80, 60, 40, 30, 20, 10 et 4mg/l de K^+ .

2- Méthode de dosage directe :

Avant d'effectuer les mesures, effectuer les réglages de l'appareil, tracer une courbe d'étalonnage, puis effectuer la mesure sur la prise d'essai de l'échantillon.

Expression des résultats

Déduire de la courbe d'étalonnage, les valeurs des concentrations pour les solutions de dosage. Calculer à partir de ces valeurs en tenant compte des dilutions éventuelles, les concentrations des échantillons analysés. Les résultats sont exprimés en milligramme par litre (mg/l).

Remarque

Avant de doser le sodium, il faut toujours vérifier les valeurs de la conductivité (car cette dernière a un apport proportionnel à la dilution c'est-à-dire plus la conductivité est grande plus la dilution de sodium est grande et vice versa. Alors pour le cas de potassium on ne fait pas de la dilution sauf quand la conductivité est grande.

A.II.1.3. Dosage des anions

A.II.1.3.1. Dosage des bicarbonates (HCO_3^-)

Mode opératoire

- Détermination du TA

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ($\text{pH} < 8,3$). Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} 8,3$).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

- Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose ($\text{pH} 4,5$). Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO_2 qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage (voir ci-dessus).

Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage.

Expression des résultats

- TA

$V/5$: exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

V : exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l).

- TAC

$V'/5$: exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

V' : exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

A.II.1.3.2. Dosage des nitrates (NO_3^-)

Préparation des solutions étalons

Prendre successivement:

0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10ml de la solution mère de nitrate et compléter chaque prélèvement à 100ml par de l'eau bidistillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement:

5, 10, 20, 40, 60, 80 et 100mg/l de nitrates

Mode opératoire

Dans un erlen de 100ml, ou mieux dans un flacon en verre brun de 100ml, introduire:

- Prise d'eau = 1ml
- Solution de Soude 0,05M = 5ml
- Mélange Réducteur = 5ml

Agiter après chaque addition et attendre 1 heure avant d'ajouter:

- Mélange colorant = 40ml

laisser la coloration se développer dans l'obscurité pendant ¼ heure. Mesurer sa densité à 520nm.

Le passage au colorimètre ne doit intervenir que juste avant la mesure optique afin que la solution soit exposée un minimum de temps à la lumière à laquelle elle est très sensible.

La réduction des nitrates est partielle et varie avec le temps et la température. Il importe donc que la mesure des échantillons soit toujours accompagnée d'une mesure des solutions étalons, traitées dans les mêmes conditions.

A.II.1.3.3. Dosage des Chlorures

Mode opératoire

- On place les prises d'eaux (5ml) dans des erlens de 50ml les prises d'eaux des solutions étalons, le témoin (H₂O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:
- On ajoute dans l'ordre 15ml de la solution de thiocyanate mercurique préalablement diluée au 1/3 puis 15ml de la solution nitrique d'alun ferrique également diluée au 1/6.
- On agite vigoureusement les erlens pour uniformiser la coloration qui apparaît et on laisse au repos pendant ½ heure.
- On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470nm en réglant le zéro avec le témoin.

Préparation des solutions étalons

On prend successivement :

100, 80, 65, 50, 35, 20, 10 et 5ml de la solution mère de Cl⁻, puis on complète chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement :

1000, 800, 650, 500, 350, 200, 100 et 50 mg/l en chlorures. Les stocker dans des flacons étiquetés.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l.

A.II.1.3.4. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Solutions étalons

Prendre successivement:

50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5ml de la solution mère de SO_4^{2-} , compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée.

On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement: 500, 400, 300, 200, 150, 100 et 50mg/l en SO_4^{2-} .

Mode opératoire

- On place les prises d'eaux (5ml) dans des erlens de 50ml

Les PE des solutions étalons, le témoin (H_2O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:

- On ajoute à chaque prise d'eau, 20ml de la solution de BaSO_4 et de gélatine préalablement diluée au 1/6.

- On agite pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait comme conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures.

-On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 495nm en reliant le zéro avec le témoin.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l.

A.II.1.3.5. Dosage des silices (SiO_2)

Méthode par flux continu

Gamme de mesure

0,3 mg/l – 0,6 mg/l – 0,9 mg/l – 1,2 mg/l – 1,5 mg/l.

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en mg/l en se rapportant à la courbe d'étalonnage.

A.II.1.4. Dosage des éléments chimiques indicateurs de pollution

A.II.1.4.1. dosage de l'ammonium

Réactifs

Réactifs I :

- Acide dichloro isocyanurique2gr.
- Hydroxyde de sodium32 gr.
- Eau distilléeq.s.p 1000 ml.

Réactifs II :

- Tricarbonate de sodium130 gr.
- Salicylate de sodium 130 gr.
- Nitropruciate de sodium 0.97 gr.
- Eau distilléeq.s.p 1000 ml.

Tableau N° : gamme d'étalon de l'ammonium :

Solution fille i mg/L	0	1	2.5	5	2	40
Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	25	10
Réactifs I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactifs II coloré (ml)	4	4	4	4	4	4

Attendre 1 h 30

concentration d'ammonium (NH ₄ ⁺) en mg/L	0	0.02	0.05	0.1	0.5	0.8
---	---	------	------	-----	-----	-----

Mode opératoire

- prendre 40 ml d'eau à analysé.
- Ajouter 4 ml du réactif I.
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1h30.
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH₄⁺.

Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/L.

A.II.1.4.2. dosage des nitrites

Méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire

Réactifs

- Acide orthophosphorique ($d = 1,70$).

Réactif de diazotation :

- Amino-4-benzènesulfonamide 40 g.
- Dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane 2 g.
- Acide orthophosphorique ($d = 1,7$)..... 100 mL.
- Eau permutée *q.sp.* 1000 mL.

Mélanger dans un bécher 800 mL d'eau permutée et 100 mL d'acide phosphorique, ajouter l' amino-4-benzènesulfonamide puis après dissolution, ajouter le dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane. Agiter jusqu'à complète dissolution. Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000 mL, ajuster le volume avec de l'eau permutée.

Conservée au réfrigérateur, cette solution est stable un mois.

Solution mère étalon d'azote nitreux (NO₂) à 100 mg/ L :

- Nitrite de sodium..... 492,8 mg.
- eau permutée *q.sp.* 1000 mL.

Conservée en flacon de verre inactinique, cette solution est stable un mois.

- Solution fille étalon d'azote nitreux (NO₂) à 1 mg/ L :

Diluer au 1/100 la solution précédente avec de l'eau permutée. À préparer extemporanément.

Établissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 50 ml :

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution fille étalon à 1 mg IL	0	1	2.5	5	7.5	10
Eau permutée (ml)	50	49	47.5	45	42.5	40
Correspondance en milligrammes par litre d'azote nitreux (NO ₂)	0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.20
Réactif de diazotation (ml)	1	1	1	1	1	1

Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 543 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitreux (NO₂), exprimée en milligrammes par litre d'eau.

A.II.1.4.3. dosage des phosphates

Réactifs

Solution d'acide ascorbique10g/l.

Solution de molybdate d'ammonium.

Solution mère de phosphate (po₄³⁻).....1g/l.

Solution de po₄³⁻..... 10mg/l.

Mode opératoire

Les phosphates totaux sont dosés après minéralisation du prélèvement. Pour cela, introduire une prise d'essai de l'échantillon (ou un volume déterminé en fonction de la teneur supposée en phosphate) dans un erlen de 100ml. Ajouter 1ml d'acide sulfurique obtenue en ajoutant 31ml d'acide sulfurique concentré dans 60ml d'eau distillée et en complétant à 100ml. Ajouter 0,4g de persulfate d'ammonium. Porter à ébullition et chauffer régulièrement pendant environ 1 heure pour obtenir un volume final de 10ml.

Alcaliniser par une solution d'hydroxyde de sodium 3N jusqu'à coloration rose en présence de la phénolphthaléine. Décolorer avec une goutte d'acide sulfurique.

Laisser refroidir et compléter à 50ml avec de l'eau distillée et procéder au dosage des phosphates totaux selon la méthode utilisée pour le dosage de l'orthophosphates.

Recommander de procéder de la même manière avec les solutions étalons.

A.II.1.4.4. dosage de la matière organique

Mode opératoire

- Mettre dans un erlen de 500 ml, 100ml d'eau à analysée à l'aide d'une fiole de 100 ml.
- Ajouter 10 ml d'acide sulfurique au ½ avec une pro pipete et une pincée de HgSO_4 afin de masquer la présence des ions chlorures.
- Chauffer et ajouter au début de l'ébullition, 10 ml de KMnO_4 à N/80.
- Continuer l'ébullition pendant 10 mn, (s'il y a décoloration il faut diluer l'échantillon).
- Refroidir rapidement et ajouter 10 ml de sulfates ferreux ammoniacal à N/80.
- Tirer avec du permanganate de potassium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose.
- Procéder de la même manière avec un témoin d'eau distillée sans ajouter HgSO_4 .

Expression des résultats

$$X \text{ (mg/L)} = |V_1 - V_2| * f$$

V_1 : volume KMnO_4 (échantillon).

V_2 : volume KMnO_4 (blanc : l'eau distillée).

f : facteur de dilution.

Si on trouve la teneur en matière organique supérieure a 3,5 mg O_2 /L, recommencer en diluant l'échantillon.

Annexe III

Coordonnées des points d'eaux des sources et les paramètres mesuré sur terrain

Date du prélèvement : 3 avril		
Carte	No	01
	Nom de la source	Yemma bahria
	Cordonnée	36°26'30.15"N 02°52'45.42"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		8.3
pH		9.19
TDS(mg/l)		101.1
Salinité		0.1
U(mV)		-206.4
ρ(KΩcm)		4.40
σ(μS/cm)		164.7

Date du prélèvement : 3 avril		
Carte	No	02
	Nom de la source	Source n02
	Cordonnée	36°26'39.9"N 02°53'08.52"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		9.8
pH		11.67
TDS(mg/l)		107
Salinité		0.0
U(mV)		-206.4
ρ(KΩcm)		5.34
σ(μS/cm)		187.6

Date du prélèvement : 3 avril		
Carte	No	03
	Nom de la source	Source n03
	Cordonnée	36°26'43.33"N 02°53'13.15"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		8.4
pH		9.48
TDS(mg/l)		41
Salinité		0.0

U(mV)	-206.4
ρ (K Ω cm)	18.55
σ (μ S/cm)	61.9

Date du prélèvement : 3 avril		
Carte	No	04
	Nom de la source	Source n04
	Cordonnée	36°27'17.37"N 02°53'27.22"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		7.8
pH		9.6
TDS(mg/l)		131
Salinité		0.1
U(mV)		-150
ρ (K Ω cm)		4.34
σ (μ S/cm)		231

Date du prélèvement : 3 avril		
Carte	No	05
	Nom de la source	Ain TISRAWINE
	Cordonnée	36°28'20.23"N 02°56'35.45"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		9.7
pH		8.3
TDS(mg/l)		96
Salinité		0.0
U(mV)		-71.6
ρ (K Ω cm)		5.97
σ (μ S/cm)		167.5

Date du prélèvement : 4 avril		
Carte	Nº	06
	Nom de la source	Ain HAROUCHA
	Cordonnée	36°26'24.81"N 02°53'54.96"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		11.1
pH		9
TDS(mg/l)		103
Salinité		0.0
U(mV)		-108
ρ (K Ω cm)		5.39
σ (μ S/cm)		185.5

Date du prélèvement : 4 avril		
Carte	Nº	07
	Nom de la source	Ain Tirayeur
	Cordonnée	36°26'24.81"N 02°53'54.96"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		11.9
pH		7.56
TDS(mg/l)		82
Salinité		0.0
U(mV)		-34.8
ρ (K Ω cm)		6.60
σ (μ S/cm)		151.3

Date du prélèvement : 13 avril 2017		
Carte	No	08
	Nom de la source	Source n08
	Cordonnée	36°23'49.97"N 02°45'51.99"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		16
pH		8,80
TDS(mg/l)		560
Salinité		0.2
U(mV)		-101.1
ρ (K Ω cm)		1.78
σ (μ S/cm)		561

Date du prélèvement : 13 avril 2017		
Carte	No	09
	Nom de la source	Source n09
	Cordonnée	36°23'33.85"N 02°45'58.32"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		13.7
pH		8,54
TDS(mg/l)		286
Salinité		0
U(mV)		-88
ρ (K Ω cm)		3.48
σ (μ S/cm)		287

Date du prélèvement : 13 avril 2017		
Carte	No	10
	Nom de la source	Source n10
	Cordonnée	36°23'23.54"N 02°45'49.08"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		15.2
pH		9.22
TDS(mg/l)		405
Salinité		0.1
U(mV)		-123

ρ (K Ω cm)	2.45
σ (μ S/cm)	408

Date du prélèvement : 14 avril 2017		
Carte	N ^o	11
	Nom de la source	Source n11
	Cordonnée	36°23'05.05"N 02°45'57.94"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		14.9
pH		8.83
TDS(mg/l)		457
Salinité		0.1
U(mV)		-101.3
ρ (K Ω cm)		2.20
σ (μ S/cm)		458

Date du prélèvement : 14 avril 2017		
Carte	N ^o	12
	Nom de la source	Source n12
	Cordonnée	36°22'46.47"N 02°46'04.97"E
	Remarque	Leau sorte en cascade Accé : facile
Les paramètres mesurer		
Température		14.2
pH		8.51
TDS(mg/l)		356
Salinité		0.1
U(mV)		-87.6
ρ (K Ω cm)		2.60
σ (μ S/cm)		380

Date du prélèvement : 14 avril 2017		
Carte	N ^o	13
	Nom de la source	Haouch massoudi
	Cordonnée	36°20'25.84"N 02°45'55.58"E
	Remarque	Leau sorte en vasque Accé : difficile
Les paramètres mesurer		
Température		17.4
pH		7.82
TDS(mg/l)		...
Salinité		1.4
U(mV)		-47.9
ρ (K Ω cm)		0.35

σ(μS/cm)	2.81
----------	------

Date du prélèvement : 14 avril 2017		
Carte	No	14
	Nom de la source	zoneday
	Cordonnée	36°20'25.84"N 02°45'55.58"E
	Remarque	Leau sorte en vasque Accé : difficile
Les paramètres mesurer		
Température	18.2	
pH	7.25	
TDS(mg/l)	796	
Salinité	0.3	
U(mV)	-15.6	
ρ(KΩcm)	1278	
σ(μS/cm)	795	