

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : **Hydraulique**

Spécialité : **Ressources Hydrauliques**

Thème :

**Relation entre le fonctionnement hydrochimique,
hydrodynamique, isotopique et la fracturation géologique des
monts de l'Atlas Blidéen**

(Zone PNC : secteur central et secteur d'El Hamdania)

Présenté par :

BOUDERBALA Ichrak

et

LIMANI Nassima

Devant le jury composé de :

M.OULARBI A	MCB, U. de Blida	Président
M. KHOULI M . R	MCA, U. de Blida	Examineur
M.CHERCHALI M.H	Charge de recherche, CRNA	Examineur
M. GUENDOUZ A	Professeur, U. de Blida	Promoteur
M ^{me} CHORFI H	Chercheur, CRNA	Invitée

Promotion 2018/2019

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعَ فِي الْأَرْضِ
[الزمر: 21]



Remerciements :

Avant tout, nous remercions **ALLEH** le tout puissant de nous avoir guidé, aidé et donné la foi, la force et le courage pour accomplir ce travail.

En préambule à ce mémoire, il nous est agréable de cité et adressé nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aides et qui ont contribué à l'élaboration et au bon déroulement de ce travail ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire :

Notre profonde gratitude s'adresse tout d'abord a notre encadreur Monsieur le professeur **GUENDOZ Abdelhamid**.

“Nos remerciements les plus respectueux de nous avoir encadrée dans ce travail, le regard critique, juste et avisé .Le professeur qui a réussi à nous inspirer, a nous donner confiance en soie, Merci Monsieur de nous avoir montré les clés du succès “.

Nos plus sincères remerciements pour notre Co-promoteur Monsieur **CHERCHALI Mohamed El Hocine** chef de laboratoire des isotopes stables au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger qui s'est toujours montré a l'écoute et très disponibles tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons nos vifs remerciements aux très occupées membres de jury Monsieur le précédant **OULARBI Azzedine**, Monsieur **KHOULI Mohamed Rédha** et Monsieur **CHERCHALI Mohamed El Hocine** qui ont accepté de consacrer un peu de leur temps a la lecture et au jugement de ce travail.

Madame **CHORFI Hadjer** responsable de laboratoire d'hydrochimie pour son aide apportée a l'analyse de nos échantillons et sa contribution précieuse dans la réalisation de ce présent travail.

Nous voudrions bien de remercier Monsieur **MOULA Adelan** le chef de Division des Applications Nucleaires (DAN)de nous avoir accueillies dans sa division, la confiance accordée nous a permis de progresser rapidement.

Je désire aussi remercier Monsieur **DAHAL Ramden** Directeur du Parc National de Chrea ainsi les Chefs de secteurs et toute l'équipe forestière des deux secteurs (celle de secteur central et celle de secteur d'El Hamdania) de nous avoir donner l'occasion extraordinaire de réaliser notre travail de terrain dans les bonnes conditions.

De même, nous tenons a remercier Monsieur **BENSAFIA Djilali** le chef département ainsi tout le corps d'enseignants du département de science d'eau et d'environnement qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

Un grand Merci pour Madame **ABDELOUAHAB Maseouda** qui s'est toujours portée volontaire pour nous fournir l'aide demandée.

Nous adressons nos chaleureux remerciements à **NOS PARENTS** pour leur sacrifice, leur amour, et leur confiance. Ils nous ont sans cesse apporté le soutien moral, matériel durant nos cursus d'études.

A la fin, il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer cet ouvrage.

Dédicace :

Je remercie ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force d'y croire, le courage, la volonté et la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire :

'El Hamed li Alleeh''

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect à:

Mes chandelles de vie, qui m'ont donnée la vie et qui ont toujours été là pour moi.

« Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».

Mon seul unique frère Kamel

Mes deux perles frangines : F.Zahra, Maroua.

Mes deux sources de joie mes neveux: Ayham Abdelillah et Mohamed Djawed.

Mon beau frère Amar et ma chère belle sœur Soumia.

Ma Chère tante Nabila.

« Qui m'ont toujours entouré et motivé sans cesse tout le long de ce projet. A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite ».

A Mon binôme **LIMANI NASSIMA**, ma douce sœur qui a eu la patience de me supporter durant ce mémoire, et qui m'a soutenu et encouragé pendant tous les moments difficiles vécus, ainsi sa petite famille

« Si je pouvais attraper un arc-en-ciel je le ferai seulement pour vous ».

Tous ceux qui portent le nom « BOUDERBALA » et « SEGUIR » .

Aux personnes qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, mes collègues d'étude promo 2018-2019.

À tous ces intervenants, je présente mon respect et ma gratitude.

Bouderbala IChrak

Dédicace :

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donnée la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire يا قيوم.

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents : Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance, et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat des longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer dans la vie. Je prie dieu le plus puissant de vous préserver et vous garder pour nous.

A mes très chères sœurs Asmaa, Fatma, Sarah qui ont été pour moi une source de courage, et des exemples de persévérance et de générosité. Merci infiniment.

A mon nice Mimi (Bakhboukha), ce qui a donné un gout spécial à ma vie.

A tout la famille LIMANI et NAAMAN: mes tentes, mes oncles, mes cousins et cousines qui m'ont toujours souhaité la bonne chance.

A ma chère sœur de cœur (binôme) BOUDERBALA ICHRAK pour son ambition du travail et son aide pour que notre travail soit bien présenté et à toute sa famille, qui a toujours fait preuve d'esprit de collaboration et de serviabilité, pour que notre amitié dure.

A mes chers amis avec qui j'ai partagé des moments inoubliables qui mon toujours accompagné dans les bons et les mauvais moments.

A mes chers professeurs du cycle primaire jusqu'au cycle universitaire

Limani Nassima

ملخص :

تعد الحظيرة الوطنية للشريعة جزءًا كبيرًا من الوحدة الجغرافية للأطلس التلي التي تمتد على مساحة 26587 هكتار ، وتهيمن على ثلاث قطاعات: القطاع المركزي ، الحمدانية وحمام ملوان. تعد هذه الحظيرة مقر الأكبر شبكة مياه جوفية التي تضمن تزويد المياه حيث تعقيدها الجيولوجي وكذلك عملها الهيدروجيولوجي و الهيدروديناميكي يجعل ضرورة تطبيق أساليب الجديدة و تنقيب .

يشمل مشروعنا النهائي للدراسة القطاع المركزي و قطاع الحمدانية ، حيث لدينا 32 عينة من المياه (18 ينبوع من القطاع المركزي و 14 من قطاع الحمدانية).

تتشكل هذه الدراسة من أول نهج هيدروكيميائي وإحصائي يسلط الضوء من ناحية على عمليات الحصول على تمعدن المياه ، ومن ناحية أخرى ، الواجهات الهيدروكيميائية على أساس هيمنة كل من الكاتيونات و الأنيونات . اما نهج الثاني يتألف من دراسة النظائر المستقرة لجزيء الماء (اكسجين 18 و هيدروجين 2) والتي مكنت من تحديد أصل العناصر الذائبة في هذه المياه. اخر نهج هيكل لتوصيف وإدراك أفضل. هيكل والأداء الهيدروديناميكي لنظام طبقة المياه الجوفية للحضرية.

مفتاح : الحظيرة الوطنية للشريعة, هيدروكيميائي, الهيدروجيولوجي, الهيدروديناميكي , النظائر المستقرة , هيكل.

Résumé :

Le Parc National de Chréa est un massif qui fait partie d'une unité géographique de l'Atlas Tellien, qui s'étend sur une superficie de 26587 Ha. Il domine trois (3) secteurs : le secteur Central, d'El Hamdania et de Hammam Melouane. Ce parc est le siège d'un vaste système aquifère qui assure l'alimentation en eau, dont sa complexité géologique ainsi que son fonctionnement hydrogéologique et hydrodynamique rendent la nécessité d'appliquer des nouvelles méthodes d'investigation.

Notre projet de fin d'étude se focalise sur le secteur Central et le secteur d'El Hamdania, dont nous avons sélectionné 32 points d'eaux, 18 sources au niveau du secteur Central et 14 au niveau du secteur d'El Hamdania.

La présente étude constitue une première approche hydrochimique et statistique qui permet de mettre en évidence d'une part les processus d'acquisition de la minéralisation des eaux, et d'autre part, les facies hydrochimiques sur la base de la dominance respective des cations et anions.

Une seconde approche isotopique qui consiste en une étude des isotopes stables de la molécule de l'eau (Oxygène 18 et deutérium) qui a permis de préciser l'origine des éléments dissous dans ces eaux. Une dernière approche structurale a été abordé, pour caractériser et mieux appréhender la structure et le fonctionnement hydrodynamique du système aquifère du massif.

Mots clés : Parc National de Chréa, hydrochimie, hydrogéologie, hydrodynamique, isotope, structurale.

Abstract :

The Chréa National Park is a massif and part of a geographical unit of The Tellian Atlas, which spread over an area of 26587 Ha. It dominates three sectors: central sector, El Hamdania and Hammam Melouane. This park is the seat of a vast aquifer system which ensures the supply of water whose geological complexity and hydrogeological functioning make it necessary to apply new methods and surveys.

Our study project is located in two sectors, central sector with 18 springs, and El Hamdania sector with 14 springs. This study is a first hydrochemical and statistical approach that highlights on the one hand the acquisition processes of water mineralization, and on the other hand, hydrochemical facies on the basis of the respective dominance cations and anions.

A second isotopic approach consisting of a study of the stable isotopes of the water molecule (Oxygen 18 and deuterium) that clarified the origin of the dissolved elements in these waters. A final structural approach was discussed, to characterize and better understand the hydrodynamic structure and functioning of the aquifer system of the massif.

Keyword: The Chrea National Park, hydrochemistry, hydrogeology, hydrodynamic, isotopes, structural

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I:PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU PNC

Introduction	01
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	01
2. APERCU ORO-TOPOGRAPHIQUE	04
3. CADRE GEOLOGIQUE	05
3.1 Contexte géologique a m'échelle de l'Atlas Blidéen	05
3.2 Lithologie	05
3.3 Pédologie	07
3.4 Aperçu tectonique	07
3.5 Activités sismiques	08
4. HYDROGRAPHIE	09
5. COUVERT VEGETALE	11
6. CLIMAT	12
6.1 Température	12
6.2 Précipitation	13
6.3 Neige	17
6.4 Vent	17
6.5 Brouillard	18
6.6 Gelée et la grêle	18
6.7 Etages bioclimatiques	18
Conclusion	18

Chapitre II : METHODOLOGIE

Introduction	19
1. PARTIE TERRAIN	19
1.1 Echantillonnage	19
1.2 Procédure de prélèvement	25
1.3 Paramètres physico-chimiques mesurés in situ	27
1.3.1 Température	27

SOMMAIRE

1.3.2 Potentiel d'Hydrogène (pH)	27
1.3.3 Conductivité	28
1.3.4 Salinité (TDS)	28
1.3.4 Dosage d'Alcalinité	28
1.3.5 Oxygène dissous	29
1.3.5 Présentation des paramètres physico-chimiques mesurables sur le terrain des Deux secteurs échantillonnés	30
1.4 Présentation géographique des points d'eau échantillonnée au niveau du PNC	32
1.4.1 Prélèvement des coordonnées des pointes d'eau	34
2. PARTIE ANALYTIQUE	34
2.1 Analyses Hydrochimiques	35
2.1.1 Présentations des techniques d'analyse	35
2.1.1.1 Dosage d'Alcalinité	35
2.1.1.2 Silice	36
2.1.1.3 Chromatographie ionique	37
2.1.1.3.1 Opérations	38
2.1.1.3.2 Préparation des éluant	38
2.1.1.3.3 Préparation des échantillons	39
2.1.1.4 Balance Ionique	40
2.2 ANALYSE ISOTOPIQUE	41
3. PARTIE LOGICIEL	44
3.1 Système d'Information Géographique	44
3.2 Logiciel Diagramme	46
3.3 XLSTAT	47
3.4 SketchUp	48

Chapitre III : APPROCHE HYDROCHIMIQUE ET STATISTIQUE

Introduction	49
1. APPROCHE HYDROCHIMIQUE	52
1.1 Evaluation Des paramètres physico-chimique mesure in situ	52
1.1.1 Température	52
1.1.2 PH	52

SOMMAIRE

1.1.3 O ₂ dissous	52
1.1.4 TAC	53
1.1.5 Conductivité	53
1.1.6 TDS	55
1.2 Balance ionique	55
1.3 Espece ionique	56
1.3.1 Anions	56
1.3.1.1 Bicarbonates HCO ₃ ⁻	56
1.3.1.2 Chlorures (Cl ⁻)	56
1.3.1.3 Sulfates (SO ₄ ²⁻)	57
1.3.1.4 Nitrates (NO ₃ ⁻)	57
1.3.2 Cations	57
1.3.2.1 Calcium (Ca ²⁺)	57
1.3.2.2 Magnésium (Mg ²⁺)	58
1.3.2.3 Sodium (Na ⁺)	58
1.3.2.4 Potassium (K ⁺)	58
1.4 COMPOSITION CHIMIQUE DE L'EAU	59
1.5 Facies chimiques des eaux	59
1.5.1. Diagramme de PIPER	59
1.5.2 Diagramme de Schoeller Berkaloff	60
1.6 Equilibre calco-carbonique	63
1.7 Indice de saturation	65
1.8 Origine des éléments chimiques	67
1.8.1 Couples HCO ₃ ⁻ -PH, Ca-PH et TDS-PH	67
1.8.2 Couple Ca ⁺ -HCO ₃ ⁻	70
1.8.3 Couple Ca ⁺ -SO ₄ ⁻	70
1.8.4 Couple Na ⁺ -Cl ⁻	71
1.8.5 Couple Mg ²⁺ -HCO ₃ ⁻	71
2. APPROCHE STATISTIQUE	73
2.1 GENERALITE DE L'ACP	73
2.2 PRINCIPE	74
2.3 PRESENTATION ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS	74
2.3.1 Matrice de corrélation	75

SOMMAIRE

2.3.2 Analyse de l'espace des variables du plan factoriel F1xF2	77
2.3.3 Projection dans l'espace des individus du plan factoriel F1xF2	79
2.3.4 Projection dans l'espace des individus et variables du plan factoriel F1xF2	80
Conclusion	81

Chapitre IV: APPROCHE ISOTOPIQUE

Introduction	82
1. ISOTOPE STABLE (18O, 2H)	82
2. VARIATION ISOTOPIQUE NATURELLE	82
2.1 Cas de l'eau	82
2.2 Abondance isotopique ou Delta pour mille (δ ‰)	82
2.3 Facteur de fractionnement α	83
2.4 Facteur d'enrichissement	83
3. STANDARDS INTERNATIONAUX	84
4. COMPOSITION ISOTOPIQUE LORS D'ÉCHANGE DE BASE	84
4.1 Condensation	84
4.2 Evaporation	85
5. RELATION δ^{2H} / δ^{18O}	86
6. PRESENTATION DES RESULTATS	88
6.1 Isotopes stables 18O, 2H	88
6.1.1 Relation entre δ^{18O} - δ^{2H} dans les eaux des pluies	88
6.1.2 Relation entre δ^{18O} et δ^{2H}	89
6.3.1 Relation δ^{18O} – Cl-88	90
6.1.4 Relation δ^{18O} et altitudes	91
Conclusion	91

Chapitre V : APPROCHE STRUCTURALE

Introduction	92
1. GENERALITE	92
1.1 Milieu fracturé	92
1.2 Types de sources d'eaux souterrains	94
1.2.1 Sources de contact	94

SOMMAIRE

1.2.2 Sources de débordement	94
1.2.3 Sources d'émergence	94
1.3 Linéaments	95
1.4 Mécanisme	95
1.5 Télédétection et hydrogéologie	98
2. APPLICATION DE LA TECHNIQUE DE TELEDETECTION POUR LA ZONE D'ETUDE	100
3. RELATION ENTRE LA REPARTITION DES SOURCES, LES FRACTURES ET LESLINEAMENTS	102
Conclusion	102

CONCLUSION GENERALE

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : PRESENTATION GRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU PNC

Tableau I.01 : Répartition administrative du territoire du Parc National, par entités administratives	01
Tableau I.02 :Variation des températures moyennes mensuelles dans le PNC (1990, 2005) (ANRH)	12
Tableau I.03 :Coordonnées géographiques des stations météorologiques	13
Tableau I.04 :Précipitations moyennes annuelles mesuré par la station de Hammam Melouane 2000-2017(ANRH)	14
Tableau I.05:Précipitations moyennes mensuelles (période 2000-2017) ANRH station d’Hammam Mellouane	15
Tableau I.06 : Précipitations moyennes annuelles période (2000-2014). ANRH Station d’El Hamdania	16
Tableau I.07 :Précipitations moyennes annuelles (période 2000-2014) ANRH STATION d’El Hamdania	17

Chapitre II : METHODOLOGIE

Tableau II.01 : Paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain, secteur Central	30
Tableau II.02 : Paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain, secteur D’El Hamdania	31
Tableau II.03 : Coordonnées des points d’eaux en degrés décimaux des sources du PNC (secteur Central et secteur d’El Hamdania)	33

Chapitre III : APPROCHE HYDROCHIMIQUE ET STATISTIQUE

Tableau III.01 : Résultats hydrochimiques obtenues par le chromatographe ionique <i>du secteur central</i>	50
Tableau III.02 : Résultats hydrochimiques obtenues par le chromatographe ionique du secteur D’E l Hamdania	51
Tableau III.03 : Evaluation de la minéralisation des eaux naturelles	53
Tableau III.04 : Evaluation de la minéralisation des sources des deux sources	54
Tableau III.05 : Relation Conductivité-TDS	55
Tableau III.06:Variations de la P CO ₂ et les teneurs en H ₂ CO ₃ des deux secteurs (central et d’El Hamdania)	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.07 : Indice de saturation IS des eaux échantillonnées	66
Tableau III.08 : Matrice de corrélation, Secteur centrale	76
Tableau III.09: Matrice de corrélation, secteur d'El Hamdania	77

IV : APPROCHE ISOTOPIQUE

Tableau IV.01 :Teneurs en ^{18}O , ^2H , et obtenues par spectrométrie de masse	87
---	----

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU PNC

Figure I.01 : Localisation géographique du parc national Chrea	02
Figure I.02 : Carte historique de la limite du parc national de Chrea(PNC)	03
Figure I.03 : Carte Limites des secteurs du PNC	04
Figure I.04 : Lithologie du PNC	06
Figure I.05 : Schiste de Chrea à proximité d'AIN Tirailleur	07
Figure I.06 : Carte sismotectonique d Blida	08
Figure I.07 : Carte hydrographique du PNC	10
Figure I.08 : Carte de végétation au niveau du PNC [3]	11
Figure I.09: Variations des Températures moyennes mensuelles de PNC (1990)	12
Figure I.10 : Carte pluviométrique du PNC (PNC)	13
Figure I.11 : Variations des précipitations moyennes annuelles (2000-2017)	14
Figure I.12 : Variations des précipitations mensuelles moyennes période (2000-2017)	15
Figure I.13: Variations des précipitations moyennes annuelles période (2000-2014)	16
Figure I.14 : Variations des précipitations moyennes annuelles période (2000-2014)	17

Chapitre II : METHODOLOGIE :

Figure II.01 : Images des points d'eau échantillonnées aux niveaux de secteur centrale	22
Figure I.02 : Images des points d'eau échantillonnées au niveau de secteur d'El Hamdania	24
Figure II.03: Flacons conservatifs	25
Figure II.04 : Photos représentatives de la méthodologie du travaille in situ	26
Figure II.05 : Matérielles utilisées pour les mesures physico-chimiques in situ	29
Figure II.06 : Localisation des points d'eau échantillonnée sur la zone d'étude	32
Figure II.07 : GPS MAGELLAN	33
Figure II.08 : Photos représentatives de la méthodologie du travaille au laboratoire	34
Figure II.09 : Matériel équipé pour titration (PH , agitateur , burette)	36
Figure II.10 : Colorimètre de terrain	36

LISTE DES FIGURES

Figure II.11 : Schéma des principaux éléments de système CI [4]	37
Figure II.12 : Pompe péristaltique pour filtration	38
Figure II.13 : Etapes préparatoire des échantillons	39
Figure II.14 : Spectromètre de Laser : Piccaro	42
Figure II.15 : Visualisation de l'interface graphique	43
Figure II.16: Fiole a 1.8 µl	43
Figure II.17 : Interface de logiciel d'ARC GIS 10.6	44
Figure II.18 : Interface de logiciel de Global Mapper 20	45
Figure II.19 : Interface de logiciel de MapInfo 8.0	45
Figure II.20: Interface de commande du logiciel Diagrammes	46
Figure II.21 : Interface de commande du logiciel XLSTAT	47
Figure II.22 : Interface de commande du logiciel sketchUp	48

Chapitre III : APPROCHE HYDROCHIMIQUE ET STATISTIQUES

Figure III.01 : Diagramme de Piper relatif aux eaux de source du PNC (secteur central et El Hamdania) (2019)	60
Figure III.02: Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de source d' El Hamdania(2019)	61
Figure III.03:Diagramme de Schoeller-Berkaloff relatif aux eaux de source De secteur Central (2019)	62
Figure III.04 : Pression de CO ₂ en fonction de PH	64
Figure III05.: Pression de CO ₂ en fonction du HCO ₃ ⁻	64
Figure III.06 : H ₂ CO ₃ eq en fonction de PH	64
Figure III07:H ₂ CO ₃ eq en fonction du HCO ₃ ⁻	64
Figure III.08 : Variation de l'indice de saturation pour les 32 sources des deux secteurs	67
Figure IV.09 : Couple TDS-PH	68
Figure III.10 : Couple Ca-PH	69
Figure III.11 : Couple HCO ₃ ⁻ -PH	69
Figure III.12 : CoupleCa ²⁺ - HCO ₃ ⁻	70
Figure III.13: Couple Ca ²⁺ -SO ₄ ²⁻	71

LISTE DES FIGURES

Figure III.14: Couple Na^+ - Cl^-	72
Figure III.15 : Couple Mg^{2+} - HCO_3^-	72
Figure III.16 : Présentation des résultats sur ACP (Exemple)	73
Figure III.17 : Cercle de corrélation d'ACP des variables du plan factoriel F1xF2, secteur central et secteur d'El Hamdania	77
Figure III.18: Projection dans l'espace des individus du plan factoriel F1xF2 secteur Central et secteur d'El Hamdania	79
Figure III.19 : Projection dans l'espace des individus et variables du plan factoriel F1xF2 secteur Central et secteur d'El Hamdania	80

CHAPITRE IV : APPROCHE ISOTOPIQUE

Figure IV.01 : Domaine de répartition des eaux naturelles	86
Figure IV.02 : Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$	89
Figure IV.03 : Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et Cl^-	89
Figure IV.04 : Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et l'altitude	90

Chapitre V : APPROCHE STRUCTURALE :

Figure V.01 : Vue satellitaire des Monts d'Atlas Blideen (Google Earth)	92
Figure V.02 : Terrain fracturé a proximité de source Hoichem, secteur d'El Hamdania	92
Figure V.03 : Exemple sur les types de sources du PNC	93
Figure V.04 : Vu 3D d'un milieu fracturé	94
Figure V.05 : Différents types de failles simples [27]	95
Figure V.06: Charniere	95
Figure V.07 : Différentes types de failles simples [27]	96
Figure V.08 : Rejet d'une faille [27]	96
Figure V.09 : Carte géologique interprétative (ANRH.2008)	98
Figure V.10 : Ensemble topographique des monts de l'Atlas Blidéen (ANRH)	99
Figure V.11 : Localisation des points de sources dans la Carte fracturé digitalisé	100

LISTE D'ABREVIATION

PNC : Parc national de Chrea.

MaB : Man and Biosphere.

UNESCO : United nations educational scientific and cultural organization.

CRNA : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger.

COMENA : commissariat a l'énergie atomique.

Ch : Chrea.

Hm : El Hamdania.

PH : Potentiel Hydrogène.

TDS : Sels Totaux Dissous.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

O₂ : Oxygène dissous.

BI : Balance ionique.

GPS : Global Positioning System.

CRDS : Cavity Ring-Down spectroscopy.

V : Volume.

f : Facteur.

N : Normalité.

St : Standard.

M : Masse molaire.

PCO₂ : Pression de dioxyde de carbone.

Eq : Equilibre

ACP : Analyse des composantes principales.

DDTI : Département de la datation et du traçage isotopique.

δ : Abondance isotopique.

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'accroissement des besoins en eau dans le monde et en particulier dans les zones arides et semi-arides rend la nécessité d'appliquer toutes les méthodes d'investigation des eaux souterraines qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Dans plusieurs pays, c'est pratiquement la seule source d'approvisionnement.

Les eaux souterraines en Algérie constituent un capital essentiel en ce qui concerne les réserves d'eau. L'Atlas Blidéen, qui fait partie intégrante de l'Atlas Tellien, est caractérisé par sa spécificité géologique et hydrogéologique. Ses ressources en eau n'ont jamais fait l'objet d'études approfondies afin de connaître les réserves de cet ensemble.

Dans ce contexte, l'étude proposée couvre les deux principaux périmètres (secteur central et secteur d'El Hamdania) du Parc National de Chréa qui s'étale sur les monts de l'Atlas Blidéen.

Compte tenu de l'apport annuel d'eau mobilisée annuellement au niveau du Parc national de Chréa, et compte tenu aussi de la période d'enneigement et des capacités d'infiltration que permet la nature schisteuse de ses sols, notre thématique entre dans le cadre d'un projet en collaboration avec l'Université de Saad Dahleb de Blida, Faculté de Technologie, Département des Science de l'eau et de l'environnement, le Parc National de Chréa et le Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA).

L'objectif de cette étude est de faire l'inventaire de tous les points d'eau (Source, Oued, Lac..) des deux secteurs du Parc National de Chréa (secteur Central et secteur d'El Hamdania) et d'appliquer différents approches (hydrochimique, statistique, isotopique et structurale) afin de comprendre le fonctionnement hydrodynamique de l'écoulement dans ce genre de milieu discontinu (Fracturé-Fissuré), ce qui nous permettra d'avoir une idée sur les réserves en eaux de ce massif .

L'étude que nous présentons dans ce document s'articule en cinq chapitres :

- Le premier consiste en une présentation géographique et morphologique du PNC qui représente les caractéristiques de la zone d'étude.
- le second chapitre comporte la méthodologie de prélèvement et de mesure in situ, ainsi les analyses au laboratoire d'hydrochimie et d'isotopie au niveau du CRNA.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

- le troisième chapitre est consacré à l'approche hydrochimique et statistique et qui se divise en 2 parties : approche hydrochimique et approche statistique.
- le quatrième chapitre introduit une approche isotopique par l'utilisation des isotopes stables (^{18}O et D) de la molécule d'eau.
- le cinquième chapitre consiste en une approche structurale qui explique le fonctionnement hydrodynamique en relation avec la fracturation géologique.

CHAPITRE I :

PRESENTATION GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU PNC

INTRODUCTION :

Le Parc National de Chr a est un massif montagneux constituant un carrefour régional et une barrière climatique du Nord contre les influences du Sud de l'Algérie. C'est un établissement public, à caractère administratif, institué par le décret de réactualisation n  83.461 du 27/07/1983 et classé Réserve de Biosphère en 2002, par le programme MaB de l'UNESCO.

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le parc national de Chr a est une aire protégée qui s'étend sur une superficie de 26587 Ha le long des parties centrales de la chaîne de l'Atlas Tellien, comprises entre les latitudes Nord 36 19' / 36 30', et les longitudes Est 2 38' / 3 02'.

Situé à 50 km au Sud-Ouest d'Alger, son territoire est reparti successivement sur les hauteurs des monts de Hammam Melouane à l'Est, les crêtes de Chr a au centre et Djebel Tamesguida à l'Ouest. La plaine de la Mitidja constitue sa limite Nord et l'Oued Melah sa limite Sud. Il chevauche respectivement sur la wilaya de Blida qui renferme 18857ha et la wilaya de Médéa qui totalise 8650 ha [1]. Le tableau ci-dessous représente la répartition administrative du territoire du parc national de Chrea [2].

Tableau I.01 : Répartition administrative du territoire du Parc National de Chr a par entités administratives

WILAYAS	Communes	Superficie	%	% Wilaya
BLIDA	Ain romana	316 ha	1,26%	67,43%
	Chiffa	1225 ha	4,61%	
	Bou-arfa	3343 ha	12,57%	
	Blida	84 ha	0,32%	
	Chr�a	7602 ha	28,59%	
	Ouled yaich	56 ha	0,21%	
	Soum�a	273 ha	1,03%	
	Bouinan	174 ha	0,65%	
	Hammam Melouane	4764 ha	17,92%	
	Total de la wilaya	17857ha	67,43%	
MEDEA	Tamezguida	4100 ha	15,43%	32,55%
	El Hamdania	4550 ha	17,12%	
	Total de la wilaya	8650ha	32,55%	
	T O T A L :	26507ha	100%	100%

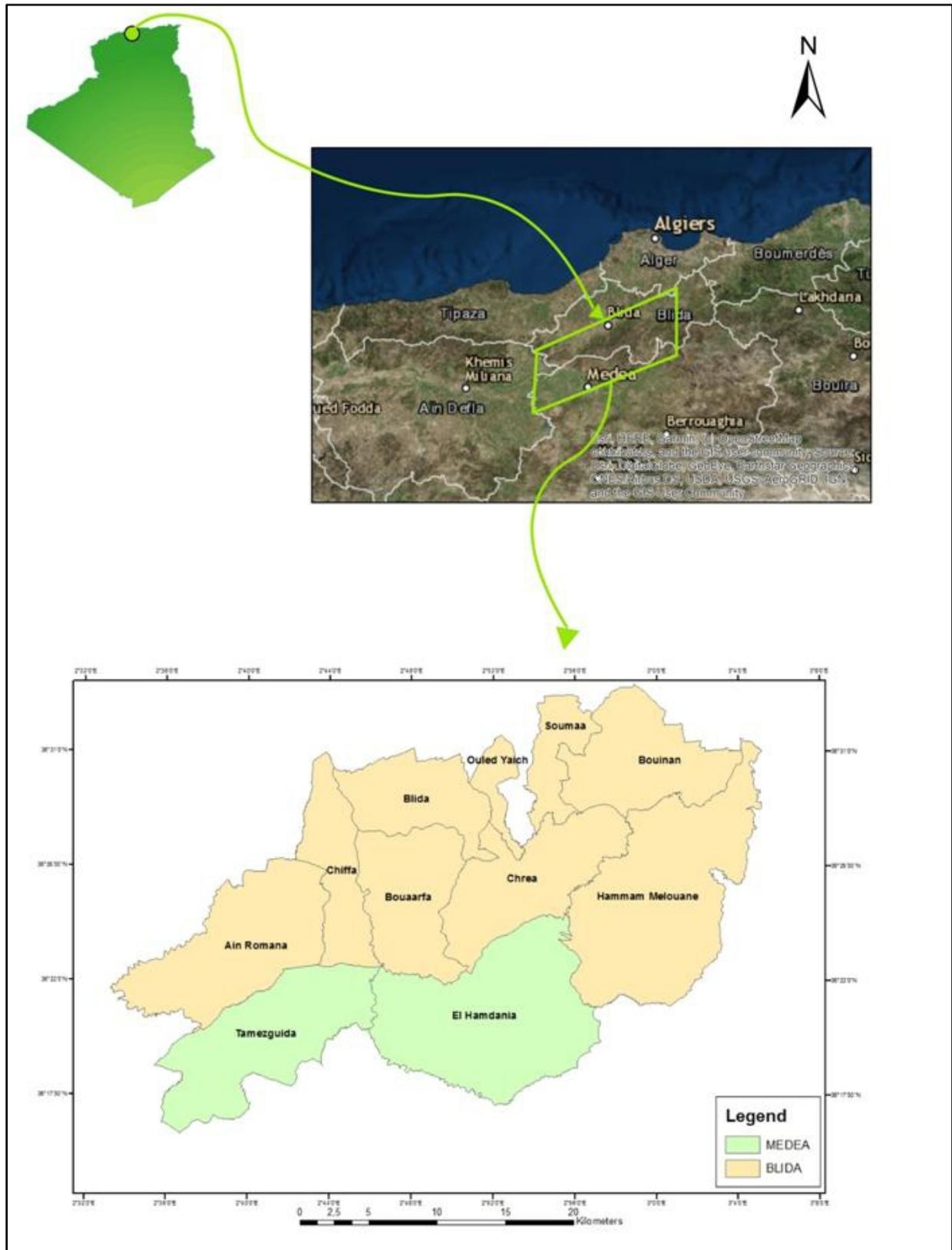


Figure I.01 : Localisation géographique du Parc National de Chr ea

Au point de vue historique, pendant la période coloniale, le Parc National de Chr ea était crée en 1925 dont il renfermait l'ensemble de la forêt de Cèdre, couvrant près de 1351 ha. Puis il s'est crée de nouveau en juillet 1983 sur la superficie actuelle 26587 Ha.

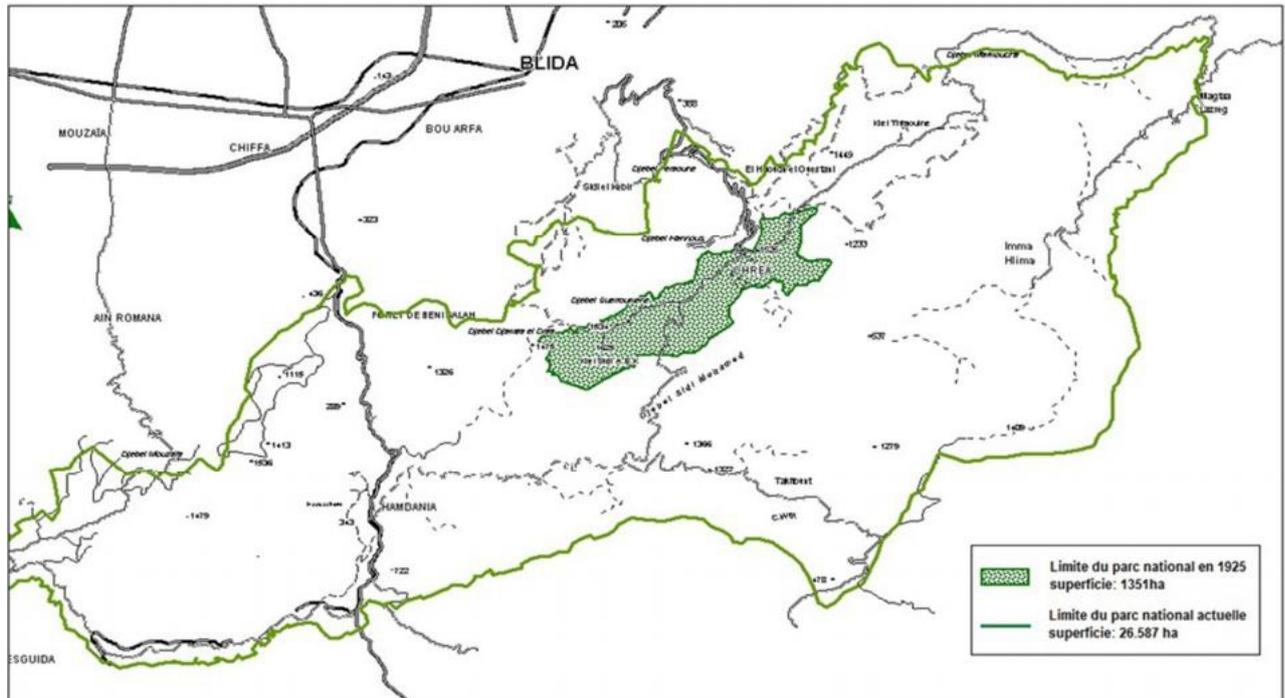


Figure I.02 : Carte historique de la limite du parc national de Chr ea (PNC)

Le parc national de Chr ea domine 3 secteurs :

- 1- Secteur centrale s'étant sur la partie Nord-Est du Parc National de Chr ea et sa superficie est de 9772 ha, il est sillonné par la route nationale N 37.
- 2- Secteur d'El Hamdania s'étant sur la partie Ouest de Parc National de Chr ea avec une superficie de 8828Ha, il est sillonné par la route nationale N  01.
- 3- Secteur de Hammam Melouane s'étant sur la partie Sud-Est du Parc National de Chr ea avec une superficie de 8000ha.

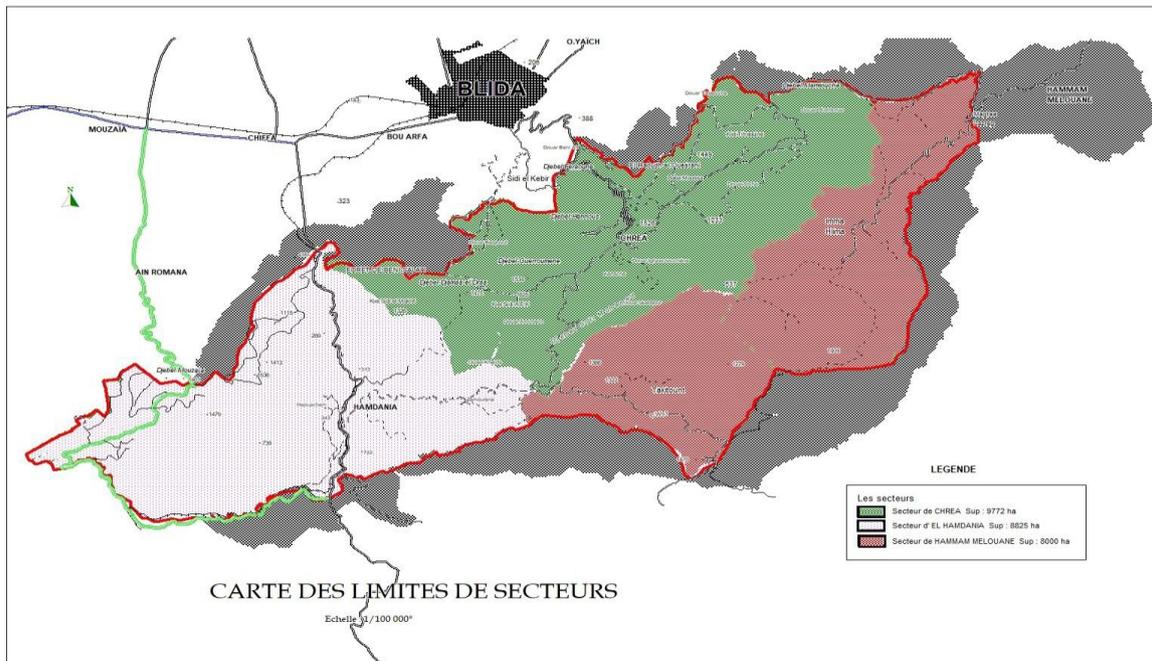


Figure I.03 : Carte Limites des secteurs du PNC

2. APERCU ORO-TOPOGRAPHIQUE :

Le massif de l'Atlas Blidéen se présente comme une barrière rocheuse à topographie très tourmentée dont le point le plus élevé culmine à 1627 m à Koudiat Sidi Abdelkader et le point le plus bas 217m (Chiffa). Son territoire est dominé par trois ensembles topographiques bien distincts [2] :

1. Le premier ensemble concerne l'anticlinal de l'Atlas Blidéen formant un chaînon montagneux constitué d'Ouest en Est par djebel Tamezguida (1386m), djebel Mouzaia (1603m) djebel Djamàa Dràa (1448 m), djebel Gueroumène (1627m), et djebel Ferroukha (1498 m).
2. Le deuxième ensemble, concerne les contreforts partant de la ligne de crête principale s'orientant soit vers le Nord soit vers le Sud. Vers le Nord, Drâa Tigounatine, djebel Drâa, djebel Ferraoun, et le Draâ du djebel Ferroukha, forment les principaux contreforts septentrionaux de cet ensemble. Vers le Sud, djebel Sidi Mohamed, Koudiat Alloue, Kalàa Béni Moussa forment l'essentiel de nombreux contreforts plus réduits, caractérisant à l'instar du versant Nord, le versant Sud.
3. Le troisième ensemble, concerne les zones relativement plates et faiblement inclinées, de superficies parfois assez importantes. Ces zones se situent entre le djebel Ferroukha du côté de la ligne de crête, et le djebel Marmoucha. Sur le djebel Feraoun, le djebel Merdouchergui, et le djebel Tamezguida, se répartissent plusieurs Koudiats telles que Koudiat Tala Aouine (1442 m) et Koudiat Tifraouine (1118 m).

3. CADRE GEOLOGIQUE :

3.1 Contexte géologique à l'échelle de l'Atlas Blidéen :

Il se compose presque entièrement de schistes d'âge Crétacé inférieur sans fossiles, d'éboulis de pentes de même origine, sans cohésion qui se désagrègent en éléments plus ou moins grossiers et pauvres en éléments minéraux. Ces schistes sont présents sur la quasi-totalité des versants septentrionaux. Leur épaisseur est plus de 100 m environ. Elles se prolongent régulièrement vers le Sud - Sud /Est sous des argiles variant entre 40 et 60 % et forment la base sur laquelle se sont accumulés les dépôts des terrains postérieurs: calcaires marneux, grès, argiles sableuses et conglomérats [2][3].

Deux zones d'aspects différents constituent ce massif :

- a) **Anticlinal de Blida** : C'est une arête schisteuse, formée par les crêtes des Béni Salah, boisée de cèdre, et la crête du djebel Ferroukha et Marmoucha. Au Nord de ces crêtes, partent de courts contreforts boisés d'aspect peu varié. Au Sud, l'anticlinal est nettement délimité par les dépressions de l'Oued Merdja à l'Ouest et de l'Oued Mektaâ à l'Est et à la tête duquel le col de Talakat (1136 m) sert d'union vers la seconde zone (le second anticlinal).
- b) **Anticlinal de Takitount** : Cette zone montagneuse est d'aspect tout à fait différent. Profondément entaillée de ravins. Elle est surmontée par des crêtes calcaires aux flancs abrupts dressés parfois en monts rocheux que l'on dénomme Kalâa.

De ces promontoires s'étirent vers le Nord et le Nord-Est, deux contreforts qui s'élargissent en éventail au-dessus des affluents de l'Oued el Harrach.

Ce sont, le djebel Hallouk 1316 m (formidable escarpement à crête dentelée), le Kef Safra 1273 m, et Hadjer Ayoun 1375 m, qui constituent, les points culminants de ces contreforts.

Du col de Talakat (croisement des deux anticlinaux), surgit l'arête du djebel Sidi Mohamed 1435 m, formant la ligne de partage des eaux. De cette crête, se détache la ligne de contrefort du djebel Anseur et la ligne de crête de Tiberguent, laquelle se termine au-dessus d'El Hamdania. Cette région datant du Crétacé, présente fréquemment, des superpositions anormales du Cénomaniens sur le Sénonien provenant du renversement des plis vers le Sud, à partir de l'anticlinal de Blida. Une zone synclinale située entre le col de Talakat et le djebel Hallouk, sépare les deux anticlinaux.

3.2 Lithologie:

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 [4].

a) 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.

b) 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.

c) 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.

e) 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.

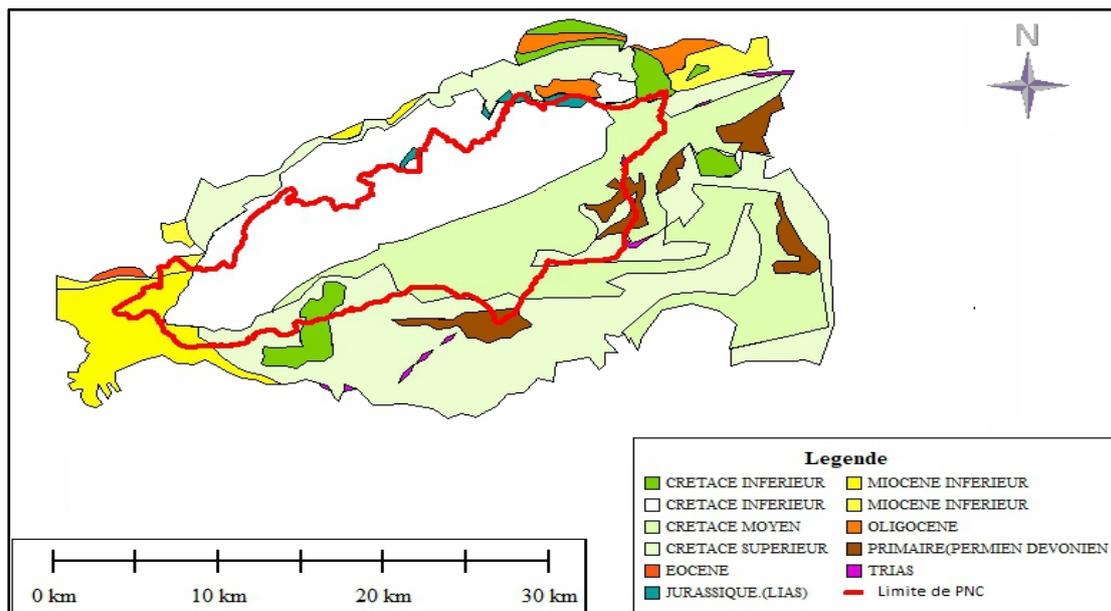


Figure I.04 : Lithologie du PNC

3.3 Pédologie :

Selon Killian et Martin (1957) in Douaer et Selmane (1994), les sols du massif de Chrea sont toujours très décalcifiés, même si la roche mère est calcaire ; les pentes et les sommets présentent un sol maigre schisteux prédominant avec un PH voisin de la neutralité (6,2 à 7,2). Par contre, les sols des bas-fonds et des pentes douces sont plus épais, plus évolués et riches en matière organique dans la zone Nord et Nord-Ouest [5].



Figure I.05 : Schiste de Chrea à proximité d'Ain Tirailleur

3.4 Aperçu tectonique :

Le Parc national de Chrea, se caractérise par trois phases tectoniques ayant successivement affecté le massif de Blida [2]:

Les deux premières phases, ont donné naissance à des plis semblables, couchés ou déversés. La direction des plis de la première phase varie du Nord/Est- Sud/Est à l'Est-Ouest. Ceux de la deuxième phase sont de direction Nord/Ouest- Sud/Est. Ces deux plis sont déversés au Nord-Est dans l'anticlinal de Blida.

La troisième phase a produit des plis cassants, à double déversement de directions Est-Nord/Est, Ouest- Sud/Ouest, et Est/Ouest.

Les anticlinaux et synclinaux sont affectés par de grandes failles transversales, recoupées par des failles longitudinales. Des failles transversales principales se relayent aux failles longitudinales au niveau des crêtes de Chrea. Les nombreuses fissures permettent le drainage des nappes aquifères.

3.5 Activités sismiques :

D'une manière générale, la zone du Parc National de Chrea entre dans une région sismique importante. Les épicentres des différents séismes jalonnent les principaux axes anticlinaux, et sont d'autant plus fréquents que les plissements sont récents. Les séismes, ayant affectés le territoire du Parc et sa zone périphérique, ont causés d'énormes dégâts dans les zones des épicentres, notamment lors des séismes de 1802, 1825, et 1867 [2].

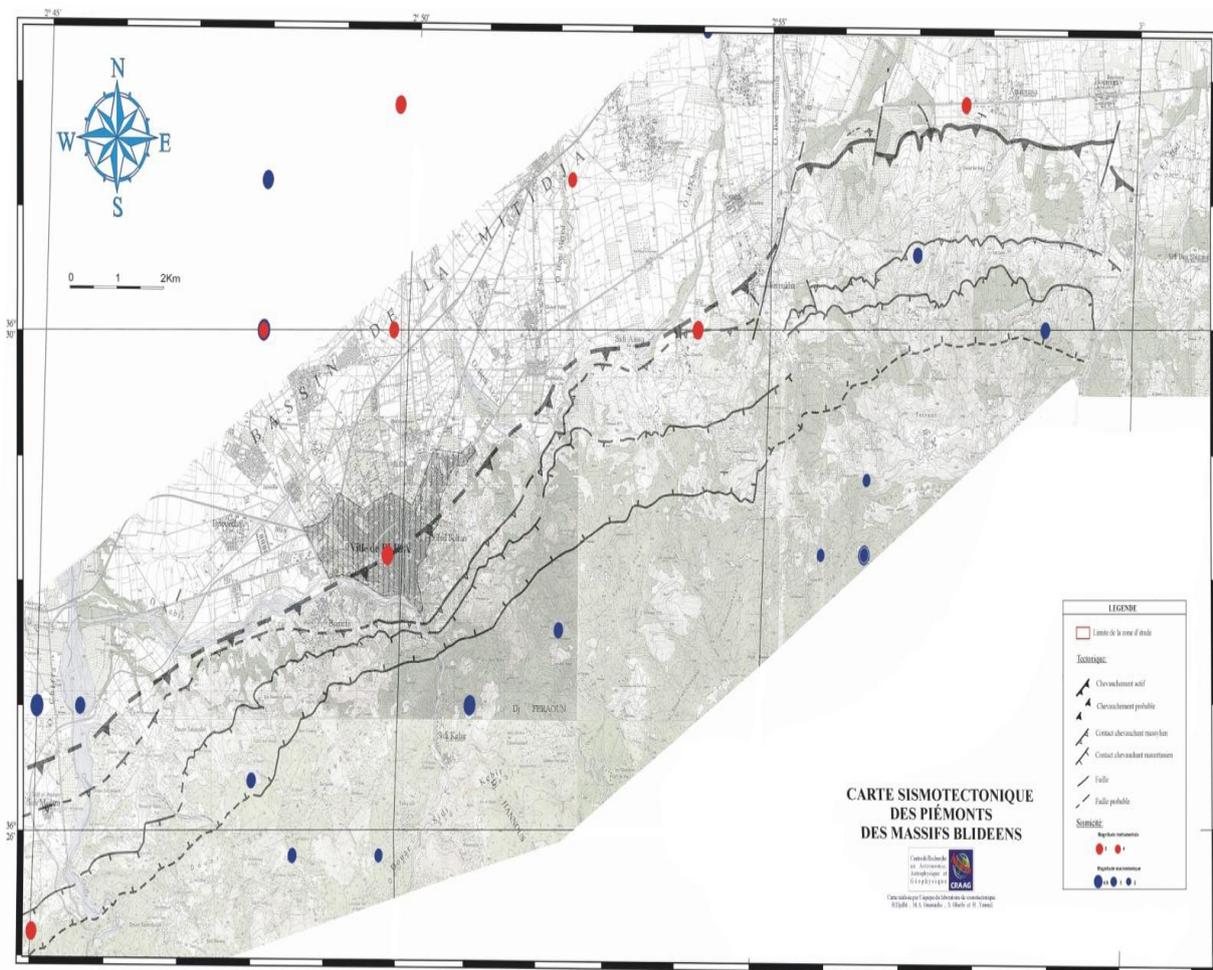


Figure I.06 : Carte sismotectonique des piémonts des massifs Blidéens

4. HYDROGRAPHIE [2] :

Le Parc National de Chrea présente de par sa position géographique, une potentialité hydrique importante. C'est une zone très arrosée : 1000 mm de précipitations sur les sommets et les zones d'altitude du versant nord, et autour de 900 mm pour la majorité des stations.

La composante hydrographique de ce territoire est divisée en deux grandes parties appartenant aux deux bassins versants des Oueds El Harrach Et Mazafran (Figure I.07).

Le partage des eaux est naturellement fait d'une part par la ligne de crête (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 Chrea en deux zones distinctes d'orientation Sud-Est et Nord-Ouest. Les eaux collectées au Nord du parc se déversent dans Oued Mazafran et la partie Sud-Est afflue vers Oued El Harrach.

Les eaux du parc liées au bassin versant d'oued El Harrach sont principalement drainées par Oued Maktaa et Oued Maâne, et au bassin versant d'Oued Mazafran sont drainées par Oued EL Merdja.

Du point de vue quantitatif, le curvigraphe a montré que la densité du réseau hydrographique au niveau du Parc national de Chrea est importante. Elle est d'environ 2,4 km/km². Ce paramètre est beaucoup plus important dans la partie du bassin versant d'Oued El Harrach. (3,1 km/km²) que dans celle d'Oued Mazafran (1,9 km/km²).

Cette différence semble due à la nature du substrat qui est caractérisée par une forte présence de schistes et d'argiles facilement altérables dans la première partie hydrographique. Cette fragilité du substrat a favorisé probablement le développement d'un ravinement évoluant en cours d'eau. Par contre dans la deuxième partie, le substrat est moins altérable par la présence de calcaires et de grès.

La composante hydrographique constitue une potentialité économique à l'échelle régionale. En effet, avec un apport annuel moyen de **1.000.000.000m³/an**.

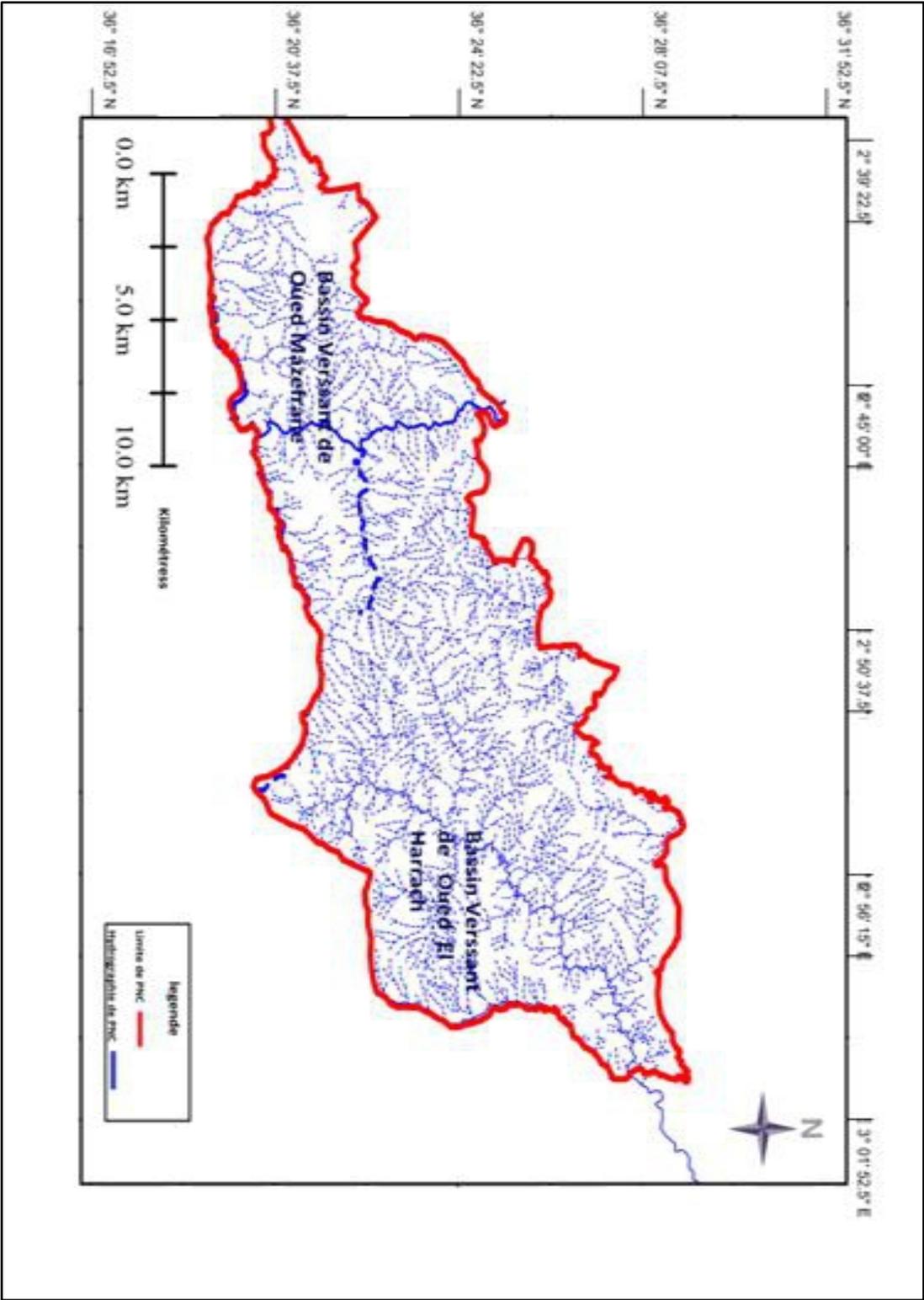


Figure I.07 : Carte hydrographique du PNC

5. COUVERT VEGETALE :

Le Parc National de Chr ea renferme un tapis végétal couvrant près de **22673 ha** de son territoire soit un taux de boisement de **85%**. Le reste représente les terrains dénudés occupés par l'homme, par l'agriculture et ayant été irréversiblement érodé [2].

Elles sont réparties comme suit :

- Les forêts de cèdre s'étalent sur une superficie de 1200 ha et occupent les plus hautes altitudes de 1300   1600 m.
- Les chênes verts, sous forme de taillis, s'étalent sur 10 400 ha et occupent 800 à 1400m d'altitude.
- Les chênes lièges couvrent environ 900 ha.
- Les chênes zéen occupent les 300   450 m.
- Les forêts de pin d'Alep occupent environ 3000 ha et 280   700m d'altitude.
- Le reste de la superficie est constitué de maquis issus de la dégradation des forêts originelles sous l'action des feux et des défrichements [6].

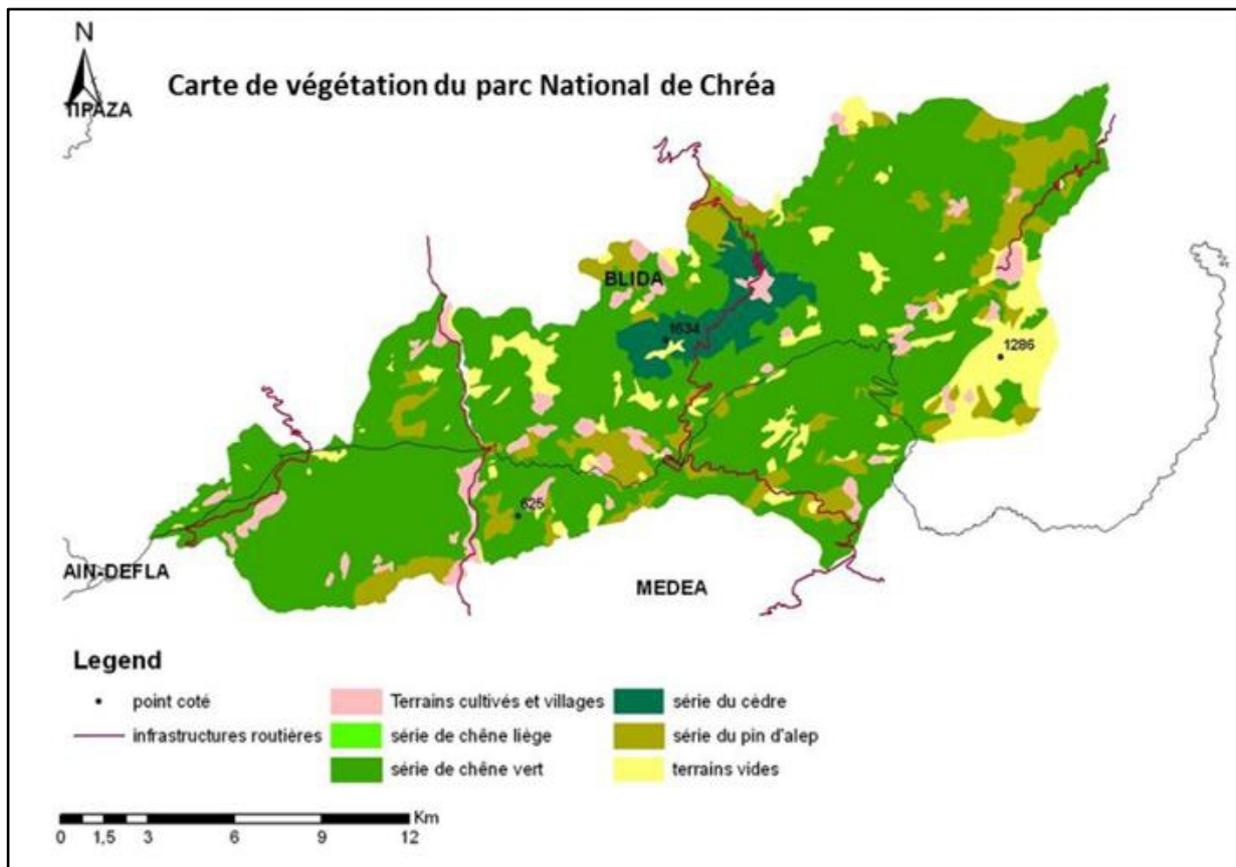


Figure I.08 : Carte de végétation au niveau du PNC [6]

5. CLIMAT :

5.1 Température :

Le Parc National de Chr a est compris entre les isothermes 8 et 11 C de températures moyennes annuelles, les sommets étant plus froids et les piémonts plus chauds.

Le mois d'aout présente les températures maximales moyennes les plus élevées qui varient entre 26.3  C et 33.6 C .Le mois de janvier présente les températures minimales moyennes les plus basses qui varient entre 0.4  C et 7.3 C. Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous (I.02).

Tableau I.02 : Variation des températures moyennes mensuelles dans le PNC (1990, 2005) (ANRH)

Mois	Janv	Fev	Mars	avr	mai	juin	juill	aout	spt	oct	nvr	déc
$T_{Moy} \text{ C}^\circ$	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.

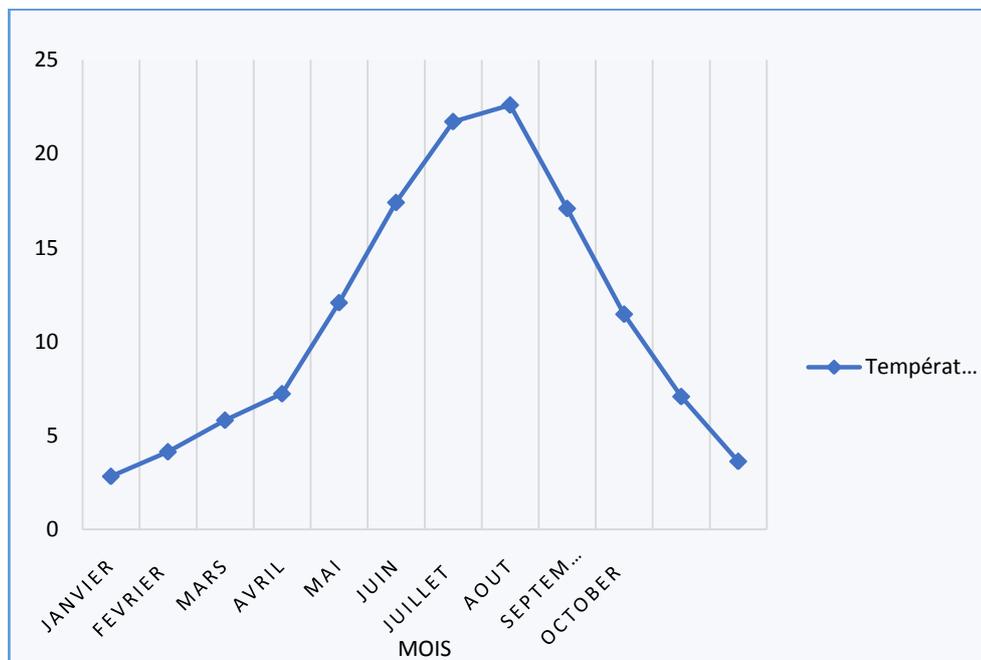


Figure I.09: Variations des Températures moyennes mensuelles du PNC (1990)

5.2 Précipitation :

Le Parc National de Chr ea est compris entre les isohyètes 760 et 1400 mm/an de précipitations moyennes annuelles.

Dans l'ensemble, les moyennes mensuelles des précipitations annuelles sont plus importantes dans les stations situées sur le versant Nord-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 [1].

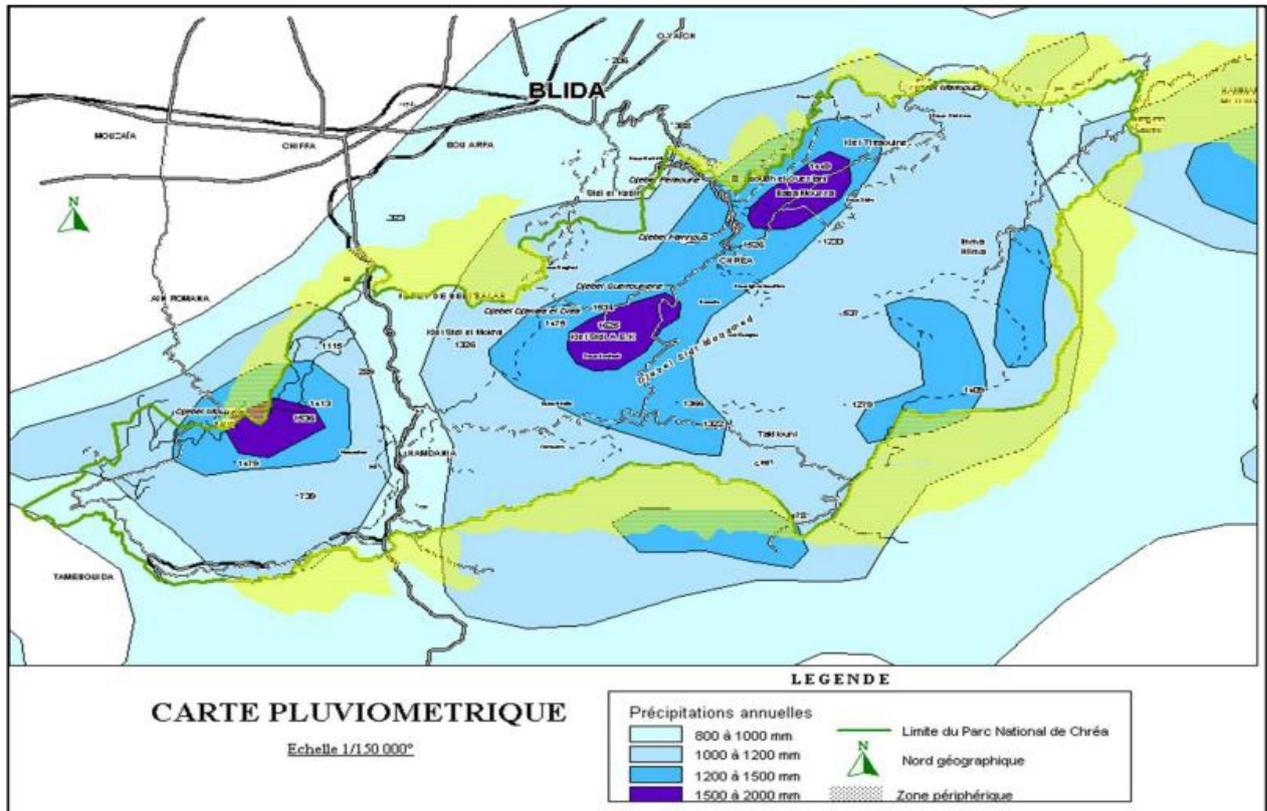


Figure I.10 : Carte pluviométrique du PNC (PNC)

Les précipitations représentées par les histogrammes ci-dessous ont été mesurées au niveau des deux stations météorologiques implantées dans les deux secteur du PNC (secteur de Hammam Melouane , secteur d'El Hamdania).

Tableau I.03 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques

Secteur	Nom de station	X(m)	Y(m)	Z(m)
Hammam Melouane	Douar Makli	532.45	355.75	130
El Hamdania	El Hamdania	506.15	340.4	400

Le Tableau ci-dessous représente la variation des précipitations moyennes annuelles de 2000-2017 enregistré par la station de Hammam Melouane.

Tableau I.04: Précipitations moyennes annuelles mesuré par la station de Hammam Melouane 2000-2017 (ANRH)

Année	Précipitation annuelles (mm)	Année	Précipitation annuelles (mm)
2000	428,4	2009	490,4
2001	344,6	2010	762
2002	954,3	2011	828,7
2003	678,8	2012	852,3
2004	574	2013	781,6
2005	645,9	2014	726,4
2006	626,6	2015	735,9
2007	546,8	2016	678,2
2008	572,5	2017	920,5

La variation des précipitation moyennes annuelles illustrées dans le tableau ci-dessus donnent l’histogramme des précipitations enregistré par la station de Hammam Melouane (Figure I.11) montre que la lame d’eau tombée vari entre une valeur maximale 954.3mm (2002) et une valeur minimale 344.6mm (2001).

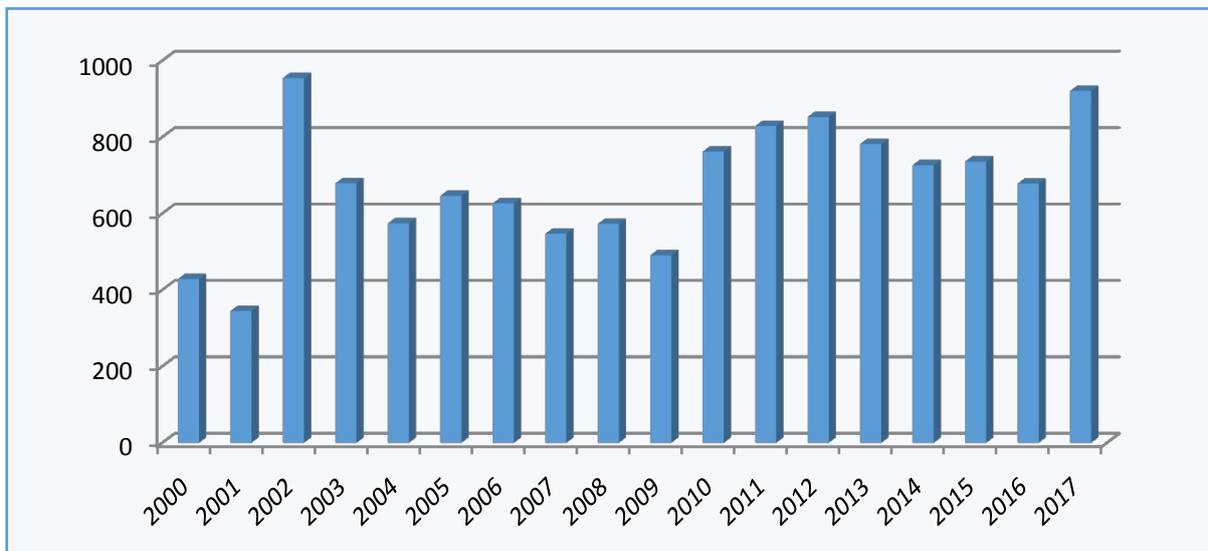


Figure I.11 : Variations des précipitations moyennes annuelles (2000-2017)

Le tableau suivant représente la variation des précipitations moyennes mensuelles sur la période de 2000 à 2017 enregistré par la station de Hammam Melouane.

Tableau I.05: Précipitations moyennes mensuelles (période 2000-2017) ANRH station de Hammam Mellouane

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Précipitations (mm)	475,7	745,6	1651	1826,2	1867,4	1693,6	1346,5	1152,1	975,8	235,8	25,3	152,9

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la période (2000-2017) illustré dans le tableau ci-dessus donnent l’histogramme des précipitations enregistré (Figure I.12) par la station de Hammam Melouane montre que :

- Le mois le plus pluvieux est celui de mois de Janvier avec une valeur de 1867,4 mm.
- Le mois le plus sec est celui de mois de Juillet avec une valeur de 25.3 mm.

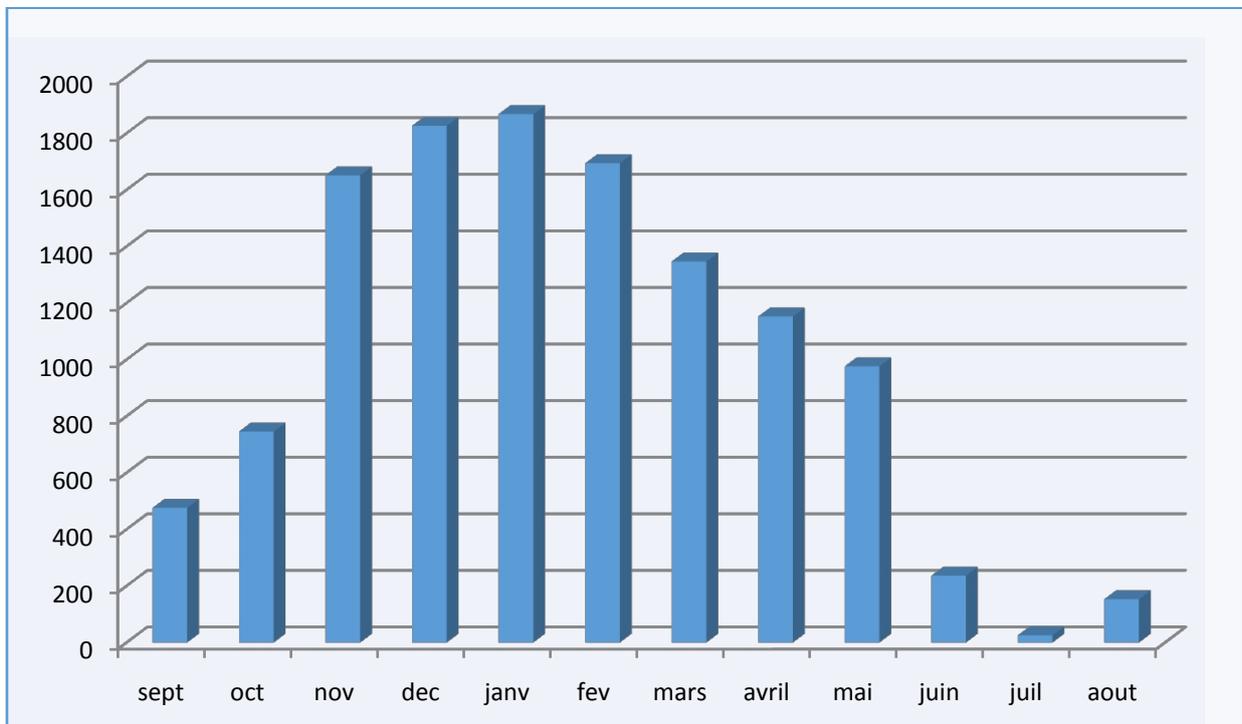


Figure I.12 : Variations des précipitations mensuelles moyennes période (2000-2017)

Le tableau ci-dessous représente la variation des précipitations moyennes annuelles durant la période de 2000 à 2014 enregistré par la station d'El Hamdania.

Tableau I.06 : Précipitations moyennes annuelles période (2000-2014). ANRH Station d'El Hamdania

Années	Précipitations (mm)	Années	Précipitations (mm)
2000	832,8	2008	890,5
2001	538,9	2009	1173,1
2002	1432,6	2010	1340,3
2003	1138,8	2011	1280,2
2004	885,7	2012	1002,9
2005	1092,6	2013	870,7
2006	970,8	2014	1027,5
2007	914,7		

La variation des précipitation moyennes annuelles illustrées dans le tableau ci-dessus donnent l'histogramme des précipitations enregistré par la station d'El Hamdania (Figure I.13) montre que la lame d'eau tombée vari entre une valeur maximale 1432.6mm (2002) et une valeur minimale 538.9mm (2001).

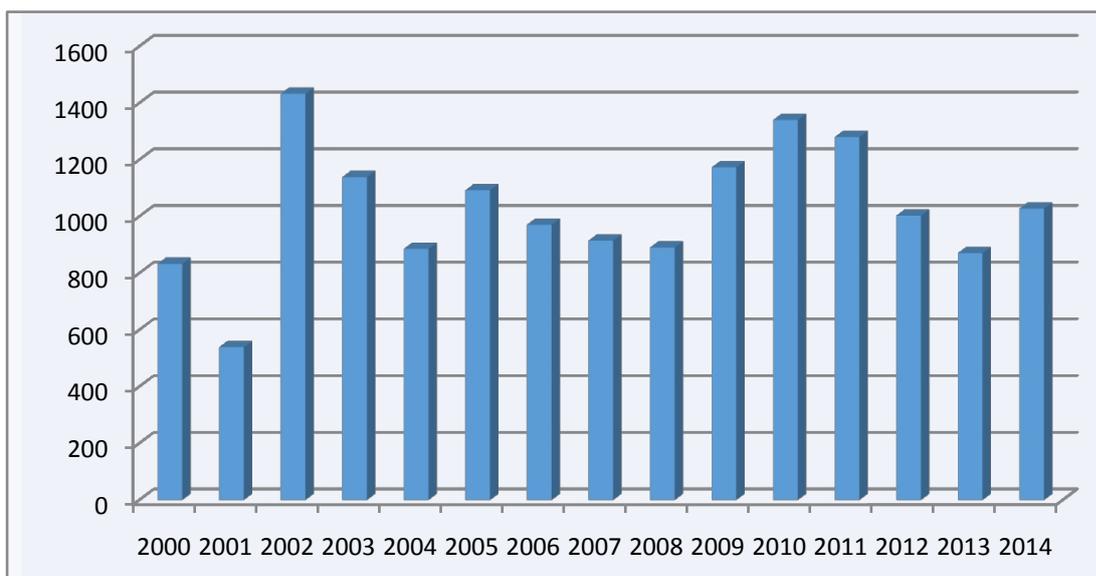


Figure I.13: Variations des précipitations moyennes annuelles période (2000-2014)

Le tableau ci-dessous représente la variation des précipitations moyennes mensuelles sur la période de 2000 à 2014 enregistré par la station d’El Hamdania.

Tableau I.07 : Précipitations moyennes annuelles (période 2000-2014) ANRH STATION d’El Hamdania

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Précipitations (mm)	584,7	940,5	4089,2	2391,6	2284,7	2359,1	1742,8	1375,2	1125,2	108,2	40,6	145,1

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations de la période (2000-2014) illustré dans le tableau ci-dessus donnent l’histogramme des précipitations enregistré (Figure I.14) par la station d’El Hamdania montre que :

Le mois le plus pluvieux est celui de mois de Novembre avec une valeur de 4098.2 mm.

Le mois le plus sec est celui de mois de Juillet avec une valeur de 40 mm.

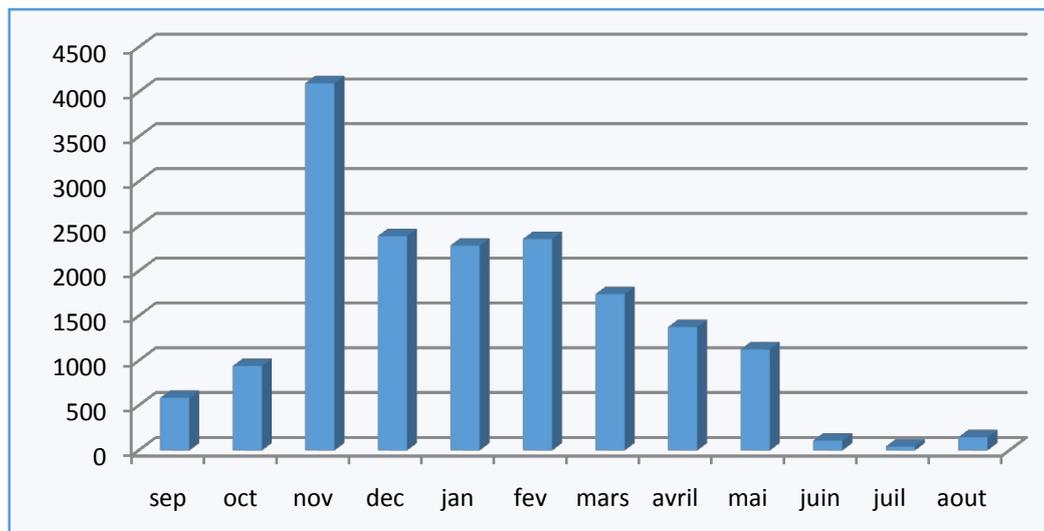


Figure I.14 : Variations des précipitations moyennes annuelles période (2000-2014)

5.3 Neige :

La couche de neige qui en moyenne est de 15 à 20 cm, atteint parfois 50 cm. Les moyennes annuelles des jours d’enneigement dans le Parc national de Chr a, atteignent la fréquence moyenne de 26 jours [2].

5.3 Vent :

Dans le Parc National de Chr a, ce sont les vents du Nord-Ouest qui prédominent. En ce qui concerne le sirocco, il se manifeste un à trois jours/an [2].

5.5 Brouillard :

Le brouillard est relativement fréquent dans les parties hautes du Parc national qui sont souvent plongées dans les nuages. Pour le col de Chréa, les observations faites sur une dizaine d'années seulement ont donné 104 jours/an de brouillard [2].

5.6 Gelée et la grêle :

Les gelées blanches se manifestent surtout en Septembre. Elles apparaissent en automne et disparaissent au début du printemps (fin Mars début Avril). Le risque de gelées blanches commence lorsque le minimum moyen tombe au-dessous de 10 C°. La grêle tombe durant presque toute la période allant de Décembre à Mars (Lac de Mouzaia, Hakou Ferraoun, Médéa) [2].

5.7 Etages bioclimatiques :

L'analyse des facteurs climatiques nous révèle trois étages bioclimatiques [2] :

-Bioclimat subhumide et humide doux et chaud: ce bioclimat correspond à l'étage thermoméditerranéen où l'altitude moyenne est de 0 à 600 m. Il se localise sur le versant Nord (djebel Feroukha. djebel Tamezguida).

-Bioclimat subhumide et humide tempéré et frais, localement semi-aride frais : C'est l'étage qui possède la plus grande extension territoriale au niveau du parc. Il correspond à l'étage méso méditerranéen, caractérisé par une présence massive de chênes sclérophylles.

-Bioclimat essentiellement perhumide frais: Couvrant les altitudes supérieures 1200 à 1300m. Il s'agit de l'étage supraméditerranéen dont Il permet le développement des formations sylvestres, forêts caducifoliées, la zenaie, l'érablière et la cédraie.

CONCLUSION :

Les principaux traits géologiques des monts de l'atlas Blidéen sont :

-La structure principale est anticlinale de l'axe est orienté Nord-Est, Sud-Ouest avec des pondages plus fort vers le Sud que vers le Nord.

-Cette anticlinal est composé essentiellement de formation schisteuse dénommé les schistes de la Chiffa.

-Par endroit, cette puissante formation schisteuse est surmontée par des formations carbonatées, marneuse et argileuse.

- Cette ensemble est fortement techtonisé sur le plan hydrogéologique (écoulement).

-Sur le Plan climatique, la région est caractérisée par climat typiquement méditerranéen, avec des hivers doux et pluvieux, et des étés chauds et ensoleillées.

CHAPITRE II :
METHODOLOGIE

Chapitre II**MÉTHODOLOGIE****INTRODUCTION :**

Sur le plan méthodologique ce travail est divisé en trois principales parties :

- Un travail de terrain comprenant les campagnes d'échantillonnage des points d'eau existants sur la zone étudiée (sources, oued, Lac...etc.).
- Un travail analytique au laboratoire de géochimie isotopique du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA), réservé à l'apprentissage des techniques d'analyses hydrochimiques et isotopiques de l'eau prélevée.
- Un traitement des données avec des logiciels (Diagrammes, XlStat, Arcgis, sketchUp.) pour divers domaines.

1. PARTIE TERRAIN :**1.1 Échantillonnage :**

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 [7].

Sous l'organisation de la direction du parc national de Chréa et en coordination avec les chefs des deux secteurs et de leurs guides forestiers, ainsi que l'équipe du (CRNA), on a effectué deux campagnes d'échantillonnage, la 1^{ère} au mois de Mars, les 5 et 6 dont 18 échantillons ont été prélevés du secteur central (Chréa) et la 2^{ème} le 21-22 Avril dont 14 échantillons ont été prélevés du secteur d'El Hamdania.

Les 32 échantillons ont été acheminés vers laboratoire d'hydrologie et de géochimie isotopique au CRNA. Le choix des prélèvements des sources a été fait sur la base d'un écoulement continu durant toute l'année (des sources pérennes).

CHAPITRE III :
APPROCHE HYDROCHIMIQUE
ET STATISTIQUE

Introduction :

Le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux dans le sous sol. Les concentrations en différents éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs, parmi ses facteurs l'interaction eau/roche.

Les analyses hydrochimiques des eaux de sources des deux secteurs du PNC (secteur central, secteur d'El Hamdania)(compagne 2019), ont été effectuées au niveau du laboratoire d'hydrologie et de géochimie isotopique au CRNA dans le but de déterminer les teneurs en éléments majeurs (cations, anions) et les concentrations en Silice.

Dans le présent chapitre nous allons essayer de déterminer l'origine de minéralisation des eaux de sources des deux secteurs du PNC (secteur central et secteur d'El Hamdania) selon deux approches :

1. Approche Hydrochimique.
2. Approche statistique (ACP).

Les résultats hydrochimique des échantillons analysés des eaux des deux secteurs (Secteur central et secteur d'El Hamdania) sont illustrés dans le tableau ci-dessous (TableauIII.01).

Tableau III.01: Résultats hydrochimiques obtenues par le chromatographe ionique du secteur central

Secteur	Libellé	Paramètres physico-chimiques							Cations					Anions					BI
		T (C°)	PH	Cond (µs/cm)	TDS (mg/l)	Tac (mg/l)	O _{2dis} (mg/l)	Sio2 (mg/l)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Cl ⁻	So ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Hco ₃ ⁻	
CENTRAL	Ch01	12.7	6.75	194.2	97.4	78	6.9	10.9	24,93	1,81	9,04	5,39	0,21	5,52	8,03	0,39	0,54	86,63	5
	Ch02	14.7	7.21	273	136	125	8.5	9.9	43,72	3,51	9,42	5,15	0,21	4,8	10,29	0,87	0	139,1	7
	Ch03	11.4	6.83	162	82	120	9.4	7.9	25,53	1,36	7,51	5,04	0,2	7,05	8,73	1,27	0,52	70,77	8
	Ch04	11.3	7.42	250	126	150	9.4	7.1	43,25	1,98	10,95	13,03	0,21	8,2	11,77	2,46	0,5	103,71	3
	Ch05	14	7.49	302	147	120	8.6	7	48,49	1,1	9,17	5,32	0	12,7	10,5	1,75	0,56	122,02	7
	Ch06	15.3	6.9	342	174	108	7.7	13.8	37,73	1,43	14,88	6,07	0	19,15	13,22	4,33	0,51	103,71	2
	Ch07	9.88	7.29	481	244	215	9.9	7.7	66,97	7,7	11,3	4,97	0	19,26	23,26	1,66	0,51	178,14 9	0
	Ch08	12	7.21	421	215	182	9.3	10	53,23	6,08	11,03	5,98	0	11,53	18,25	1,04	0,55	151,3	8
	Ch09	10.6	7.67	572	280	238	9.2	12.8	79,45	9,48	14,23	5,32	0	15,53	27,97	1,12	0,53	225,73	7
	Ch10	12	7.29	482	242	195	9	7.6	67,55	6,95	12,02	4,99	0,21	22,13	19,53	0,5	0,51	217,8	0
	Ch11	10	7.28	372	194	105	9.8	8.7	58,47	4,28	9,37	4,92	0	6,71	13,77	0,94	0,52	196,02	1
	Ch12	11	7.45	291	156	125	9.5	9.7	44,31	4,04	9,21	4,73	0,2	5,9	11,22	1,4	0,52	157,13	1
	Ch13	10.5	7.29	330	160	142	9.4	13	46,97	4,58	11,34	4,77	0	6,39	14,18	0,82	0,63	172,68	0
	Ch14	10	6.5	127.6	64.4	65	9.5	16.1	15,89	1,64	12,8	5,21	0	7,29	6,84	2,31	0,59	43,56	4
	Ch15	10	6.78	177	89	60.8	9.5	15.6	21,6	2,26	13,69	4,66	0,2	8,94	12,12	0	0,6	76,23	5
	Ch16	10.3	7.38	377	192	169	9.5	12	65,29	4,25	13,52	4,85	0,21	10,26	23,34	2,28	0,61	188,24	6
	Ch17	13	7.33	415	208	190	7.8	13.1	61,07	3,43	13,47	4,85	0	16,29	17,3	6,64	0,59	196,02	0
	Ch18	11.5	6.79	170	90	71.8	9.4	9	20,47	1,99	8,83	5,03	0,21	6,71	8,21	1,81	0,59	70	5

Tableau III.02:Résultats hydrochimiques obtenues par le chromatographe ionique d’El Hamdania

Secteur	Libellé	Paramètres physico-chimiques							Cations					Anions					BI
		T (C°)	PH	Cond (µs/cm)	TDS (mg/l)	Tac (mg/l)	O _{2dis} (mg/l)	Sio2 (mg/l)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	Cl ⁻	So ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Hco ₃ ⁻	
E L H A M D A N I A	Hm1	14.5	7.84	580	415.23	190	9.4	8,1	78,37	8,91	26,82	6,22	0,21	10,72	60,23	2,01	0,86	269,3	1,1
	Hm2	14.2	7.45	706	505.44	260	9.3	7,6	92,61	7,44	26,2	7,03	0	19,83	99,44	0	0,54	260	2,7
	Hm3	15.4	7.84	808	578.46	205	9.2	7,9	141,6	13,26	32,03	5,84	0,21	16,37	199,2	0,81	0,7	280	3,4
	Hm4	16.3	7.01	579	414.51 8	200	5.2	12,8	97,81	7,76	19,39	5,37	0,21	13,16	69,22	1,13	0,51	286	1,2
	Hm5	16.5	7.1	567	406	150		13,2	91,69	7,78	18,82	5,06	0,21	12,94	68,49	0,41	0,59	256	2,8
	Hm6	16.4	6.51	497	355.81		9.9	4,6	89,6	6,68	16,25	6,68	0	9,15	35,49	0	0,57	265	4,4
	Hm7	12.8	6.6	816	584.19	370	6.1	6,6	146,3	13,26	20,12	5,47	0	13,27	84,22	1,13	0,67	389	4,7
	Hm8	13.3	7.9	500	357.96	198	9.9	8,7	83,12	9,81	16,49	5,42	0,21	7,84	60,34	1,08	0,56	256	2,6
	Hm9	13.7	7.9	355	254.15	150	9.9	11,5	50,58	6,34	12,73	5,23	0	7,8	25,35	1,22	0,51	170	2,1
	Hm10	13.7	8	442	316.43 6	150	9.9	10,7	68,44	7,29	13,15	4,91	0	15,31	49,87	0,61	0,55	181	2,6
	Hm11	13.2	7.99	278	213.94	110	10.4	11,8	38,74	4,79	10,5	5	0	6,4	10,48	0,48	0,51	147	0,5
	Hm12	13.3	5.58	409	292.81	160	9.7	12,4	64,15	7,85	13,5	4,88	0	8,29	19,33	2,4	0,51	220	2,8
	Hm13	12.2	7.55	382	213.48	145	9.8	12,9	49,78	5,21	11,36	4,92	0	7,2	12,69	0,93	0,51	187	0,6
	Hm14	12.3	8.08	336	240.55	165	10	13,4	52,56	6	10,9	4,88	0	6,31	9,56	1,06	0,51	204	0,6

1. APPROCHE HYDROCHIMIQUE :

Introduction :

L'étude de la chimie des eaux souterraines constitue un complément indispensable à la connaissance hydrogéologique et à la gestion des ressources en eaux. Elle permet d'étudier la répartition dans l'espace et l'évolution dans le temps des concentrations en ions majeurs, et d'apporter de nombreuses informations sur les milieux aquifères, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, etc...

1.1 Évaluation des paramètres physico-chimiques mesurés in situ:

Les valeurs indicatives (les normes) des paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux sont prises d'après l'OMS et le Décret exécutif n°14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine

1.1.1 Température :

Les températures mesurées des eaux du secteur central varient entre 9,88 °C et 15,3 °C, avec une valeur maximale relevée à la source d'El Aouina et la valeur minimale à la source d'Oued Blat.

Pour le secteur d'El Hamdania, la température varie entre 12,2°C et 16,5°C avec une valeur maximale relevée à la source de Tiberguent et la valeur minimale à la source du Ruisseau Des Singes.

1.1.2. pH :

Le PH des eaux des sources des deux secteurs varie entre 6,21 et 8,5, et reflète les valeurs trouvées pour les eaux naturelles.

1.1.3. L'oxygène dissous, O₂ :

L'OMS recommande que les niveaux d'oxygène dissous soient maintenus aussi près que possible de la saturation. Aucune valeur guide fondée sur les critères de santé n'est proposée.

La majorité des sources des deux secteurs ont une concentration d'O₂ élevé presque saturée qui dépasse les 9mg/l sauf quelques sources qui sont faibles comme la source d'Ain Tirailleur (secteur central) avec 6,9 mg/l et la source de Tiberguent (secteur d'El Hamdania) avec 5,2 mg/l.

1.1.4. TAC ou titre alcalimétrique complet :

Les concentrations déterminées in situ pour le TAC varient entre 60.8 mg/l (Oued sidi Moussa, secteur central) et 260mg/l (Carrière de Gypse, secteur d'El Hamdania), ce qui reste inférieur à la valeur indicative de l'alcalinité de 500mg/l et suggère des eaux faiblement chargées.

1.1.5 Conductivité

Les conductivités mesurées pour le secteur central varient entre 177-572µS/cm et entre 278-816µS/cm pour le secteur d'El Hamdania.

Les valeurs s'inscrivent dans les normes de minéralisation très acceptables. Le tableau ci-dessous montre l'évaluation de la minéralisation dans les eaux naturelles.

Tableau III.03 : Évaluation de la minéralisation des eaux naturelles

Conductivité < 100µS/cm : minéralisation très faible

100µS/cm < conductivité < 200µS/cm : minéralisation faible

200µS/cm < conductivité < 333µS/cm : minéralisation moyenne

333µS/cm < conductivité < 666µS/cm : minéralisation moyenne accentuée

666µS/cm < conductivité < 1000µS/cm : minéralisation importante

conductivité > 1000µS/cm : minéralisation élevée

Tableau III.04 : Évaluation de la minéralisation des sources des deux secteurs

Secteur central					
Nom de Sources	Cond (µs/cm)	Minéralisation	Nom de Source	Cond (µs/cm)	Minéralisation
Ain Tirailleur	194.2	Faible	Ain El Houta	482	Moyenne accentuée
Beni Sbiha	273	Moyenne	Bourebbo	372	Moyenne accentuée
Mermoucha	162	Faible	Khamo Messaoud	291	Moyenne
Agni	250	Moyenne	Yama Bahria	330	Moyenne
Tafrane	302	Moyenne	Ain Sbâa	127.6	Faible
El Aouina	342	Moyenne accentuée	Oued Sidi Moussa	177	Faible
Oued Blat 1	481	Moyenne accentuée	E Randa	377	Moyenne accentuée
Oued Blat 2	421	Moyenne accentuée	Ferroukha	415	Moyenne accentuée
Oued Blat 3	572	Moyenne accentuée	Tassakra	170	Faible
Secteur d'El Hamdania					
Hoichem	580	Moyenne accentuée	Oued El Merdja	500	Moyenne accentuée
Carrière De Gypse	706	Importante	Ain Sbâa(Chiffa)	355	Moyenne accentuée
Oued Djir	808	Importante	Oued El Hemi 1	442	Moyenne accentuée
Tiberguent1	579	Moyenne accentuée	Oued El Hemi2	278	moyenne
Tiberguent2	567	Moyenne accentuée	Oued El Hemi 3	409	Moyenne accentuée
Lac de Bouarous	497	Moyenne accentuée	Ruisseau Des Singes 1	382	Moyenne accentuée
Takharat	816	Importante	Ruisseau Des Singes 2	336	Moyenne accentuée

On constate que pour la majorité des sources des deux secteurs, les eaux sont moyennement minéralisées.

1.1.6. TDS ou Sels totaux dissous :

Les sels totaux dissous montrent une relation linéaire avec la conductivité. Le tableau ci-dessous montre la relation entre les deux paramètres

Tableau III.05: Relation Conductivité-TDS

Conductivité < 50 μ S/cm \rightarrow 1.36507*Conductivité
50 μ S/cm < conductivité < 166 μ S/cm \rightarrow 0.947658*Conductivité
166 μ S/cm < conductivité < 333 μ S/cm \rightarrow 0.769574*Conductivité
333 μ S/cm < conductivité < 833 μ S/cm \rightarrow 0.715920*Conductivité
833 μ S/cm < conductivité < 10000 μ S/cm \rightarrow 0.758544*Conductivité
conductivité >10000 μ S/cm \rightarrow 0.850432*Conductivité

Pour le secteur central, La valeur maximale de salinité est de 280 mg/l (source d'Oued Blat 3) et la valeur minimale est de 64.4 mg/l (source d'Ain Sbâa).

Pour le secteur d'El Hamdania, La valeur maximale de salinité est de 578.46 mg/l (source de la Carrière de Gypse) et la valeur minimale est de 213.8mg/l (Ruisseau des Singes 1).

On constate que pour l'ensemble des deux secteurs, les eaux des sources sont faiblement à moyennement minéralisées.

1.2 Balance ionique :

D'après les résultats des BI, On distingue deux groupes :

1^{er} Groupe: les valeurs de BI des analyses des eaux des deux secteurs sont inférieures à **5%** pour les sources (04, 06, 07, 10, 11, 12, 13, 14 et 17) du secteur central et pour toutes les sources de secteur d'El Hamdania.

2^{eme} Groupe : les valeurs de BI des analyses des eaux de secteur central entre **5%** et **10%** pour les sources (01, 02, 03, 05, 08 et 09) du secteur central.

1.3 Espèces ioniques :

1.3.1 Anions:

1.3.1.1 Bicarbonates HCO_3^- :

Les eaux des sources des deux secteurs montrent une prédominance de l'ion bicarbonate dans l'eau avec des concentrations variant entre 70 et 217,8mg/l pour le secteur central et entre 147 et 389mg/l pour le secteur d'El Hamdania.

Les bicarbonates dans les eaux naturelles peuvent avoir des origines diverses, cependant le système Calco-Carbonique peut être considéré comme la source principale de leur présence dans ces eaux.

Le système Calco-Carbonique peut être résumé selon les réactions suivantes :

- $\text{CO}_{2(g)} \leftrightarrow \text{CO}_{2(aq)}$
- $\text{CO}_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$ (Acide Carbonique ou CO_2 dissout)
- $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)} \leftrightarrow \text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$
- $\text{HCO}_3^-(aq) + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-}(aq) + \text{H}_3\text{O}^+(aq)$

À l'interface eau-roche (ex: Calcite), la réaction suivante a lieu :

- $\text{CaCO}_{3(s)} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_{2(aq)} \leftrightarrow 2 \text{HCO}_3^-(aq) + \text{Ca}^{2+}(aq)$

Ces réactions nécessitent donc la présence du CO_2 dans l'eau. En effet, le CO_2 provient de l'air et de l'activité intense des bactéries dans le sol.

1.3.1.2 Chlorures (Cl^-):

L'ion chlorure est un élément conservateur, il possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas entraîné dans les processus hydrochimiques adsorbés par les formations géologiques et ne se combine pas facilement avec les autres éléments chimiques.

La valeur admissible maximale de potabilité pour les chlorures est de 500mg/l. Les résultats ont révélé que les teneurs en chlorures sont largement inférieures aux normes de potabilité, avec des valeurs pour le secteur central comprises entre 4,8 et 19,26 mg/l, et pour le secteur d'El Hamdania entre 6,4 et 19,83 mg/l.

1.3.1.3 Sulfates (SO₄²⁻):

La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des minéraux qui contiennent du sulfate : le sulfate de sodium (NaSO₄), le sulfate de magnésium (MgSO₄) et le sulfate de calcium (CaSO₄, 2H₂O, gypse) selon ces réactions suivantes :

- $\text{NaSO}_4, 10\text{H}_2\text{O}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \leftrightarrow \text{Na}^+_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)} + \text{H}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$
- $\text{MgSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}_{(s)} \leftrightarrow \text{Mg}^{2+}_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
- $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}_{(s)} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + \text{SO}_4^{2-}_{(aq)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

L'origine de la plupart des composés sulfatés est l'oxydation des minerais de sulfites, la présence de schistes, ou de déchets industriels. La valeur maximale admissible est de 400 mg/l dans une eau destinée à la consommation. Les teneurs en sulfate sont comprises entre 6,84 et 27,97 mg/l pour le secteur central, 8,21 et 199,2mg/l pour le secteur d'El Hamdania.

1.3.1.4. Les Nitrates (NO₃⁻):

La présence de nitrates dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines et aussi par les formations géologiques contenant des composés azotés solubles. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote par les micro-organismes dans l'eau.

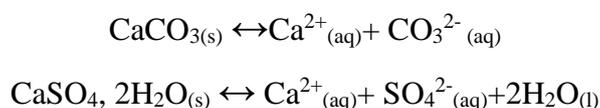
La valeur maximale admissible algérienne est de 50 mg/l. D'après les résultats d'analyses correspondants aux deux secteurs étudiés, les teneurs en nitrates dont les valeurs ne dépassent pas 2,4mg/l sont convenables aux normes.

1.3.2 Les Cations :

1.3.2.1 Le Calcium (Ca²⁺):

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature du terrain traversé. Sa présence dans les eaux naturelles provient de plusieurs origines différentes qui sont : (i) la dissolution des formations carbonatées, (ii) la dissolution des formations gypseuses, (iii) les phénomènes d'échange de base et (iv) la concentration par évaporation.

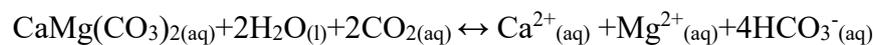
Exemple de la dissolution :



La valeur maximale de 200 mg/l dans une eau destinée à la consommation. Les teneurs du calcium oscillent entre 15,89 mg/l et 146,3 mg/l. dont pour le secteur central les valeurs sont comprises entre 15,89 et 79,45 mg/l et pour le secteur d'El Hamdania 38,74 et 146,3 mg/l.

1.3.2.2 Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est un élément présent dans toutes les eaux naturelles. Les ions Mg^{2+} proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite), comme peuvent se traduire également par la dissolution des formations salifères. Selon les réactions chimiques suivantes :



La norme de potabilité Algérienne concernant la teneur en Magnésium est de 150 mg/l [11]. Les teneurs en magnésium sont faibles, et les valeurs varient entre 1,1 et 13,26 mg/l pour les deux secteurs étudiés.

1.3.2.3 Sodium (Na^+) :

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions variables, il provient essentiellement du lessivage des formations riches en NaCl (Argiles et Marnes) et les échanges de bases.

Les normes Algériennes sont de 200 mg/l. Les valeurs du sodium fluctuent entre 7,51 et 14,88 mg/l dans le secteur central, et pour secteur d'El Hamdania entre 10,5 et 32,03 mg/l.

1.3.2.4 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 carbonates [6].

Une valeur maximale de 12mg/l est préconisée dans une eau destinée à la consommation. Les teneurs en Potassium pour les deux secteurs sont convenables aux normes, sauf à la source de Marmoucha (Secteur central) où elle la dépasse légèrement avec 13,03 mg/l. Les autres teneurs sont comprises entre 4,73 et 7,03 mg/l.

1.4 Composition chimique de l'eau:

Grâce à la composition de l'eau en cations et anions, on peut déterminer le type d'eau à laquelle nous avons à faire. La composition de l'eau peut être donnée de plusieurs façons:

- Pour le secteur central :

Les cations et les anions dominants : les cations dominants dans les eaux échantillonnées sont le calcium avec une moyenne de 45,83 mg/l. alors que Les Bicarbonates constituent l'anion dominant avec une moyenne de 138,82mg/l.

Pour l'ensemble des eaux échantillonnées, la composition est:



- Pour le secteur d'El Hamdania :

Les cations et les anions dominants : les cations dominants dans les eaux échantillonnées sont le calcium avec une moyenne de 81.81 mg/l. alors que Les Bicarbonates constituent l'anion dominant avec une moyenne de 187,24mg/l

Pour l'ensemble des eaux échantillonnées, la composition est:



1.5 Faciès chimiques des eaux :

Pour mieux déterminer le faciès chimique des eaux de la région d'étude, une représentation graphique sur le diagramme triangulaire de Piper, ainsi que celui de Schoëller-Berkaloff a été effectuée à partir des résultats analytiques obtenus pour les deux campagnes.

1.5.1 Diagramme de Piper :

Le digramme de Piper nous permet de voir la répartition et la variation dans le temps et dans l'espace.

La représentation des données d'analyses chimiques des deux secteurs (Chrèa et El Hamdania) sur le diagramme de Piper indique que toutes les sources analysées ont un faciès du type bicarbonaté calcique avec une augmentation de concentration de sulfate (SO_4^{2-}) pour Oued Djir au secteur d'El Hamdania (Figure III.01). Ce faciès témoigne d'une lithologie comparable à savoir la formation des schistes fracturés des monts de l'Atlas Blidéen.

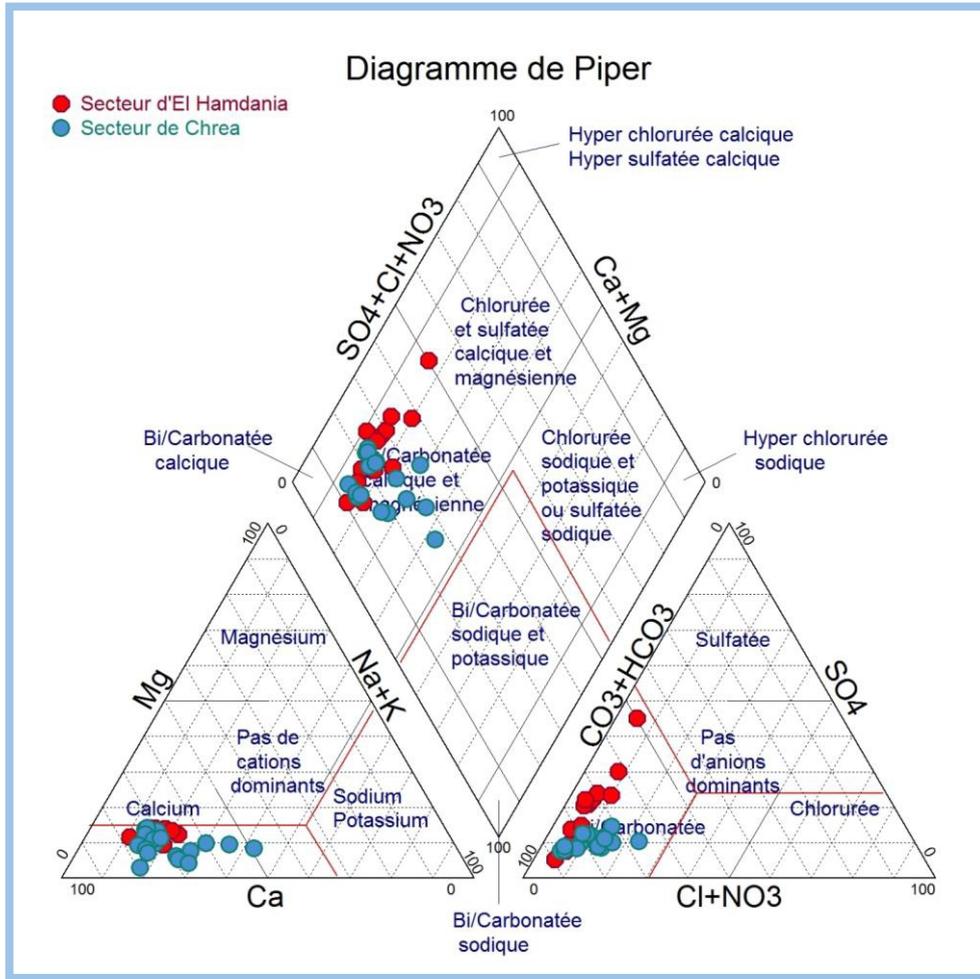


Figure III.01 : Diagramme de Piper relatif aux eaux de source du PNC (secteur central et El Hamdania) (2019)

1.5.2 Diagramme de Schöeller-Berkaloff :

Cette classification facilite la représentation graphique de plusieurs échantillons à la fois, ainsi que la lecture des caractères chimiques, tels que le pH d'équilibre et le CO_2 dissous. Elle fait apparaître également le type de faciès et la potabilité des eaux.

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme semi-logarithmique de Schöeller-Berkaloff (Figures III.02,03), confirme le faciès bicarbonaté calcique et permet de préciser la prédominance des bicarbonates qui représentent plus de 70% de la minéralisation totale des eaux.

Le rapport des teneurs sur le diagramme, permet de distinguer une même famille d'eaux avec des formules caractéristiques distinctes :

Des eaux à faciès sulfaté calcique ayant une formule caractéristique :

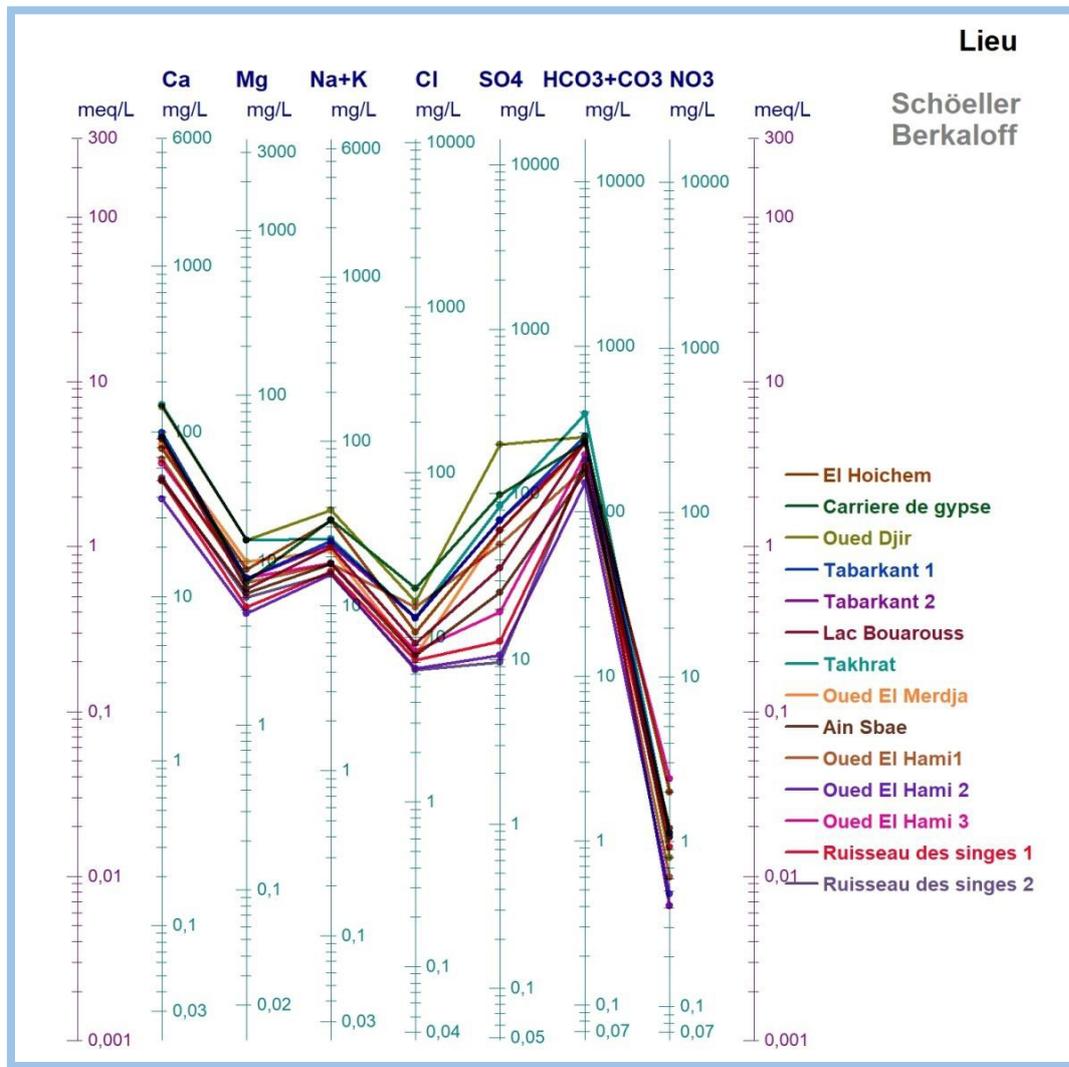
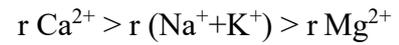
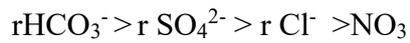


Figure.III.02: Diagramme de Schöeller-Berkaloff relatif aux eaux de source d' El Hamdania(2019)

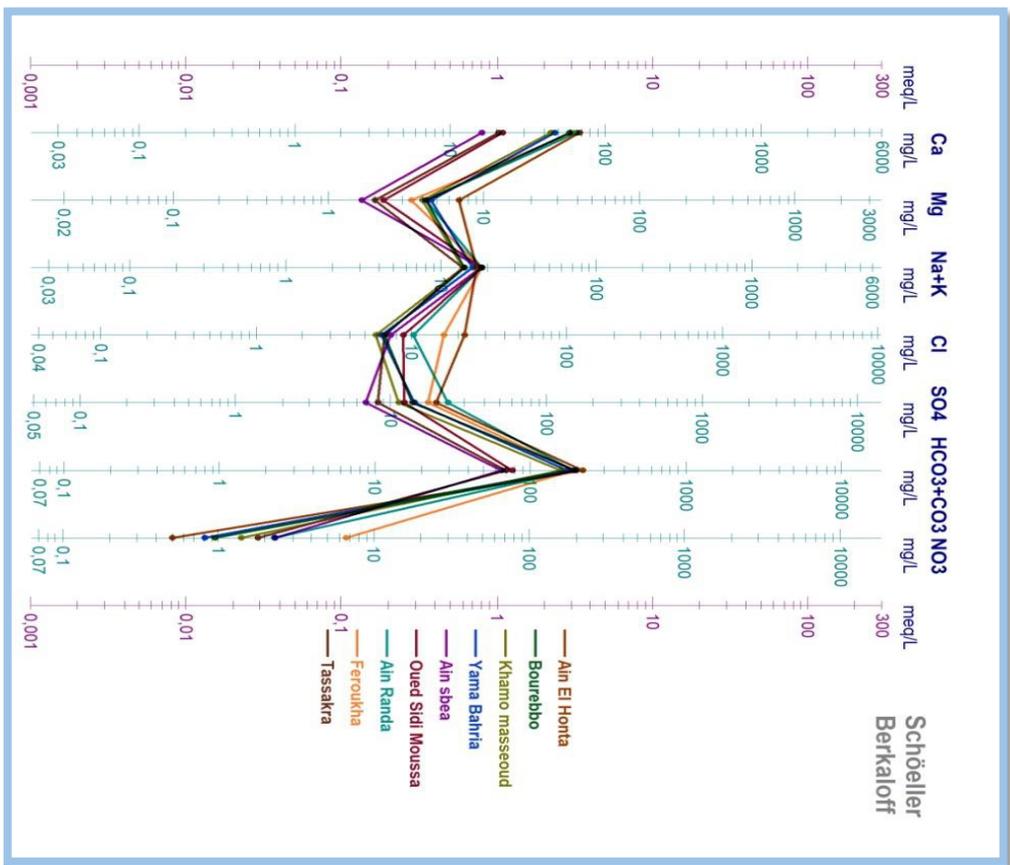
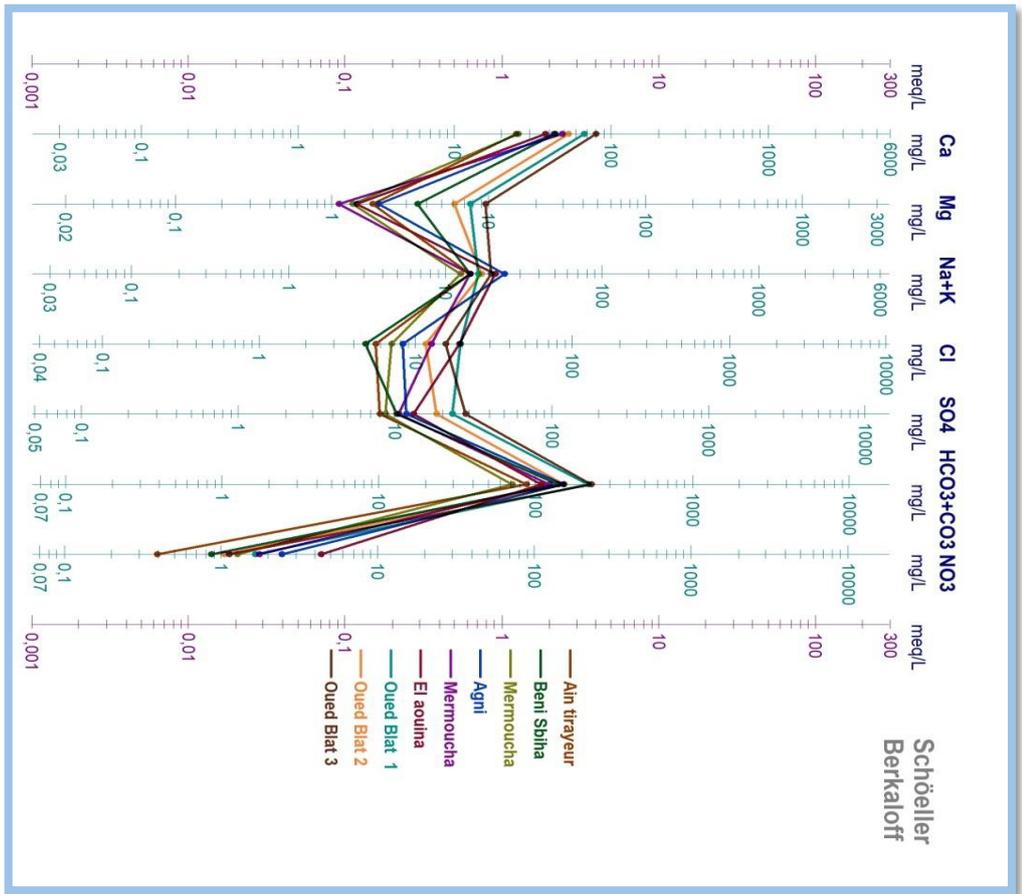


Figure III.03 : Diagramme de Schoeller Berkaloff relatif aux eaux de source du secteur central(2019).

1.6. L'Equilibre Calco-Carbonique :

Une fois chargées en CO₂, les eaux acides sont capables de dissoudre les roches carbonatées suivant des réactions entre la roche carbonatée, l'eau et le CO₂.

L'équation de la dissolution du CO₂ dans l'eau s'établit comme suit:

- CO_{2(g)} ↔ CO_{2(aq)} Selon Henry
- CO_{2(aq)}+H₂O (l)↔ H₂CO_{3(aq)}
- H₂CO_{3 (aq)} ↔ HCO_{3⁻(aq)}+ H⁺ (aq)
- HCO_{3⁻(aq)}↔ CO_{3⁻(aq)}+ H⁺(aq)

L'équation de la dissolution de la calcite (CaCO₃) s'établit comme suit :

- CaCO_{3(s)}+ H₂O+CO_{2(aq)} ↔ Ca⁺⁺ (aq) + 2 HCO_{3⁻(aq)}.

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de pression de CO₂ d'équilibre et la concentration en H₂CO₃ d'équilibre obtenue à partir du logiciel Diagrammes.

Tableau III.06 : Variations de la P CO₂ et les teneurs en H₂CO₃ des deux secteurs.

S E C T E U R	Libellé	Nom De Source	pCO ₂ eq	H ₂ CO ₃ (Co2 dissous)	S E C T E U R	Libellé	Nom Source	De	pCO ₂ eq	H ₂ CO ₃ (Co2 dissous)
		Ch01	Ain Tirailleur	0,01332		0,69235		Hm01	Hoichem	
	Ch02	Beni Sbiha	0,00751	0,37033		Hm02	La Carrière De Gypses		0,00776	0,40180
	Ch03	Mermoucha	0,00898	0,47725		Hm03	Oued Djir		0,00339	0,17179
	Ch04	Agni	0,00478	0,26354		Hm04	Tibarkant1		0,02400	1,16158
	Ch05	Tafrane	0,00343	0,17261		Hm05	Tibarkant2		0,01772	0,84978
	Ch06	El Aouina	0,01203	0,58086		Hm06	Lac de Bouarous		0,07156	3,43079
	Ch07	Oued Blat 1	0,00893	0,52594		Hm07	Takharat		0,07959	4,38306
	Ch08	Oued Blat 2	0,00783	0,42506		Hm08	Oued El Merdja		0,00270	0,14235
	Ch09	Oued Blat 3	0,00392	0,22613		Hm09	Ain Sbae (chiffa)		0,00183	0,09378
	Ch10	Ain El Honta	0,00929	0,50883		Hm10	Oued El Hemi 1		0,00154	0,07920
	Ch11	Bourebbo	0,00841	0,48938		Hm11	Oued El Hemi2		0,00126	0,06497
	Ch12	Khamo massoud	0,00465	0,25928		Hm12	Oued El Hemi 3		0,49008	25,70370
	Ch13	Yama Bahria	0,00732	0,41662		Hm13	Ruisseau Des Singes 1		0,00424	0,22804
	Ch14	Ain Sbae	0,01729	0,97882		Hm14	Ruisseau Des Singes 2		0,00143	0,07628
	Ch15	Oued Sidi Moussa	0,01058	0,60233						
	Ch16	E Randa	0,00641	0,37069						
	Ch17	Feroukha	0,00753	0,39654						
	Ch18	Tassakra	0,00970	0,52310						

Les figures ci-dessous expriment l'évaluation du pH et HCO₃ en fonction du pCO₂ et H₂CO_{3eq} pour les eaux de sources des deux secteurs étudiés.

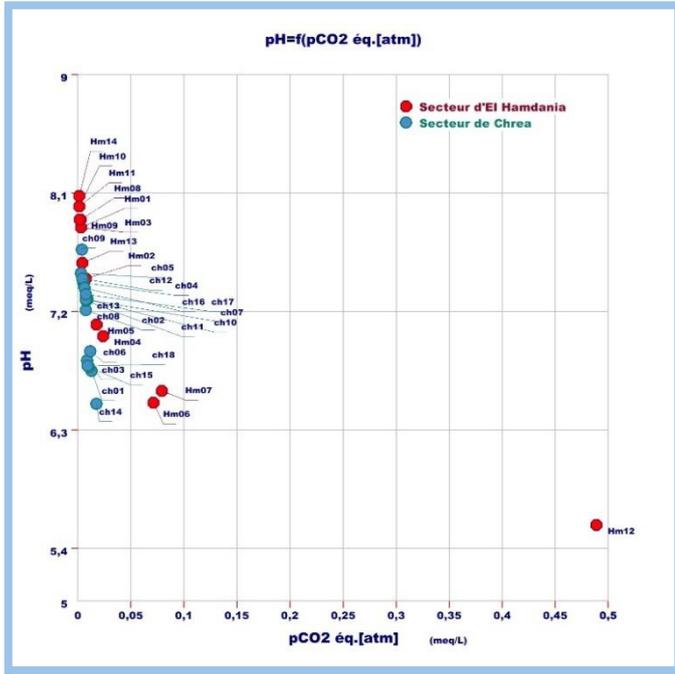


Figure III.04 : pH en fonction de pCO₂

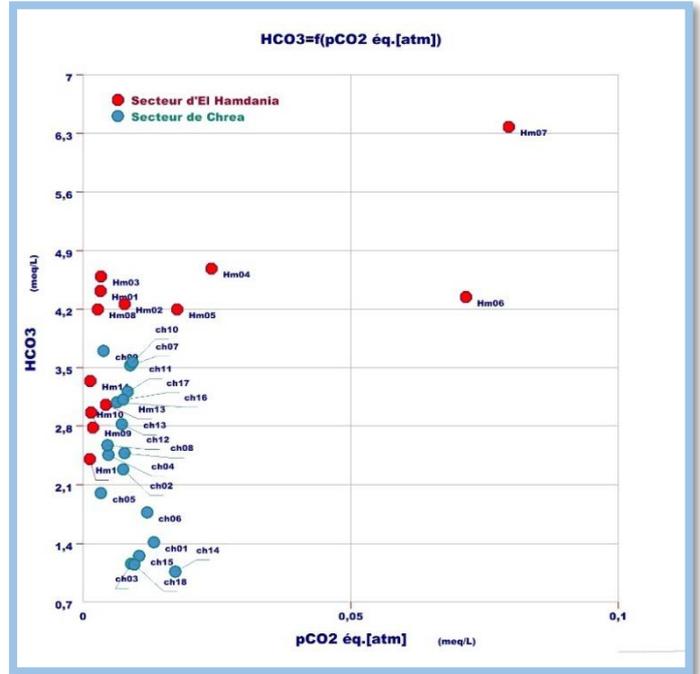


Figure III.05: HCO₃ en fonction de pCO₂

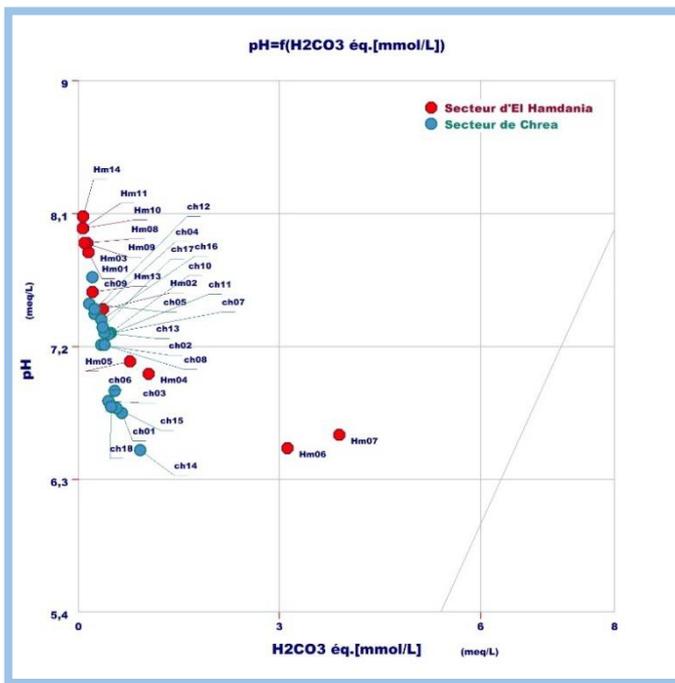


Figure III.06 : pH en fonction de H₂CO₃ eq

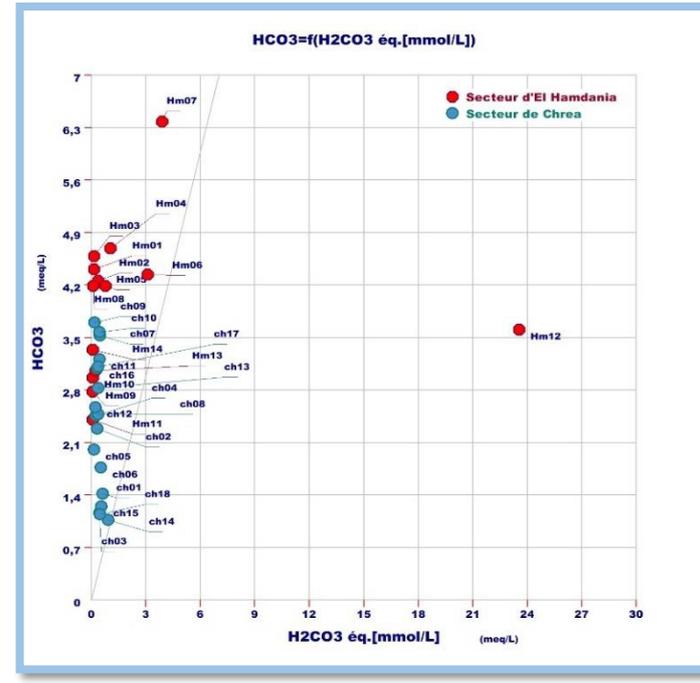


Figure III.07 : HCO₃ eq en fonction du H₂CO₃

On remarque que la pression partielle du CO₂ et la concentration en H₂CO₃ sont inversement proportionnelles avec le pH. Quand la pCO₂ et la concentration du H₂CO₃ augmentent le pH diminue, l'eau devient alors plus acide.

Par ailleurs on constate que l'augmentation des concentrations en HCO₃⁻ est proportionnelle à la pCO₂ et à la concentration en H₂CO₃ et qu'il y a deux groupes d'eaux :

- Le premier chargé en CO₂ représenté par les points (Hm6 et Hm7).

Le second relativement moins chargé pour les 30 autres sources (18 de Chrea et les 12 d'El Hamdania).

1.7 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 l'eau. Le calcul de l'indice de saturation (IS) des minéraux dissous dans l'eau a été fait à partir de l'équation de Debye et Huckel (1923)[17].

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

D'ou:

- PAI : produit d'activité ionique.
- Ks : constant d'équilibre.

Lorsque:

- IS >0 l'échantillon est sursaturé vis-à-vis du minéral (re précipitation possible du minéral, sous l'effet de la 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'indices de saturation.

Dans notre étude le calcul des indices de saturation (IS) a été effectué par Phreeq-ci, avec le logiciel DIAGRAMMES pour les deux secteurs (Central et El Hamdania).

Les valeurs des indices de saturation des points d'eaux analysés sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.07 : Indice de saturation IS des eaux échantillonnées

	Nom de source	Calcite	Dolomite	Gypsum	SiO2(a)
S E C T E U R C E N T R A L	Ain Tirailleur	-1,47	-3,9	-2,93	-0,92
	BeniSbiha	-0,56	-2,01	-2,64	-0,98
	Mermoucha	-1,47	-4,06	-2,87	-1,06
	Agni	-0,38	-1,95	-2,59	-1,1
	Mermoucha	-0,3	-2,06	-2,59	-1,13
	Elaouina	-1,03	-3,26	-2,58	-0,84
	OuedBlat1	-0,22	-1,27	-2,17	-1,05
	OuedBlat2	-0,5	-1,78	-2,34	-0,96
	OuedBlat3	0,25	-0,29	-2,05	-0,84
	AinElHouta	-0,18	-1,19	-2,25	-1,07
	Bourebbo	-0,31	-1,64	-2,42	-1
	Khamo Messaoud	-0,32	-1,55	-2,6	-0,96
	Yama Bahria	-0,43	-1,75	-2,48	-0,83
	Ain Sbâa	-2,07	-5	-3,16	-0,73
	OuedSidiMoussa	-1,6	-4,06	-2,8	-0,74
	AinRanda	-0,19	-1,43	-2,17	-0,86
Ferroukha	-0,21	-1,5	-2,32	-0,85	
Tassakra	-1,62	-4,1	-2,98	-1	
E L H A M D A N I A	Hoichem	0,52	0,3	-1,76	-1,07
	Carriere de gypse	0,17	-0,56	-1,49	-1,09
	Oued Djir	0,73	0,65	-1,11	-1,09
	Tiberguent1	-0,16	-1,19	-1,63	-0,89
	Taberguent2	-0,14	-1,12	-1,65	-0,87
	Lac Bouarouss	-0,71	-2,31	-1,92	-1,33
	Takhrat	-0,35	-1,57	-1,44	-1,14
	OuedElMerdja	0,57	0,39	-1,73	-1,03
	AinSbâa	0,23	-0,25	-2,23	-0,91
	OuedElHami1	0,46	0,14	-1,85	-0,94
	OuedElHami2	0,17	-0,39	-2,68	-0,9
	OuedElHami3	-1,88	-4,5	-2,27	-0,87
Ruisseaudessinges1	-0,07	-0,96	-2,52	-0,85	
Ruisseaudessinges2	0,49	0,2	-2,63	-0,84	

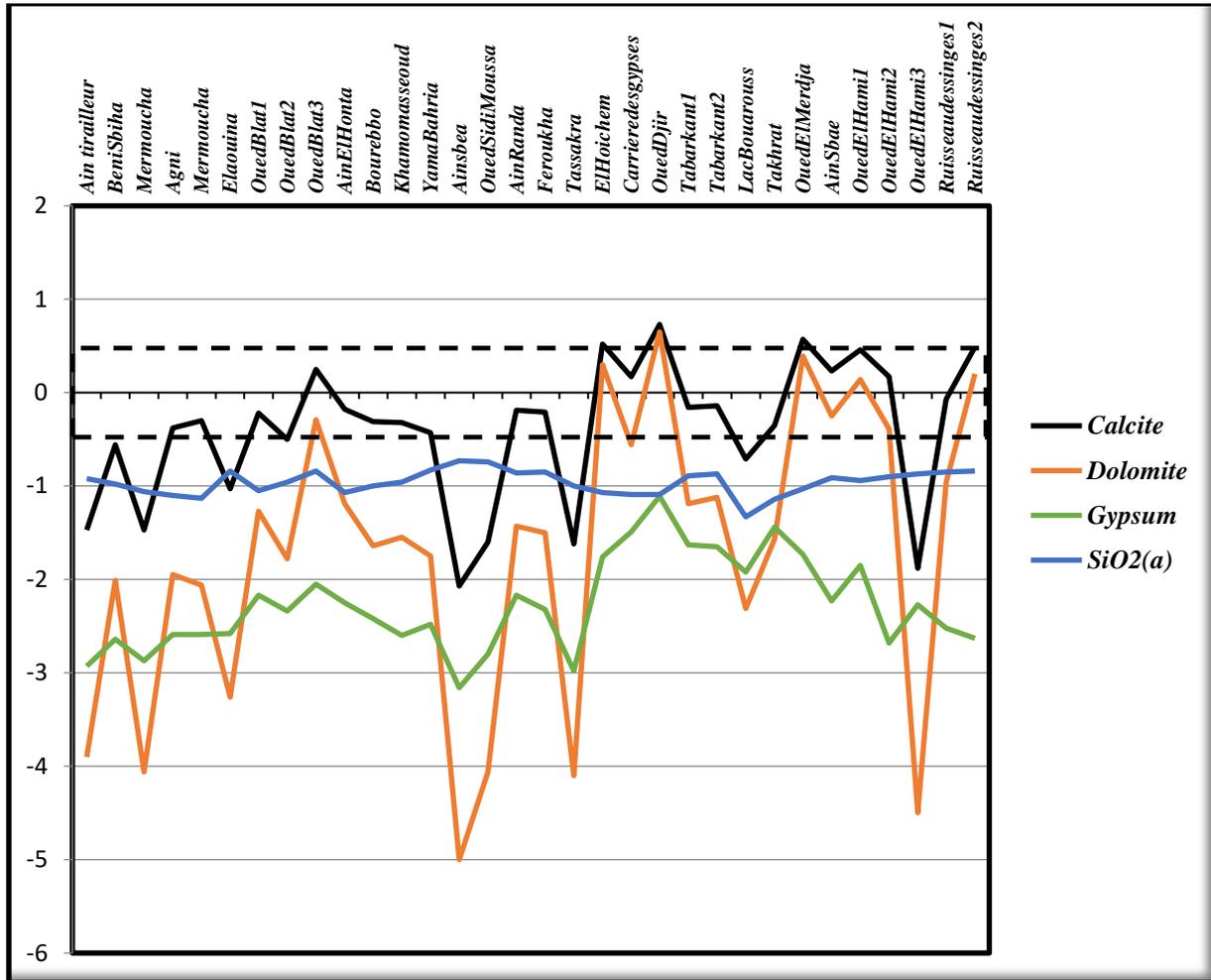


Figure III.08 : Variation de l'indice de saturation pour les 32 sources des deux secteurs

L'ensemble des eaux des deux secteurs de Chréa et d'El Hamdania sont sous saturées vis-à-vis de la Calcite, la Dolomite, le Gypse et la Silice, sauf la Source d'Oued el Blat3 (Secteur Central) qui est légèrement saturée en Calcite ainsi que les sources du secteur d'El Hamdania (Hoichem ,Oued Djir ,Oued el Merdja et Ruisseau Des Singes) qui sont aussi légèrement saturée en Calcite et en Dolomite. Ceci témoigne bien que nous n'avons pas une bonne interaction eau-roche et que c'est eaux sont des eaux jeunes pluviales.

1.8 Origine des éléments chimiques

1.8.1 Couples HCO_3^- -pH, Ca^{2+} -pH et TDS-pH :

Nous avons représenté successivement sur les figures (III,09 , III.10, III.11), les couples HCO_3^- -pH, Ca^{2+} -pH et TDS-pH. L'examen de ces figures montre la présence de deux groupes bien distincts :

- Le 1^{er} groupe qui contient les six sources du secteur centre (Ch01-Ch03-Ch06-Ch14-Ch15-Ch18), les eaux sont faiblement chargées et correspondent à des émergences situées en altitude, ce qui suggère que ces eaux sont représentatives d'eaux de pluie n'ayant pas séjourné longtemps dans la formation géologique.
- Le 2^{ème} groupe, correspond aux eaux de sources des deux secteurs (Central et El Hamdania). L'origine de la charge de ces eaux sera discutée en étudiant les autres couples chimiques.

Si on prend séparément chaque secteur, on constate que pour les sources du secteur Central il y a une relation linéaire entre l'augmentation du pH et HCO_3^- , ce qui suggère que l'acquisition des ions HCO_3^- provient de deux sources : (i) équilibre avec CO_2 atmosphérique et (ii) la dissolution des niveaux carbonatés lors du transit.

Et pour les sources de secteur d'El Hamdania, il n'existe pas une relation claire entre pH et HCO_3^- ce qui suggère une acquisition différente de HCO_3^- pour chaque ensemble de sources (Hm11, Hm09, Hm10, Hm14) et (Hm12, Hm06, Hm04, Hm05, Hm02).

Pour la source 12, on peut considérer qu'elle représente un point repère d'équilibre avec l'atmosphère, par dissolution lors du transit souterrain.

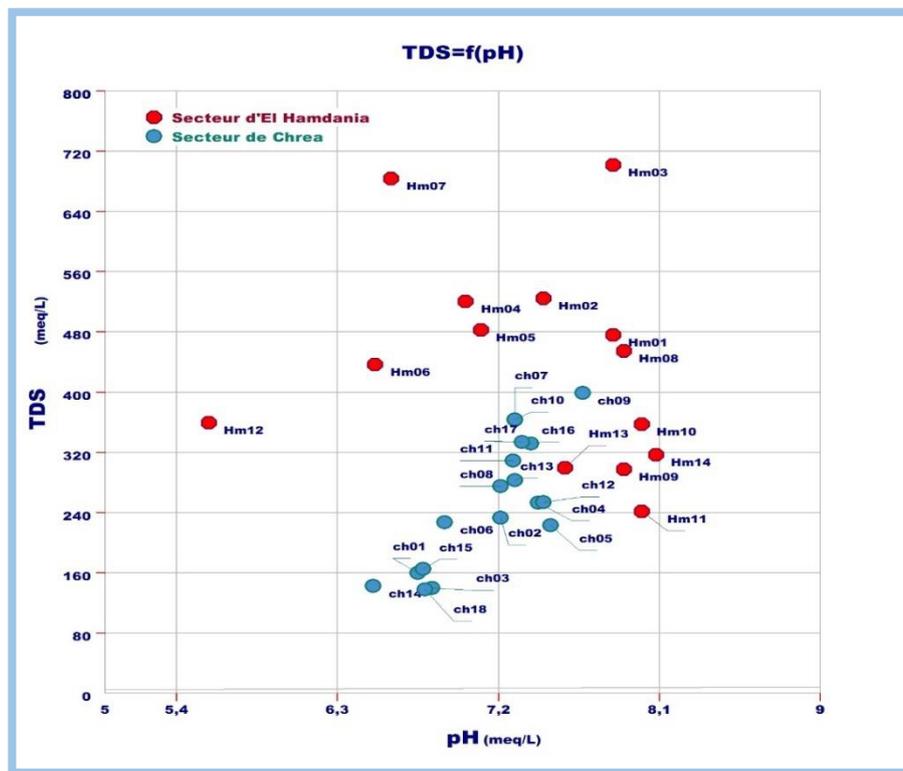


Figure III.09 : Couple TDS-pH

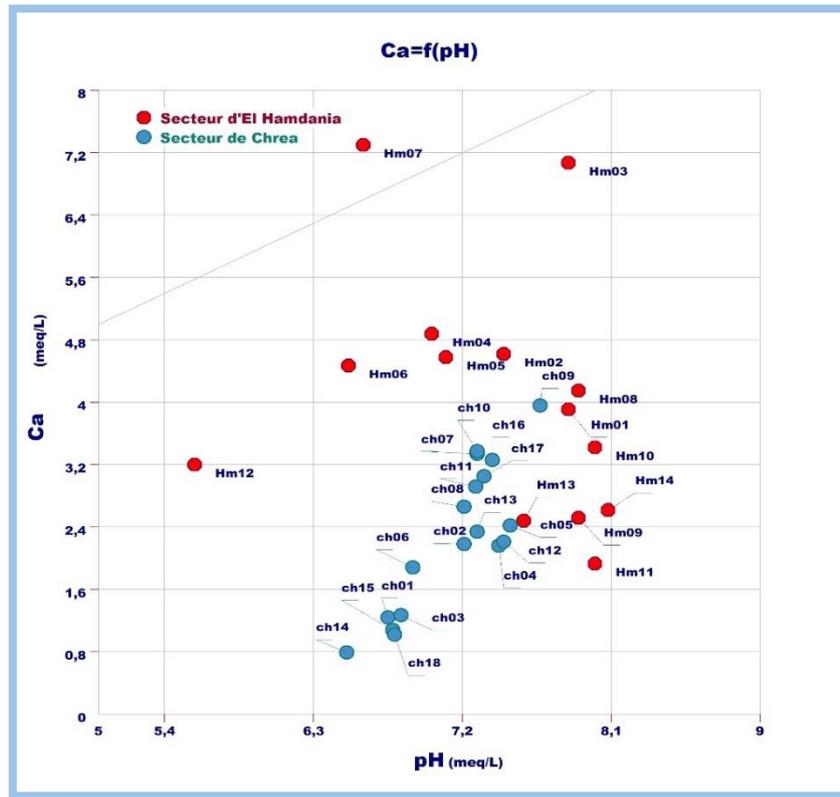


Figure III.10 : Couple Ca^{2+} -pH

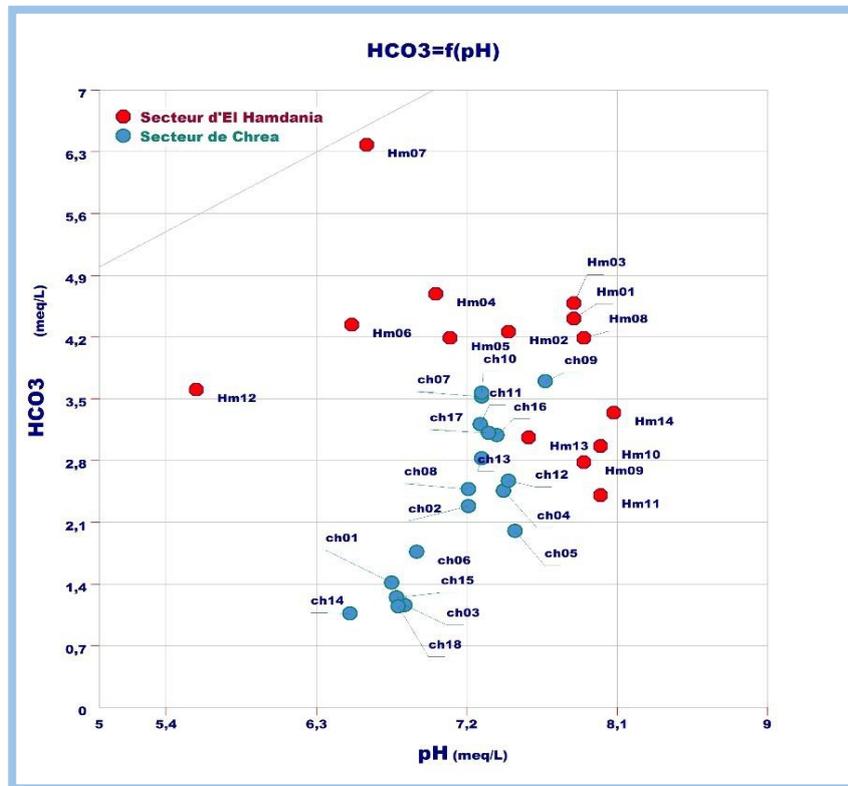


Figure III.11 : Couple HCO_3^- -pH

1.8.2 Couple Ca^{2+} - HCO_3^- :

La représentation graphique de l'évolution des teneurs en Ca^{2+} en fonction des teneurs en HCO_3^- (Figure III.12) montre une bonne corrélation entre les deux éléments. Ce qui suggère que l'origine des ions de Ca^{2+} est fortement liée à celle de HCO_3^- , par la dissolution des niveaux carbonatés lors du transit souterrain. Pour la source Hm03, on constate un excès en calcium qui résulterait probablement d'un échange de base.

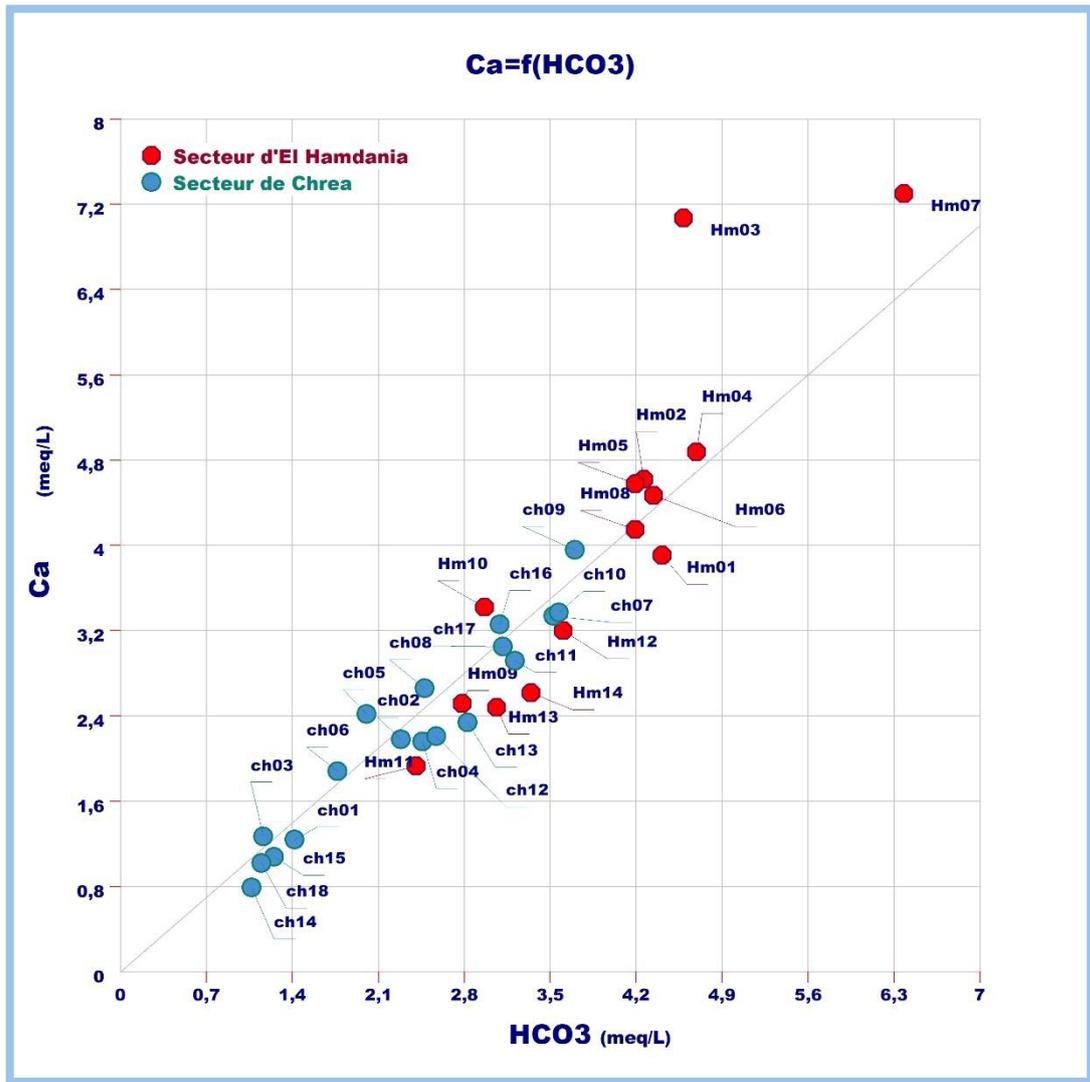


Figure III.12 : Couple Ca^{2+} - HCO_3^-

1.8.3 Couple Ca^{2+} - SO_4^{2-} :

La corrélation de Ca^{2+} et SO_4^{2-} représenté dans la figure III.13 montre que les points d'eau se répartissent au dessus de la droite de dissolution de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) avec un excès en Ca^{2+} . Ceci qui suggere que l'origine de Ca n'est pa liée au ions de sulfates donc ce n'est pas du a la dissolution de fomations gypseuse.

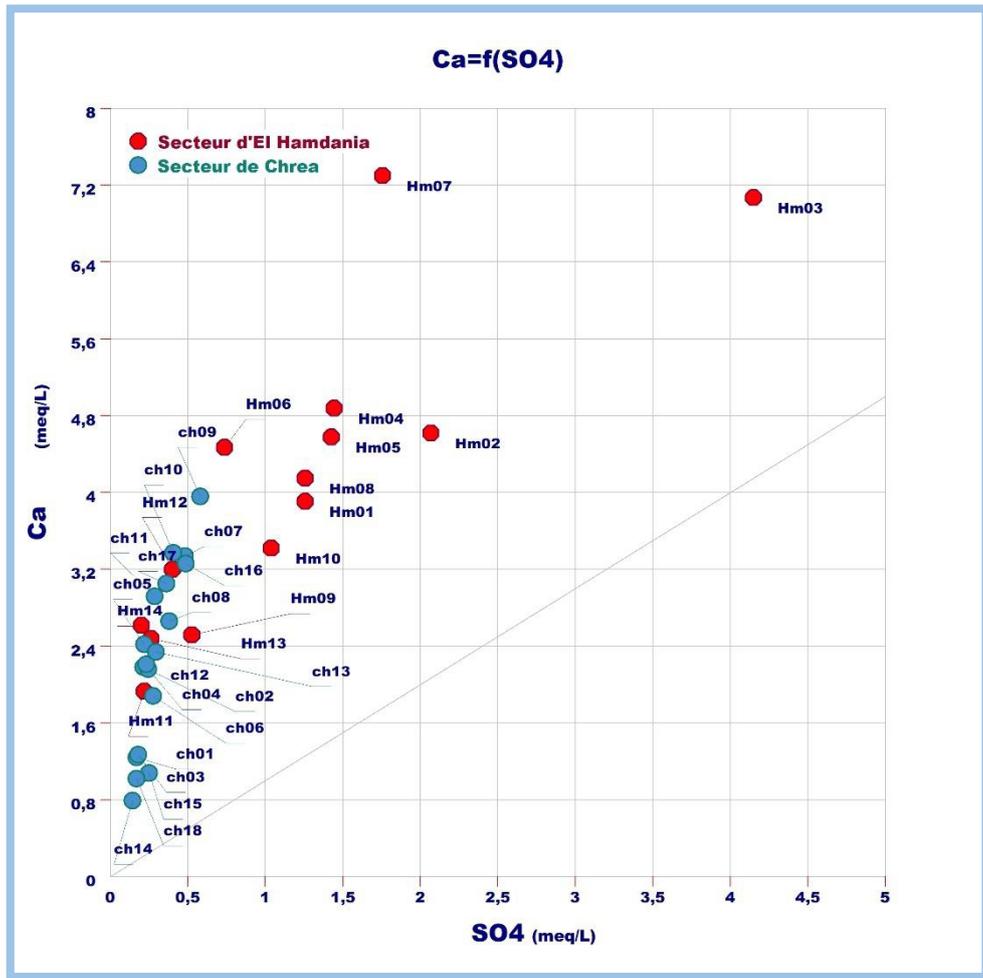


Figure III.13: Couple Ca²⁺-SO₄²⁻

1.8.4 Couple Na⁺-Cl⁻ :

Le diagramme Na⁺-Cl⁻ (Figure III.14) montre que les points se répartissent au-dessus de la droite de dissolution de la Halite (droite expérimentale) avec un excès en sodium. Cet excès peut être expliqué par fait que les eaux de sources n'ont pas le temps suffisant pour réagir avec l'aquifère (eaux non chargées), ou probablement que cela soit dû à un échange de base faible avec la formation argileuse marneuse.

1.8.5 Couple Mg²⁺-HCO₃⁻ :

La relation entre les ions de Mg²⁺ et HCO₃⁻ (Figure III.15) montre que tous les points se répartissent sous la droite de pente unité, donc un excès de l'ion HCO₃ et confirme l'origine de celui-ci : Beaucoup plus la mise en équilibre avec le CO₂ atmosphérique et la dissolution de la calcite.

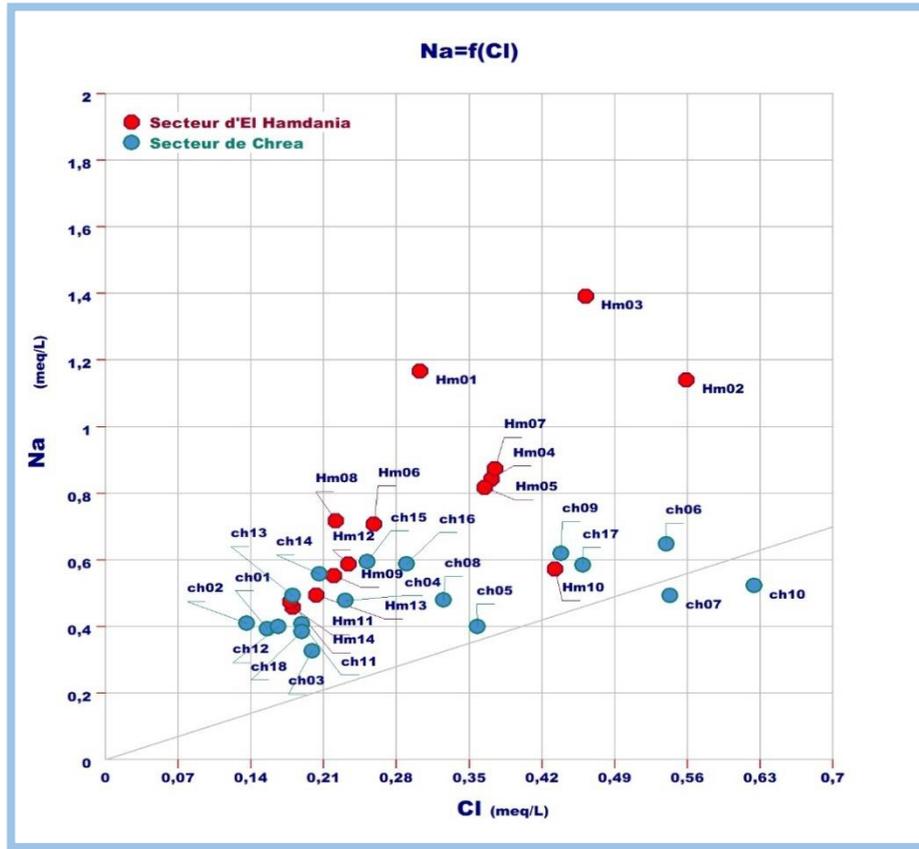


Figure III.14: Couple $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$

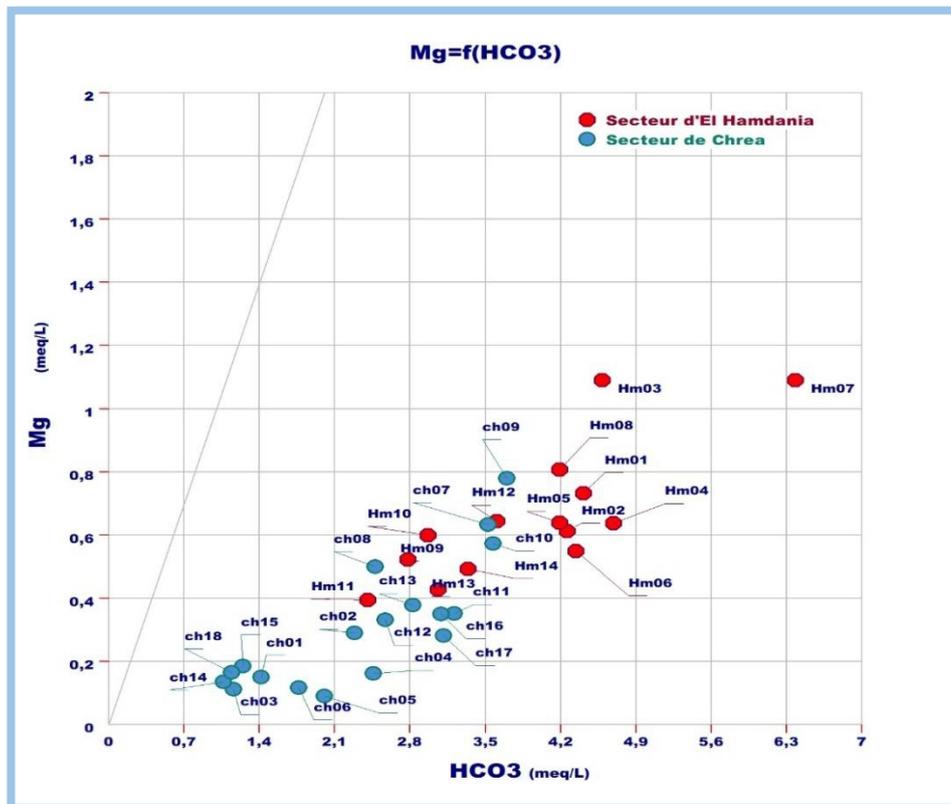


Figure III.15 : Couple $\text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^-$

2. APPROCHE STATISTIQUE :

L'analyse en composantes principales (ACP) est un outil extrêmement puissant de synthèse de l'information, très utile lorsque l'on est en présence d'une somme importante de données quantitatives à traiter et interpréter [13]. L'apparition au cours des dernières années de logiciels chaque fois plus performants et faciles à utiliser rend aujourd'hui accessible ce type d'analyses des données à tous les chercheurs dans divers domaines. C'est pourquoi nous proposons ici de présenter le principe et l'intérêt de l'ACP à partir d'un exemple simple, dont cette analyse est faite par le logiciel XLSTAT pour une étude globale portant sur les composantes chimiques de chaque point d'eau échantillonnés au niveau des 2 secteurs (Secteur de Chrea et secteur d'El Hamdania) du PNC.

2.1 Généralité de l'ACP:

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

L'Analyse en Composantes Principales peut être considérée comme une méthode de projection, qui permet de projeter les observations depuis l'espace à p dimensions des p variables vers un espace à k dimensions ($k < p$) tel qu'un maximum d'information soit conservée (l'information est ici mesurée au travers de la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions. Si l'information associée aux 2 ou 3 premiers axes représente un pourcentage suffisant de la variabilité totale du nuage de points, on pourra représenter les observations sur un graphique à 2 ou 3 dimensions, facilitant ainsi grandement l'interprétation [15].

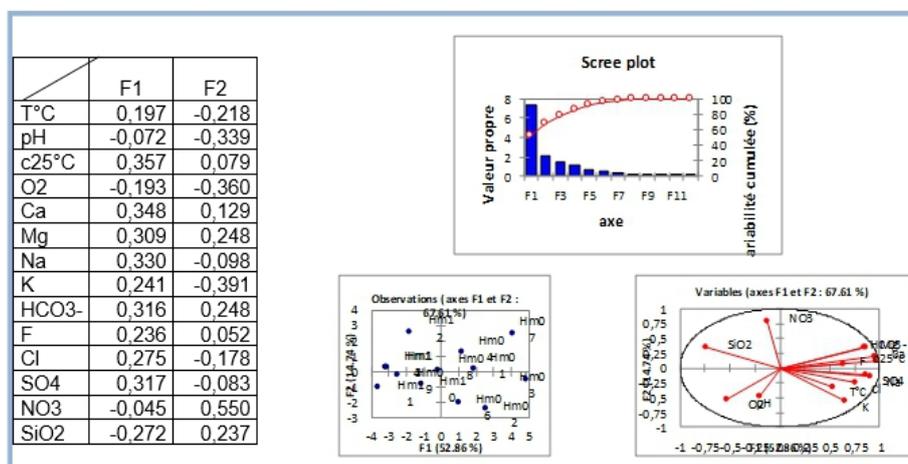


Figure III.16 : Présentation des résultats sur ACP (Exemple)

2.2 Principe:

Construire un système de représentation de dimension réduite ($q \ll p$) qui préserve les distances entre les individus. On peut la voir comme une compression avec perte (contrôlée) de l'information [12].

La méthode permet donc de répondre aux trois questions que l'on se pose au vu d'un tableau de résultats d'analyses chimiques [22]:

- L'observation des proximités relatives entre échantillons, on peut voir s'il existe des groupements (c'est-à-dire des familles différentes du point de vue chimique) et quelles sont les évolutions d'une famille à l'autre.
- L'observation des proximités relatives entre éléments, on peut voir s'il existe des relations (ou corrélations) entre différents éléments.
- L'observation des proximités entre éléments et échantillons, on peut voir quels éléments caractérisent quels échantillons ou quelles familles d'échantillons.

2.3 Présentation et interprétations des résultats :

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux de sources de L'Atlas Blidéen permet une différenciation sur leur particularité chimique, une détermination de leurs variations d'ensemble, suivant les axes principaux et les éventuelles relations entre les sources des différents secteurs.

Les objectifs d'utilisation de l'ACP sont de caractériser la minéralisation des eaux de sources et déterminer leur origine.

Nous avons effectué une ACP sur 32 sources d'eau (18 sources pour le secteur central et 14 sources pour le secteur d'E Hamdania) et 13 variables physico-chimiques qui sont : Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , SiO_2 , O_2 , pH, $T^\circ C$ et la conductivité.

Les résultats de l'ACP appliqués aux sources des deux secteurs sont présentés ci-dessous.

2.3.1 Matrice de corrélation:

En statistiques, une matrice de corrélation regroupe les corrélations de plusieurs variables entre elles, les coefficients indiquant l'influence que les variables ont les unes sur les autres. d'un certain nombre d'individus. Plus ce nombre est grand et plus les corrélations sont représentatives. Puis on calcule par des lois statistiques l'influence des variables les unes sur les autres.

L'apport de la corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes comme par exemple, l'interaction eau-roche etc.

Elle permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. On admet qu'une corrélation est significative, si la valeur du coefficient corrélation « r » est comprise entre + 0,5 et 1 (relation positive) et -0.5 et -1 (relation négative). Dans notre cas plusieurs liaisons sont significatives mais à des degrés variables (Tableau III.08, Tableau III.09) [21].

- **Secteur Central :**

Tableau III.08 : Matrice de corrélation, Secteur centrale

Variables	T°C	pH	c25°C	O2	Ca	Mg	Na	K	HCO	Cl	SO4	NO ₃	SiO ₂
T°C	1												
pH	-0,021	1											
c25°C	-0,237	0,627	1										
O2	-0,749	0,177	0,128	1									
Ca	-0,102	0,859	0,837	0,15	1								
Mg	-0,372	0,58	0,755	0,33	0,809	1							
Na	-0,092	0,082	0,451	-0,11	0,319	0,297	1						
K	0,055	0,172	-0,069	0,03	-0,042	-0,191	0,001	1					
HCO3-	-0,218	0,831	0,800	0,21	0,966	0,825	0,291	-0,01	1				
Cl	0,178	0,297	0,730	-0,13	0,584	0,478	0,568	-0,06	0,511	1			
SO4	-0,281	0,647	0,857	0,22	0,888	0,865	0,551	-0,10	0,835	0,638	1		
NO3	0,348	0,066	0,173	-0,36	0,121	-0,219	0,404	0,14	0,081	0,361	0,1	1	
SiO2	-0,140	-0,399	-0,099	-0,16	-0,254	-0,093	0,689	-0,29	-0,238	-0,054	0,01	0,22	1

La conductivité présente une liaison significative qui varie entre (**0,730** à **0,857**) avec Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} et pH. Ceci traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge saline des eaux. Et d'une corrélation très forte entre le PH qui varie entre (**0,587** et **0,859**) avec Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} et $c_{25}^{\circ}C$. Ca^{2+} et Mg^{2+} présentent une forte corrélation positive entre eux (**0,809**), indiquant une origine commune.

De même que pour Ca^{2+} et SO_4^{2-} (**0,888**), SO_4^{2-} et Mg^{2+} (**0,865**), SO_4^{2-} et HCO_3^- (**0,835**), HCO_3^- et Ca^{2+} (**0,968**), HCO_3^- et Mg^{2+} (**0,826**), qui possèdent également une très bonne corrélation positive.

- **Secteur El Hamdania :**

Tableau III.09: Matrice de corrélation, secteur d'El Hamdania

Variab les	T°C	pH	c ₂₅ °C	O ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₂
T°C	1												
pH	-0,20	1											
c₂₅°C	0,35	-0,2	1										
O₂	-0,32	0,35	-0,587	1									
Ca	0,42	-0,3	0,960	-0,62	1								
Mg	0,19	-0,2	0,869	-0,46	0,912	1							
Na	0,519	0,02	0,842	-0,31	0,754	0,705	1						
K	0,59	-0,1	0,547	-0,05	0,436	0,223	0,684	1					
HCO₃⁻	0,32	-0,4	0,885	-0,72	0,899	0,807	0,626	0,450	1				
Cl	0,23	-0,1	0,759	-0,37	0,651	0,492	0,730	0,547	0,464	1			
SO₄	0,41	0,1	0,842	-0,31	0,833	0,796	0,889	0,454	0,564	0,756	1		
NO₃	0,45	-0,3	-0,097	-0,12	-0,097	0,185	-0,027	-0,429	0,063	-0,34	-0,2	1	
SiO₂	-0,25	0,2	-0,654	0,06	-0,647	-0,539	-0,585	-0,793	-0,624	-0,43	-0,5	0,37	1

La conductivité présente une liaison significative variant entre (0,547 à 0,960) avec Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} et pH Ceci traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge saline des eaux. Et d'une bonne corrélation positive entre : Ca^{2+} et SO_4^{2-} (0,833), Ca^{2+} et Mg^{2+} (0,912), Ca^{2+} et HCO_3^- (0,899), SO_4^{2-} et Mg^{2+} (0,796), SO_4^{2-} et HCO_3^- (0,564), SO_4^{2-} et Na^+ (0,889), HCO_3^- et Mg^{2+} (0,807) et entre K^+ et Cl^- (0,547), indiquant une origine commune.

2.3.2 Analyse de l'espace des variables du plan factoriel F1xF2 :

L'analyse des résultats permet de constater que la majeure partie des informations est expliquée par les deux premiers axes factoriels. Dans le plan factoriel F1xF2.

Les deux axes pris en considération pour décrire les corrélations entre les variables liées aux structures spatiales, détiennent à eux seuls 58.40 % de l'information totale avec respectivement 41.07 % pour l'axe 1 et 17.33 % pour l'axe 2 au niveau du secteur central et de 67.61% de l'information totale avec respectivement 52.86 % pour l'axe 1 et 14.74 % pour l'axe 2 (Figure III.17).

Les paramètres des deux secteurs sont représentés dans l'espace réduit des deux premières composantes principales sur la figure III.17.

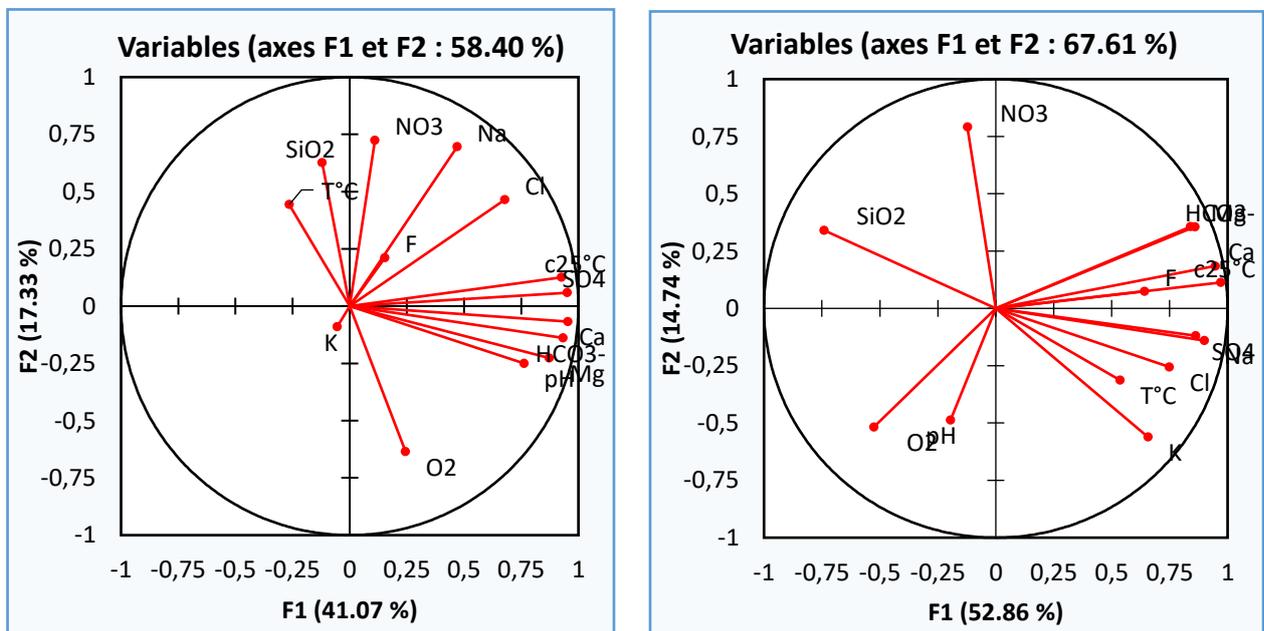


Figure III.17 : Cercle de corrélation d'ACP des variables du plan factoriel F1xF2, secteur central et secteur d'El Hamdania

- **Secteur Central :**

L'examen de la répartition des variables (pH, $c_{25^{\circ}\text{C}}$, O_2 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , SiO_2 , F^-) (Figure III.17) sur le cercle de corrélation d'ACP du secteur central montre que :

- L'acquisition de la minéralisation des eaux, se fait par interaction d'une part entre l'eau et la roche (dissolution) et d'autre part par l'équilibre de CO_2 dissous dans l'eau (échange atmosphère-eau).
- La position de Na^+ - Cl^- dans le cercle se trouve à la position médiane, il peut être expliqué par les deux facteurs F1 et F2. L'acquisition de l'ion chlorure n'est pas concerné totalement par le processus interaction au roche.
- La position de la silice sur le cercle des variables est portée par l'axe F2 ce qui suggère que celle-ci provient de la dissolution assez lente à cause de sa solubilité dans les niveaux schisteux des formations géologique de PNC.

- **Secteur El Hamdania :**

Le cercle de corrélation d'ACP secteur d'El Hamdania montre que les concentrations en Ca^{2+} , HCO_3^- , $c_{25^{\circ}\text{C}}$, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Cl^- , sont bien corrélées par l'axe F1 est suggère le même processus d'acquisition de chimisme de ces eaux, à savoir l'interaction entre eau et la roche. L'élément chlorure Cl^- , potassium K^+ se trouve bien corrélé contrairement aux eaux du secteur central ce qui suggère que dans ce secteur les formations géologiques en présence peuvent renfermer des niveaux d'évaporites (KCl : la sylvite).

La position de la silice sur le cercle des variables se trouve à l'opposé d'axe F1 qui suggère que celle-ci provient de la dissolution assez lente à cause de sa solubilité dans les niveaux schisteux des formations géologique du PNC.

2.3.3 Projection dans l'espace des individus du plan factoriel F1xF2 :

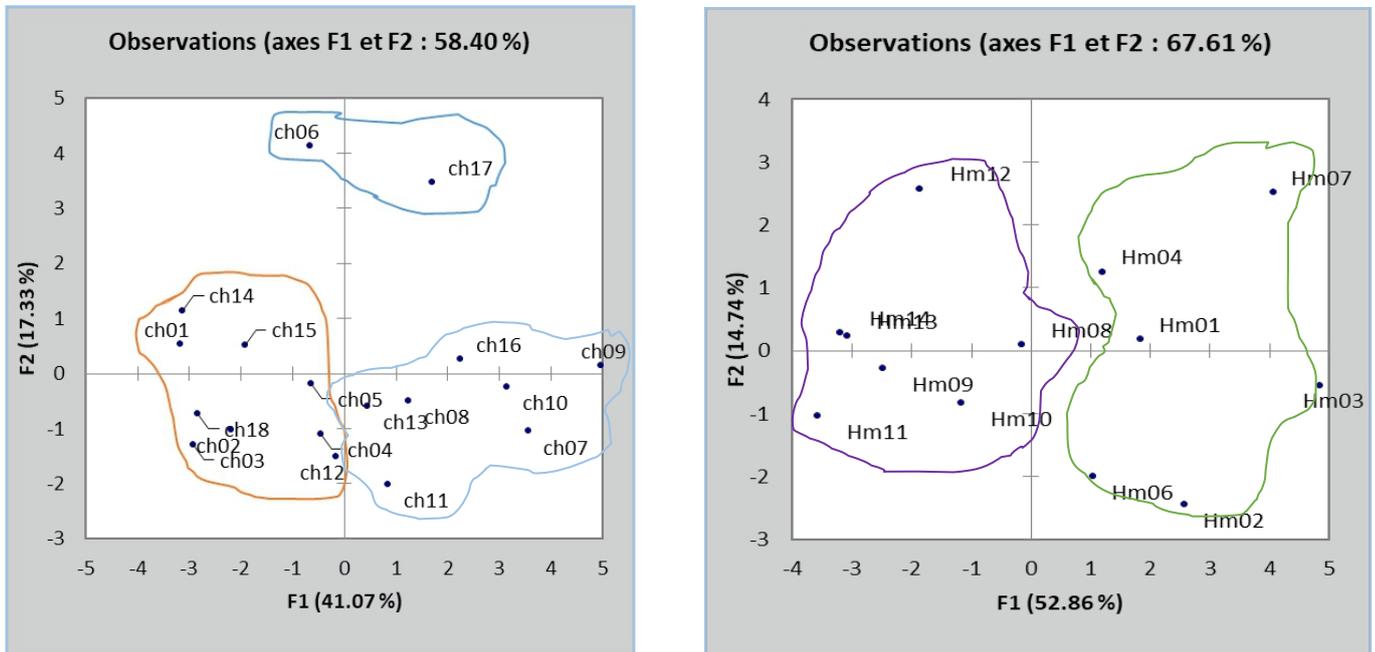


Figure III.18: Projection dans l'espace des individus du plan factoriel F1xF2 secteur Central et secteur d'El Hamdania

• Secteur Central :

L'observation de la projection des individus des deux secteurs sur le plan factoriel F1×F2 (Figure III.18), permet de distinguer trois groupes :

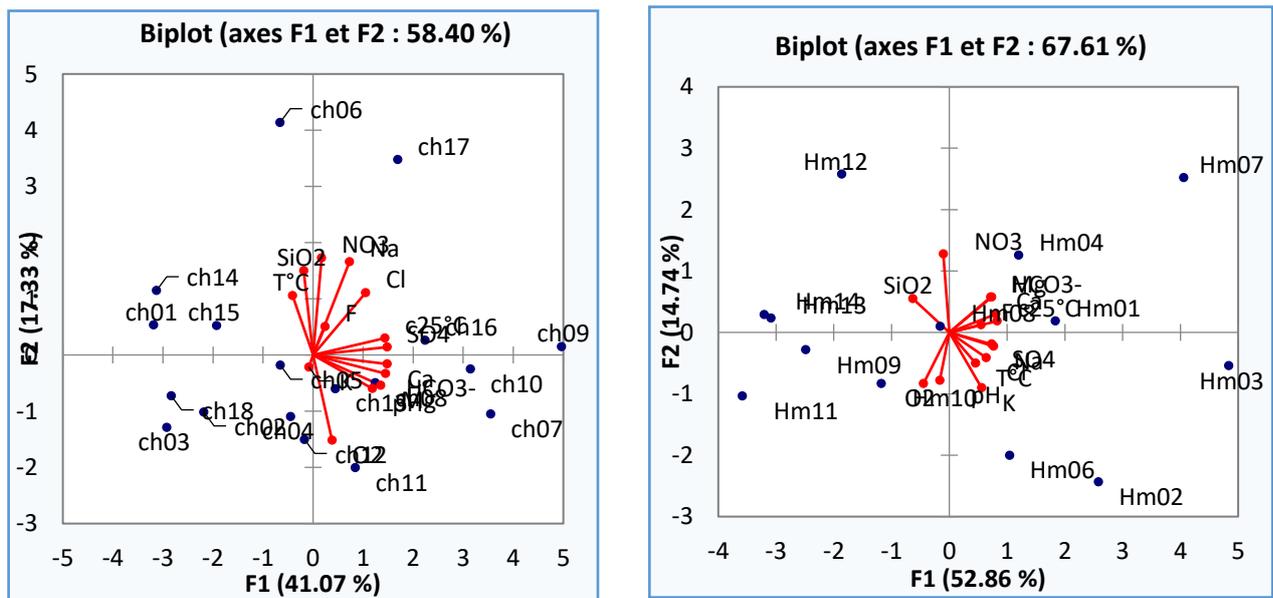
- Groupe1 : la répartition des sources (Ch09, Ch16, Ch10, Ch10, Ch07, Ch08, Ch13, Ch05, Ch11) sur le cercle de corrélation montre probablement que celles-ci ont une relation hydrodynamique entre elles (les réseaux d'écoulement pourraient être connectés entre eux).
- Groupe2 : la répartition des sources (Ch01, Ch14, Ch15, Ch03, Ch02, Ch18, Ch12, Ch04) sur le cercle de corrélation se fait à l'opposé de l'axe F1, elles sont corrélées négativement donc probablement non connectées sur le plan écoulement.
- Groupe3 : les sources Ch06 et Ch17 sont beaucoup plus corrélées avec l'axe F2 qui traduirait un fonctionnement hydrodynamique différent des autres groupes.

• Secteur d’El Hamdania :

L’observation de la projection des individus de secteur d’El Hamdania sur le plan factoriel F1×F2 (FigureIII.18), permet de distinguer deux groupes :

- Groupe1 : La répartition des sources (Hm07, Hm01, Hm03, Hm02, Hm06, Hm04) sur le cercle de corrélation montre probablement que les sources ont une relation hydrodynamique (les réseaux d’écoulement pourraient être connectés entre eux mais d’une manière non développée comparativement au secteur Central.
- Groupe2 : La répartition des sources (Hm08, Hm09, Hm10, Hm11, Hm12, Hm13, Hm14) sur le cercle de corrélation se trouvent à l’opposé de l’axe F1, elles sont corrélées négativement, ce qui suggère que ces sources ne présentent pas de relation de continuité hydraulique entre elle.

3.2.4 Projection dans l’espace des individus et variables du plan factoriel F1x F2 :



FigureIII.19 : Projection dans l’espace des individus et variables du plan factoriel F1x F2 secteur central et secteur d’El Hamdania

La corrélation entre les variables et les individus (Figure III.19), montre que la répartition des individus et les variables est conforme à la corrélation entre les variables et la corrélation entre les individus. Le chimisme des eaux est acquit par interaction eau-roche-équilibre atmosphérique qui se fait beaucoup plus pour les premiers groupes de secteur central (Ch09, Ch16, Ch10, Ch10, Ch07, Ch08, Ch13, Ch05, Ch11) et de secteur d’El Hamdania (Hm07, Hm01, Hm03, Hm02, Hm06, Hm04).

Conclusion :

Les résultats obtenus ont montré que la majorité des sources sont faibles à moyennement minéralisées sauf les trois sources du secteur d'El Hamdania (La Carrière de Gypse, Takharat, Oued Djir), qui ont une forte minéralisation qui dépasse 500µs/cm. Leur eau est saturée par O₂ et faiblement chargée.

Les diagrammes de Piper et Schöeller-Berkaloff montrent que le faciès chimique des eaux de sources des deux secteurs est bicarbonaté calcique.

L'indice de saturation montre que les points d'eau échantillonnée sont légèrement saturés vis-à-vis de la Calcite, la Dolomite, le Gypse et la Silice.

Les corrélations entre les différents éléments majeurs montrent que l'acquisition de la minéralisation se fait par interaction eau-roche-atmosphère.

L'analyse des résultats permet de constater que la majeure partie des informations est expliquée par les deux premiers axes factoriels F1xF2. L'analyse en composantes principale ACP appliquée aux analyses des eaux des deux secteurs de PNC, a montré que les descripteurs Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ sont les principales variables affectant la qualité de l'eau circulant dans les sources du PNC.

L'étude statistique par ACP met en évidence les liens existants entre les paramètres chimiques responsables de la minéralisation des deux secteurs et laisse apparaître deux pôles (i) évaporitique (sylvite, gypse, halite, argile) et (ii) carbonaté (calcaire, schistes, marne). et un lien hydrodynamique existant entre la répartition des sources d'eaux au niveau du PNC.

CHAPITRE IV :
APPROCHE ISOTOPIQUE

INTRODUCTION

L'hydrogéologie fait de plus en plus appel à des techniques de mesure, de traitement et de modélisation d'évolutions d'éléments présents dans les eaux. Parmi ces composants, les isotopes constituent une famille très intéressante de traceurs naturels.

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)[19].

1. 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]:

$$^1\text{H}:99,984\% \qquad ^{16}\text{O}:99,76\%; \qquad ^{18}\text{O}:0,10\%.$$

$$^2\text{H}: 0,015\% \qquad ^{17}\text{O}: 0.037\% ;$$

2. VARIATION ISOTOPIQUE NATURELLE :

2.1 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 liquide 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 abondance, exprime la concentration en isotope lourd d'un échantillon relativement à un étalon; elle est exprimée en part pour mille [13] :

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

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

2.3 Facteur de fractionnement 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, n, est 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 (Fritz 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] :

$$\varepsilon = (\alpha_{1-2} - 1) \cdot 10^3$$

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:

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

3. 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]:

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

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 Belemnite americana); une calcite biogénique marine (rostre de la Belemnite Americana de "la Peedee formation") du Crétacé supérieur de la Caroline du sud aux USA.

4. COMPOSITION ISOTOPIQUE LORS D'ÉCHANGE DE PHASE :

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

4.1 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 la 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 du sol pour les stations océaniques.

$$\rightarrow T < 10^2 \text{ C [13].}$$

$$\rightarrow \delta^{18}\text{O} = 0,69T^2\text{C} - 13,6$$

$$\rightarrow \delta^2\text{H} = 5,6 \text{ TX} - 100 \text{ \%}.$$

Toutefois, cette relation n'est en générale pas vérifiée à l'échelle locale et en particulier pour les stations très continentales ou celles de moyennes et basses latitudes à saisons 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 océanique qui sont corrélées linéairement à la température de condensation et sont donc corrélées entre elles de façon également linéaire par 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 ordonnée à l'origine de la corrélation des précipitations d'origine océanique est $d = +10 \text{ ‰}$. Cependant cette valeur peut devenir plus élevée. -22 ‰ en méditerranée orientale (Nir. 1967, in Guendouz 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].

4.2 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].

5. 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 GMWL. (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].

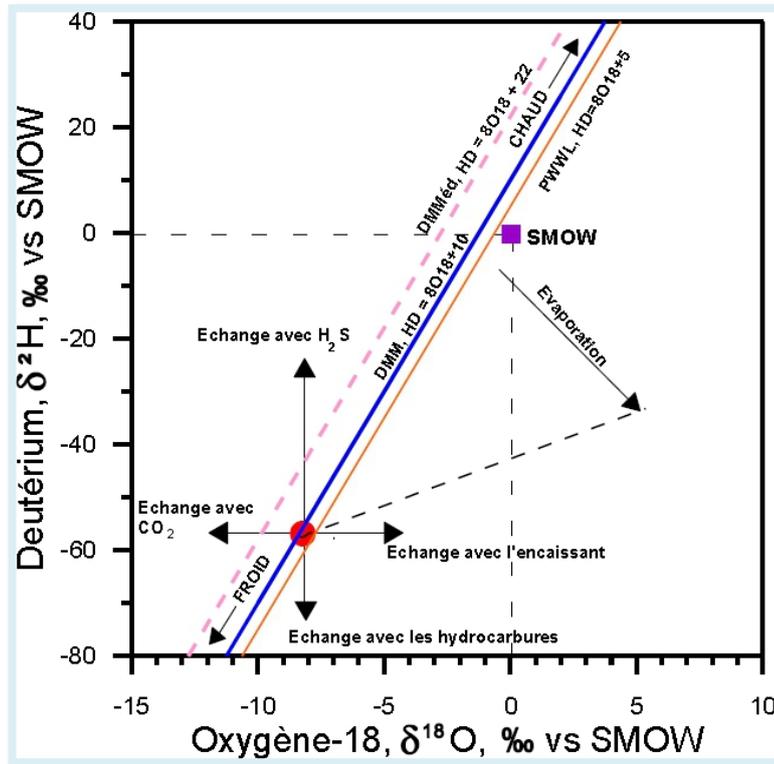


Figure IV.01 : Domaine de répartition des eaux naturelles sur le diagramme $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$

La pente est inférieure à 8, ceci traduit une ré-évaporation des gouttes de pluies en cours de chute, en milieu non saturé. 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 IV.01) indiquerait un processus d'échange avec l'encaissant 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, 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.

6. PRESENTATION DES RESULTATS :

Les résultats des analyses isotopiques stables sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.01 : Teneurs en ^{18}O , ^2H , et obtenues par spectrométrie Laser (Picarro, L-2110i)

	Libellé	Delta 18O	Delta 2H	d
S E C T E U R D E C H R E A	Ch1	-8,57	-49,9	18,7
	Ch2	-8,78	-51,4	18,8
	Ch3	-8,07	-47,3	17,3
	Ch4	-8,11	-46,3	18,6
	Ch5	-7,62	-43,1	17,9
	Ch6	-7,61	-44	16,9
	Ch7	-8,08	-46,3	18,3
	Ch8	-8,19	-46,7	18,8
	Ch9	-8,03	-46,1	18,1
	Ch10	-8,48	-46,8	21,0
	Ch11	-8,22	-46,6	19,2
	Ch12	-8,07	-46,9	17,7
	Ch13	-8,53	-48,2	20,0
	Ch14	-8,14	-46,5	18,6
	Ch15	-8,05	-46,4	18,0
	Ch16	-7,89	-45,7	17,4
	Ch17	-7,35	-41,5	17,3
	Ch18	-8,27	-46,4	19,8
E L H A M D A N I A	Hmd1	-8,1	-46	17,8
	Hmd2	-7,97	-43,2	17,4
	Hmd3	-7,58	-44,9	15,8
	Hmd4	-7,59	-46,2	17,0
	Hmd5	-7,9	-45,4	16,4
	Hmd6	-7,73	-39,4	12,9
	Hmd7	-6,54	-44,5	17,9
	Hmd8	-7,8	-47,1	17,1
	Hmd9	-8,02	-44,8	18,0
	Hmd10	-7,85	-42,6	15,3
	Hmd11	-7,24	-44,9	18,0
	Hmd12	-7,86	-45	17,0
	Hmd13	-7,75	-44,6	17,6
	Hmd14	-7,78	-44,7	16,9

Les teneurs en isotopes stables de la molécule d'eau varient entre -8,78 ‰ et -6,54‰ V-SMOW pour le $\delta^{18}\text{O}$ avec une moyenne de -7,93 ‰, et entre -51,4‰ et -41,5‰ V-SMOW pour le $\delta^2\text{H}$ avec une moyenne de -45,6‰.

6.1 Isotopes stables ^{18}O , ^2H

6.1.1 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 normalement confrontée aux teneurs en isotopes stables des eaux de pluie de la région afin d'en déterminer l'origine. En l'absence des données représentatives des eaux des pluies de l'Atlas Blidéen, nous ferons recours aux droites des eaux de pluie à l'échelle mondiale et régionale.

Sur le diagramme $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ représenté sur la figure IV.08 sont représentées les droites suivantes :

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

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

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

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

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

6.1.2 Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$

Les teneurs en isotopes stables de la molécule d'eau des eaux des sources des deux secteurs sont appauvries en isotopes stables et varient entre -8,78 ‰ et -6,54‰ VS-SMOW pour l'oxygène 18 et de entre -51,4‰ et -41,5‰ VS-SMOW pour le deutérium.

Représentées sur un diagramme $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$, les eaux des sources de la région d'El Hamdania, et du secteur centre du PNC se répartissent au-dessus de la droite des eaux météoriques mondiales d'équation $\delta^2\text{H}=8 \times \delta^{18}\text{O}+10$ et s'alignent sur une droite de pente inférieure à 8 (Figure IV.02).

Ces dispositions traduisent deux caractéristiques majeures :

1. Les eaux du secteur Centre émergent à des altitudes plus élevées que ceux d'El Hamdania et donc sont plus appauvries en isotopes stables que celle-ci, donc l'effet altitude et de continentalité est bien présent dans cette signature isotopique,
2. La deuxième caractéristique c'est le cachet évaporé de ces eaux et cela concerne les eaux des sources des deux secteurs, cette évaporation est à mettre en relation avec le fait que 90% des sources ont été prélevées loin de leur point d'émergence pour des raisons d'accès (accès difficile).

3. Par ailleurs, l'intersection de ces droites d'évaporation avec celle des eaux de pluie de la méditerranée orientale (Figure IV.02) renseignerait sur la composition isotopique des eaux de pluie originelle qui a donné naissance à ces eaux de sources et qui serait inférieure ou égale à -9‰ V-SMOW

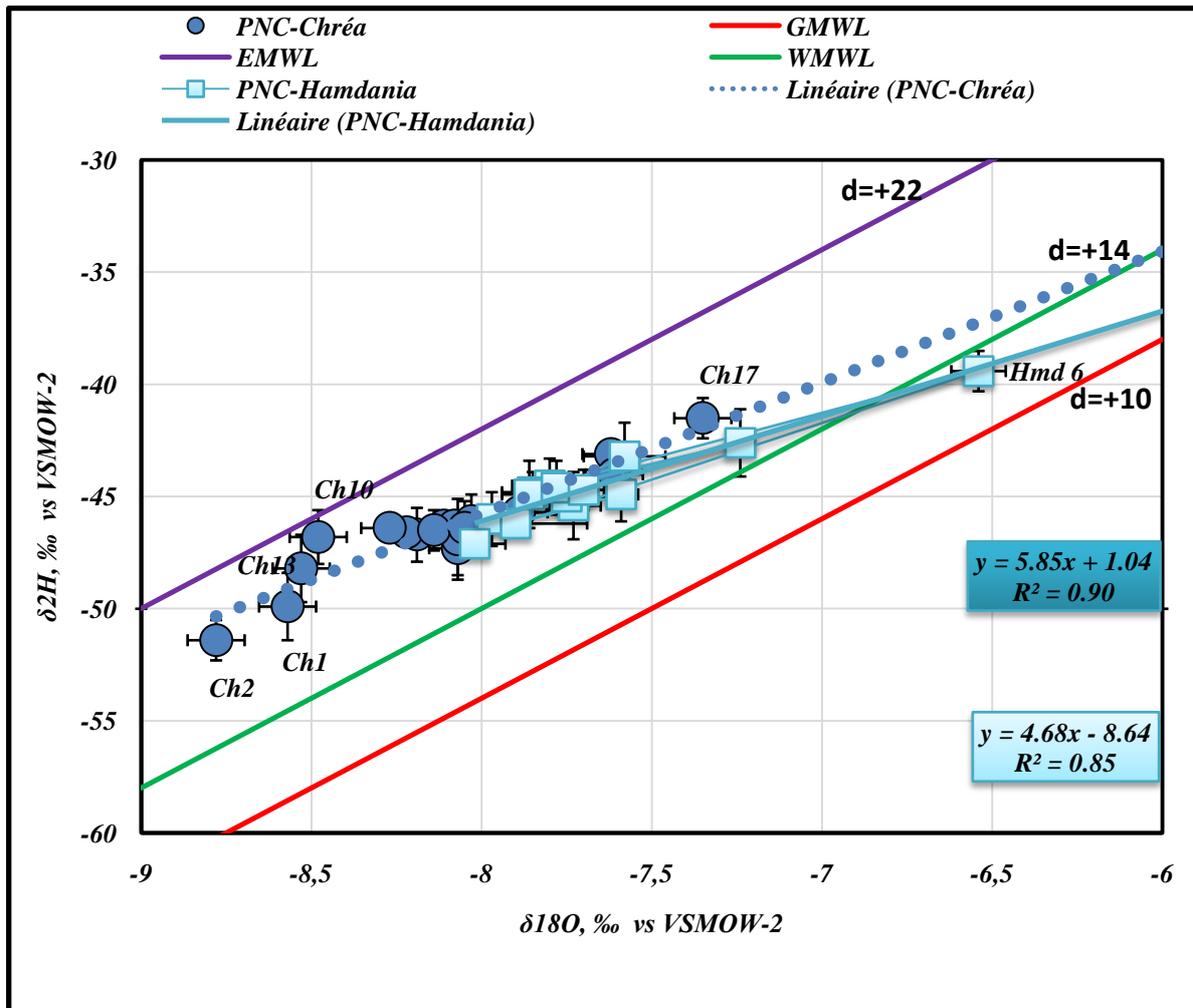


Figure IV.02 : Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$

6.3.1 Relation $\delta^{18}\text{O}$ – Cl

Sur la figure IV.03 est reportée la relation entre l'oxygène 18 et les chlorures des sources des deux secteurs. Elle montre:

- un pôle où les eaux sont moins chargées en chlorures et appauvries en ^{18}O . Ce qui correspondrait aux sources prélevées en altitude et émergeraient non loin de leur points d'alimentation.

Elles auraient emprunté un cheminement court, avec donc un transit rapide, ce qui explique que le signal pluie récent est bien présent. Il s'agit des sources de Ch12, Ch03, Ch04, Ch11, Ch12, Ch13, Ch14, Ch 15, Ch18 (secteur Central) et Hm08, Hm09, Hm11, Hm12, Hm13, Hm14 (secteur d'El Hamdania).

- Les autres sources montrent un accroissement de la teneur en chlorures avec des teneurs en ^{18}O assez dispersées qui témoigneraient du cachet évaporé déjà signalé.

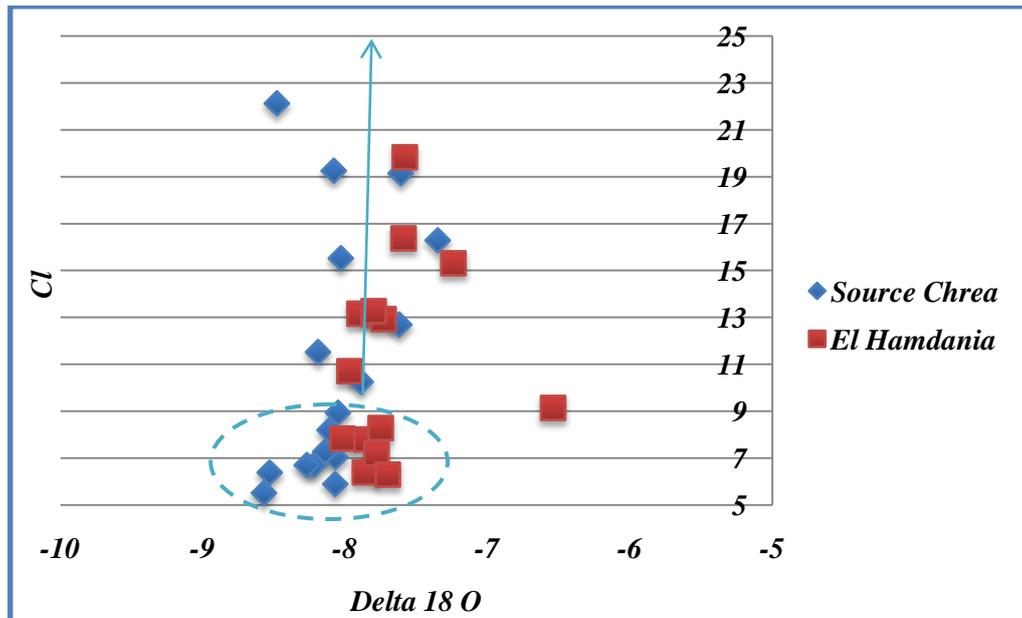


Figure IV.03 : Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et Cl^-

6.1.4 Relation $\delta^{18}\text{O}$ et altitudes :

La relation entre les altitudes de prélèvements des eaux des sources et les teneurs en ^{18}O des deux secteurs (Figure IV.04) montre bien la tendance déjà évoquée. Il y a un appauvrissement en ^{18}O en fonction de l'altitude, les sources du secteur Central sont plus en hauteur et donc plus appauvries et celles d'El Hamdania plus basses avec des teneurs relativement plus enrichies et plus dispersées. On a donc la confirmation de l'effet de la continentalité et d'altitude.

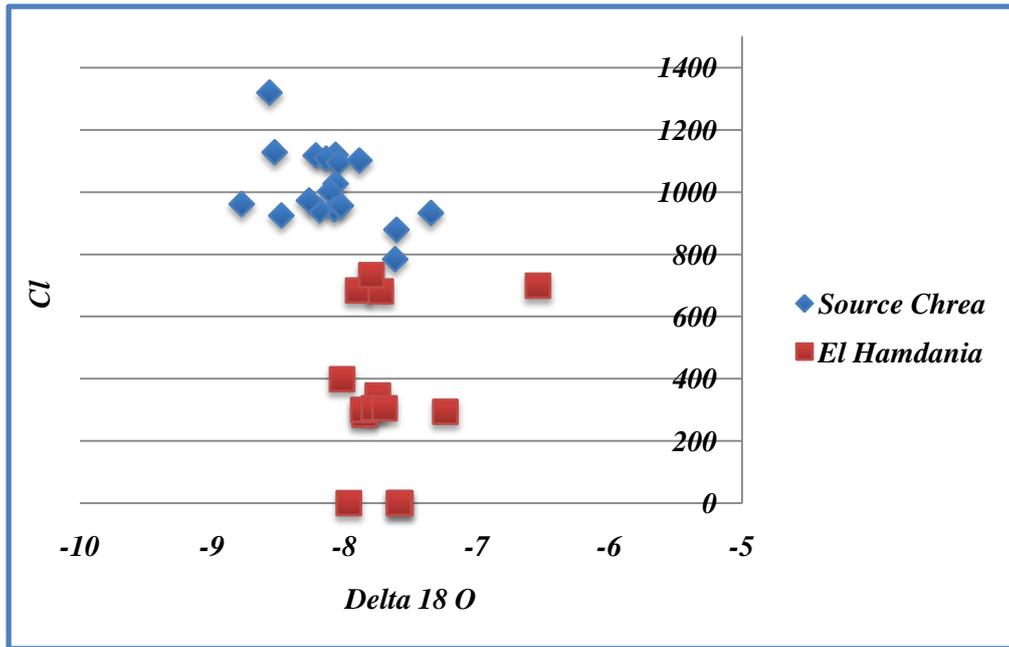


Figure IV.04 : Relation entre $\delta^{18}\text{O}$ et l'altitude.

Conclusion :

Les concentrations en isotopes stables des eaux des sources des deux secteurs présentent des valeurs assez variables et témoignent des traits majeurs suivants:

- Les isotopes stables montrent un appauvrissement isotopique avec l'altitude.
- L'effet de la continentalité est bien présent dans les eaux des sources des deux secteurs.
- La répartition des eaux des sources des deux secteurs sur le diagramme ^{18}O - ^2H confirme les deux premiers traits et montre le cachet évaporé des eaux prélevées
- Les eaux du secteur Central suggèrent un transit rapide et correspondent à des eaux de pluie récentes alors que ceux d'El Hamdania empruntent des circuits plus longs avant d'émerger.

CHAPITRE V :

APPROCHE STRUCTURALE

Introduction:

Au cours de l'évolution géologique, l'écorce terrestre a subi des déplacements complexes dans diverses directions. Les roches qui la composent sont comprimées en plis, se chevauchent les unes sur les autres, subissent des ruptures, etc. Il en résulte que le relief de la surface terrestre change avec la formation de montagnes et de dépressions profondes. Aussi, les renseignements les plus exhaustifs sur le signe, la durée et la vitesse des mouvements tectoniques peuvent être fournis par l'analyse des données géologiques. Les plus importants parmi ces derniers sont apportés d'une part, par la lithologie et d'autre part, par les linéaments géologiques.

Pour juger la fiabilité de la répartition des points d'eau avec la fracturation géologique, il est indispensable de procéder à une validation et contrôle des linéaments à partir de traitement numérique des images satellites par la méthode de télédétection pour assurer que ces derniers ont un fonctionnement réel, liés entre eux et qui affectent la zone d'étude.

1. GÉNÉRALITÉS :

1.1 Milieu fracturé :

L'hydrodynamisme des milieux fracturé reste très mal connu et n'est que très rarement rapporté aux fractures. Les fractures contrôlent l'écoulement de l'eau souterraine et superficielle, et jouent un rôle primordial dans la productivité des réservoirs fracturés. C'est pour cela que les études hydrogéologiques doivent être appuyées par une analyse tectonique et microtectonique de la fracturation régionale.

En hydraulique souterraine, on parle en générale de milieu fissuré par opposition au milieu poreux, le caractère discontinu du premier s'opposant au caractère continu du second.

Le réseau de discontinuités est donc un des piliers du comportement des circulations souterraines dans les milieux fissurés. Les éléments essentiels à caractériser pour chaque discontinuité sont les suivants[26] :

- Orientation dans l'espace (direction, pendage).
- Continuité.
- Ouverture.
- Présence ou non de remplissage.
- Propriété des parois rocheuses (forme, rugosité).

L'eau souterraine joue un rôle important dans plusieurs processus géologiques. Par exemple, les pressions engendrées sur les failles par les fluides sont maintenant reconnues comme ayant une influence significative sur le mouvement des failles et la génération de tremblements de terre.

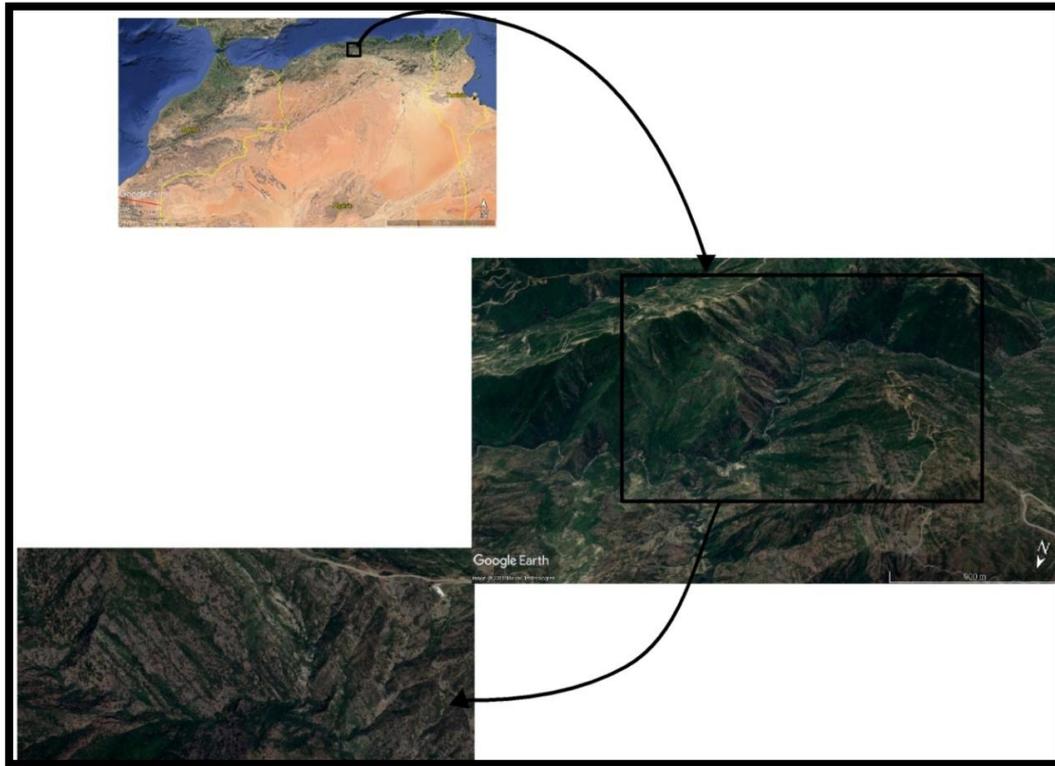


Figure V.01 : Vue satellitaire des Monts de l'Atlas Blidéen (Google Earth)



Figure V.02 : Terrain fracturé à proximité de la source Hoichem, secteur d'El Hamdania

1.2 Types de sources d'eaux souterraines :

On trouve les eaux souterraines sous la plupart des terres émergées du globe. Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varie en fonction de sa porosité et de sa structure géologique.

Les différents types de sources sont les suivants :

1.2.1 Sources de contact :

Lorsque la couche imperméable inférieure d'une nappe aquifère affleure le sol d'une vallée, l'eau de cette nappe apparaît à la surface sous forme d'un chapelet de sources. Elles apparaissent surtout dans des terrains calcaires ou cristallins, les sources thermo minérales appartiennent à cette catégorie.

1.2.2 Sources de débordement :

Ce type de sources se rencontre dans les terrains fissurés en surface, calcaires et surtout granites (le réseau de fissures vient rencontrer la surface du sol, avec une pente qui permet d'y conduire l'eau). Généralement leur débit est faible, pratiquement constant et peuvent facilement tarir. Aussi n'envisagera-t-on leur captage qu'en l'absence d'autres possibilités.

1.2.3 Sources d'émergence :

Bien que la couche perméable soit fissurée en direction de sol, on peut avoir un débit alimentant un trou d'eau, souvent envahi de végétation par une ou plusieurs fractures ou l'on peut voir l'eau bouillonner. Le débit localisé de ces sources est souvent important, leur risque de tarissement est inégal.



Ain tirailleur (Source de contact)



Takhrat (Source de débordement)

Figure V.03 : Exemple sur les types de sources du PNC

1.3 Linéaments :

Les linéaments sont des éléments rectilignes ou curvilignes que l'on peut percevoir à la surface de la croûte terrestre et qui traduisent la présence de phénomènes plus profonds, comme par exemple des failles, des fractures et des contacts géologiques.

La cartographie des linéaments est notamment très importante dans le domaine de l'hydrographie. L'avènement des satellites d'observation a grandement facilité le travail des cartographes qui disposent maintenant d'une vue très globale de la surface de la Terre.

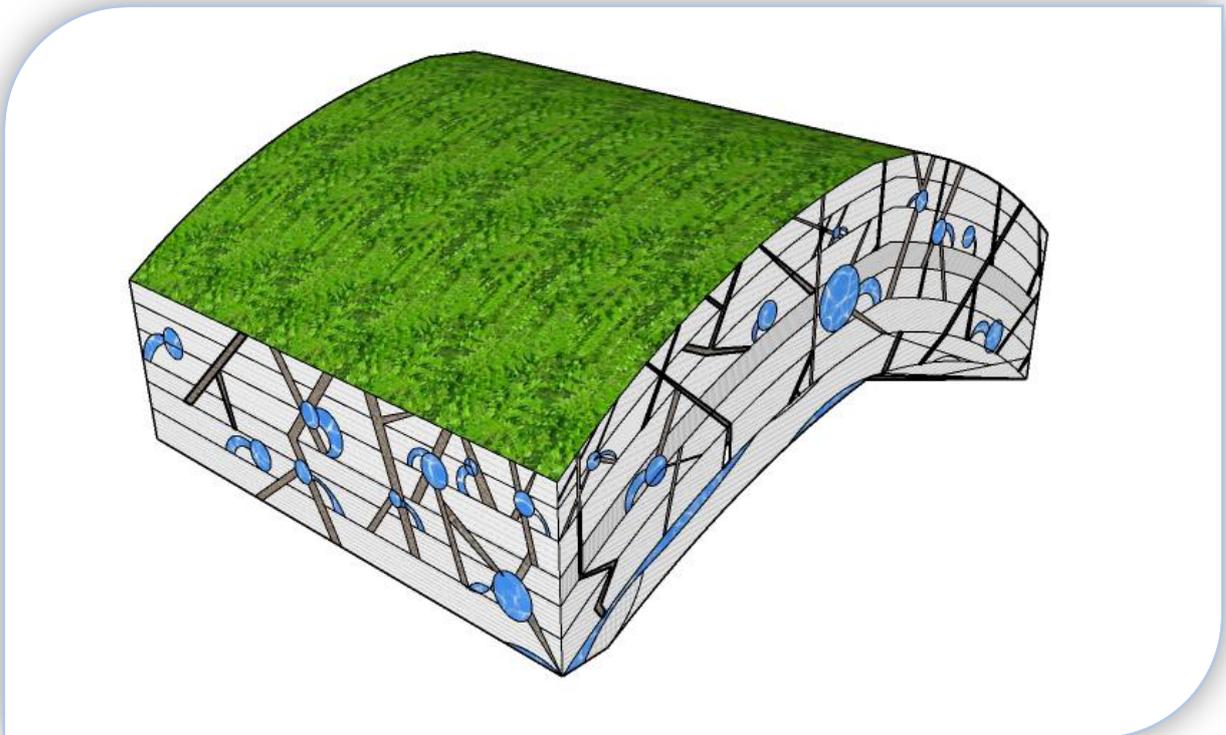


Figure V.04 : Vu 3D d'un milieu fracturé

1.4 Mécanisme :

Les roches naturelles qui constituent la matière du globe terrestre ont presque toutes subi des déformations au cours du temps. Ces dernières se manifestent sous des aspects qui peuvent être très différents. Elles peuvent être continues, c'est le cas des plis, ou discontinues comme le sont les failles et les fractures. Il arrive souvent que ces déformations soient si minimes que l'on ne peut les voir à l'œil nu.

Par contre, d'autres fois, elles entraînent des bouleversements très impressionnants tel que le déplacement de centaines de kilomètres cubes de matière sur une très grande distance. Les linéaments sont la répercussion en surface de ces phénomènes géologiques d'ampléurs diverses.

Lorsque la roche est déformée mais qu'il n'y a pas de cassure on parle de *plis*. Ils sont le résultat de la torsion et de la flexion de la roche soumise à de très fortes pressions pendant un laps de temps important. Dars [27], explique que lorsque la concavité d'un pli est tournée vers le bas, celui-ci est appelé anticlinal.

En revanche, si la concavité est tournée vers le haut, le pli est nommé synclinal. La figure V.04 illustre ces propos. Une couche plissée est toujours constituée d'une charnière et de deux flancs situés de part et d'autre de celle-ci. La charnière correspond à la ligne passant par les points de courbure maximale d'une couche. Comme les plis sont habituellement constitués de plusieurs couches superposées, il est commun de retrouver plusieurs charnières par plis.

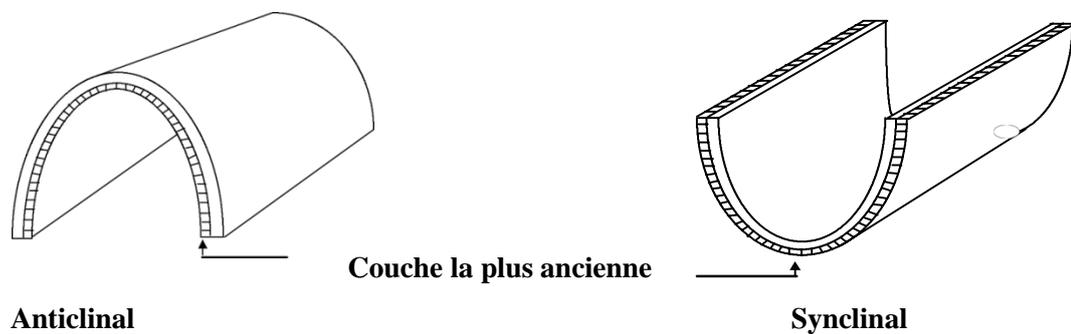


Figure V.05 : Différents types de failles simples [27]

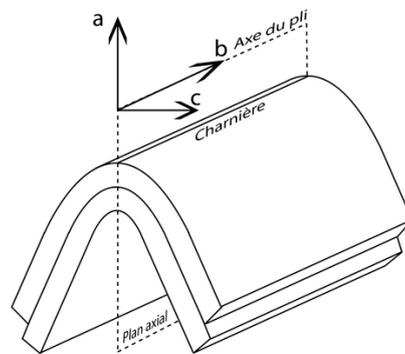


Figure V.06: Charnière

Lorsque la roche est soumise à de très fortes pressions ou à des pressions très soudaines, il arrive qu'elle se brise. Une *faille* est une cassure accompagnée d'un déplacement des blocs de matière situés de part et d'autre de la rupture. Les principaux types de failles sont représentés dans la Figure V.06 :

1. Les failles inverses sont le fruit d'une contrainte en compression qui fait se chevaucher les deux compartiments de matière rocheuse;
2. Les failles normales sont le résultat d'une contrainte d'extension qui a tendance à écarter les compartiments de matière rocheuse;
3. Pour les failles de type dit décrochement, le déplacement des compartiments l'un par rapport à l'autre se fait horizontalement.

Le rejet d'une faille est illustré dans la figure V.07. Il correspond à la valeur du déplacement relatif d'une couche dans le sens vertical. Lorsqu'une faille présente un rejet de faible valeur, il est facile de l'observer au sol. C'est lorsque le rejet devient important qu'une faille peut n'apparaître que vue de haut, comme par exemple d'avion ou encore sur des images obtenues par satellite.

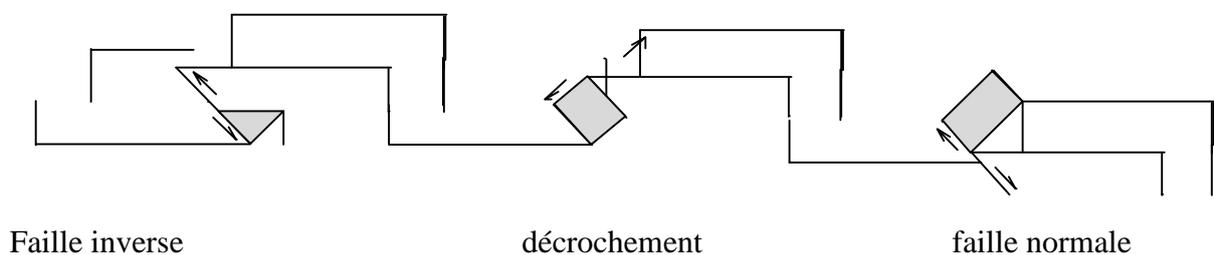


Figure V.07: Différents types de failles simples [27]

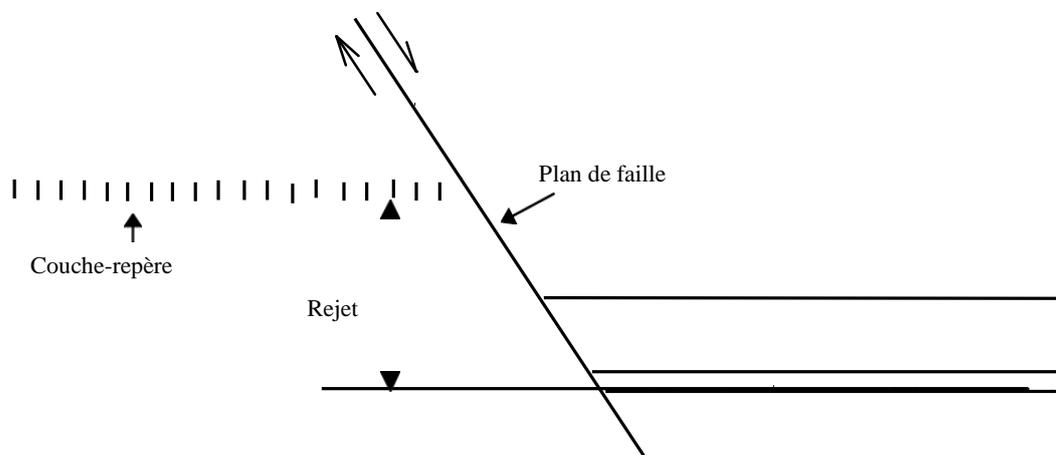


Figure V.08 : Rejet d'une faille [27]

1.5 Télédétection et hydrogéologie [15]:

Le terme télédétection est actuellement utilisé pour désigner la science, dont le but est l'étude de l'environnement terrestre au moyen des capteurs, qui sont localisés à bord de plates-formes aériennes ou spatiales. ces capteurs sont sensibles au rayonnement électromagnétique réfléchi ou émis par la surface de la terre ou par son atmosphère.

L'image satellite permet d'obtenir divers types d'information sur la surface de la terre. On distingue dans un premier temps, sur les photos satellites, les zones sèches, des zones humides ou noyées ainsi que la nature et la disposition de la végétation. Cette dernière peut donner des informations précieuses sur la distribution des eaux souterraines de faible profondeur.

Parmi les applications de la télédétection en hydrogéologie on a :

- Application à la recherche d'eau en milieu fissuré : l'expérience de ces dernières années a montré l'intérêt des images satellites pour la recherche des zones fissurées dont on a démontré le potentiel aquifère dans les régions de socle.
- Analyse du réseau hydrographique : Le réseau hydrographique qui est bien détecté dans les images satellites est élément caractéristique de la texture et de la structure, et constitue un critère important de l'interprétation. Les formes qui lui sont associées reflètent à des degrés variables la lithologie et la tectonique d'une région.
- Approche cartographique des formations géologiques : Cette phase vise à délimiter les différentes formations géologiques. L'identification des différents types des formations sur les images satellites est basée sur l'analyse des éléments de topographie, de morphologie, de texture et de densité, la distance de la végétation.

La méthodologie suivie comprend deux étapes :

- La première étape essentiellement cartographique, consiste à appliquer les méthodes de la télédétection pour répertorier les linéaments présents dans la région, puis à identifier les familles dominantes à travers des approches statistiques.
- La seconde étape, consiste en un essai d'interprétation des cartes linéamentaires, pour déterminer le lien entre la fracturation et son rôle probable dans la formation ainsi que dans l'alimentation de leurs aquifères

2. APPLICATION DE LA TECHNIQUE DE TÉLÉDÉTECTION POUR LA ZONE D'ÉTUDE :

La circulation des eaux et l'émergence des sources dépendent essentiellement du degré de perméabilité des roches, leur disposition spatiale, les unes par rapport aux autres, et de leur structuration tectonique. A cet effet, nous pouvons considérer la carte géologique comme un support convenable qui permet de reclasser les unités géologiques en fonction de leur type d'écoulement prédominant et de leur perméabilité qui découle de la nature lithologique des roches. Il faudra toutefois être plus prudent avec les informations structurales, notamment les fractures extraites de la carte géologique. En effet, la carte géologique ne permet pas de faire des distinctions entre les différents types de fractures et comprendre leur mécanisme de fonctionnement.

Pourtant ces informations sont primordiales pour expliquer l'apparition des sources, puisque seul le jeu extensif des failles récentes permet à l'eau d'accéder à la surface dans des endroits bien précis.

Pour appréhender le fonctionnement hydrogéologique et l'émergence de l'eau à la surface, on doit nécessairement faire appel aux images de télédétection et le positionnement spatial des sources; ceci afin d'analyser leur distribution spatiale en relation avec les mécanismes de fonctionnement des accidents tectoniques récents.

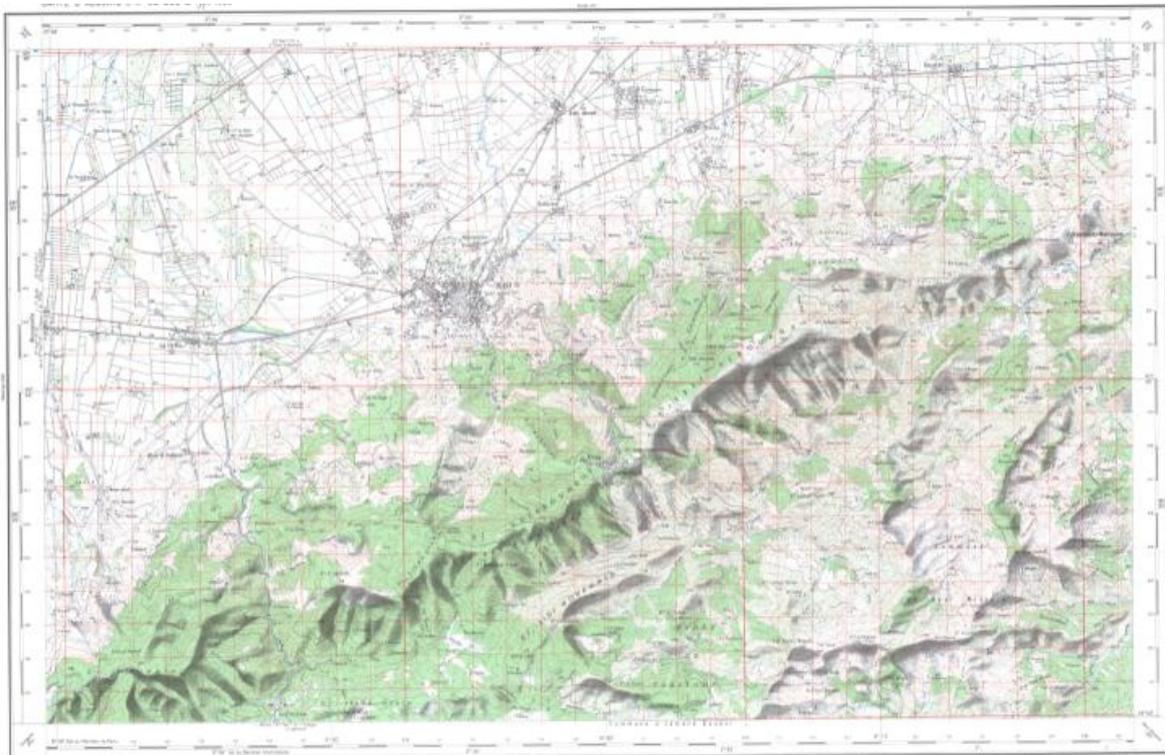


Figure V.09 : Ensemble topographique des monts de l'Atlas Blidéen (ANRH)

La carte ci-dessous est établit par l'ANRH et le BEEH dont elle s'est extraite par des méthodes de traitement et d'analyse des images Landsat 7ETM+.

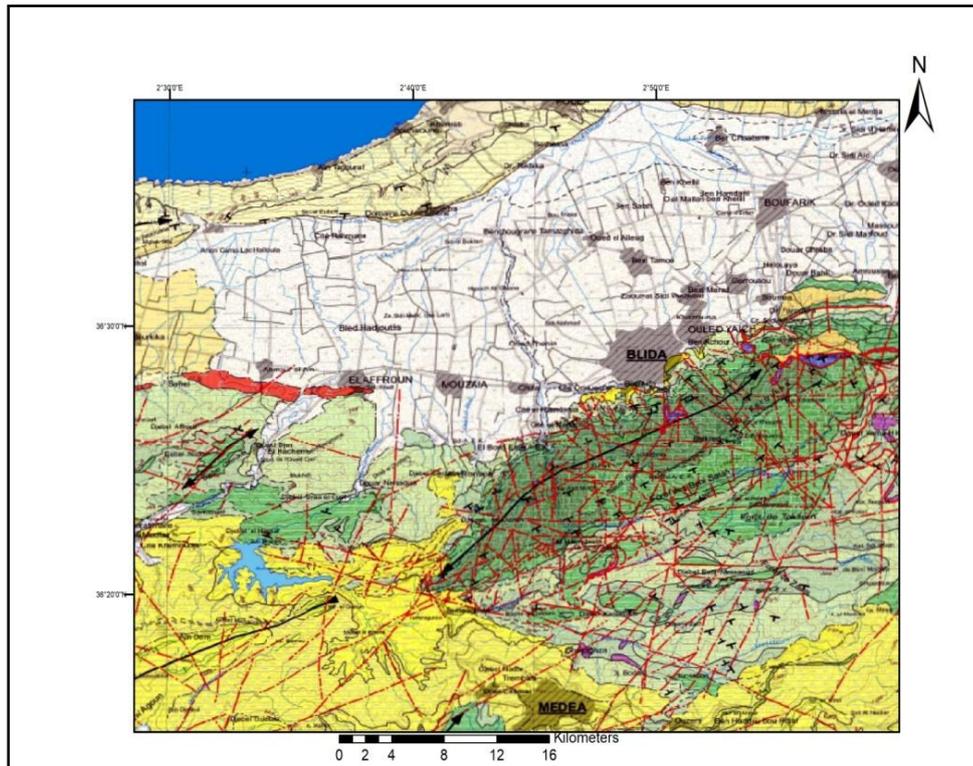


Figure V.10 : Carte géologique interprétative (ANRH.2008)

L'examen de la carte de fracturation (Figure V.10) montre que la répartition des principaux linéaments qui affectent les monts de l'Atlas Blidéen sont orientés selon les principales directions suivantes :

- Direction Sud-Ouest/ Nord-Est : C'est des longues failles principales qui prolongent la direction du massif des monts de l'Atlas blidéen.
- Direction Nord-Sud : C'est des courtes failles secondaires qui recoupent perpendiculairement les principales failles cités.
- Direction Nord-Ouest/ Sud-Est : C'est des courtes failles secondaires qui recoupent longitudinalement les principales failles citées.

L'analyse fréquentielle quantitative suggère que les courtes failles présentent le grand pourcentage de linéament.

3. RELATION ENTRE LA RÉPARTITION DES SOURCES, LES FRACTURES ET LES LINÉAMENTS :

L'examen de la répartition des différentes sources des deux secteurs du PNC (secteur central et secteur d'El Hamdania) montre la présence de trois types de répartition de sources (Figure V.11):

- Sources localisées au niveau de l'intersection de deux ou plusieurs fractures (Ch03, Ch05, Ch12, Ch17, Ch18, Hm1, Hm3, Hm4, Hm5, Hm6 ,Hm13, Hm14)..
- Sources localisées le long d'une seule fracture (Ch02, Ch04, Ch06, Ch09, Ch11, Ch14, Hm07, Hm09, Hm11, Hm12).
- Sources éloignées des fractures (Ch01, Ch07, Ch08, Ch10, Ch13, Ch15, Ch16, Hm02, Hm08).

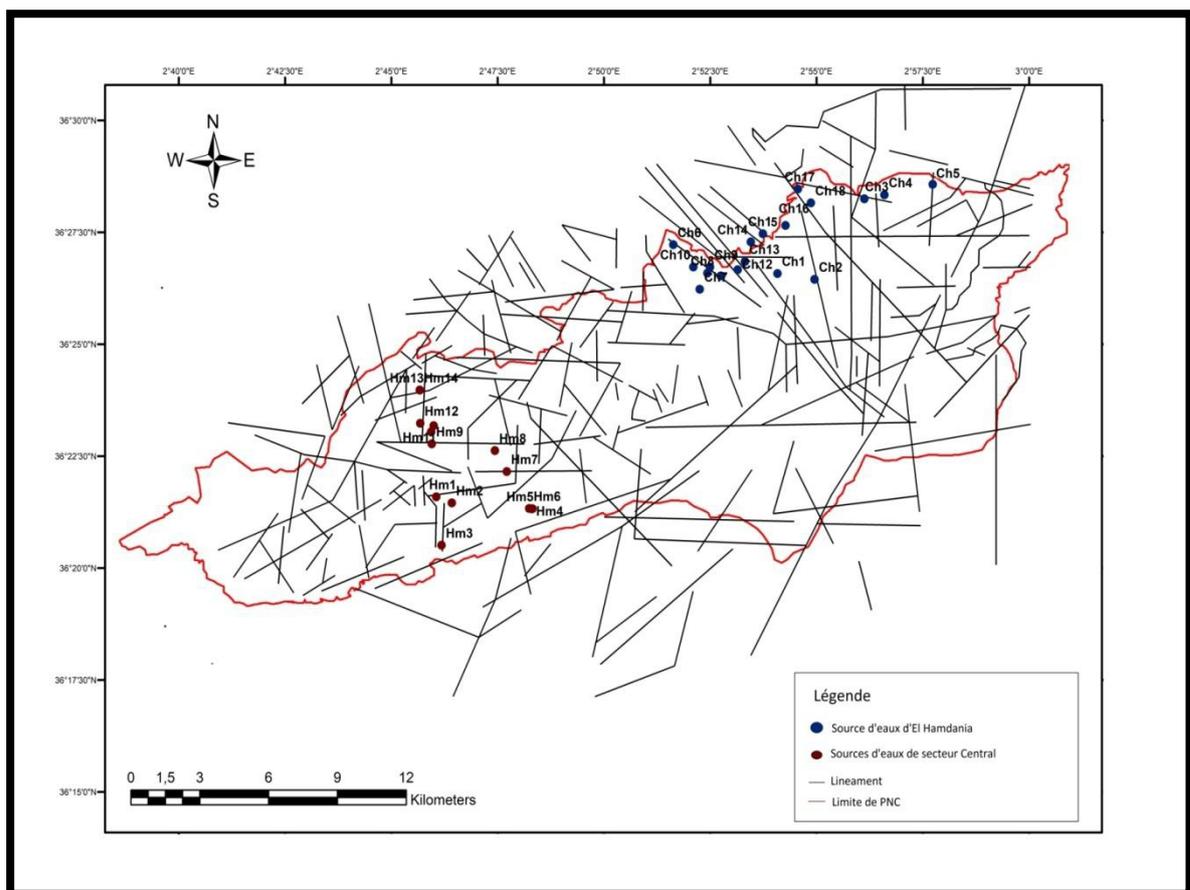


Figure V.11 : Localisation des points de sources dans la carte de fracturation

Le fonctionnement hydrodynamique de ces sources peut s'expliquer par deux processus :

→ Un processus de débordement (ou bien source de débordement) :

C'est le réseau de fracture qui serait saturé d'eau et déborde généralement en altitude (sources localisées au niveau de l'intersection d'une ou plusieurs fractures).

→ Un Processus de contact (ou bien source de contact) :

Généralement les sources émergent au contact d'une formation perméable et une formation imperméable (Sources éloignées des fractures). Pour nos sources, le contact se fait généralement entre les formations carbonatées (Calcaire et Marne) et des niveaux argileux.

Conclusion :

Comme la circulation des eaux à l'émergence de sources dépend essentiellement des degrés de fracturation, de perméabilité et leur disposition spatiale les uns par rapport aux autres, au vu de la lithologie qui compose les monts d'Atlas Blidéen (formation siliceuse, carbonatée, marneuse et argileuse) on peut considérer que le type de circulation est intimement lié à ce processus.

A la lumière de cette prospection nous pouvons penser que les monts d'Atlas Blidéen peuvent constituer un important réservoir d'eau au vu de la pérennité de l'écoulement des sources et des débits de celles –ci.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENRALE :

Les différentes approches utilisées dans le cadre de cette étude à savoir : hydrochimique, statistique, isotopique et structurale ont permis de définir les caractéristiques des eaux des sources émergentes des deux secteurs (Central et d'El Hamdania).

L'étude hydrochimique réalisée a abordé la question de l'origine de la minéralisation des eaux. Ainsi, la synthèse des données hydrochimiques montre que la qualité des eaux échantillonnées répond aux normes de potabilité avec une minéralisation faible à moyenne. Les diagrammes de Piper et Schöeller-Berkaloff montrent clairement la dominance du faciès bicarbonaté calcique des eaux. La variation de l'indice de saturation montre également que les eaux sont sous et légèrement saturées vis-à-vis la Calcite, la Dolomite, le Gypse et la silice.

Les diagrammes binaires ont montré la prédominance du calcium parmi les cations et celle des bicarbonates parmi les anions dont le couple Ca^{2+} - HCO_3^- donne une bonne corrélation ce qui suggère que l'origine de ces deux éléments est liée entre eux. En effet le mode d'acquisition de la minéralisation de ces eaux est régi principalement par les deux processus suivants :

- Eaux prélevées en altitude, elles acquièrent leur minéralisation par principalement l'équilibre entre le CO_2 dissous et les espèces carbonatées. Ce sont des eaux qui transitent rapidement dans les systèmes (émergence rapide).
- Eaux qui émergent à des altitudes dont le transit est plus long, donc interaction Eau-Roche plus forte et minéralisation plus grande. L'acquisition de la minéralisation est acquise principalement par dissolution.

L'ACP, à travers la projection des variables dans les principaux axes factoriels (F1*F2) a montré que la chimie de l'eau dans la région est plus affectée par les variables Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} essentiellement pour les deux secteurs. Cette étude met en évidence les liens existants entre les paramètres chimiques responsables de la minéralisation des sources d'eau du PNC.

Les teneurs en isotopes stables (^{18}O - ^2H) ont permis de caractériser les eaux des sources de deux secteurs et ont confirmé:

- Les eaux des sources situées en altitudes (1300m-900m) sont les plus appauvries et sont représentatives des eaux au plus actuelles ce qui dénote leur transit rapide (ce qui est conforme avec l'hydrodynamique).

CONCLUSION GENRALE :

- Les eaux de sources situées à des altitudes moyennes (600-900m) sont moins appauvris et montrent un caractère évaporé.
- L'effet de continentalité et donc d'altitude est bien affirmé.

Sur le plan structural, la carte de fracturation et des linéaments établie à l'échelle du massif, a permis de comprendre le fonctionnement hydrodynamique des sources. Deux (2) types de sources ont pu être identifiées :

- Sources de débordement.
- Sources de contact.

Au terme de cette étude et afin d'approfondir les connaissances sur le fonctionnement hydrodynamique à l'échelle des secteurs du PNC, nous recommandons :

- D'élargir la campagne de prélèvement à tous les points d'eau.
- De réaliser des campagnes de prélèvement (hautes eaux, basse eaux).
- D'appliquer les méthodes de traçage isotopique et de les généraliser puisqu'elles constituent un outil efficace.
- D'installer un réseau de surveillance en prélèvement des eaux pluviales en collaboration avec le PNC-CRNA-USDB.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[1] : Plan d'action décembre 2014 Parc de Chrea

[2] : Dahel ,Revue Agrobiologia 2015; N°7, 05-14

[3] : Plan Bleu pour l'environnement et le développement en Méditerranée Avril 2016 Estimation de la valeur économique et sociale des services rendus par les écosystèmes forestiers méditerranéens– Parc National de Chréa, Algérie

[4] : Guechoud Idir 2016, «Cartographie et structure de tacus baccata a chrea en relation avec la structure de l'espece dominante (cedre de l'atlas) » MAGISTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

[5] : mémoire Chouaib 2017

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

[7] : RODIER J. (1984). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris.

[8] : Wikipedia .

[9] : TOIhri Abdeldjbar 2012 : Doration des eaux des nappes du complexe terminal et de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla .Mémoire de magister, université KASDI MERBAH OURGLA .

[10] :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 Hadjer Lakhdar Batna.

[11] :JOURNAL OFFICIEL

[12] : <https://www.xlstat.com/fr/solutions/fonctionnalites/analyse-en-composantes-principales-acp>

[13] : Ricco RAKOTOMALALA, Université Lumière Lyon 2 Analyse en Composantes Principales (ACP)

[14] : bulletin du bureau de recherche géologique et minières 2eme série, section III N°4-1970 , Hydrogéologie qualité des eaux pollution 1ere partie

[15] :TAKORABT Mebarka,These de doctorat : APPROCHE DES FONCTIONS DE TRANSFERT ET DE STOCKAGE D'UN SYSTEME AQUIFERE HETEROGENE SOUS CLIMAT SEMI-ARIDE A ARIDE : EXEMPLE DES HAUTES PLAINES ORANAISE OCCIDENTALES.

[16] : NEZL IIMED EDDINE,ACHOUR SAMIA, HAMDIAISSA BAEHADJ 2009. Approche hydrogéochimique a l'étude de la fluoration des eaux de la nappes du complexe terminal de la basse vallée de l'oued M'ya (OUARGLA),Université de BISKRA.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[17] : MOHAMED Ahmed salem,2012 : Approches hydrodynamique et géochimique de la recharge de la nappe du Trarza,sud-ouest de la Mauritanie , These de doctorat, Université de Paris-sud,180p

[18] : Chorfi Hadjer , 2018 Rapport

[19] : A.S MOULA ,A. GUENDOOUZ ,M.EH. CHERCHALI , Z REGUIS Z.CHAID S.OUAREZKI , A.REZKA ,D.FETOUS : Aperçu de quelques résultats importants de géochimie isotopique obtenus pour les grands ensembles aquifères du Sahara Algérien .Centre de Recherche Nucleaire d'Alger ,Département de la Datation et du Traçage Isotopique , Université de Blida , Faculté des Sciences de l'Ingénieur ,Département de Génie Rural 170P

[20] :FEHDI Chemseddine¹ , BOUDOUKHA Abderrahmane² ,ROUABHIA Abdelkader¹ , SALAMEH Elias³ ,2009. Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet(Région Nord de Tebessa , Sud-Est algérien)¹ , Centre Universitaire de Tebessa , Institut des sciences de la terre² ,Université de Batna , Département d'hydraulique, ³Université of Jordan, Département of Géology , Amman , Jordanie.

[21] : **BANDOUI Mohamed Amine** , 2013 étude hydrochimique et isotopique secteur d'El Hamdania .Université de Blida 1 , Département d'hydraulique .

[22] :**Addinsoft,2005-2006** , Logiciel XLSTAT version 7.0 , 40 rue Damrémont 75018 PARIS

[23] :**H.zaki , M.Benlyas, Y.Filali Zegzouti, M.Bouachrine** .Methodologie générale d'une étude ACP : Généralités , concepts et exemples .

[24] : **Marc guerrien** L'intérêt de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la recherche en sciences sociales P181-192

[25] :**TOHIRI ABDELDJEAR,2012** . Datation des eaux des nappes du complexe terminal et de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla .Memoire de magister , université KADSI MERBAH .Ourgla

[26] : **Jessy Jaunat .2012** Caractérisation des écoulements souterrains en milieu fissuré par approche couplée hydrologie-géochimie-hydrodynamisme Application au massif de l'Ursuya (Pays Basque, France).

[27] : **Dars, R. (1992).** *La géologie* (1^{re} éd.). Paris : Presses Universitaires de France.

ANNEXES

Annexes

Normes de l'OMS 2006 :

Tableau 1 : paramètres avec valeurs indicatives (Normes de l'OMS 2006)

Types des Paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	PH		≥6.5 et ≤ 9.5
	Conductivité	μs/cm à 20 °c	Pas de norme
	Température	°C	acceptable
	Turbidité	NTU (1 pour la désinfection)	5

Tableau 2 : paramètres avec valeurs limites (Normes de l'OMS 2006).

Groupe de paramètres	Paramètre	Unités	Valeurs Limites(CMA)
Eléments indésirables	Aluminium(AL)	Mg/l	0.2
Minéralisation globale	Calcium (Ca ²⁺)	Mg/l	100
	Chlorures (Cl ⁻)	Mg/l	250
	Sodium (Na ⁺)	Mg/l	200
	Magnésium (Mg ²⁺)	Mg/l	200
	Potassium (K ⁺)	Mg/l	12
	Nitrates (NO ₃ ⁻)	Mg/l	50
	Nitrites (NO ₂ ⁻)	Mg/l	0.5
	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	Mg/l	400

Normes algériennes du ministre des ressources en eau depuis 9 mars 2014 :

Tableau 3 : paramètres avec valeurs indicatives (Normes algériennes du ministre des ressources en eau depuis 22 mars 2011)

Types des Paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physico-chimiques	PH		≥6.5 et ≤ 9.5
	Conductivité	μs/cm à 20 °c	2800
	Température	°C	25
	Alcalinité	Mg/l en caco3	500
	Calcium (Ca ²⁺)	Mg/l en caco3	200
	Chlorures (Cl)	Mg/l	500
	Potassium (K ⁺)	Mg/l	12
	Sodium (Na ⁺)	Mg/l	200
	Sulfates (SO ₄ ²⁻)	Mg/l	400
	Résidu sec	Mg/l	1500
	Turbidité	NTU (1 pour la désinfection)	5

Tableau 4 : paramètres avec valeurs limites (Normes algériennes du ministre des ressources en eau depuis 9 mars 2014)

Types des Paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs Limites
Paramètres chimiques	Aluminium(AL ⁺)	Mg/l	0.2
	Nitrates (NO ₃ ⁻)	Mg/l	50
	Nitrites (NO ₂ ⁻)	Mg/l	0.2
	Oxydabilité	Mg/l en O2	5
	Chlore (Cl ⁻)	Mg/l	5

Annexes

Tableau 5 :l'origine des éléments chimique des eaux

L'élément chimique	L'origine des élément
Calcium Ca ²⁺	Carbonates,gypse
Magnesium Mg ²⁺	Olivine, pyroxène, amphibole
Sodium Na ⁺	Argile, Feldspath , évaporite,déchets industriels,
Potassium K ⁺	Feldspath, les engrais,lesroches évaporitrique,
Bicarbonate Hco ³⁻	Interaction eaux-rohce-atmospher
Chloride Cl ⁻	porté par le vent,pluie,évaporitrique, eau de mer et prine naturelle.pollution..etc
Sulphate SO ⁴ ²⁻	Gypse, Anhydrite,eau de mer, oxydation de la pyrite,
Silice Sio ²	Roches silicaté,

BLIDA

FEUILLE NJ-31-III



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة الموارد المائية
Ministère des Ressources en Eau
الوكالة الوطنية للموارد المائية
Agence Nationale des Ressources Hydrauliques



CARTE DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES DU NORD DE L'ALGERIE

CARTE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE

On: participé à l'élaboration de cette carte:

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques:
Faiza Bouchama, Nadia Sai, Djida Khatti, Abdelhamid Achachi, Abdelkader Bekkadi, Rachid Djettou, Abdhak Ferdi, Rachid Grine, Abdelaziz Famdani

Bureau d'étude Energojekt - Hidroinzenjering:
Monsieur Vladimir Beličević Chef de projet et hydrogéologue, M. Bojović - topographe et SIG, G. Ljumbović - géologue, R. Pavlović - télédétection, R. Radić - hydrologue.

Monsieur Abdelmalek Ayad Chef de projet et Directeur du Département de l'Hydrogéologie.
Monsieur Rachid Taïbi Directeur Général de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

Cette carte a été réalisée sur la base des données disponibles à l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (cartes topographiques, géologiques, études géophysiques, hydrogéologiques et hydrochimiques) et des données recueillies auprès d'institutions nationales (INCT, ORGM, ONM, ANRH). L'apport des techniques de la télédétection a permis de pallier à l'absence d'information dans les zones non couvertes par les cartes géologiques.

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
40, Avenue Mohammed VI, Bir Mourad Rais-Alger-Algérie
Tél: +213 (0)21 5422558 Fax: +213 (0)21 5422542
Email: anrh@anrh.dz Site Web: www.anrh.dz

Edition: ANRH/2008

Légende des formations litho-stratigraphiques

A	Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles - sables, graviers, limons et argiles	E ₃	Éocène supérieur (Mammes, grès et calcaires gréseux)
Q ₁	Quaternaire (Holocène): Alluvions actuelles et récentes par endroit (éboulis des pentes et accumulation de piédomont (sables, graviers et argiles) et mollasses	E ₂ ¹	Éocène moyen (Lutétien supérieur): Marnes, argiles et localement conglomérats
Q ₂	Quaternaire (Holocène): Formations dunaires consolidées, quelques lamelles, poulingues et grès	E ₂ ²	Éocène moyen (Lutétien): Marnes argileuses et marno-calcaires
Q ₃	Quaternaire (Holocène): Formations dunaires consolidées, quelques lamelles, poulingues et grès	E ₁ ²	Éocène inférieur et moyen (Yprésien et Lutétien inférieur): Calcaires à silex et marno-calcaires, parfois à gypse
Q ₄	Quaternaire (Pleistocène inférieur/Villafranchien): Terrasses: argiles et cailloutis	E ₁ ¹	Éocène inférieur (Yprésien): Calcaires
PL _Q	Plio-Quaternaire: Cailloutis (grès et conglomérats) et marnes	K ₂ ⁴	Crétacé supérieur (Coniacien-Maestrichtien): Marnes grises et calcaires lits au sommet
PL ₁ ¹	Pliocène supérieur (Actien/Piscien supérieur): Calcaires gréseux, calcaires construits, grès, marnes jaunes, sables	K ₂ ³	Crétacé supérieur (Turonien): Calcaires massifs
PL ₁ ²	Pliocène supérieur (Pisancien/Piscien inférieur): Marnes, argiles et grès de base et calcaires lacustres	K ₃ ¹	Crétacé supérieur (Cinomanien): Marnes et calcaires
MI ₃	Miocène inférieur et moyen: Dacites et dacitoïdes	K ₃ ⁶	Crétacé inférieur (Albien supérieur): Calcaires en gros bancs et marnes
M ₁	Miocène moyen (Helvétien): Conglomérats	K ₃ ⁸	Crétacé inférieur (Albien): Schistes et quartzites
M ₂	Miocène moyen (Helvétien): Calcaires	K ₃ ⁵	Crétacé inférieur (Aptien): Marnes, schistes et calcaires
M ₃	Miocène moyen (Helvétien): Grès	K ₃ ^{5/6}	Crétacé inférieur (Aptien et Albien): Flysch - alternance de marnes, d'argiles et de quartzites et de grès
M ₂₊₃	Miocène moyen et supérieur (Vindobonien): Marno-calcaire et grès	K ₁ ¹⁴	Crétacé inférieur (Berriasien-Barrémien): Schistes et calcaires
M ₂₊₃	Miocène moyen et supérieur (Vindobonien): Grès et poulingues	K ₁ ¹⁴	Crétacé inférieur (Berriasien à Albien): Calcaires, brèches-poulingues
MI ₂	Miocène inférieur (Bardigalien): Tufs et costées	J ₃	Jurassique supérieur (Malm): Calcaires
MI ₂	Miocène inférieur (Bardigalien): Andésites	J ₂	Jurassique inférieur (Lias): Calcaires massifs et localement dolomitiques
M ₁ ²	Miocène inférieur (Burdigalien): Marnes	J	Jurassique (indéterminé): Série oolithique quartziteuse
M ₁ ⁷	Miocène inférieur (Burdigalien): Argiles	J	Jurassique (indéterminé): Calcaires
M ₁ ²	Miocène inférieur (Burdigalien): Grès et poulingues	T ₁₋₃	Trias inférieur et moyen: Calcaires, argiles et grès
M ₁ ¹	Miocène inférieur (Aquitainien): Cailloutis, argiles sableuses rougeâtres et conglomérats	T	Trias: Gypses, argiles et dolomies noires
M ₁	Miocène inférieur: Marnes gites avec tances de grès	P.T	Permio-Trias: Schistes, quartzites et conglomérats
M ₁	Miocène inférieur: Série continentale de conglomérats et de grès grossiers	P	Permien: Conglomérats à éléments siliceux, grès variés et argiles
M ₁	Miocène inférieur: Marnes et argiles	D	Dévonien: Schistes, microbrèches et grès
O ₁	Oligocène: Poulingues, marnes, marnes sableuses, grès et microbrèches	γPz	Paléozoïque: Micaschistes granitiques et gneiss granitiques (résultat de l'injection de la granulite)
O ₁	Oligocène: Grès et passées marnieuses	βPz	Paléozoïque: Gneiss
O ₁	Oligocène: Série des argiles à la base et grès au sommet	γPz	Paléozoïque: Granites

Légende des éléments linéaires - Télédétection

---	Limite déterminée
- - -	Limite supposée
→	Chevauchement déterminé
- - -	Chevauchement supposé
---	Faïte déterminée
- - -	Faïte supposée
---	Trace de stratification
---	Pençage de la couche

Signes topographiques

—	Road	BLIDA	Chef-lieu de la wilaya
—	Road secondaire	BOUADJOUT	Villes
—	Chemin	Chott et Sebkh	
—	Chemin de fer	Plan d'eau	
—	Courbe		
—	Oued temporaire		
—	Oued permanent		

Légende des signes conventionnels

---	Limite géologique - déterminée
- - -	Limite géologique - supposée
→	Chevauchement ou contact normal - déterminé
- - -	Chevauchement ou contact normal - supposé
---	Faïte déterminée
- - -	Faïte supposée
---	Trace de stratification
---	Pençage de la couche
+	Verticalité
+	Horizontalité
→	Anticlinale
←	Synclinal
---	Limite du PNC
●	Source d'eau de secteur central
●	Source d'eau de secteur d'El Hamdania

Tableau synoptique des feuilles

EPALZAÏNE NJ-31-II	BLIDA NJ-31-III	ALGER NJ-31-IV
TIARET NJ-31-VI	KIAR EL BOUKHARI NJ-31-VII	REDI ASSA NJ-31-VIII
AN DEHER NJ-31-IX	AFLOU NJ-31-X	DJELFA NJ-31-XI

Echelle 1/200 000

L'équidistance des courbes est de 50 mètres (maîtrises de 200m.)
Km 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5
Les amorces en bistre correspondent au quadrillage kilométrique
Système Géodésique Nord Sahara 1959 Projection MTU Fusées 31

