

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil et Hydraulique



N°Ref :

**Projet de Fin d'Etude préparé en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER**

Spécialité : Hydraulique Urbaine

**Approche Hydrogéologique et caractérisation hydro chimique
des eaux souterraines de l'aquifère superficielle de la plaine
Chott Theniet Sedra-Ain Yagout, wilaya de Batna, Est algérien.**

Réalisé par :

-Atma Khaoula

-Zouaghi Mayada

-Kinoucha Soumia

Soutenu devant le jury :

M. Moussouni Abderrazak

Président

Mme. Chebbah Linda

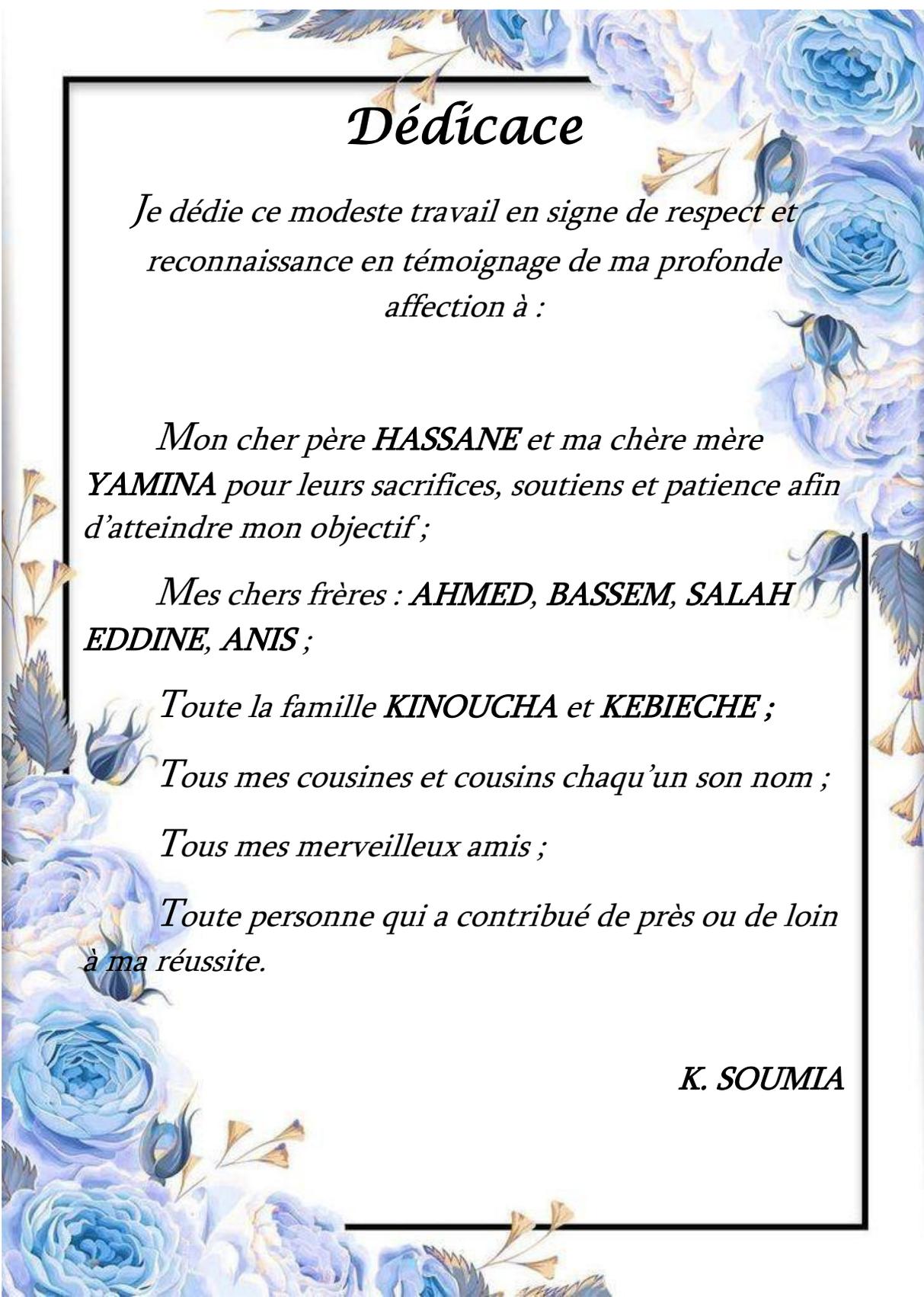
Examinatrice

Mme. Belalite Halima

Promotrice

Année universitaire : 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et
reconnaissance en témoignage de ma profonde
affection à :*

*Mon cher père **HASSANE** et ma chère mère
YAMINA pour leurs sacrifices, soutiens et patience afin
d'atteindre mon objectif ;*

*Mes chers frères : **AHMED, BASSEM, SALAH
EDDINE, ANIS** ;*

*Toute la famille **KINOUCHA** et **KEBIECHE** ;*

Tous mes cousines et cousins chaqu'un son nom ;

Tous mes merveilleux amis ;

*Toute personne qui a contribué de près ou de loin
à ma réussite.*

K. SOUMIA



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et
reconnaissance en témoignage de ma profonde*

Affection à :

*Mon cher père MOHAMED et ma chère mère
YASSINA pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur
tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de
mes études ;*

*Mes chères sœurs pour leurs encouragements
permanents, et leur soutien moral ;*

*Mes chers frères pour leur appui et leur
encouragement ;*

*Toute ma famille ZOUAGHI pour leur soutien
tout au long de mon parcours universitaire ;*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux
tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible ;*

Merci d'être toujours là pour moi.

Z. MAYADA

Dédicace

Je dédie ce modeste Travail :

A mon très Cher père mon vie "ABDELHAK"

Qui m'encourage Dans les instants délicats ;

A ma chère mère" HABIBA" source de tendresse ;

*A mes chères sœurs : IKRAM, ABIR, AMIRA,
KHADIDJA ;*

A toute ma Famille {ATMA} et la Famille {CHEBLI} ;

*Et un grand merci à l'ensemble de ma famille pour
leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur
soutien inconditionnel qui m'a permis de réaliser les
études pour lesquelles je me destine et par conséquent
ce mémoire*

*A mes chères amies : SAMIRA, RIMA, SARA,
NAHLA, AMIRA, ASMA, ASSIA, NOUHA, RAGHDA,
SOUMIA ;*

A tous mes amis.

ATMA KHAOULA



Remerciement

*Tout d'abord, nous remercions **ALLAH** de nous avoir donné la volonté et le courage d'entreprendre ce travail, en espérant qu'il sera utile de porter quelque chose à la science.*

*Nous tenons également à exprimer nos plus vifs remerciements et notre gratitude à notre encadreur : Madame **BELALITE HALIMA** pour ses orientations et ses conseils le long de l'élaboration de ce projet.*

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants d'option hydraulique urbaine qui étaient pour nous, un guide tout au long de notre vie universitaire.

Nous remercions les membres du jury de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé de ce travail de près ou de loin.



Nomenclature

Ca	Calcium
C.E	Conductivité Electrique
C.G.G	Campagne Générale de Géophysique
Cl	Chlorures
cm	Centimètres
°C	Degré Celsius
Dj	Djebel
ETP	Évapotranspiration Potentielle
ETPc	Évapotranspiration Potentielle Corrigée
ETR	Évapotranspiration Réelle
Ex	Excédent
F	Faille
HCO ₃	Bicarbonates
i	Gradient Hydraulique
<i>I</i>	Indice d'Aridité Annuel de De Martonne
I	Infiltration Efficace Moyenne Annuelle
K ^{at}	Koudiat
Kc	Coefficient d'Evapotranspiration d'une Culture
Km	Kilomètre
Km ²	Kilomètre Carré
K	Potassium
m	Mètre mg/l
mg/l	Milligramme par Litre

Mg	Magnésium
mm	Millimètre
Na	Sodium
NO ₃	Nitrates
NPK	Azote Phosphore Potassium
Ohm.m	Ohm mètre
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
P	Précipitation
PDAU	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
PH	Potentiel Hydrogène
R	Ruissellement
RFU	Réserve Facilement Utilisable
S. A. R	Sodium Absorption Ratio
S.E.V	Sondages Electriques Verticales
SO ₄	Sulfates
T	Température
μ.S/cm	Micro Siemens par Centimètre

Sommaire

Table des matières	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Remerciement	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Nomenclature	
Introduction Générale	01

Chapitre I – Généralités

Introduction	04
I. Etude physico-géographiques de la zone d'étude	04
I.1. Cadre Géographique	04
I.2. Réseau hydrographique	05
I.3. Géomorphologie	06
I.3.1. Couvert végétal	07
I.3.2. Climat	07
I.4. Aperçu Socio-économique	07
I.4.1. Population	07
I.4.2. Agriculture	07

I.4.3. Situation socio démographique	08
I.4.4. L'évaluation de la population	08
II. Caractères Physiques et Morpho-métriques des sous Bassins versants	08
II.1. Caractères Physiques	09
II.1.1. Indice de compacité ou coefficient de Gravelius	09
II.1.2. Rectangle équivalent	09
II.1.2.1. Longueur du rectangle	09
II.1.2.2. Largeur du rectangle	10
Conclusion	10

Chapitre II - Contexte Géologique

Introduction	11
I. Géologie locale	12
I.1. Analyse litho stratigraphique	12
I.2. Formations peu ou pas tectonisées	12
I.2.1. Les formations du Quaternaire	12
I.2.2. Les formations du Moi-Pliocène	14
I.2.3. Ensemble allochtone sud-Setifien	14
I.2.3.1. Crétacé inférieur	14
I.2.3.2. Jurassique supérieur	15
I.2.4. Les plis d'Ain Yagout	15
Conclusion	16

Chapitre III - Cadre Géophysique

Introduction	18
I. Problèmes et objectifs de l'étude de la C.G.G	18
II. Travaux effectués	18
II.1. Situation des sondages électriques	18
II.2. Echelle de résistivité	19
II.3. Interprétation des coupes géo-électriques	20
Conclusion	22

Chapitre IV - Cadre Climatologie

Introduction	23
I. Caractéristiques de Station de mesure	24
II. Paramètres climatique	24
II.1. Précipitation	24
II.1.1 Estimation la lame d'eau tombée sur la région d'étude dans la période (1989-2018)	26
II.1.2 Méthode arithmétique	26
II.2. Températures	26
II.2.1. Relation températures –précipitations	29
II.2.1.1. Diagramme Ombro-thermique	29
II.2.1.2. Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte	30
II.2.1.3. Indice de De. Martonne	31
II.2.1.4. Climato gramme de L. Emberger	32
III. Bilan hydrologique	34

III.1. Evapotranspiration	34
III.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP)	34
III.1.2. Evapotranspiration réelle ETR	35
III.1.2.1. Méthode de Coutagne	36
III.1.2.2. Méthode de Turc	36
III.1.2.3. Méthode de Verdeil	37
III.2. Calcul de l'ETR d'après le bilan hydrologique de THORNTHWAITE	38
III.3. Calcul du ruissellement (R) et de l'infiltration (I)	40
III.4. L'infiltration	41
Conclusion	42

Chapitre V - Contexte Hydrogéologique

Introduction	43
I. Etude piézométrique	43
II. Aquifère superficiel d'âge Moi-Plio-Quaternaire	43
II.1. Description des formations aquifères	43
II.2. Inventaire des points d'eau	44
II.3. Les cartes inventaires	44
II.4. Piézométrie	46
II.5. Interprétation des cartes	46
Conclusion	48

Chapitre VI - Cadre Hydrochimie

Introduction	49
--------------	----

I. Méthodes et stratégie de travail	49
I.1. Prélèvement	49
I.2. Chimie des eaux souterraines	50
II. Représentation graphique selon Piper	51
III. Analyses des paramètres physico-chimiques	54
III.1. Normes de potabilité	54
III.2. Etudes des paramètres physiques	55
III.2.1. La Température	55
III.2.2. La conductivité électrique	55
III.3. Cartographie hydrochimique	57
III.3.1. Le Calcium « Ca^{++} »	57
III.3.2. Le Magnésium « Mg^{++} »	59
III.3.3. Le Sodium « Na^{++} » et le Potassium « K^{+} »	61
III.3.4. Bicarbonates « HCO_3^{-} »	63
III.3.5. Sulfate « SO_4^{-} »	65
III.3.6. Les chlorure « Cl^{-} »	67
III.3.7. Les nitrate « NO_3^{-} »	69
III.4. Aptitude de l'eau à l'irrigation	71
III.4.1. Eaux à forte teneur en sodium	71
III.4.2. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de WILCOX (1948)	73
Conclusion	76
Conclusion Générale	77
Bibliographie	79
Annexes	81

Liste des Tableaux

Chapitre I – Généralités

Tableau 1 : Evaluation de la population	8
Tableau 2 : Calcul les paramètres géométriques des sous bassins de la plaine d'étude	10

Chapitre III – Cadre Géophysique

Tableau 3 : Echelle de résistivité (C.G.G, 1969 – 1970)	20
---	----

Chapitre IV – Cadre Climatologie

Tableau 4 : Caractéristiques des stations de la mesure	24
Tableau 5 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières en mm à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)	24
Tableau 6 : Répartitions des températures mensuelles et saisonnières en mm à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)	27
Tableau 7 : Répartition du rapport P/T aux stations Ain Skhouna (1989-2018)	30
Tableau 8 : Résultats de l'ETP corrigé selon Thornthwaiteaux stations Ain Skhouna (1989-2018)	35
Tableau 9 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Coutagne	36
Tableau 10 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc	37
Tableau 11 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Verdeil	37

Tableau 12 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite- Station Ain Skhouna (1989-2018)	39
Tableau 13 : Ruissellement selon la méthode de Tixeront et Berkaloff	40
Tableau 14 : Estimation de l'infiltration de la plaine d'étude	41

Chapitre VI- Cadre Hydrochimie

Tableau 15 : Répartition des faciès	52
Tableau 16 : Normes Algériennes de potabilité (JORADP N° 18 du 23 mars 2011)	54
Tableau 17 : Conductivité électriques des campagnes (2002, 2009,2015 et 2016)	55
Tableau 18 : variation de Ca^{++} « campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 ».	59
Tableau 19 : variation de Mg^{++} « campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 ».	61
Tableau 20 : Variation du $Na^{++}+K^{+}$ des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016	63
Tableau 21 : Variation des bicarbonates des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016.	63
Tableau 22 : Variation des So_4^{-} des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016	65
Tableau 23 : Variation des Cl^{-} « campagnes Juin2002-Mai2009-Mai2015 ».	67
Tableau 24 : Variation des nitrates des campagnes 2009, 2015 et 2016	69
Tableau 25 : Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.	72
Tableau 26 : Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.	74

Liste des Figures

Chapitre I – Généralités

- Figure 1 : Carte de situation de la zone d'étude « Chott Theniet Sedra-Ain Yagout » 05
- Figure 2 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude (redessiné par Auteurs 2023) 06

Chapitre II – Contexte Géologique

- Figure 3 : Carte géologique de Chott Theniet Sedra-Ain Yagout (Redessiné par Auteurs 2023) 11

Chapitre III – Cadre Géophysique

- Figure 4 : Carte position des sondages électriques de la C.G.G, 1969 – 1970 (redessiné par Auteurs 2023) 19
- Figure 5 : Coupes Géo-électriques C.G.G, 1969 – 1970 (Redessiné par Auteurs 2023) 21

Chapitre IV – Cadre Climatologie

- Figure 6 : Carte des types de climat en Algérie 23
- Figure 7 : Précipitation inter-mensuelles de la période 1989-2018 observée dans la Station d'Ain Skhouna 25
- Figure 8 : précipitations inter-saisonniers de la période 1989-2018 observée dans la Station d'Ain Skhouna 25

Figure 9 : Variation des températures moyennes inter-mensuelles à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)	28
Figure 10 : Variation des températures moyennes inter-saisonniers à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)	28
Figure 11 : Diagramme ombro-thermique de la station Ain Skhouna (1989-2018)	29
Figure 12 : Abaque de l'Indice climatique de De. Martonne 1923	32
Figure 13 : Climatogramme de L. Emberger	33
Figure 14 : Abaque de Verdeil	38

Chapitre V –Contexte Hydrogéologique

Figure 15 : Cartes inventaires des points d'eaux, campagne 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	45
Figure 16 : Cartes piézométriques de la nappe superficielle, campagne (2002, 2009, 2015 et 2016) (Redessiné par Auteurs 2023).	47

Chapitre VI- Cadre Hydrochimie

Figure 17 : Carte de localisation des points retenus pour les analyses chimiques 2002, 2009,2015 et 2016 (redessiné par Auteurs 2023).	50
Figure 18 : Répartition des faciès chimiques des eaux selon la classification de Piper 2002, 2009,2015 et 2016.	51
Figure 19 : Diagramme Losangique de Piper des échantillons analysées en (2002, 2009, 2015 et 2016).	53

Figure 20 : Cartes de conductivité des campagnes 2002 ,2009,2015 et 2016(Redessiné par auteurs 2023).	56
Figure 21 : Carte de Ca^{++} (mg/l) des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016(Redessiné par auteurs 2023	58
Figure 22 : Carte de Mg^{++} des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016(Redessiné par auteurs 2023).	60
Figure 23 : Carte de $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016(Redessiné par auteurs 2023).	62
Figure 24 : Carte de HCO_3^{-} des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).	64
Figure 25 : Carte de So_4^{-} des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).	66
Figure 26 : Carte de Cl^{-} des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).	68
Figure 27 : Carte de NO_3^{-} des campagnes 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023)	70
Figure28 : Diagramme du S.A.R des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.	73
Figure29 : Diagramme Wilcox des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.	75

Résumé

L'eau est une source rare, précieuse et indispensable, c'est le facteur moteur du développement industriel, touristique, agricole, urbain et rural à l'époque le problème c'est l'insuffisance quantitative de l'eau qui lui résout par la mobilisation des eaux de surface (mobilisation des eaux de surface et souterraines ainsi que les eaux non conventionnelles), mais le problème récent c'est qualitative, ça veut dire la dégradation du qualité d'eau à cause de l'augmentation des rejets urbaines et industrielles, sans oublié les changements climatiques accompagnés de sécheresse prolongées ont-ils crée une dégradation de qualité d'eau.

Ce travail s'articule autour de Six Chapitres, qui s'intéressent à l'étude de la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines de l'aquifère alluvionnaire de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout. La plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout fait partie des zones agro-pastorale Nord de la wilaya de Batna et appartient aux hautes plaines constantinoises. Elle se présente comme une cuvette d'effondrement entourée par des massifs. Le climat est semi-aride avec des hivers frais et printemps pluvieux et des étés secs. La précipitation moyenne annuelle dans la région d'étude est 319,7mm pour la période (1989-2018). La température annuelle moyenne est d'environ 15,73°C. L'évapotranspiration réelle calculée par la méthode TORNTHTWAITE est de l'ordre de 861mm. Une analyse litho-stratigraphique et structurale ainsi que l'exploitation des données géophysiques, constituent une étape primordiale pour préciser la nature et l'extension des différents aquifères existants à divers niveaux du bassin. Aussi, la cartographie piézométrique de la nappe superficielle est établie grâce à une étude critique basée sur les travaux réalisés quatre campagnes de « 2002, 2009, 2015 et 2016 », sur terrain. Vise à expliquer la fluctuation du niveau piézométrique.

Par ailleurs, considérant que les eaux souterraines sont influencées par les terrains qu'elles traversent et dans lesquels elles séjournent, l'étude hydrochimique vient pour compléter les résultats de l'hydrogéologie et de la géophysique. Les faciès, les plus répandus qui sont (chlorurés sodique et chloruré magnésien)

Mots clés : Aquifère, Hydrochimie, Hydrogéologie, Nappe, Piézométrique, Plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout.

ملخص

إن المياه مصدر نادر وثمين ولا غنى عنه، وهي العامل المحفز للتنمية الصناعية والسياحية والزراعية والحضرية والريفية، في الوقت الذي كانت فيه المشكلة هي نقص كمية المياه التي حلت عن طريق تعبئة المياه السطحية (تعبئة المياه السطحية والجوفية وكذلك المياه غير التقليدية)، ولكن المشكلة الأخيرة هي مشكلة نوعية، وهذا يعني تدهور نوعية المياه بسبب زيادة التصريف الحضري والصناعي، دون أن ننسى أن التغيرات المناخية المصحوبة بجفاف طويل الأمد قد أدت إلى تدهور نوعية المياه.

يتمحور هذا العمل حول ستة أجزاء تعنى بدراسة الخصائص الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في طبقة المياه الجوفية الغربية في سهل شوت ثنيت سيدرا- عين ياقوت سهل شط ثنيت سدرا عين ياقوت هو جزء من المناطق الزراعية الرعوية الشمالية من ولاية باتنة وينتمي إلى السهول العالية في قسنطينة. يبدو وكأنه حوض انهيار محاط بصخور ضخمة. والمناخ شبه جاف مع شتاء بارد وربيع ممطر وصيف جاف. ويبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي في منطقة الدراسة 319.7 ملم للفترة (1989-2018) ويبلغ متوسط درجة الحرارة السنوية حوالي 15.73 درجة مئوية. يبلغ التبخر الكلي الفعلي المحسوب بطريقة تورنثاويت حوالي 861 ملم. ويعد التحليل الصخري والتركيبى وكذلك استغلال البيانات الجيوفيزيائية، خطوة أساسية في تحديد طبيعة ومدى مختلف طبقات المياه الجوفية الموجودة على مختلف مستويات الحوض. كما تم تحديد رسم الخرائط البيزو مترية لمنسوب المياه السطحية من خلال دراسة نقدية على أساس العمل الذي قامت به الشركات الأربع في " 2002 و 2009 و 2015 و 2016" التي تم تنفيذها في الميدان. أهداف لتفسير تذبذب المستوى البيزو متري.

ومن ناحية أخرى، وبالنظر إلى أن المياه الجوفية تتأثر بالتضاريس التي تمر عبرها والتي تعيش فيها، فإن الدراسة الهيدروكيميائية تكمل نتائج الهيدروجيولوجيا والجيوفيزياء. الوجود الأكثر انتشارا هي (كلور الصوديوم والمغنيسيوم) **الكلمات الرئيسية:** طبقة المياه الجوفية، الكيمياء المائية، الهيدروجيولوجيا، جدول، البيزو متري، شط ثنيت سدرا- عين ياقوت.

Abstract

Water is a rare, precious and indispensable source, it is the driving factor of industrial, tourist, agricultural, urban and rural development at the time the problem is the lack of quantity of water which solved it by the mobilization of surface water (mobilization of surface and groundwater as well as non-conventional water), but the recent problem is qualitative, This means the degradation of water quality due to the increase of urban and industrial discharges, without forgetting the climate changes accompanied by prolonged drought do they create a degradation of water quality

This work is structured around six parts, which are concerned with the study of the hydrochemical characterization of groundwater of the alluvial aquifer of the plain Chott Theniet Sedra-Ain Yagout. The plain Chott Theniet Sedra-Ain Yagout is part of the northern agro-pastoral zones of the wilaya of Batna and belongs to the high plains of Constantine. It looks like a collapse basin surrounded by massive rocks. The climate is semi-arid with cool winters and rainy spring and dry summers. The average annual precipitation in the study area is 319.7mm for the period (1989-2018). The average annual temperature is about 15.73 °C. The actual evapotranspiration calculated by the TORNTHWAITTE method is of the order of 861mm. A lithostratigraphic and structural analysis, as well as the exploitation of geophysical data, is an essential step in determining the nature and extent of the various existing aquifers at various levels of the basin. Also, the piezometric mapping of the surface water table is established through a critical study based on the work carried out by the four companies of "2002, 2009, 2015 and 2016", carried out in the field. Aims to explain the fluctuation of the piezometric level.

On the other hand, considering that groundwater is influenced by the terrain it passes through and in which it lives, the hydrochemical study complements the results of hydrogeology and geophysics. Facies, the most widespread which are (sodium chlorinated and magnesium chlorinated)

Keywords : aquifer, hydrochemistry, hydrogeology, layer, piezometric, plain Chott Theniet Sedra-Ain Yagout.

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Tous les spécialistes en géostratégie ont déclaré que l'eau sera le déficit de XXI siècle, ce déficit est plus accentué en Algérie ; « climat aride, sécheresse et manque des ressources en eau superficielles ».

Les ressources en eau sont de plus en plus rares et la demande est en net augmentation dans tous les secteurs, principalement l'agriculture.

La plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout a connu une grande expansion agricole dans les dernières années, ce qui a provoqué une exploitation excessive et anarchique des ressources en eau souterraines.

Pour cela il nous a été attribué entre autre, et précisément l'étude de la caractérisation hydrochimique des eaux souterraines de l'aquifère Alluvionnaire de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout.

Cette étude a pour objectif principal l'étude des caractéristiques physico-chimique des eaux de la nappe exploitée superficielle de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout en se basant sur les données recueillis auparavant lors de divers travaux scientifiques associé aux connaissances du contexte géologique, géophysique, climatologique et hydrogéologique.

Présentation du sujet

Ce sujet à pour but la caractérisation hydrochimique des eaux sous terrains de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout située au Nord-Ouest de la ville de Batna.

Objet de l'étude

L'aquifère superficiel du Chott Theniet Sedra-Ain Yagout se trouve dans la matrice superficielle du Mio-Plio-Quaternaire est fortement sollicité par les pompages pour subvenir aux besoins extensifs agricoles. L'intensification du pompage et l'utilisation intensive des engrais azotés ont contribué à la dégradation de la qualité des eaux par augmentation de leur salinité et des teneurs en nitrates.

Le présent mémoire se propose d'une part de caractériser la qualité des eaux souterraines de plaine de Chott Theniet Sedra-Ain Yagout, et d'autre part, d'évaluer l'impact de l'activité anthropique sur la qualité des eaux souterraines dans la zone d'étude sur la base des procédés analytiques et statistiques.

Notre étude s'articule sur six chapitres :

Premier chapitre :

Présente un aperçu général sur la région de Theniet Sedra-Ain Yagout.

Deuxième chapitre :

Expose les différentes formations géologiques, la nature géomorphologique et les caractéristiques structurales de notre zone d'étude ; ce qui nous permet d'établir un document de base pour les autres études suivantes.

Troisième chapitre :

A pour objet, l'interprétation des données géophysiques, afin de mettre en évidence les formations géologiques susceptibles d'être aquifères et de connaître leurs géométries.

Quatrième chapitre :

S'intéresse à l'étude des principaux paramètres hydrologiques et climatiques, afin de déterminer les caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de la région et l'établissement du bilan hydrique.

Cinquième chapitre :

Est consacrée à l'étude de la piézométrie de l'aquifère superficiel du Chott Theniet Sedra-Ain Yagout.

Sixième chapitre :

S'intéresse à la caractérisation hydrochimique des eaux sous terraines de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout.

Chapitre I :

Généralités

Chapitre I - Généralités

Introduction :

L'analyse et l'étude des caractéristiques morpho-métriques d'un bassin versant constituent une plateforme pour la compréhension du comportement du bassin versant. L'activité anthropique, la forme, la superficie, le relief et les pentes influent sur l'infiltration et le ruissellement superficiel dans un bassin versant.

I. Etude physico-géographiques de la zone d'étude :

I.1. Cadre Géographique :

La wilaya de Batna fait partie des hauts plateaux, elle est située dans la partie orientale de l'Algérie entre les 4° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord. Elle est délimitée administrativement par les wilayas Suivantes comme suit :

- ✓ Au Nord par les wilayas d'Oum-El-Bouaghi, Mila, Sétif et Msila ;
- ✓ Au Sud par la wilaya de Biskra ;
- ✓ A l'Est par les wilayas de Khenchela et Oum-El-Bouaghi ;
- ✓ A l'ouest par la wilaya de Msila.

La commune d'Ain Yagout qui couvre la majeure partie de notre zone d'étude est située au nord-Est de la wilaya de Batna. Elle est distante d'environ 38 km du chef-lieu de la wilaya de Batna. Le chef-lieu de la commune est traversé par la route nationale N° 03 qui se relie Batna à Constantine. Elle est située aux coordonnées géographiques suivantes :

- 35°53'35"N ; 35°44'56''N
- 06°17'46"E ; 06°29'53"E

La plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout proprement dite appartient à l'ensemble géomorphologique des hautes plaines telliennes dans le bassin versant des hauts plateaux constantinois et plus précisément du sous bassin versant Sebket E Zemoul (07-03). Fait partie de la frange Sud-Ouest des hautes plaines constantinoises. Elle est comprise entre le Néritique constantinois au Nord et la zone atlasique (Atlas Saharien) au sud.

Dans ce travail, la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout s'étalant sur une superficie de 413 Km² et un périmètre de 88Km, délimité par les lignes de crêtes des monts cernant le bassin versant. Cette plaine est située à la limite entre les frontières Nord-Est de la Wilaya de Batna, qui occupe la majeure partie et à l'Ouest de la wilaya d'Oum-El-Bouaghi (Figure 1).

La plaine est à une topographie peu accidentée et semble être une dépression topographique cernée par monts et occupée suivant un axe diagonal SW-NE par des chotts de Taricht et Teniet Saida. Cette topographie favorise l'engloutement de la région pendant les hautes pluies et les crues et limitée topographiquement :

- Au Nord-Est par chott Tinsilt ;
- Au Nord par Dj. Guedmane ;
- Au Nord-Ouest par, Dj. Tizourit ;
- A l'Est par les monts d'Aïn Yagout, Dj. ElHaouia, Dj. Tarbennt, Dj. Azem ;
- Au Sud par Dj. Taфраout, Koudiat Tafouda.

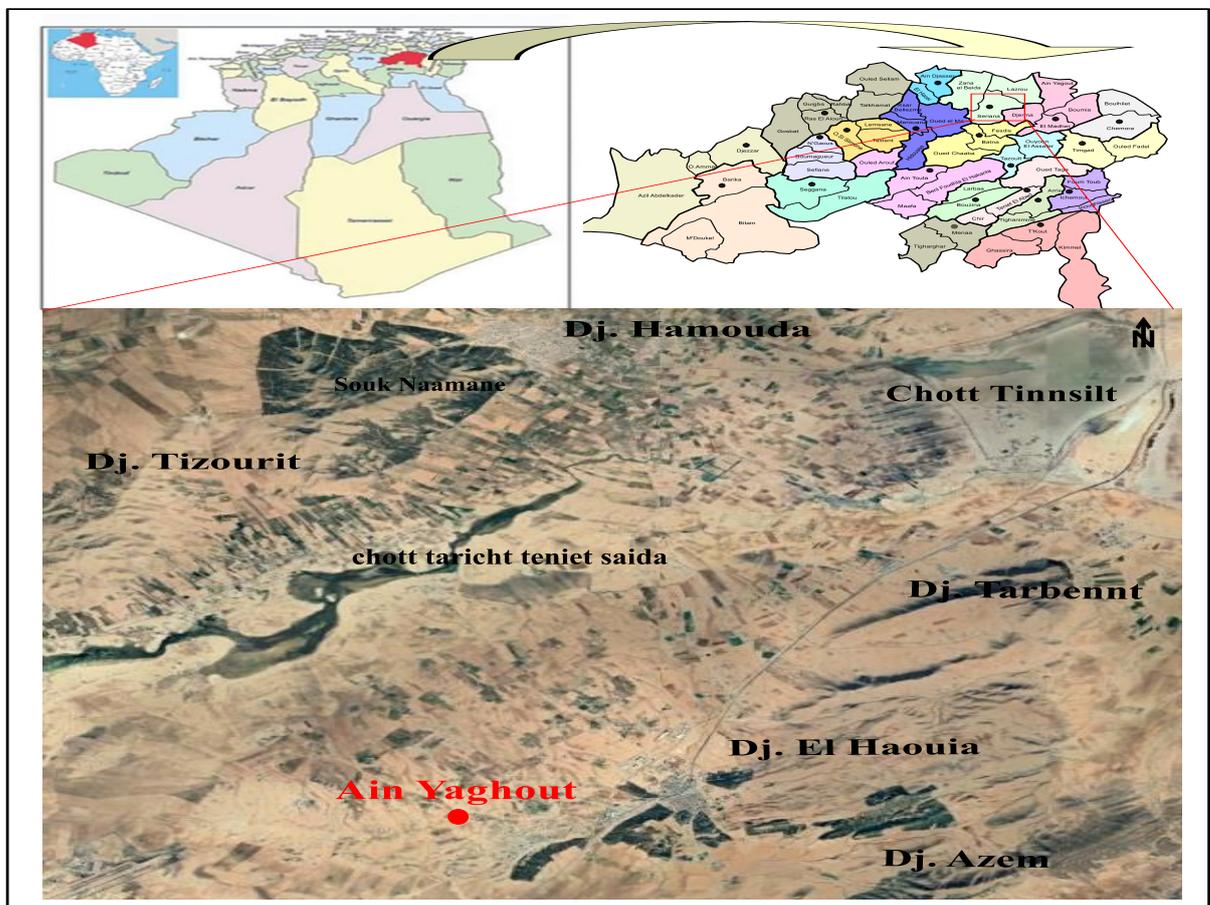


Figure 1 : Carte de situation de la zone d'étude « Chott Theniet Sedra-Ain Yagout »

I.2. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est peu développé et moins dense, lié à l'organisation des reliefs. La zone étudiée est marquée par la présence d'un ensemble de chotts (Chott Taricht Teniet Saida...), traduisant l'existence d'un système hydrographique endoréique [1].

Les cours d’eaux temporaires prennent naissance au niveau des hauts reliefs, tels que : Oued Merzeguene ; Oued Gadaïne ; Oued El Madher et Oued zerhaïb pour se déverser vers les chotts (Figure2).

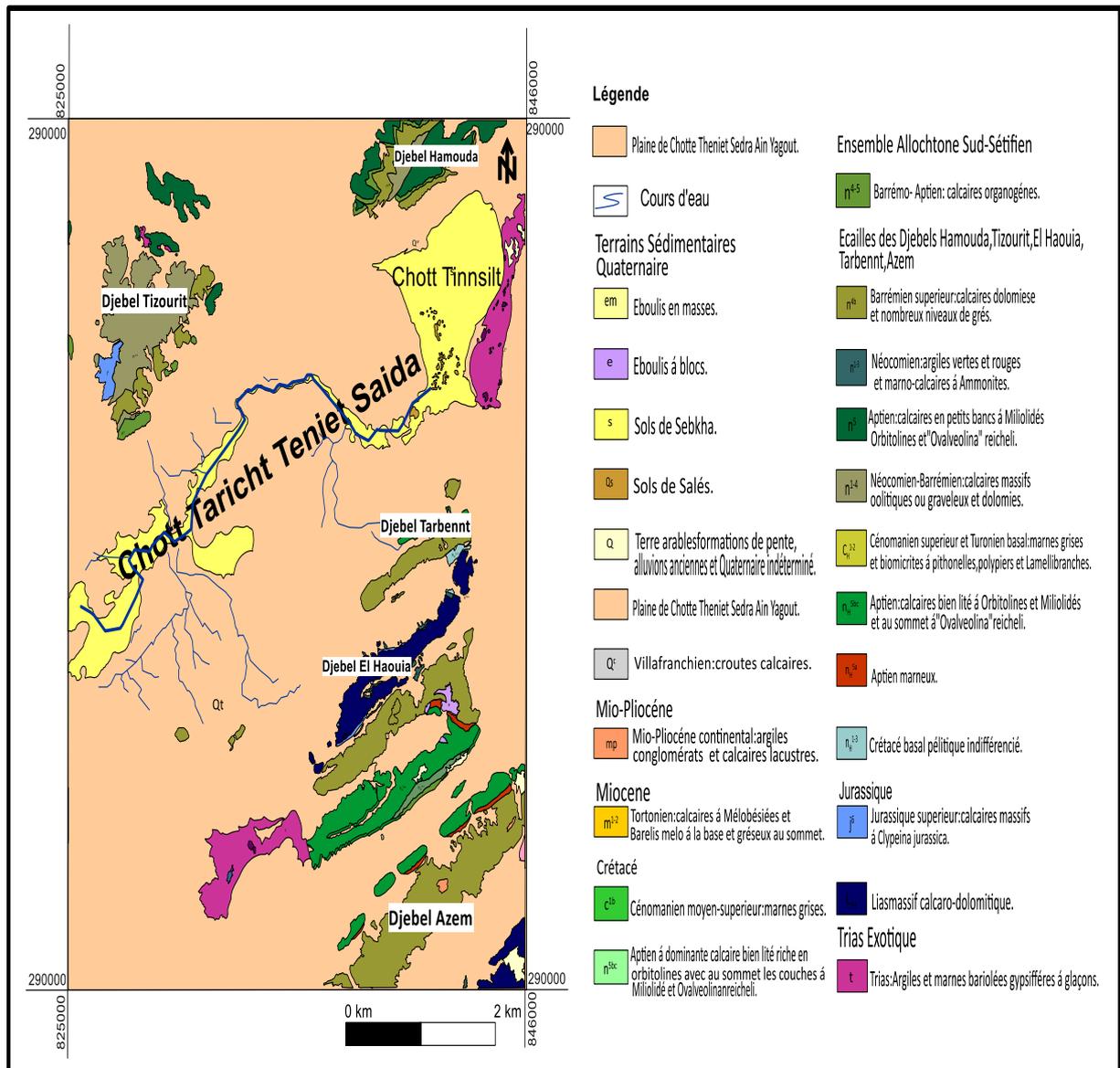


Figure 2 : Carte du réseau hydrographique de la zone d'étude (redessiné par Auteurs 2023)

I.3. Géomorphologie :

La morphologie de la plaine présente deux zones distinctes ; l'une d'effondrement formant la plaine de Chott Theniet Sedra-Ain Yagout et l'autre correspondant à un soulèvement proportion les massifs environnements. Cet effondrement et ce soulèvement sont liés à la tectonique cassante prédominante de la phase atlasique. La zone la plus basse est occupée par les chotts : Taricht Theniet Sedra (799m). La plaine est une cuvette entourée par une zone

surélevée correspondant à des massifs tels que : Djebel Guedmane (**1132m**), Djebel Tizourit (**1032m**), Dj. Tarbennt (**958m**), Dj. Tafraout (**1046m**) et les Monts d'Ain Yagout, qui ont une grande importance hydrogéologique.

I.3.1. Couvert végétal

Le couvert végétal maigre est le résultat direct de la faible pluviométrie et de la salinité des eaux et des sols. Les reliefs carbonatés de la région sont pratiquement nus et présentent une rare couverture végétale qui se résume en une maigre steppe à armoise (Chih et halophyte), diss et alfa. La steppe halomorphe se trouve aux abords des chotts. Quant à la plaine, elle est cultivée en majorité par les grandes cultures céréalières (orge, blé) ...

I.3.2 Climat

Le climat régnant sur la plaine est caractérisé par la distribution irrégulière des précipitations traduit à la fois l'exposition et le cloisonnement du relief, l'éloignement de la mer et aussi l'écran que constituent les chaînes les plus hautes de l'atlas saharien. A ce stade du travail, nous pouvons, toutefois, attribuer à titre indicatif le régime semi-aride à notre zone d'étude avec un été chaud et sec et un hiver froid et humide. Ce régime est caractérisé par la variabilité interannuelle des précipitations, où l'on remarque qu'une grande partie des pluies tombe sur cette zone en quelques semaines sous forme d'averses, et puis de grandes sécheresses s'annoncent après ces averses. La région est également caractérisée par une saison pluvieuse qui s'étale du mois de septembre (qui annonce l'arrivée des premières pluies de l'automne) jusqu'au mois d'avril ou parfois mai (qui annonce la fin de la saison humide et le début de la saison sèche).

I.4. Aperçu Socio-économique :

I.4.1. Population :

La région d'étude est constituée par des zones éparses rurales et un seul centre urbain qui est le chef-lieu de la commune d'Ain-Yagout. La majorité de la population est citadine et le reste est dispersé sur des mechtas parsemé dans la plaine.

I.4.2. Agriculture :

La région d'étude est à vocation agro-pastorale par excellence, avec un développement des cultures céréalières, des légumes, le tabac et les cultures maraîchages. L'élevage des bovins et des ovins est également présent. En effet la majeure partie des terres de la plaine étudiée est exploitée par les habitants qui y pratiquent la céréaliculture. Autour des quelques fermes, nous observons des petits jardins irrigués à partir des puits et forages, où sont cultivés des légumes et

du tabac. Par ailleurs, à proximité des chotts se développent parfois des plantes halophiles et des steppes à armoise (Halfa et Diss) qui servent assez souvent de lieux de pâturage aux troupeaux. [2].

I.4.3. Situation socio démographique

La commune d'Ain Yagout a obtenu le statut de commune le jour où l'administration Colonia a décidé d'ériger une caserne de gendarmerie près d'une fontaine (source d'eau dont on a tiré le nom), le 12 janvier 1957. La composition et les limites actuelles de la commune d'Ain Yagout sont fixées par le décret n°84/365 du 1 décembre 1984 [3]. La population d'Ain Yagout est de 10793 hab en 2008 [1].

I.4.4. L'évaluation de la population : à l'horizon de calcul considéré est calculée par la formule des intérêts composés :

$$P_f = P_0 \times \left(1 + \frac{\tau}{100}\right)^n \quad (1)$$

Où :

P_f : population future à l'horizon considéré (habitant) ;

P_0 : population de référence (habitant) ;

ζ : taux d'accroissement égal à 1.44 % (PDAU) ;

n : nombre d'année séparant l'année de référence et de l'horizon considéré.

La population future calculée est reportée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Evaluation de la population

Population/Année	2008	2020	2030
Ain Yagout	11201	13297	15341

II. Caractères Physiques et Morpho-métriques des sous Bassins versants

Cette parties 'inscrit dans le cadre d'une étude générale de l'influence des caractères physiques et morphologiques des sous bassins sur l'écoulement et ruissèlement (nature, forme, importance) d'un bassin versant. La forme, la superficie, le relief et les pentes influent sur l'infiltration et le ruissellement superficiel dans un bassin versant.

Pour notre zone d'étude la conjugaison des facteurs géographiques et climatiques a donné naissance à un écoulement endoréique ; l'eau s'écoule à l'intérieur de la plaine vers les dépressions qui constituent les principaux exutoires.

II.1. Caractères Physiques

Les caractères physiques d'un bassin sont très nombreux, on s'est concentré sur quelques caractères ; ainsi que sur les courbes hypsométriques.

Dans un bassin versant, on peut retenir trois caractères physiques principaux :

- la surface « A », exprimé en (Km²) ;
- L'indice de compacité, ou coefficient de Gravelius ;
- L'indice de la pente « Ip ».

II.1.1. Indice de compacité ou coefficient de Gravelius

La forme d'un bassin versant à une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue notamment sur la relation pluie-débit, ainsi un bassin très allongé (c'est-à-dire trois fois plus long que large) ne régira pas de la même façon qu'un bassin de forme ramassée, si les autres conditions sont par ailleurs égales.

En 1914, Gravelius a proposé le coefficient de compacité "compact coefficient" et d'autres auteurs [4], [5], [6], [7] ont également traité les paramètres morpho métriques des bassins versants.

Cet indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de Gravelius qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

Si A est la surface du bassin en Km² et P son périmètre en km, le coefficient K_C est égal à:

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} K_C = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

II.1.2. Rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est défini comme le rectangle de longueur « L » et de largeur « l » qui a de même surface (s), même périmètre (p), même indice de compacité K_c et même hypsométrie de bassin versant étudié. Il nous permet de comparer les bassins versants entre eux du point de vue influence de leur forme sur l'écoulement.

II.1.2.1. Longueur du rectangle

$$L = K_c \frac{\sqrt{S}}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right] \quad (3)$$

II.1.2.2. Largeur du rectangle

$$l = K_c \frac{\sqrt{S}}{1,128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{K_c} \right)^2} \right] \quad (4)$$

Les principales caractéristiques géométriques des sous bassins sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Calcul les paramètres géométriques des sous bassins de la plaine d'étude

Bassins versant	P (km)	S (km ²)	K _c	Rectangle équivalent		Forme de bassin versant
				L (km)	l (km)	
Ain Yagout	88	413	1,21	29,69	13,91	allongé

Les valeurs obtenues indiquent que la forme de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout est allongée. Cela intervient directement sur le temps de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement en provenance des diverses parties du bassin, à savoir le temps de concentration sera plus long et donnera plus de temps à l'infiltration des eaux de ruissellement vers le sous-sol et de même accroîtra l'évaporation des eaux de ruissellement et la prédominance de l'érosion régressive où l'existence de conditions structurales entraînant une érosion linéaire.

Conclusion :

La plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout fait partie des zones agro-pastorale Nord de la wilaya de Batna et appartient aux hautes plaines constantinoises. Elle se présente comme une cuvette d'effondrement entourée par des massifs dont l'axe de direction NE -SW est occupé par points les bas de la région. Le réseau hydrographique est endoréique et les cours d'eau temporaires prennent naissance au niveau des hauts reliefs pour se jeter dans les chotts. Le climat régnant est du type semi-aride et la végétation occupant la plaine est de type halophile et steppes à armoise avec une culture intense des céréales et d'élevage des bovins et des ovins.

Chapitre II :

Contexte

Géologique

Chapitre II - Contexte Géologique

Introduction :

La géologie constitue la base fondamentale de toute étude hydrogéologique, elle détermine les formations géologiques pouvant ou non constituer des aquifères à partir de leur lithologie ; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

La synthèse géologique de la région étudiée a été réalisée sur la base des documents suivants :

- ✓ Les cartes géologiques d'Ain Yagout (1/50 000).
- ✓ Les colonnes stratigraphiques des sondages effectués dans la région d'étude (logs des forages).

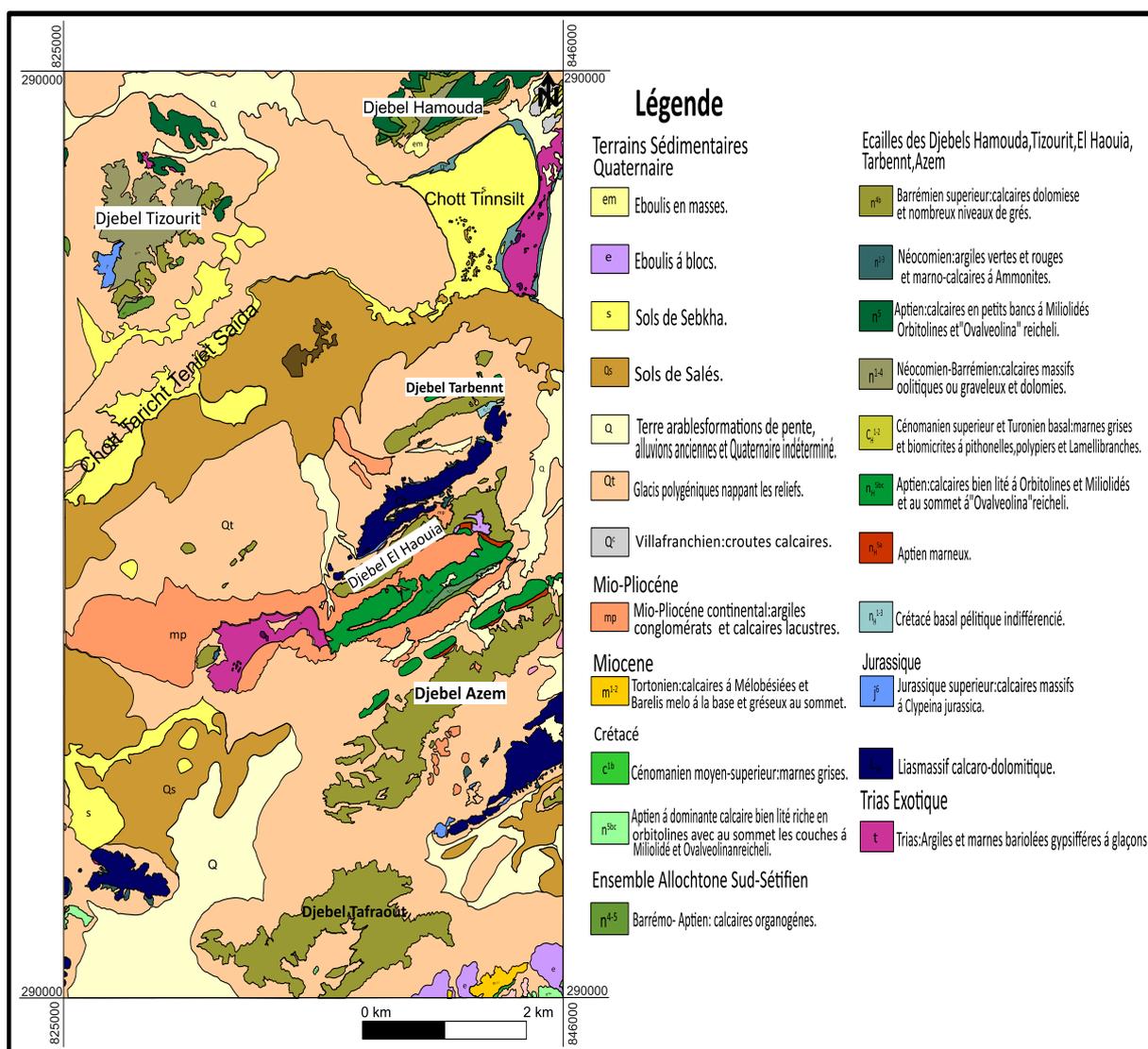


Figure 3 : Carte géologique de Chott Theniet Sedra-Ain Yagout villa 1980 (Redessiné par Auteurs 2023).

I. Géologie locale :

La géologie locale est subdivisée en deux unités principales :

- Au Nord, il s'agit de l'ensemble allochtone sud setifien composé par les écailles de Dj. Guedmane, Tizourit et Merzeguene d'âge Crétacé ;
- Au Sud et à l'Est, les reliefs appartiennent aux formations parautochtones et autochtones nord aurésiennes constituées par les écailles des monts d'Ain Yagout, Dj. Tafraout, Koudiat Tfouda et Dj. Sarif d'âge Jurassique-Crétacé ;

La plaine est occupée par un remplissage Mio-Plio-Quaternaire d'épaisseur variable d'une zone à une autre.

I.1. Analyse litho stratigraphique

A Partir de la carte géologique d'Ain Yagout, on se trouve la grande majorité de la zone, on peut constater 04 ensembles d'âge géologique différent, on cite :

- L'ensemble des terrains ou les formations sédimentaires sont peu ou pas tectonisées. Il est formé du Quaternaire avec de différentes formations, telles que les Quaternaire, Villafranchien, sol de sebkha et aussi du Mio-Pliocène ;
- L'ensemble de la nappe néritique constantinoise, avec un Aptien qui affleure ;
- L'ensemble allochtone Sud Setifien qui débute de l'Aptien au Jurassique supérieur ;
- L'ensemble Aurésien des séries para autochtones qui débute au Miocène jusqu'au Lias.

I.2. Formations peu ou pas tectonisées :

I.2.1. Les formations du Quaternaire :

➤ Eboulis(e)

Les éboulis à bloc (**e**) sont peu développés dans la région où les reliefs sont assez faibles en raison de la morphologie subaride ancienne forte, peu attaquée par l'érosion actuelle. Ces formations se situent en trace à endroits où pieds des Djebels Zana, Roknia, Hamouda, Tarbennt, Maaguel et Asaid et localisés sur le versant Nord du Djebel Sarif, qui sont apparus comme des vastes zones d'épandage de blocs.

Les éboulis en masse (**em**) sont localisés sur le versant Sud de Djebel Hamouda.

Les éboulis en gangue, visible qu'au pied du Djebel Metrassi.

➤ Sols de sebkha(s)

Ces vases sont périodiquement inondables surtout pendant la saison des pluies au chott Tinnsilt, recouvertes par des croûtes salines pendant la saison sèche au chott Taricht Theniet Saïda et chott Gadaïne. La végétation est réduite à de rares plantes halophytes.

➤ Limons salés périodiquement inondés (Q^{sr})

Ces limons bordent le chott Tinnsilt. Ils ont permis l'installation des salants des lacs, et représente de vastes zones incultes.

➤ Sols salés(Q^s)

Ils forment de vastes étendues plates à végétation caractéristique de ces sols (grosses touffes d'atriplex ou les salsolacées) et correspondent à d'anciens sols hydromorphes salés (limons salés) très mal drainés. Cette formation se disperse presque sur toute la plaine : chott Taricht Theniet Saïda.

➤ Terres arables, formations de pente, alluvions anciennes et Quaternaire indifférencié (Q)

C'est un ensemble occupant de vastes espaces sur notre région d'étude. Représenté par des limons et des gravies ont été rapportés sur lesquels se sont installés des sols bruns parfois à traces d'hydromorphie le plus souvent peu calcaires qui permettent la culture, propices aux cultures (terres à blé).

➤ Glacis polygéniques nappant les reliefs(Q^t)

C'est la forme de relief la plus caractéristique des hautes plaines setifiennes et Constantinoises. Ces glacis correspondent à des surfaces près des plaines et dont la pente augmente au fur et à mesure vers les reliefs. Ces formations ceinturent la base de toutes les montagnes autour de la plaine. Ils sont recouverts d'un matériel clastique faiblement calibré et très fragmenté vers le bas devenant plus anguleux et plus grossier au voisinage des reliefs.

➤ Villafranchien (Q^c)

Ce sont des croûtes calcaires, ces formations sont peu développées et limitées quelques hectares dans la plaine d'Ain Yagout [2].

I.2.2. Les formations du Mio-Pliocène :

➤Mio-Pliocène continental (mp) :

Il s'agit des calcaires lacustres mal stratifiés rosâtres ou blancs, des argiles jaunâtres sableuses et des conglomérats souvent mal cimentés jaunâtres ou roses. L'aire d'affleurement entre les monts d'AinYagout. Aucune faune n'ayant été découverte dans ce secteur [1].

I.2.3. Ensemble allochtone sud-Setifien :

Située au Sud et à l'Ouest de la nappe néritique Constantinoise, est considérée comme Autochtone par Savornin, 1920 et Glaçon, 1963. Dans ses travaux [8] met en évidence une ligne tectonique marquée par de légers chevauchements et des plis à déversement vers le Sud. C'est cette ligne qu'adoptera [9] et qu'il fera coïncider avec le contact anormal au front de l'ensemble Sud- sétifien. Les formations de cette unité forment les affleurements des Djebels Guedmane, Tizourit.

Selon [9], les unités Sud-Setifiennes sont relayées par celles des Sellaoua vers l'Est et par la nappe néritique constantinoise qui recouvre anormalement ces dernières vers le Nord-Est.

I.2.3.1. Crétacé inférieur :

➤Aptien (n⁵)

L'Aptien est composé d'une formation carbonatée de 150 m d'épaisseur en petits bancs et des micrites renfermant une microfaune représentée par des Orbitolines et des Miliolidés. Ces formations affleurent au Djebel Guedmane.

➤Barrémo-Aptien (n⁴⁻⁵)

C'est une corniche massive de calcaires organogènes compacts à cassure blanche marmoréenne riche en microfaune tels que : les lamellibranches et les échinodermes. Les principaux affleurements sont localisés au Djebel Guedmane.

➤Barrémien supérieur (n^{4b})

Ce sont des calcaires, des dolomies et de nombreux niveaux de grès. Au Djebel Guedmane la série possède des bancs marneux moins nombreux et des micros faciès riches en algues.

➤ Néocomien (n¹⁻³)

Ces formations se représentent par des argiles vertes et rouges et marno-calcaires à ammonites. C'est une série à dominance argileuse bariolée caractéristique, d'une centaine de mètres d'épaisseur. Le sommet de la série, un peu plus marneux contient une association hauterivienne à lenticulina.

➤ Néocomien-Barrémien (n¹⁻⁴)

Il est représenté par des calcaires massifs oolithiques ou graveleux et dolomies, cette formation se trouve au niveau des Djebels Tizourit, Guedmane.

I.2.3.2. Jurassique supérieur (j6)

Les travaux de [10] Sur la néotectonique des régions ouest-constantinoises montrent un ensemble Dogger-Malm entièrement dolomitique, le banc sommital présentant, selon [11], Celle-ci comporte selon Glaçon (1963), de la base vers le sommet et au-dessus des marnes toarciennes :

- Un premier ensemble formé successivement de dolomies noires, calcaires dolomitiques et calcaire correspondant peut-être au Dogger ;
- Un second ensemble, avec des dolomies, des calcaires coralliens et quelques calcaires argileux vers le sommet.

➤ Malm

Ce sont des calcaires massifs à *Clypeina jurassica*. La biomicrites à *Dasycladacés* formant la série jurassique dont le sommet apparaît à Djebel Guedmane sur 80 m environ près de Teniet Saïda. La série se complète vers la base par une cinquantaine de mètres de calcaire massifs au Djebel Merzeguene.

I.2.4. Les plis d'Ain Yagout :

Ces structures orientées du Sud-Ouest vers le Nord-Est correspondent à la frange septentrionale froissée de l'autochtone Aurésien. Le pli d'Ain Yagout est un synclinal déversé d'Ain Yagout jusqu'au Sud du Djebel Tarbennt. Sa terminaison périclinale Nord-Est, le seul visible est simplement coffré. Au Sud-Ouest, ce pli est terminé par une fracture récente au niveau de la K^{at} Hassi et Melah.

➤ **Aptien supérieur (n_H^{5bc})**

Représenté par des calcaires bien lités à Orbitolines et Miliolidés et au sommet à « Ovalveoinareicheli ». Il est organisé en une dizaine de grosses barres de calcaire bien lité en bancs métriques fins et riches en Miliolidés avec des intercalations d'oosparites bioclastiques brunes et des bancs dolomitiques ocre à jaunes. L'Aptien calcaire forme une barre de 350 m d'épaisseur. Il constitue l'arrête Nord des Djebel Tarbennt.

➤ **Aptien marneux (n_H^{5a})**

Il s'agit d'une série à dominance marneuse de 70 à 80 m d'épaisseur. A la base quelques intercalations gréseuses. Au sommet, on note la présence de quelques niveaux de marno-calcaire. Il affleure aux Djebel Tarbennt.

➤ **Crétacé basal pélitique indifférencié (n_H¹⁻³)**

C'est un ensemble argilo-pélitique avec de petits niveaux gréseux, très épais (800 m) et induit par la tectonique tangentielle, très sensible aux phénomènes de disharmonie, cette série est écrasée et schistosée au Djebel Tarbennt.

➤ **Lias massif calcaro-dolomitique (L_H)**

Il constitue le cœur des hauteurs du Rass Tarbennt et du Djebel Tarbennt Srhir du Djebel Sarif et du K^{at} Tafouda. Il est représenté par une épaisse série de calcaire, de dolomies et de marnes, pouvant atteindre 400m d'épaisseur.

➤ **Trias exotique ou extrusif (t)**

Il affleure à l'Est du chott Tinnsilt, près de Draa Gadaïne. Il est constitué de marne bariolée, de gypse bréchiqque et de calcaire dolomitique. Au sud de la ville d'Ain Yagout

Conclusion :

La géologie de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout est soulignée par l'association d'un substratum grésocarbonaté Jurassico-crétacée surmontée par une couverture terrigène transgressive Mio-Plio-Quaternaire. Les vastes étendues rencontrées entre les massifs montagneux sont constituées par des calcaires, des argiles, des conglomérats, des alluvions et des glacis polygéniques en particulier. Suivant de la nature lithologique du secteur étudié, nous avons classé ces formations en trois catégories :

- ❖ Les terrains perméables il s'agit des :
 - Formations détritiques d'âge Mio-Plio Quaternaire constituées de calcaire lacustre ;
 - Conglomérats et de dépôt de piémont ;
 - Les formations carbonatées Crétacé et Jurassique.
- ❖ Les terrains semi- perméables :
 - Les formations marno-calcaire du Cénomanién.
- ❖ Les terrains imperméables :
 - Les marnes bariolées gypseuses du Trias et les séries marneuses.

Chapitre III :

Cadre

Géophysique

Chapitre III - Cadre Géophysique

Introduction :

L'étude géophysique complète et confirme l'étude géologique et identifie les zones de potentialités aquifères. Cette définition est définie comme une contribution précieuse pour connaître le sous-sol.

Alors l'étude de la structure et la géométrie des aquifères de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout se fera par l'interprétation des résultats de l'étude géophysique réalisée entre l'an 1969 et 1970 par la Campagne Générale de Géophysique dans la plaine de Gadaïne-Ain Yagout.

I. Problèmes et objectifs de l'étude de la C.G.G (Compagne Générale de Géophysique) :

Le problème posé était de recherche les implantations possibles d'ouvrages hydrauliques dans la zone centrale des plaines, pour solliciter d'une part la nappe profonde du Crétacé ou du Jurassique, et d'autre part les aquifères éventuels du recouvrement, en vue de régulariser les exutoires existants.

Les objectifs d'étude étaient de :

- ❖ Déterminer la profondeur du substratum susceptible d'être aquifère ;
- ❖ D'étudier la tectonique de la région ;
- ❖ De déterminer l'extension du trias en profondeur et en surface ;
- ❖ Et sur tout de rechercher dans le remplissage tel que :(Calcaires lacustres, dépôts des piémonts, grés et conglomérats) les niveaux perméables possibles.

II. Travaux effectués :

II.1. Situation des sondages électriques :

La méthode adoptée dans l'étude de la C.G.G est celle des sondages électriques verticaux (SEV) avec les dispositifs quadratiques rectilignes AMNB de Schlumberger. Les longueurs du linge AB utilisés sont 1000 et 3000m. Environ 100 sondages électriques regroupés en profils orientés SE – NW et répartis dans la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout ont été exécutés (Figure 4).

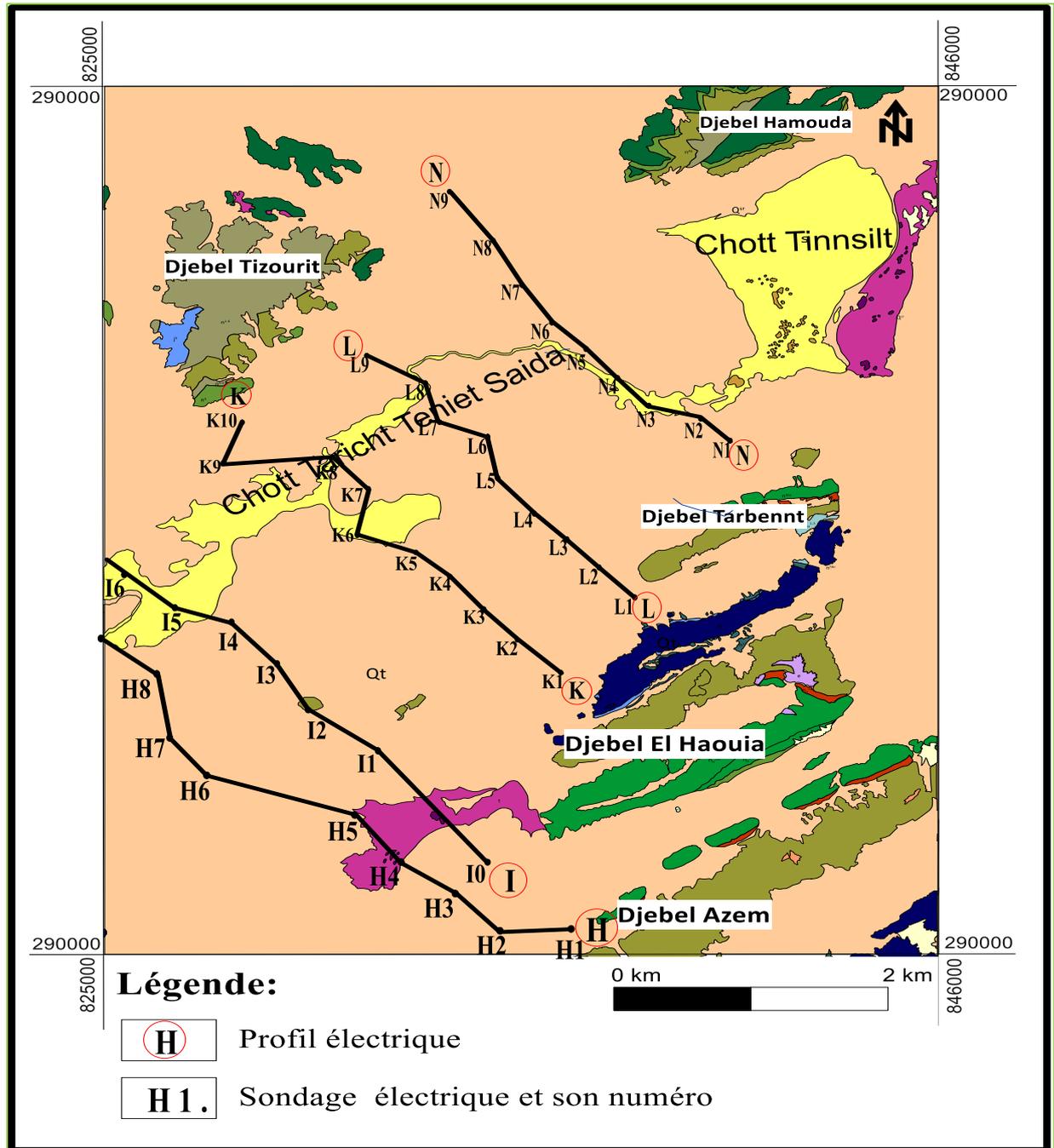


Figure 4 : Carte position des sondages électriques de la C.G.G, 1969 – 1970 (redessiné par Auteurs 2023)

II.2. Echelle de résistivité :

Les mesures pratiques et l'estimation statistique déduite de l'ensemble de sondages électriques, ont permis d'établir une échelle de résistivité.

Tableau 3 : Echelle de résistivité (C.G.G, 1969 – 1970)

Formations	Résistivité ($\Omega.m$)
Terrains salés des chotts	0,5_2
Argiles du Plio-Quaternaire	02_10
Sable argileux et graviers du Plio-Quaternaire	10-50
Calcaires lacustres du Pliocène	15_50
Marne miocène éventuelle non étalonnée	2_5
Conglomérats du Miocène (bordures des massifs)	100_150
Marnes du Sénonien	5_10
Calcaires du Cénomaniens ou du Turonien	100_150
Marnes cénomaniennes	2_5
Grès et calcaires du Crétacé inférieur	100_300
Marnes Valanginiennes	10_20
Calcaires jurassiques	100_500

II.3. Interprétation des coupes géo-électriques :

L'interprétation des coupes électriques permettent de déceler les contacts entre les formations résistantes et les formations conductrices. A partir des failles visibles au niveau des affleurements, on va pouvoir suivre leur continuité dans les dépressions par l'interprétation des coupes géo-électrique. Ces derniers ont été effectués à l'échelle verticale au 1/20.000 et à l'échelle horizontale 1/50.000.

L'examen des coupes géo-électrique (Figure 5) effectuées dans la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout, nous permet de constater la disposition suivante :

- Les formations très résistantes ont une résistivité qui varie entre (100 – 300) $\Omega.m$, elles correspondent aux calcaires et aux dolomies du Crétacé et du Jurassique ;

Contexte Géophysique

- En surface, cette étude montre que ces formations présentent une structure plissée sous forme de Djebels tels que : Dj. Merzeguène et des synclinaux comme la plaine de Chott Theniet Sedra-Ain Yagout ;

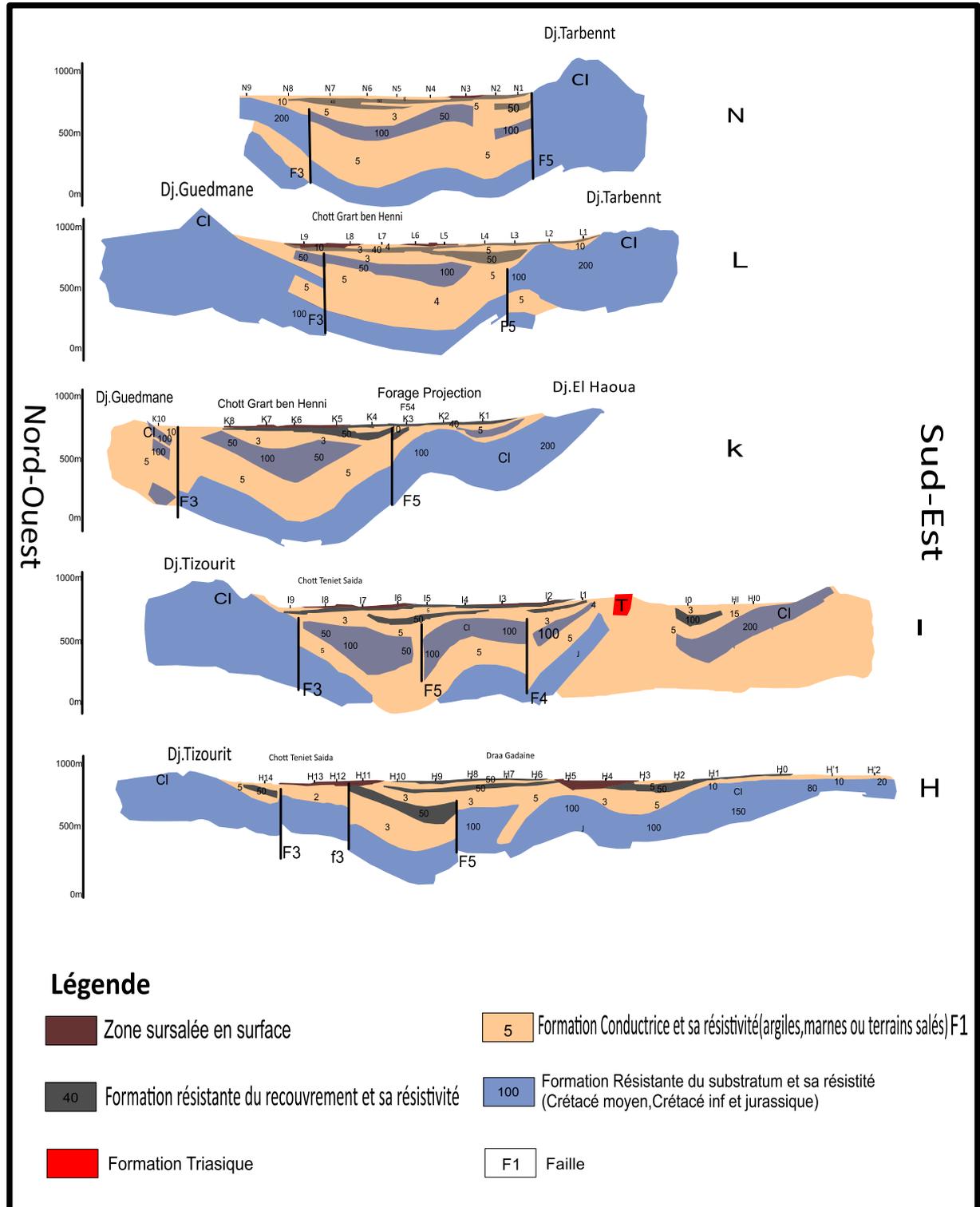


Figure 5 : Coupes Géo-électriques C.G. G, 1969 – 1970 (Redessiné par Auteurs 2023)

- Ces structures présentent des accidents transversaux importants de direction S.W-N. E (F3, F4 et F5) provoquant la remontée du substratum ;
- Les formations résistantes sont séparées en certains endroits les unes des autres par des formations conductrices de 3 à 5 Ω .m ces derniers correspondent aux argiles et aux marnes de l'Albien et du Néocomien. On note également l'existence de formations Triasique à Ain Yagout ;
- Le recouvrement est constitué par des formations conductrices (Argileuses) peu profondes en bordure de la plaine, par contre il est très profond (plus de 500 m) dans les zones de subsidences et sous les formations résistantes ;
- Notons enfin une zone sur salée en surface, ayant des résistivités très faibles de l'ordre de 0.5 à 2 Ω .m.

Conclusion :

L'interprétation de l'étude géophysique de la C.G.G réalisé entre 1969 et 1970 dans la plaine de Theniet Sedra-Ain Yagout a apporté des informations concernant l'ensemble des aquifères Mio-Plio-quadernaire et les aquifères profonds Crétacé-Jurassique.

- ✓ Les formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique constituent l'aquifère Profond, il est facilement exploité près des massifs et sur les horsts
- ✓ Les formations de remplissage Mio-Plio-quadernaire correspondant aux conglomérats, calcaires lacustres, marnes et argiles.
- ✓ Le recouvrement est en général conducteur et contient quelques intercalations plus résistantes.
- ✓ Des failles, dont le rejet peut excéder 100 m, longent les plateformes peu profondes situées en milieu des affleurements calcaires au Nord Est et au Sud-Ouest, de la plaine de Theniet Sedra-Ain Yagout.

Chapitre IV :

Cadre

Climatologie

Chapitre IV - Cadre Climatologie

Introduction :

En Algérie, le plus grand pays de l'Afrique, il existe trois types de climat : le climat méditerranéen le long de la côte (zone 1 sur la carte Figure 6), le climat de transition de la bande collinaire et montagneuse du nord, un peu plus continental et modérément Pluvieux (zone 2), et enfin le climat désertique de la grande surface occupée par le Sahara (Zone 3).

L'étude des caractéristiques climatologiques joue un rôle très important dans la connaissance du comportement hydrologique des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela, l'élaboration du bilan hydrique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface, en se basant sur l'étude de l'évaporation et du ruissèlement, par conséquent elle détermine le taux d'infiltration nécessaire à l'alimentation et renouvellement notamment des aquifères superficiel par les pluies.

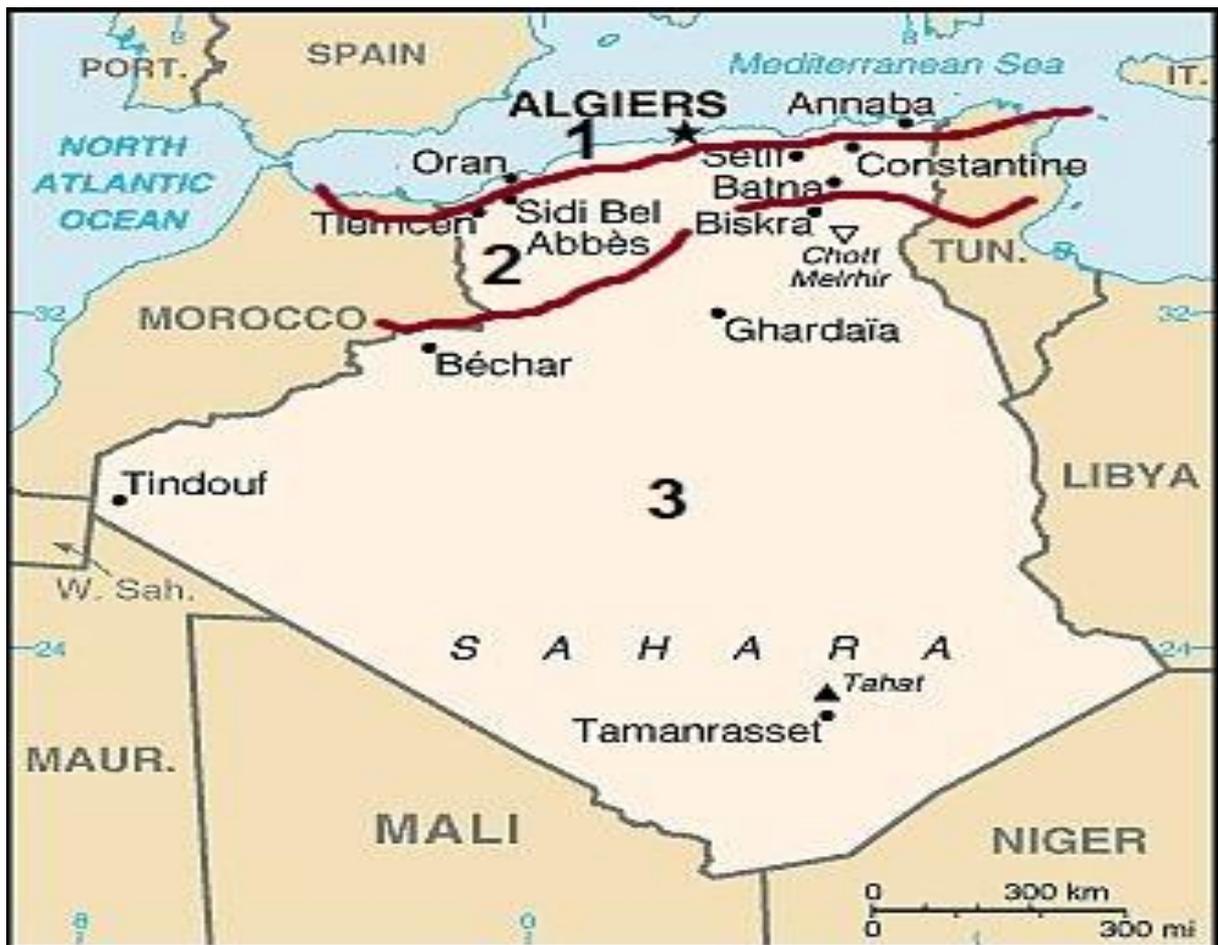


Figure 6 : Carte des types de climat en Algérie.

I. Caractéristiques de Station de mesure :

Dans cette étude, on va travailler avec les données climatiques des stations pluviométriques implantées dans la région d'étude. Les données climatiques s'étalant sur une période de 29 ans comprise entre 1989 et 2018.

Tableau 4 : Caractéristiques des stations de la mesure

Station	Longitude	Latitude	X (degré décimal)	Y (degré décimal)
Ain Skhouna	6° 3'20.88"	35°42'56.88"	6,05581	35,71581

II. Paramètres climatique :

II.1. Précipitation :

Dans l'établissement du bilan hydrique, les précipitations constituent le facteur essentiel parce qu'elles jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des eaux superficielles et souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes.

Tableau5 : Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières en mm à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Ain Skhouna	33,1	25,5	23,4	27,8	30,7	23,5	31,2	36,7	42,2	16,9	6,6	22,1
	82			82			110,1			45,6		

Le tableau N 5 illustre les variations des précipitations mensuelles pour la station d'Ain Skhouna sur 29ans d'enregistrement. On remarque d'après les courbes graphiques (Figure 7) :

- Le mois le plus arrosé est le mois de Mai avec une précipitation moyenne mensuelle de 42.2mm.
- Le mois le moins arrosé est le mois de Juillet. Avec une précipitation moyenne mensuelle égale à 6.6 mm.

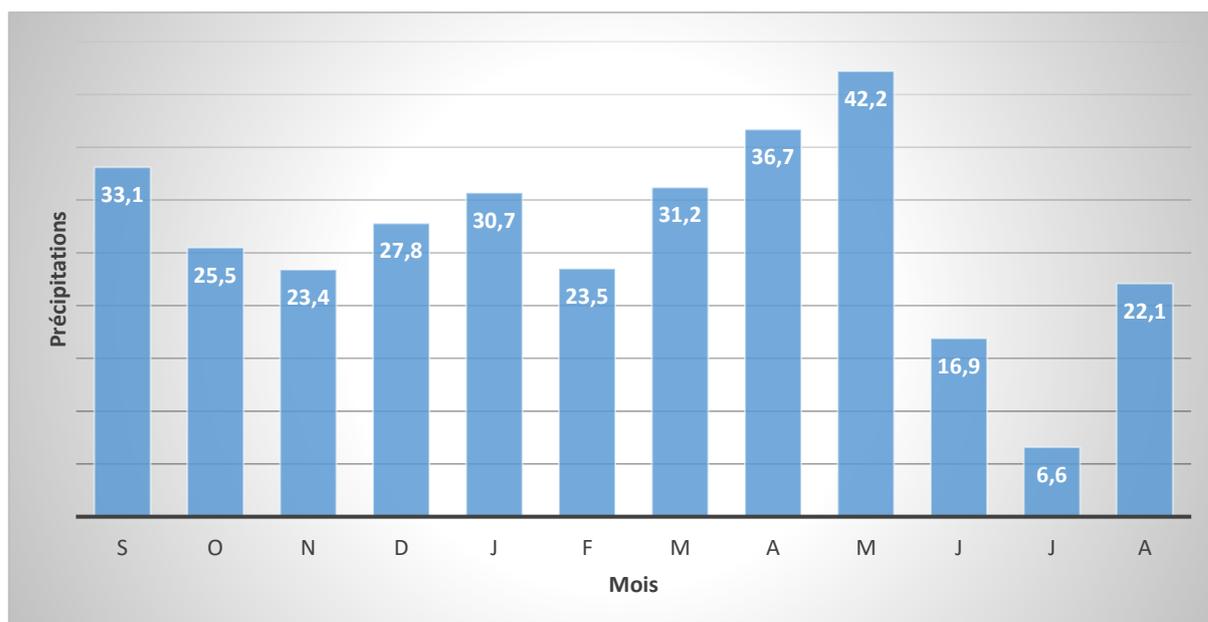


Figure 7 : Précipitation inter-mensuelles de la période 1989-2018 observée dans la Station d'Ain Skhouna

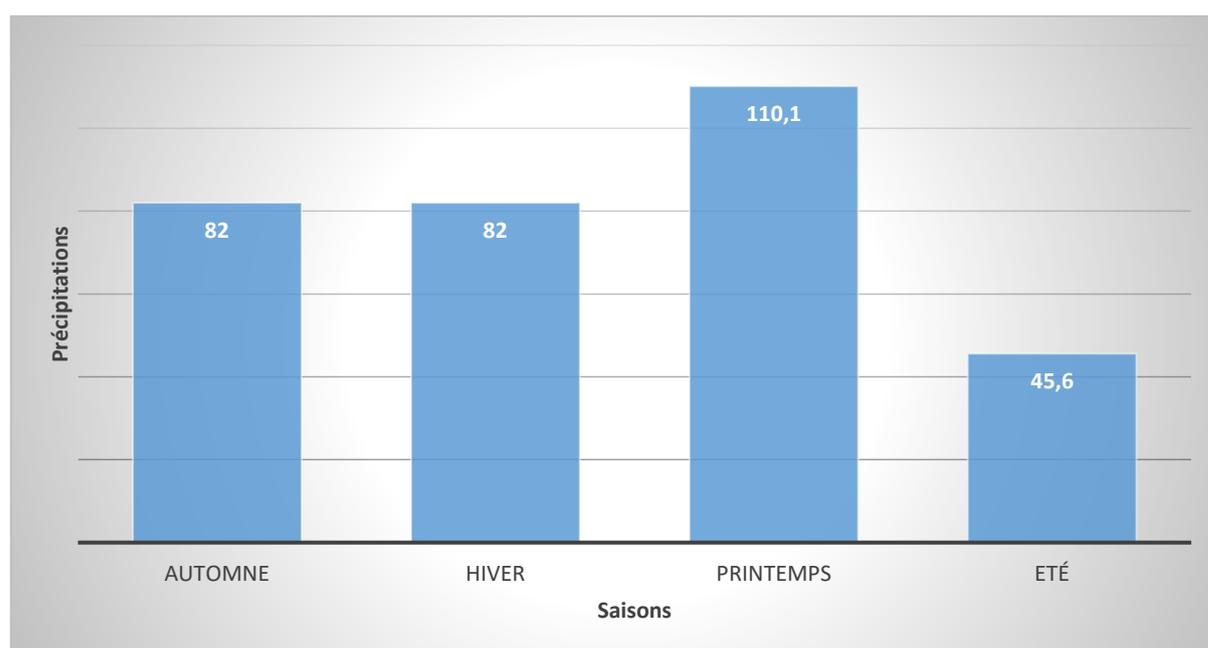


Figure 8 : précipitations inter-saisonniers de la période 1989-2018 observée dans la Station d'Ain Skhouna

D'après l'histogramme (Figure 8) et le Tableau N 5 la variation saisonnière des précipitations montre que :

- La saison la plus humide est le printemps : P (110,1mm)

- La saison la plus sèche est l'Été : P (45,6mm)

II.1.1. Estimation la lame d'eau tombée sur la région d'étude dans la période (1989-2018)

Le terme précipitation englobe toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre tant sous forme liquide que sous forme solide. On utilise la méthode arithmétique pour le calcul de la lame d'eau précipitée.

II.1.2. Méthode arithmétique :

Elle s'obtient à partir de la formule :

$$\bar{P} = \frac{\sum Pi}{n} \quad (5)$$

Avec :

\bar{P} : Précipitations moyennes à l'échelle du sous bassin versant, en (mm).

Pi : Pluviométrie annuelle de chaque station, en (mm).

n : Nombre de stations utilisées.

Donc : $\bar{P} = 319,7 \text{ mm}$

II.2. Températures :

La température de l'air a une grande influence sur l'évapotranspiration laquelle favorise le déficit d'écoulement, ainsi elle influe sur le bilan hydrologique. Elle permet de mesurer la chaleur qui règle le rythme de développement de la plante. La température mesurée est celle de l'air ambiant qui ne correspond pas exactement à celle de la plante, mais elle caractérise cependant l'ambiance moyenne où se déroulent les principaux processus biologiques [12].

La température joue un rôle essentiel dans l'évaluation de l'évaporation, l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique. Les observations des températures à 2 mètres en °C prises au niveau de station Ain Skhouna sur une période de (1989-2018).

Tableau 6 : Répartitions des températures mensuelles et saisonnières en mm à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)

saison	Station	Ain Skhouna			
	Mois	Tmoy Max °C	Tmoy Min °C	Tmoy (Max+min) /2 °C	Tmoy °C
Automne	Sep.	29,65	14 ,34	21,9	16,7
	Oct.	24,30	10,00	17,15	
	Nov.	17,47	4,64	11,05	
Hiver	Déc.	13,09	1,22	7,16	6,81
	Janv.	12,42	0,08	6,25	
	Févr.	13,58	0,48	7,03	
Printemps	Mar	1,24	2,89	10,07	14,11
	Avr.	20,65	7,75	14,20	
	Mai	26,34	9,79	18,07	
Eté	Juin	31,93	14,31	23,12	25,29
	Juil.	35,86	17,37	26,62	
	Aout	35,13	17,12	26,13	
Moyenne Interannuelles		21,80	8,33	15,73	15,73

M : moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes ;

m : moyenne mensuelle des températures minimales quotidiennes ;

Moy : moyenne mensuelle (M+m) /2.

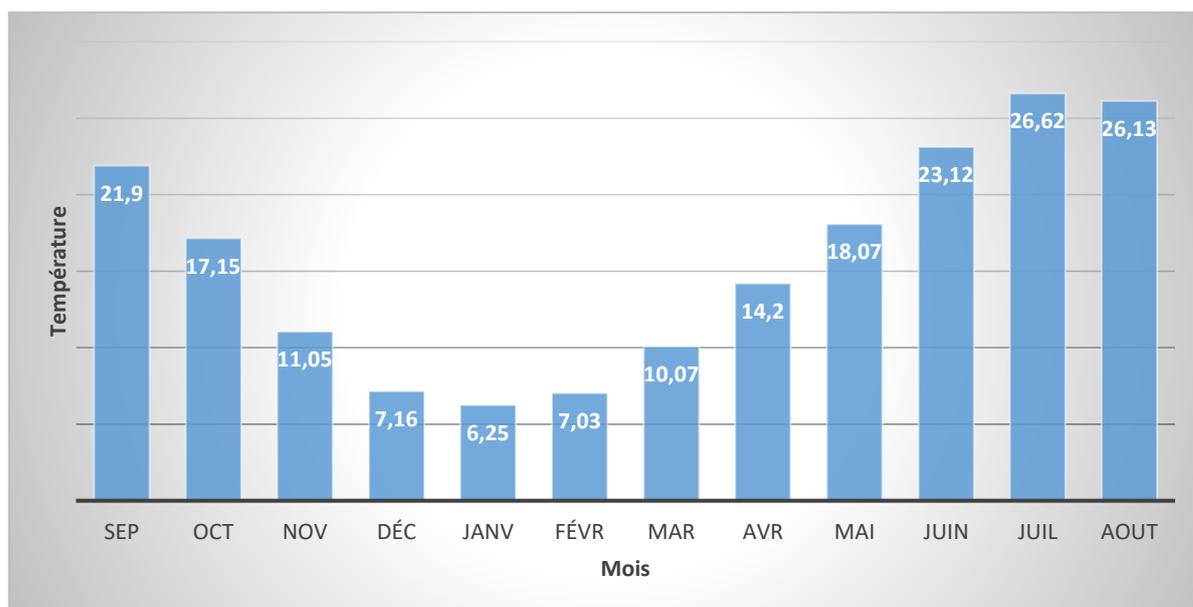


Figure 9 : Variation des températures moyennes inter-mensuelles à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)

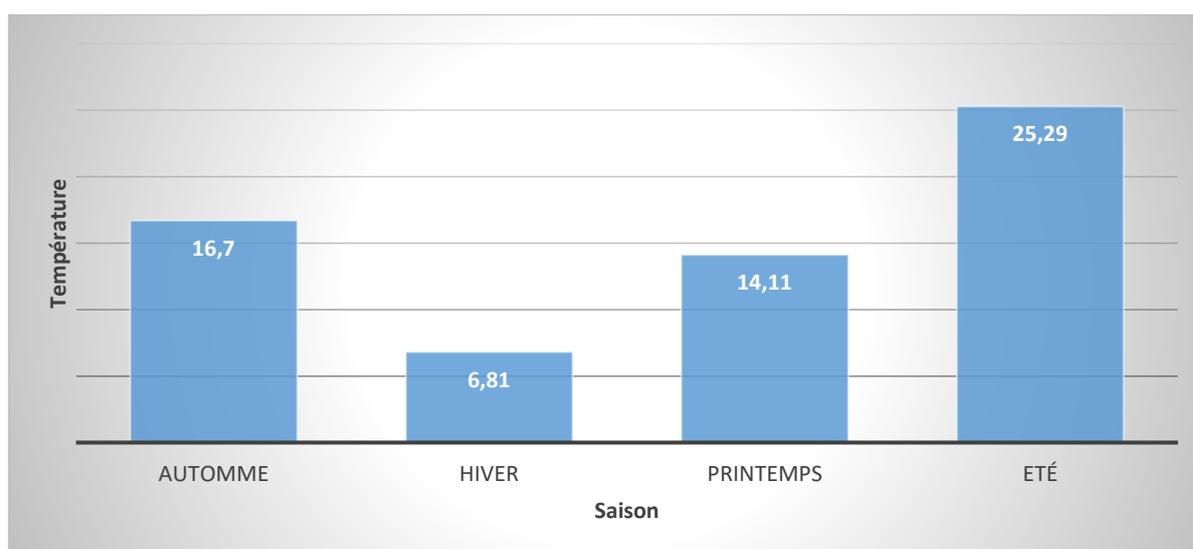


Figure 10 : Variation des températures moyennes inter-saisonniers à la station d'Ain Skhouna (1989-2018)

Les analyses des moyennes de la température mensuelle nous ont permis de distinguer :

- Une période chaude s'étalant à la fin du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre avec un maximum durant le mois d'Août (35,86°C).
- Une période relativement froide allant du mois de Novembre jusqu'au début de mois de mai avec un minimum durant le mois de Janvier (0,08°C).

La moyenne annuelle est de l'ordre de 15,73°C.

II.2.1. Relation températures –précipitations :

II.2.1.1. Diagramme Ombro-thermique :

Pour avoir une idée sur les saisons sèches et humides, on a établi un diagramme Ombro-thermique selon la méthode de Gaussen et Bagnouls se basant sur les données des précipitations qui sont reportées à l'échelle double des températures sur la même période d'observation (1989-2018).

Lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, la saison correspondante est sèche ou déficitaire en eau ; puis la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures à la saison correspondante. Cela permet de déterminer la période sèche durant laquelle la moyenne mensuelle des précipitations du mois est inférieure ou égale au double de la température ($P \leq 2T$).

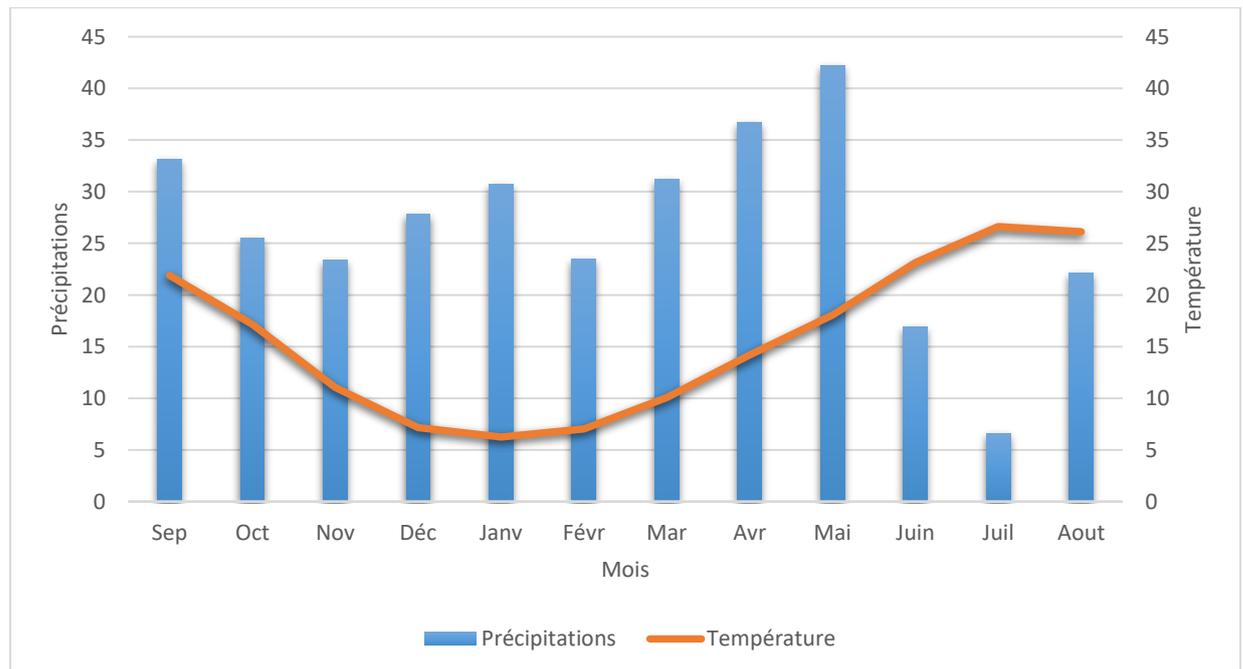


Figure11 : Diagramme ombro-thermique de la station Ain Skhouna (1989-2018)

D'après les Diagrammes Ombro-thermiques (Figure 11), On constate que l'année hydrologique de ce sous bassin versant est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

- Une saison déficitaire en eau (sèche) s'étale depuis le mois de Mai jusqu'à la dernière semaine du mois d'Octobre.

- Une saison humide : s'étend au début du mois Novembre jusqu'au mois d'Avril.

II.2.1.2. Détermination de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte :

Cette méthode consiste au rapport P/T établi mensuellement permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol (Tableau N° 6). Qui nous permet de connaître l'évolution de l'humidité du sol. On distingue 4 régimes :

- ✓ Un régime très sec si $P/T < 1$.
- ✓ Un régime sec si $1 < P/T < 2$.
- ✓ Un régime subhumide si $2 < P/T < 3$.
- ✓ Un régime humide si $P/T > 3$.

Tableau 7 : Répartition du rapport P/T aux stations Ain Skhoua (1989-2018)

Station mois	Ain Skhoua		
	Températures	Précipitations	P/T
Sep.	21,9	33,1	1,51
Oct.	17,15	25,5	1,49
Nov.	11,05	23,4	2,31
Déc.	7,16	27,8	3,88
Janv.	6,25	30,7	4,91
Fév.	7,03	23,5	3,34
Mar.	10,07	31,2	3,1
Avr.	14,20	36,7	2,58
Mai	18,07	42,2	2,34
Juin	23,12	16,9	0,73
Juil.	26,62	6,6	0,25
Aout	26,13	22,1	0,85

Alors l'humidité du sol de sous bassin montrer par la répartition du rapport P/T dans le Tableau N° 6, ce qui définir un régime très sec correspond aux mois : Juin, Juillet et Aout. Un régime sec correspond aux mois : Septembre et Octobre. Aussi un régime subhumide correspond aux mois : Novembre, Avril et Mai et un régime humide correspond aux mois : Décembre, Janvier, Février, Mars.

II.2.1.3. Indice de De. Martonne :

Le géographe De. Martone a défini l'indice d'aridité (A) en se basant sur la température et les précipitations selon la formule :

$$I = P / (T+10) \quad (6)$$

P : La précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : La température moyenne mensuelle en (°C).

- De. Martone a proposé selon la valeur de (A) la classification suivante :
- $20 < A < 30$: Le climat est tempéré.
 - $10 < A < 20$: Le climat est semi-aride.
 - $7.5 < A < 10$: Le climat est steppique.
 - $5 < A < 7.5$: Le climat est désertique.
 - $A < 5$: Le climat est hyper aride.

La station Ain Skhouna on a : $P = 319,7$ mm et $T = 15,73$ °C $I = 12,43$

Donc il s'agit d'un régime semi-aride lié à la répartition saisonnière des températures et des précipitations (Figure 12).

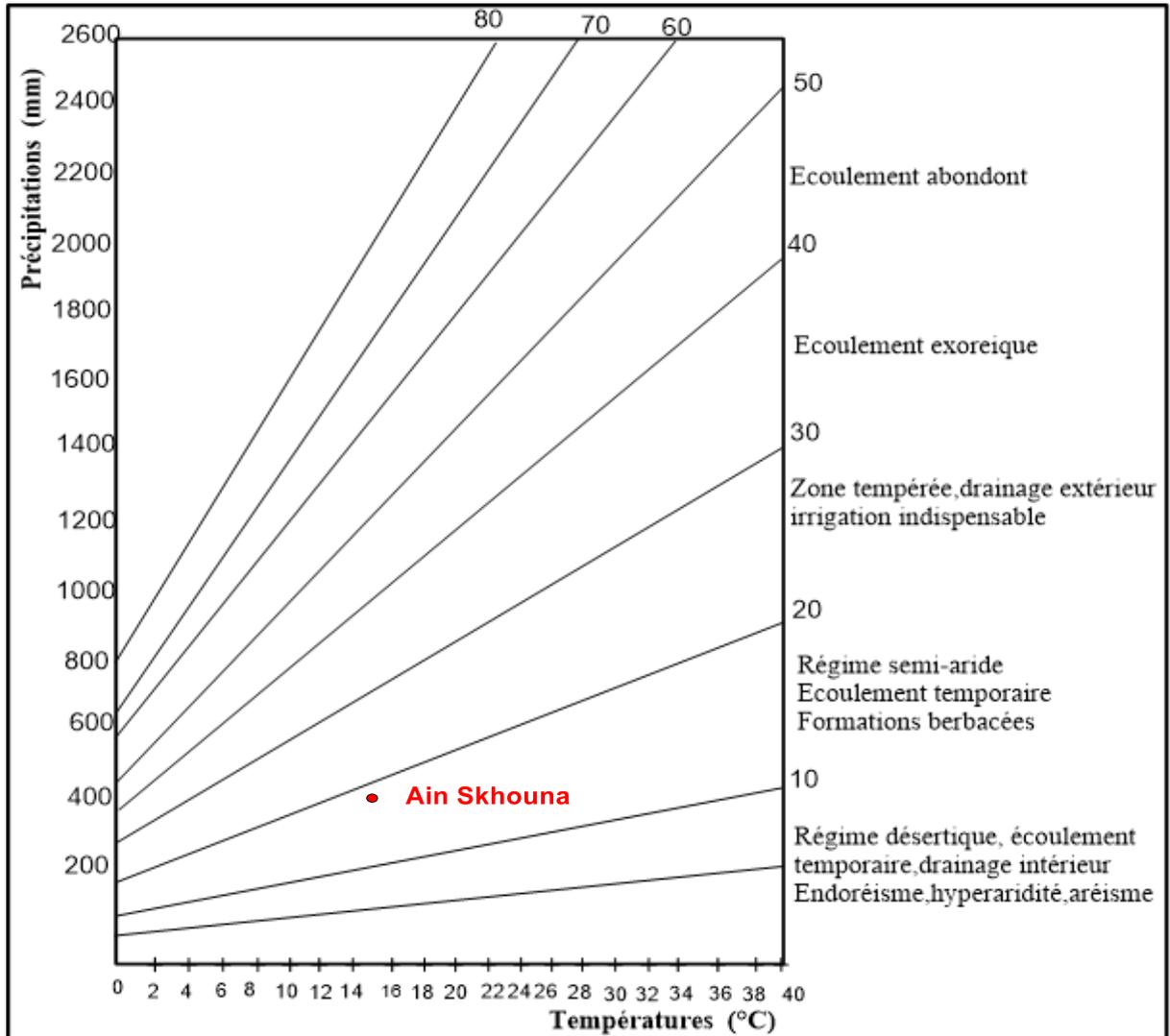


Figure 12 : Abaque de l'Indice climatique de De. Martonne 1923

II.2.1.4. Climato gramme de L. Emberger :

Pour déterminer le climat de la région étudiée, on utilise le climato gramme d'Emberger (Figure 13), qui est un abaque comportant en ordonnées les valeurs du Q_2 qui sont données par la relation et en abscisses la température moyenne des minimas de la saison froide.

$$Q_2 = 2000 \frac{P}{(M^2 - m^2)} \quad (7)$$

Avec :

P : La précipitation moyenne annuelle, en (mm).

M : La température maximum du mois le plus chaud, en degré kelvin (K°).

m : La température minimum du mois le plus froid, en degré kelvin (K°).

Avec :

$$T (K^{\circ}) = T (C^{\circ}) + 273,15 \quad (8)$$

❖ **La station Aïn Skhouna :**

Ce diagramme est utilisé pour la situation du climat de la région étudiée, où nous avons :

$$M = 35.86 + 273.2 = 309.06^{\circ}K.$$

$$m = 0.08 + 273.2 = 273.28^{\circ}K.$$

$$P = 319.7\text{mm}$$

$$Q_2=30$$

Le climat à la station Ain Skhouna est de type : semi-aride, cela est confirmant avec l'indice de De. Martone.

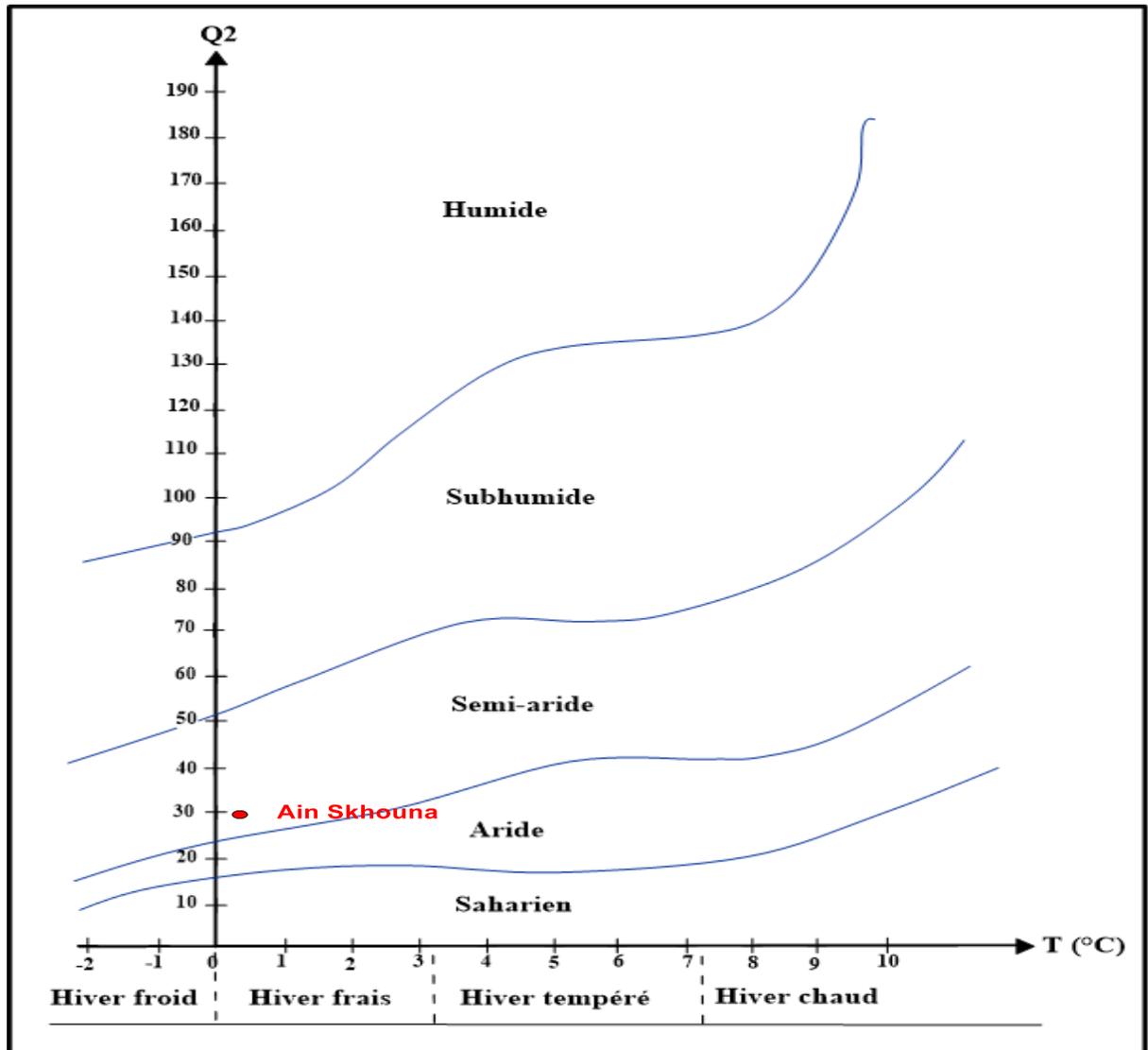


Figure 13 : Climato gramme de L. Emberger

III. Bilan hydrologique :

III.1. Evapotranspiration :

Evapotranspiration est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné. C'est un élément principal pour l'établissement du bilan hydrologique.

III.1.1. L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

L'évapotranspiration potentielle ETP qui correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité maximale permise par les conditions climatiques. Il existe plusieurs formules empiriques pour calculer l'évapotranspiration potentielle. L'ETP est calculée par la formule de C.W. Thorntwaite (1954), qui utilise la température de l'air et la latitude de la station, et qui a abouti à la formule empirique suivante :

$$E.T.P = 16 * \left(10 * \frac{T}{I}\right)^A \quad (9)$$

Où :

ETP : Evapotranspiration mensuelle(mm) ;

T : Température moyenne mensuelle(°C) ;

i : Indice thermique mensuelle, déterminé par l'expression :

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (10)$$

I : Indice thermique annuelle :

$$I = \sum i \quad (11)$$

a : Coefficient calculé par la formule :

$$a = 1,6 \left(\frac{I}{100}\right) + 0,5 \quad (12)$$

Certains auteurs pensent que les valeurs de l'ETP calculées par la méthode de Thorntwaite sont sous estimées dans les régions arides et semi-arides, et surestimées dans les régions tropicales

humides et équatoriales, c'est pour cette raison que l'ETP est multipliée par un facteur de correction K donné par les tableaux et qui est fonction du temps, du mois et de la latitude du lieu.

$$E. T. PC = K * E. T. P \quad (13)$$

Où :

ETP : évapotranspiration potentielle calculée à l'aide de la formule (mm) ;

ETPc: évapotranspiration potentielle corrigée (mm);

K : facteur de correction (ou d'ajustement mensuel).

L'application de cette formule permet d'avoir des résultats qui est de consignés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Résultats de l'ETP corrigé selon Thornthwaiteaux stations Ain Skhouna (1989-2018).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	21,9	17,15	11,05	7,16	6,25	7,03	10,07	14,2	18,07	23,12	26,62	26,13	15,73
I	9,36	6,46	3,32	1,72	1,4	1,68	2,89	4,86	7	10,16	12,58	12,23	73,64
a	1,7												
ETP (mm)	99,7	66,1	31,6	15,3	12,1	14,8	27,1	48,2	72,2	109,1	138,3	134	768,4
K	1,03	0,96	0,83	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,22	1,23	1,25	1,17	_
ETPc	103	63	26	13	10	12	28	53	88	134	173	157	861

III.1.2. Evapotranspiration réelle ETR :

L'évapotranspiration réelle est la quantité d'eau évaporée ou transpiré réellement, soit par le sol, soit par les surfaces libres, soit par la végétation dans les conditions naturelles. Le calcul peut se faire à l'aide de plusieurs formules.

III.1.2.1. Méthode de Coutagne :

Le déficit d'écoulement calculé à partir de cette expression, qui fait aussi intervenir température et précipitation moyennes annuelles, peut être rapproché de l'ETR.

$$E. T. R = P - \lambda p \quad (14)$$

Où :

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (°C) ;

λ : facteur dépendant de la température moyenne annuelle.

$$\lambda = \frac{1}{(0,8+0,14t)} \quad (15)$$

Et qui n'est applicable que pour les précipitations comprises entre $1/8 \lambda$ et $1/2 \lambda$.

Tableau 9: Valeurs de l'ETR selon la méthode de Coutagne.

Station	P (mm)	T(C°)	λ	$\lambda/8$	$\lambda/2$	$\lambda/8 < P < \lambda/2$	Observation
Ain Skhouna	319,7	15,73	0,333	0,042	0,1665	Non comprise	Méthode non applicable

Cette formule n'est pas donc applicable car la condition n'est pas satisfaite.

III.1.2.2. Méthode de Turc :

Cette expression permet de déterminer directement l'ETR annuelle d'un bassin versant à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{(0,9 + (\frac{P}{L})^2)}} \quad (16)$$

Où :

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

L : le pouvoir évaporant de l'atmosphère.

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad (17)$$

Où :

T : Température moyenne annuelle (°C).

Les différentes valeurs de l'ETR calculée selon la méthode de Turc sont portées dans le tableau.

Tableau 10 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
ETR (mm)	319,7	15,73	887,86	315

III.1.2.3. Méthode de Verdeil

En 1988 Verdeil à établi en Algérie un abaque qui permet de calculer les différentes valeurs du déficit d'écoulement qui correspond à l'ETR. Cette méthode consiste à calculer les différentes valeurs du déficit d'écoulement pour des précipitations comprises entre 0 et 600 mm.

La valeur du déficit est obtenue directement sur l'abaque des différentes stations.

Tableau 11 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de Verdeil.

Station	P (mm)	ETR (mm)
Ain Skhouna	319,7	315

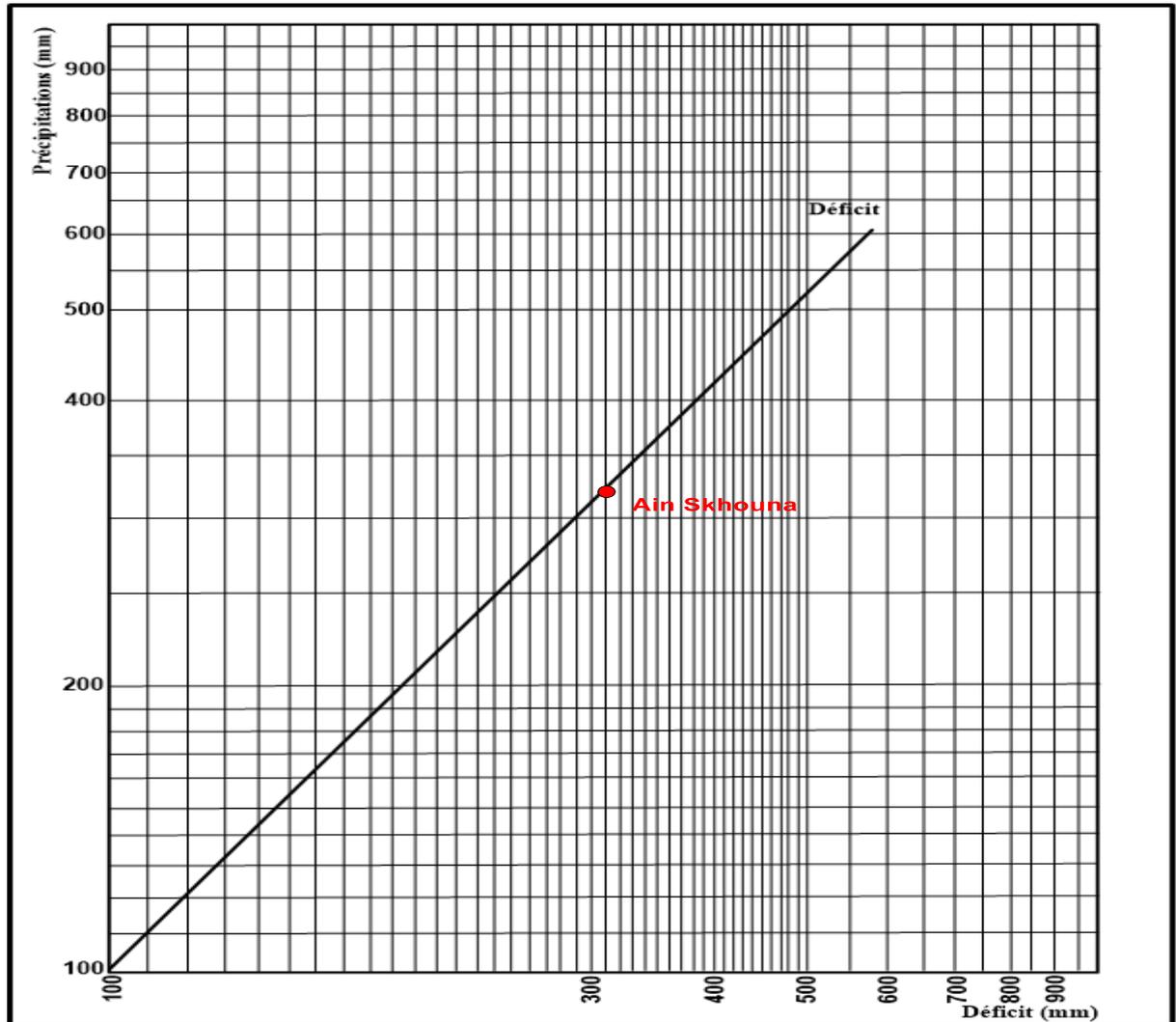


Figure 14 : Abaque de Verdeil

III.2. Calcul de l'ETR d'après le bilan hydrologique de THORNTHWAITE :

L'établissement du bilan mensuel, selon la méthode de Thornthwaite à pouvoir d'estimer pour chaque mois : l'évapotranspiration réelle, la réserve facilement utilisable, le déficit agricole et l'excédent, Il s'articule sur l'hypothèse suivante :

- La satisfaction de l'ETR est prioritaire sur l'écoulement ;
- Le calcul de l'ETR peut se faire selon deux cas:
 - Si $P > ETP$, alors $ETR = ETP$, il y a donc un excédent ;
 - Si $P < ETP$, alors $ETR = P + RFU$.

Cette méthode est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). L'estimation de ce paramètre a été faite par l'application de la formule d'Hallaire (1960), cité par Ricard (1979) donnée ci-dessous :

$$RFU = \frac{1}{3} Da * He * Pr \quad (18)$$

Où :

RFU : la réserve facilement utilisable (m) ;

Da : densité apparente du sol prise égale à 1,4 ;

He : capacité de rétention prise égale à 0,3 ;

Pr : profondeur des racines prise égale à 0,4 m.

La RFU ainsi calculée pour la plaine est égale à 56 mm. Les bilans hydriques, selon la méthode de Thornthwaite, portée dans le tableau 12.

Tableau 12 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite- Station Ain Skhouna (1989-2018).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	21,9	17,15	11,05	7,16	6,25	7,03	10,07	14,2	18,07	23,12	26,62	26,13	15,73
I	9,36	6,46	3,32	1,72	1,40	1,68	2,89	4,86	7,00	10,16	12,58	12,23	73,64
a	1,7												
ETP (mm)	99,7	66,1	31,6	15,3	12,1	14,8	27,1	48,2	72,2	109,1	138,3	134,0	768,4
K	1,03	0,96	0,83	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	—
ETPc	103	63	26	13	10	12	28	53	88	134	173	157	861
P (mm)	33,1	25,5	23,4	27,8	30,7	23,5	31,2	36,7	42,2	16,9	6,6	22,1	319,70
P-ETP	-70	-38	-3	15	20	11	3	-16	-46	-117	-166	-135	—
RFU	0	0	0	15	35	46	47	31	-15	0	0	0	—
Da	66	37	2	0	0	0	0	0	1	118	167	135	526
Ex	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
ETR (mm)	37	26	24	13	10	12	28	53	87	16	6	22	335

Interprétation des résultats fournis par le tableau n 11 de CW. Thornthwaite la période (1989-2018) :

On obtient une valeur totale de l'ETP de l'ordre de 861 mm/an, pour la station d'Ain Skhouna. La méthode de Thornthwaite est critiquée par plusieurs chercheurs, parmi lesquels on citera Serra en 1954. Selon lui cette méthode donne par rapport aux mesures effectuées avec des lysimètres des résultats sous-estimés en zones arides et semi arides, et surestimées dans les zones tropicales humides ou équatoriales. Elle conviendrait seulement aux régions humides et sub-humides de la zone tempérée, là où elle a été mise au point (USA) [13].

III.3. Calcul du ruissellement (R) et de l'infiltration (I) :

La relation de M.T. TIXERON ; BERKALOF,1961 permettant de calculer le ruissellement à partir des précipitations annuelles moyennes et de l'évaporation potentielle calculée selon la méthode TORNTHWAITE. Il concerne principalement les régions aux climats arides et semi-arides comme notre zone d'étude.

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \quad (19)$$

R : Ruissellement en mm.

P : Précipitations Moyennes Mensuelles.

ETP : Evapotranspiration Potentielle en mm.

Les valeurs du ruissellement selon la méthode de Tixeront et Berkaloff sont portées dans le tableau 13.

Tableau 13 : Ruissellement selon la méthode de Tixeront et Berkaloff.

	Station	P (mm/an)	ETP (mm/an)	R (mm/an)	R en % de P
Thornthwaite	Ain Skhouna	319,7	861	15	5

La valeur du ruissellement est de l'ordre de 15mm, ce qui correspond à 5%.

III.4. L'infiltration :

La quantité d'eau infiltrée depuis la surface de sol traversant la zone aérée pour rejoindre la zone saturée est dite infiltration efficace. Celle-ci participe à l'alimentation des aquifères existants dans la zone d'étude. Ce paramètre peut être estimé à partir de la formule du bilan hydrologique donnée par la relation suivante :

$$P = D + R + I \rightarrow I = P - D + R \quad (20)$$

Où :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

D : déficit d'écoulement ou (ETR) (mm) ;

R : Ruissellement annuel (mm) ;

I : Infiltration efficace moyenne annuelle (mm).

D'après les calculs, les valeurs de ruissellement sur les différentes stations implantées au niveau de la plaine d'étude sont portées dans le tableau.

Tableau 14 : Estimation de l'infiltration de la plaine d'étude.

	Station	P(mm/an)	ETR(mm/an)	R(mm/an)	I(mm/an)
Thornthwaite	Ain Skhouna	319,7	335	15	0

Si on se réfère aux résultats, on doit dire que l'infiltration est quasi-nulle dans la plaine d'étude, et donc les quantités d'eau précipitées sont reprises ou presque par le phénomène d'évapotranspiration, ce qui ne reflète guère la réalité. Les chiffres restent donc constamment conservatifs et ne doivent pas toujours être pris pour témoins ou références, mais doivent être traités en tant que des ordres de grandeurs.

Les valeurs de l'infiltration ne représentent pas réellement l'infiltration dans tout le bassin, car son estimation est basée sur les données de la station pluviométrique proche de la plaine d'étude. Les mesures d'infiltration in situ, réparties sur toute la superficie de la plaine, pourrait nous donner une approche fiable de ce paramètre. De plus, des calculs aux pas journaliers,

permettraient Contexte Climatique surement de faire ressortir des journées aux excédents hydriques, notamment consécutivement aux averses.

Conclusion :

Pour conclure ce chapitre, la zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec des hivers frais et printemps pluvieux et des étés secs. La précipitation moyenne annuelle dans la région d'étude est 319,7mm pour la période (1989-2018), Une irrégularité intermittente des précipitations est observée. Le mois le plus humide est Janvier et Le mois le plus sec est Juillet. La température annuelle moyenne est d'environ 15,73°C avec de faible température hivernale est de 0,08°C (Janvier) et la température élevée est d'environ 35,86°C (Juillet) en été. L'évapotranspiration réelle calculée par la méthode TORNTHWAITE est de l'ordre de 861mm. Le ruissellement de surface de l'eau est d'environ 15 mm, soit 5% de pluviométrie annuelle moyenne et une infiltration insignifiante. Cette dernière serait mieux approchée au pas journalier.

Chapitre V :
Contexte
Hydrogéologique

Chapitre V –Contexte Hydrogéologique

Introduction :

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines. Elle permet d'assurer le contrôle et le suivi des ressources en eau souterraines, tant du point de vue quantitatif que qualitatif.

La détermination des différents aquifères dans la plaine Theniet Sedra-Ain Yagout, a été faite sur L'analyse litho-stratigraphique et structurale des formations géologiques ainsi que sur les données Géophysiques.

A partir de cette analyse, le cache hydrogéologique de la plaine permet de constater qu'on a Deux aquifères :

- L'un superficiel ; qui est l'aquifère Mio-Plio-quadernaire.
- L'autre profond ; qui est l'aquifère du Jurassique et du Crétacé.

Ce chapitre s'articule à l'aquifère superficiel, où nous étudierions toutes les variations hydrodynamiques survenues : niveau piézométrique, limites, sens d'écoulement, gradient hydraulique etc.... En s'appuyant sur les données récoltées des mémoires suivants : L. Belloula (2002), I. Dib (2009) et N. Naili (2015). H. Belalite (2021).

I. Etude piézométrique

Elle a pour objectif :

- Détermination des conditions aux limites des aquifères.
- Les échanges entre les aquifères.
- Calcul du gradient hydraulique « i » (la pente de la nappe).

II. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quadernaire :

II.1. Description des formations aquifères :

C'est un aquifère hétérogène constitué essentiellement par des calcaires lacustres, des Conglomérats et des alluvions. Les formations occupent presque tout le terrain d'étude à l'exception des reliefs. L'alimentation de cette nappe se fait directement par les précipitations sur la plaine et par les écoulements des glaciers qui nappent les reliefs, par les apports des crues

occasionnelles et enfin par L'aquifère profond au niveau des failles. Son exutoire naturel est le chott Tinnsilt se trouvant à la cote 788m.

II.2. Inventaire des points d'eau

Nous sommes basés dans notre travail sur les données des travaux réalisés auparavant en l'occurrence Mr Belloula. L (2004) « Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de Gadaïne – Ain Yagout (Ouest de Batna) », Mme Dib. I « L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne - Ain Yagout (Est Algérien) », Naili. N « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Gadaïne – Ain Yagout Ouest de Batna (piézométrie et hydrochimie » et Mme Belalite. H « Etude hydrogéologique des plaines de Zana et de Gadaïne dans un contexte de changement climatique et de contraintes anthropiques pour l'élaboration d'un schéma de gestion intégrée des ressources en eau (Nord- Est algérien) ».

II.3. Les cartes inventaires

Des campagnes piézométriques à été réalisées en 2002, 2009, 2015 et 2016. L'inventaire des points d'eaux captant cette nappe nous permet de constater que la majorité des ouvrages sont des forages. Les campagnes effectuées a permis de mesurer les niveaux piézométriques et les paramètres physico-chimiques in situ (conductivité, température et pH). La plupart des forages sont récents, foret par des sondes, équipées par des pompes immergées (électricité ou génératrices à fuel), tubés complètement ou à moitié, la profondeur varie de 60 à 190 m. Utilisés pour l'irrigation des cultures et l'alimentation en eau potable. Neuf points d'eaux ont été inventoriés en 2002, 2009, 2015 et 2016

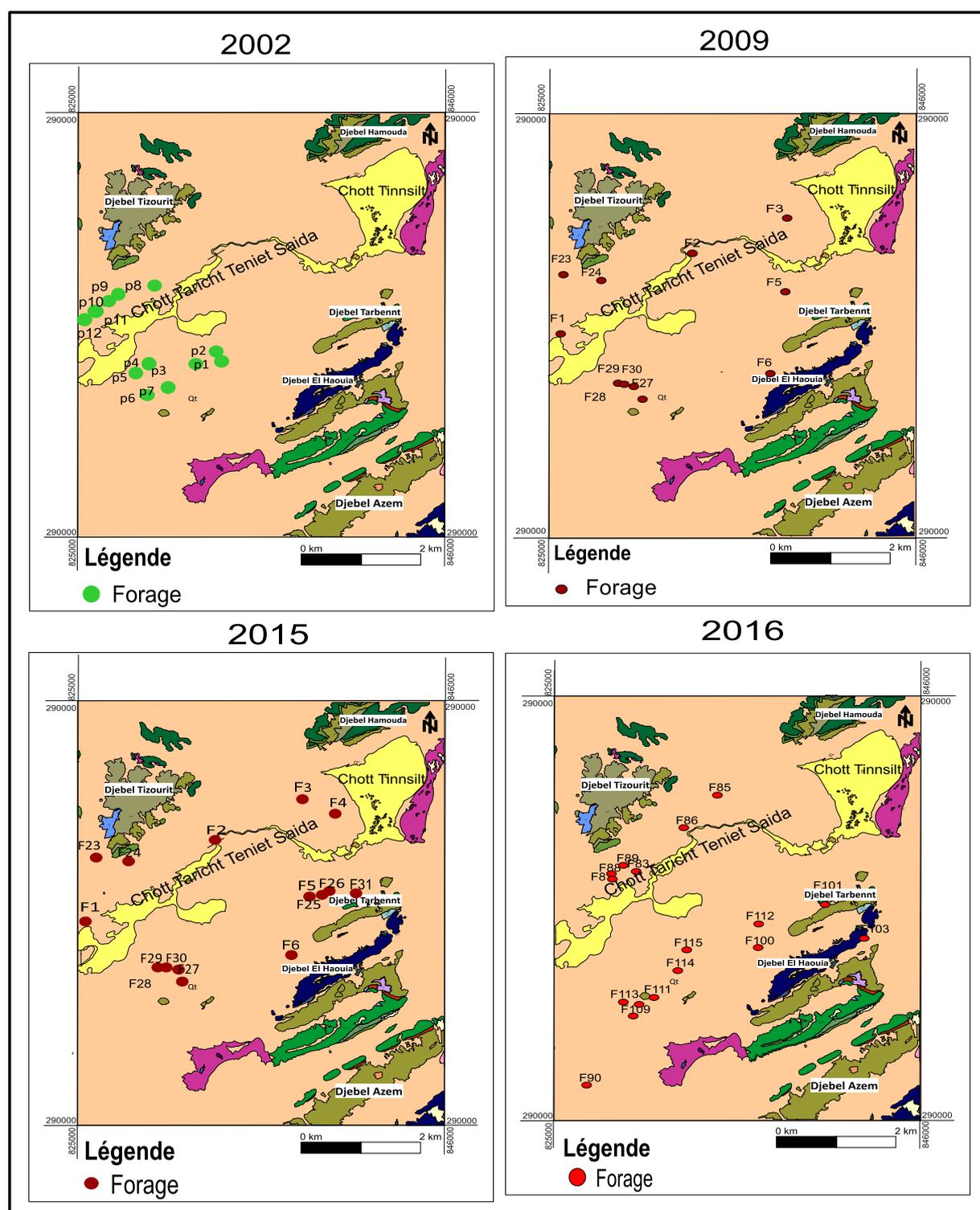


Figure 15 : Cartes inventaires des points d’eaux, campagne 2002, 2009, 2015 et 2016(Redessiné par Auteurs 2023).

II.4. Piézométrie

La carte piézométrique est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique. Elle constitue le document de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions captives et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. Elle permet principalement :

- ✓ D'analyser la morphologie et d'estimer la profondeur de la surface piézométrique ;
- ✓ De tracer les lignes de courant et par conséquent les directions d'axes principaux d'écoulement, ainsi que les zones d'alimentation et ou de drainage ;
- ✓ De calculer le gradient hydraulique à différents endroits.

Un suivi de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps et dans l'espace durant la période 2002-2016, en prenant en plus, en considération des données bibliographiques concernant notre zone d'étude.

II.5. Interprétation des cartes :

Les cartes piézométriques établies pour les années 2002, 2009, 2015 et 2016, montrent, de manière générale, l'écoulement suit la topographie (des hautes altitudes vers les plus basses altitudes) et à partir des cartes piézométriques dressées ci-dessous, on remarque que le sens d'écoulement général de la zone d'étude suit un axe SW de chott Taricht Theniet Saida vers chott Tinnsilt. (Figure 16).

➤ Carte piézométrique de campagne 2002 :

La carte piézométrique de la nappe superficielle de l'année 2002, montre que l'écoulement souterrain converge vers la zone de drainage chott Taricht Theniet Saida avec une direction du SW vers le NE et du nord vers le sud. Les courbes iso-pièzes sont en général homogène, assez espacé dans le centre de la plaine ce qui explique un gradient hydraulique moyen de l'ordre 0.005 et serré aux abords des massifs indiquant un gradient fort d'ordre 0,0071.

➤ Carte piézométrique de campagne 2009 :

En 2009, la carte piézométrique montre que l'organisation générale des écoulements est orientée du SW vers le NE. Ces écoulements convergent avec gradient hydraulique de 0,0043 vers la zone de drainage du chott Taricht Teniet Saida.

➤ **Carte piézométrique de campagne 2015 :**

La lecture de la carte piézométrique de la campagne 2015 dévoile les charges les plus basses sont localisées au niveau des dépressions piézométriques de Chott Tinnis. Les charges maximales s'établissent aux bordures de la plaine.

➤ **Carte piézométrique de campagne 2016 :**

L'examen de la carte piézométrique de 2016 ne révèle que la même allure morphologique de la carte piézométrique de l'année 2015 (Figure 16).

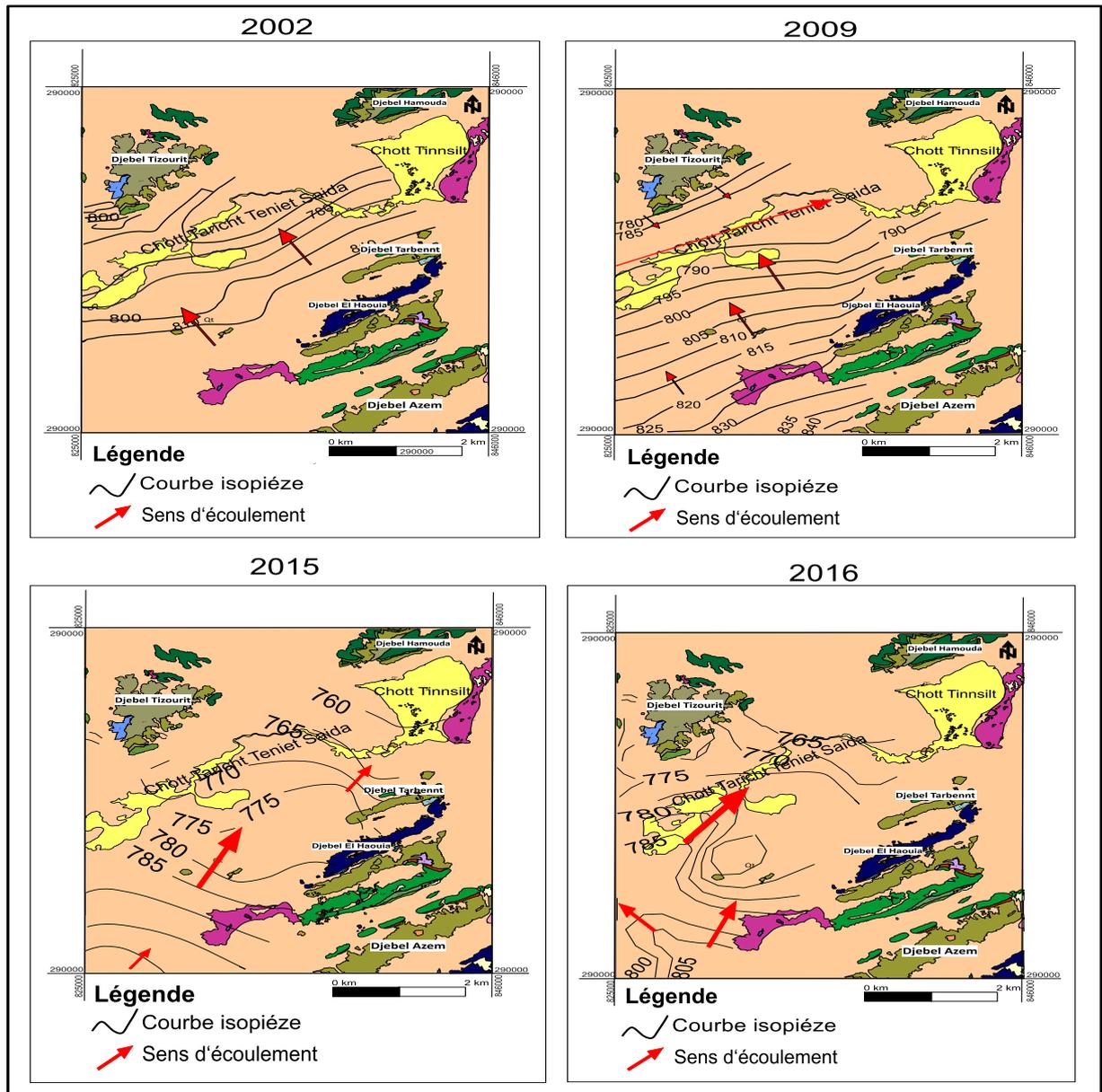


Figure 16 : Cartes piézométriques de la nappe superficielle, campagne (2002, 2009, 2015 et 2016) (Redessiné par Auteurs 2023).

Conclusion

L'ensemble du système aquifère de la plaine Theniet Sedra-Ain Yagout est constitué de deux aquifères,

- L'un superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire d'une épaisseur pouvant atteindre les 500 m.
- Et l'autre profond carbonaté d'âge Jurassico-Crétacé.

D'après les cartes piézométriques synthétiques de notre zone d'étude, nous concluons que :

- Les axes d'écoulement des eaux souterraines convergent vers les zones de drainage qui sont les Chotts ;
- L'alimentation de la nappe superficielle se fait par les précipitations, soit par alimentation latérale à partir des massifs calcaires fissurées entourant la plaine, et la nappe profonde où les piémonts des massifs ou le réseau de fracturation ;
- La variation de gradient hydraulique dans la plaine peut être due à l'hétérogénéité du remplissage alluvionnaire (variation de perméabilité) ;
- Son exutoire principal est les Chotts Taricht Teniet Saida et Tinnsilt.

Chapitre VI :

Cadre

Hydrochimie

Chapitre VI- Cadre Hydrochimie

Introduction

La qualité de l'eau constitue un enjeu environnemental primordial pour tous les secteurs utilisateurs, les ressources en eaux souterraines peuvent être de mauvaise qualité en raison de problèmes d'origine naturelle ou de contamination, ou les deux. Il est souvent nécessaire de connaître la qualité d'une eau avant de s'en servir.

La composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, (circulant dans les micros fissures et les micropores des roches), du temps de séjour des évolutions hydrodynamiques des écoulements de la nappe, de la profondeur de la circulation et de la zone climatique. S'ajoute à cela l'activité humaine dans le domaine de l'urbain, de l'industriel et surtout agricoles, qui ont une influence considérable sur la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface. Un autre facteur qui a un effet considérable sur la qualité des eaux, surtout dans les régions arides et semi-arides : c'est l'augmentation de la salinité des eaux souterraines en grande partie sur les aquifères superficiels, résultant du phénomène de l'évaporation.

L'intérêt principal de cette partie de l'étude est de mieux caractériser la qualité des eaux sous terrain dans la plaine de Theniet Sedra-Ain Yagout est ses variations dans l'espace, afin d'évaluer l'impact de l'activité anthropique sur la qualité des eaux souterraines dans la zone d'étude.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère superficielle de la plaine de Theniet Sedra-Ain Yagout à partir des résultats d'analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux recueillis à partir des travaux anciens : Belloula.L (2004), Dib. I (2009), Naili. N (2015) et Belalite .H (2021)

I. Méthodes et stratégie de travail

I.1. Prélèvement

Les prélèvements ont été effectués selon une répartition et une fréquence différente d'un site à l'autre, dépendant du type des formations géologiques, des implantations agricoles et de la disponibilité des ouvrages. Nous avons pris les analyses chimiques de la campagne de 2002 effectuée par Belloula. L, en 2009 Dib. I, en 2015 Naili et celle de 2021 effectuée par Belalite. H. Procédé à des extractions des valeurs des éléments physico-chimiques à partir des cartes isoteneurs (Figure17).

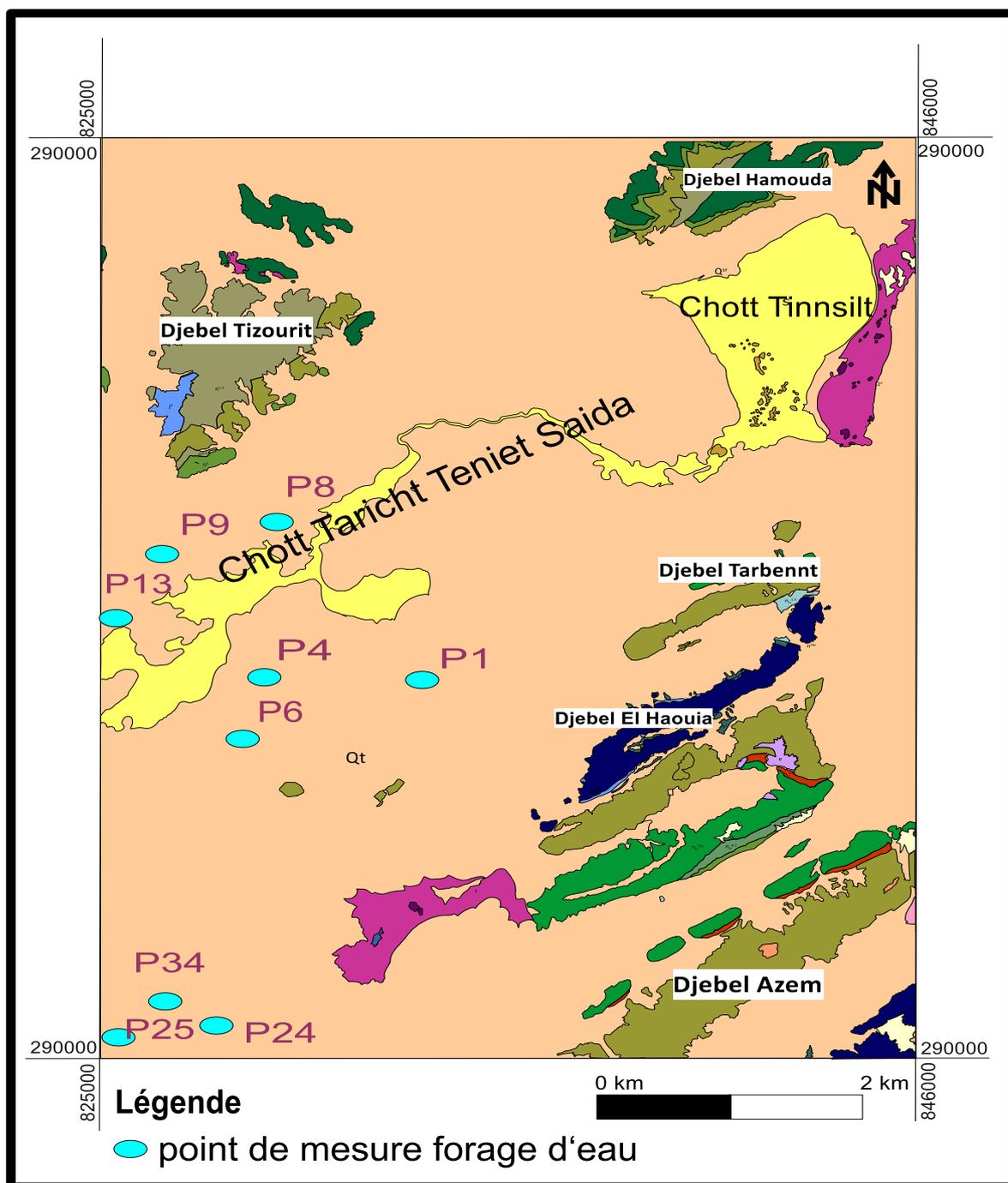


Figure 17 : Carte de localisation des points retenus pour les analyses chimiques 2002, 2009,2015 et 2016 (redessiné par Auteurs 2023)

I.2. Chimie des eaux souterraines

Pour apprécier le faciès chimique des eaux et pour meilleure identification de l'aspect qualitatif des eaux souterraines, ainsi que son évolution, plusieurs techniques de traitement existent : en plus de la classification par le diagramme de PIPER (1944), afin de mieux cerner les particularités des eaux étudiées.

II. Représentation graphique selon Piper

Nous allons interpréter les résultats d'analyses hydro-chimique, correspondant à la période du 2002, 2009,2015 et 2016, pour avoir une idée sur le faciès chimique des eaux de la nappe superficielle de la plaine de Theniet Sedra-Ain Yagout. Ce travail est réalisé avec le logiciel diagramme du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon (Simler, 2007). Ce diagramme permet de catégoriser le faciès chimique d'une eau et d'étudier l'évolution spatio-temporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère. (Piper, 1944).

La totalité des échantillons appartient à la famille des eaux (Figure 18) :

- Chloruré et sulfaté calcique et magnésien.
- Chloruré sodique et potassique.

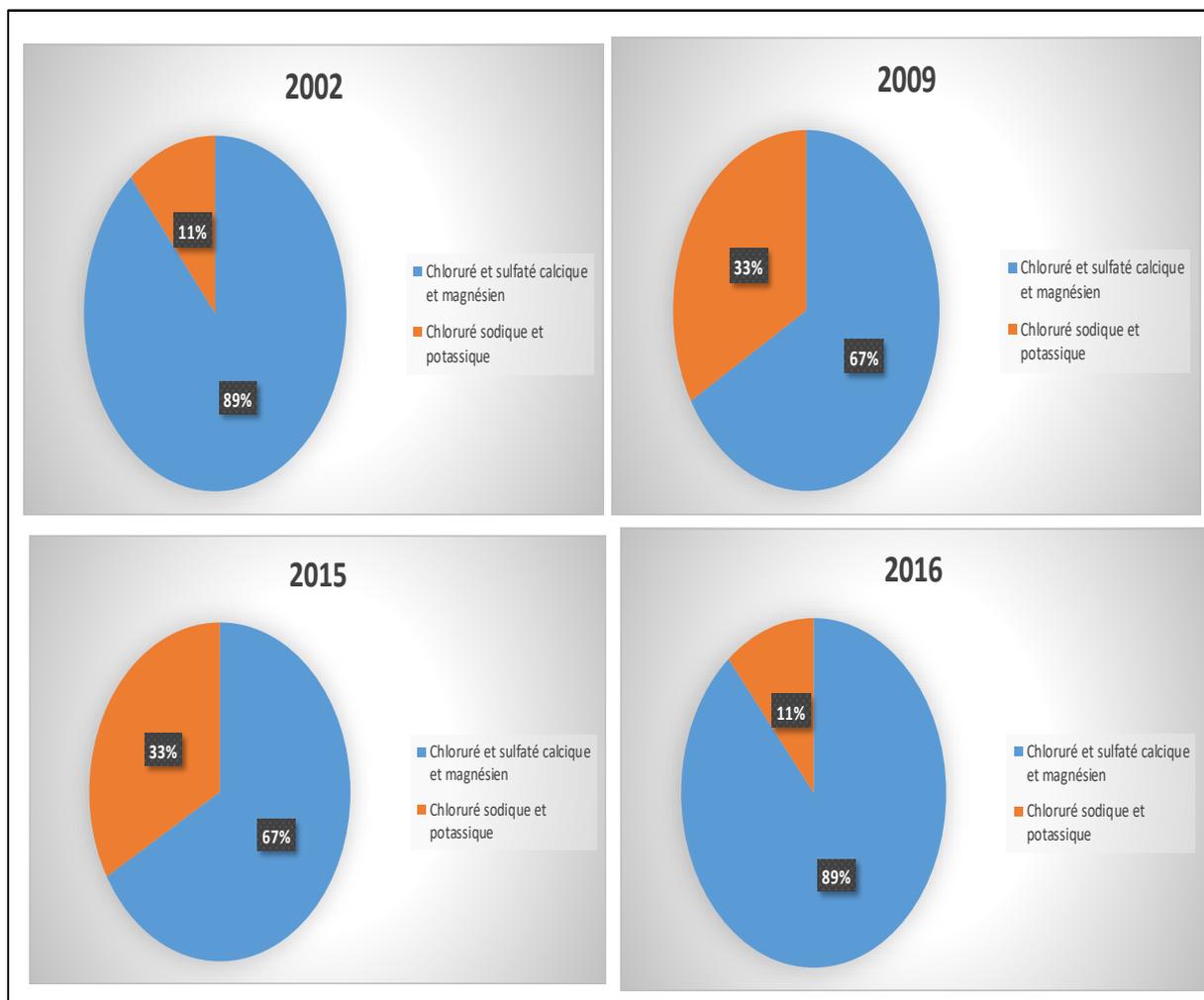


Figure18 : Répartition des faciès chimiques des eaux selon la classification de Piper 2002, 2009,2015 et 2016

Tableau 15 : Répartition des faciès.

% des points dans les campagnes Faciès	2002 (%)	2009 (%)	2015 (%)	2016 (%)
Chloruré et sulfaté calcique et magnésien	88,88	66,66	66,66	88,88
Chloruré sodique et potassique	11,11	33,33	33,33	11,11

A partir de la figure 18 de la répartition des faciès, on constate que l'année 2009 a connu une métamorphose dans le chimisme des eaux de la nappe superficielle Theniet Sedra-Ain Yagout du faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésien (93.33 % l'an 2002) au faciès chloruré sodique et potassique (46.67 % l'année 2009).

Les faciès évoluent de 2002 à 2009 d'une eau riche en Ca et Mg (origine carbonatée ou évaporitique) vers une eau riche en sels (Na et K) (origine évaporitique ou probablement anthropique) et récupère par la suite son état initial l'an 2015 et 2016. Les teneurs faibles en calcium l'an 2009 fait penser à un échange de base contre le sodium et les teneurs élevées de l'an 2002 et 2015 en calcium provient soit de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite $[CaSO_4, 2(H_2O) = Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2(H_2O)]$ ou des formations carbonatées des massifs cernant la plaine $(CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{2-})$.

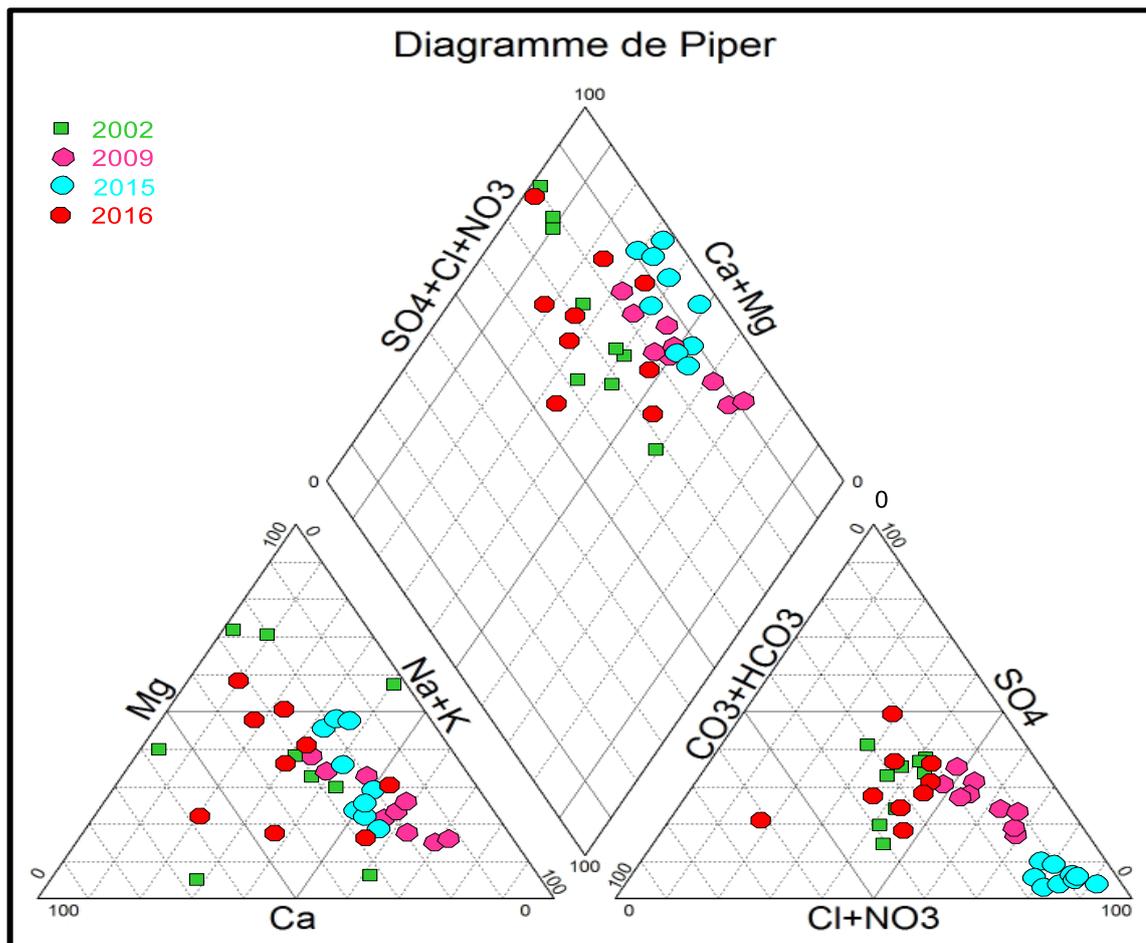


Figure19 : Diagramme Losangique de Piper des échantillons analysées en (2002, 2009, 2015 et 2016)

De même pour le magnésium, ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, magnésite :

$MgCO_3 = Mg^{2+} + CO_3^{2-}$ et dolomite : $CaMg(CO_3)_2 = Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2(CO_3^{2-})$. Quand la dolomie est attaquée, il n'y a pas de solubilité sélective, il y a autant de calcium que de magnésium.

On pense ici que l'évolution et la dominance des faciès sodique et potassique en 2009 est due probablement à deux facteurs :

- Naturelle : fort apport de précipitation en 2009 avec 607,39 mm ce qui donne naissance aux ruissellements lents sur toute l'étendue de la plaine surtout avec la morphologie de la plaine ou on enregistre des pentes faibles. Ces eaux ruisselées remplissent les plans d'eaux (Chotts) qui jouent une limite à potentiel imposé d'où une infiltration efficace au sous-sol.

- Humaine : une activité agricole intensif durant cette période avec l'utilisation intense des engrais agricole riche en sodium et en potassium (NPK, PK).

III. Analyses des paramètres physico-chimiques :

III.1. Normes de potabilité :

La potabilité et la qualité chimique des eaux sont fonction de la concentration des différents éléments chimiques dissous. On ne peut gérer une eau ou donner sa destination, qu'après avoir vérifié sa qualité vis-à-vis de normes recommandées.

Tableau16 : Normes Algériennes de potabilité (JORADP N° 18 du 23 mars 2011)

B	Valeur	Unité	Campagne 2002		Campagne 2009		Campagne 2015		Campagne 2016	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Paramètres Physico-Chimiques										
Température	25	°C	24	16	24	14	21,4	17,7	26,0	8,3
Conductivité	2800	µS/cm	8109	1730	6290	2999	10000	1900	6400	800
Résidu sec (180°C)	2000	mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcium	200	mg/l	216,43	17,25	210	120,14	270,98	155	257,98	50,26
Magnésium	150	mg/l	264,50	20,93	180,17	90,00	335,00	78	250,68	23,88
Sodium + Potassium	200	mg/l	204,24	28,75	810,20	175,00	471,40	232,50	309,48	28,06
Chlorure	600	mg/l	460,00	269,80	1400,77	616,04	3800,58	1000,23	637,25	17,75
Sulfates	400	mg/l	413,58	84,96	490,83	340,60	139,00	22,36	750	25
Substances Indésirables										
Nitrates	50	mg/l	-	-	74,01	9,02	24,92	6,28	31,5	0

III.2. Etudes des paramètres physiques

Ce sont des paramètres mesurés in situ, facilement mesurables, utiles pour la détermination de l'état chimique des éléments dans l'eau.

III.2.1. La Température

La nature géologique, la profondeur du niveau d'eau, le changement climatique dont les effets sont déjà perceptibles, renforcent l'intérêt de suivre l'évolution des températures. Elle est considérée comme un paramètre d'accompagnement, contexte des données de qualité des eaux (augmentation de l'activité chimique), l'évaporation des eaux et bactérienne. Tous ces paramètres influent sur la température.

Les températures mesurées in situ en degré Celsius, la majorité des températures observée au niveau de la nappe superficielle sont inférieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS qui est de 25 °C, (variant entre 15,5 et 24 °C). Sauf quelque point à l'année 2016 (26.0°C) (Tableau 16).

III.2.2. La conductivité électrique

Elle dépend de la quantité d'ions que renferme cette eau ainsi que de sa température. Elle peut donc servir à estimer la teneur en sels dissous dans cette eau. La conductivité électrique de l'eau est généralement mesurée sur le terrain à l'aide d'appareils portatifs qui nécessitent un étalonnage fréquent et précis, la conductivité électrique donne généralement de bonnes informations sur la minéralisation de l'eau (liée à la présence des espèces ioniques en solution), et la minéralisation varie en fonction de la température, qui s'exprime en « $\mu\text{S}/\text{cm}$ ».

Tableau 17 : Conductivité électriques des campagnes (2002, 2009,2015 et 2016)

	Statistique	Nombre	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2002	9	1730	8109	3348,33	1700,07	0,51
	2009	9	2999	6290	4293,27	1286,13	0,30
	2015	9	1900	11500	6038,20	2433,89	0,40
	2016	9	800	6400	2760,58	1505,82	0,55

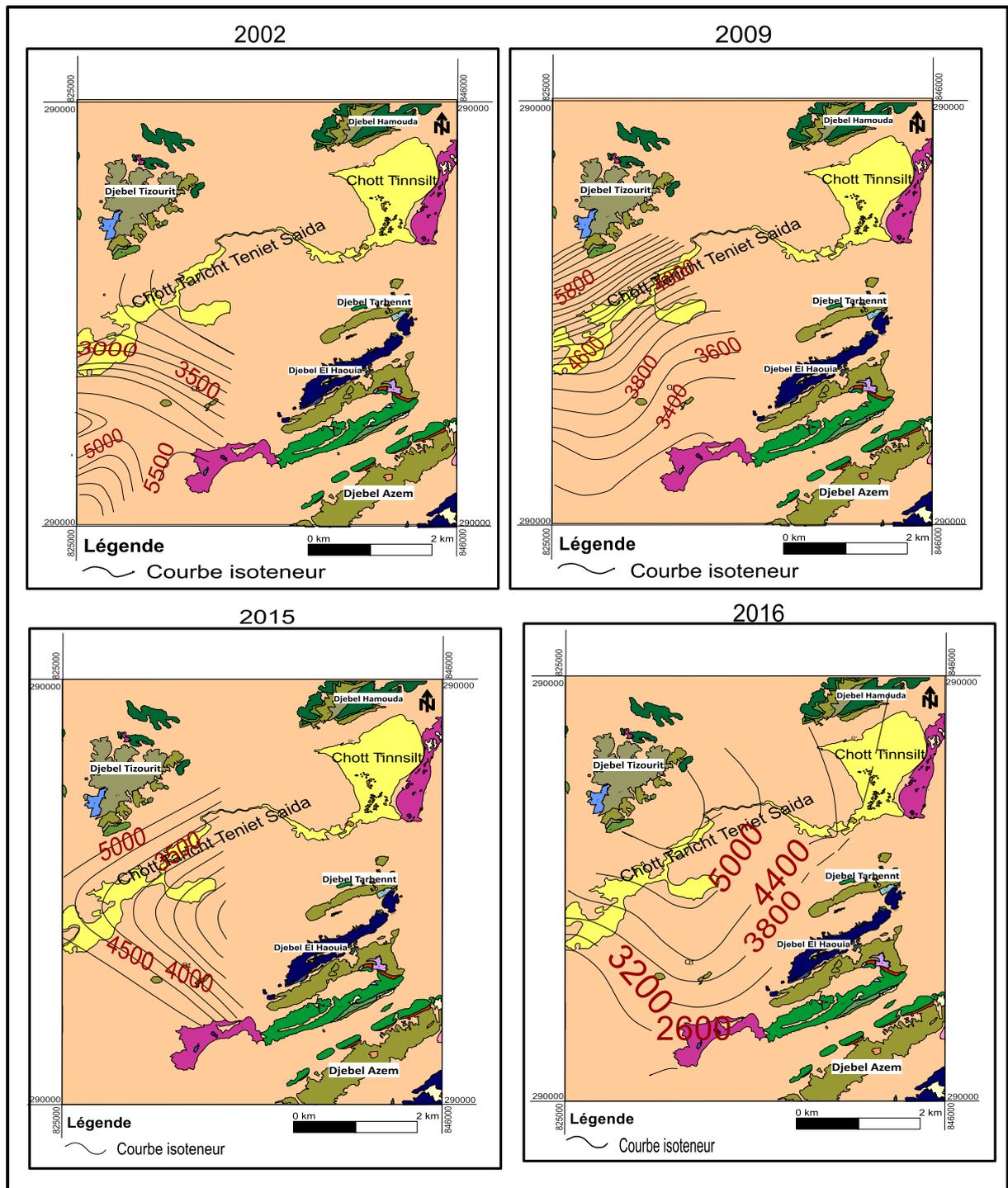


Figure 20 : Cartes de conductivité des campagnes 2002 ,2009,2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).

La variation de la conductivité électrique dans la plaine Theniet Sedra-Ain Yagout est comprise entre $800 \mu\text{s}/\text{cm}$ et $11500 \mu\text{s}/\text{cm}$, elles dépassent de loin les normes recommandées surtout pour les eaux d'alimentation en eau potable ($2800 \mu\text{s}/\text{cm}$). Tableau 17.

D'après la figure (20) et le tableau N° (17). On remarque que :

- ✓ Les valeurs de C. E augmentent considérablement aux voisinages des Chotts Taricht Teniet Saida durant les quatre campagnes de 2002, 2009, 2015 et 2016 (Figure 20) ce qui explique que la conductivité augmente dans le sens d'écoulement des eaux souterraines. Ceci est lié au lessivage des formations riches en sels traversées et en particulier les terrains triasiques et la concentration des sels suite à l'évaporation lorsque le niveau piézométrique est proche de la surface du sol.
- ✓ Les valeurs élevées de la C.E enregistrées dans la partie Est près des monts d'Ain Yagout sont liés aux formations salifères du Trias.

III.3. Cartographie hydro-chimique

L'établissement des cartes d'iso-teneurs en ion permet d'apprécier la répartition des concentrations et d'expliquer leur origine. Pour cela nous avons dressé des cartes d'iso-teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , SO_4^{--} , Cl^- et HCO_3^- .

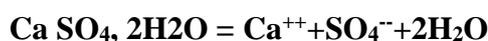
III.3.1. Le Calcium « Ca^{++} »

Le Calcium, élément principal pour les eaux (dureté de l'eau), elle se dissout en majorité lors de l'attaque des roches calcaires par l'anhydride carbonique dissous (CO_2). On le trouve dans les roches calcaires sous forme :

- De carbonates (Ca CO_3)



Ou par la dissolution des formations évaporitiques (le gypse (Ca SO_4), ainsi que dans les argiles.



Une teneur faible en calcium fait penser à un échange de base contre le sodium ou à l'absence de minéraux riches en calcium faiblement altérables. Par contre une teneur élevée en calcium provient de la mise en solution du gypse ou de l'anhydrite.

Dans la région d'étude, Les concentrations de calcium varient respectivement entre un minimum de 17.25 mg/l et un maximum de 270.98 mg/l. Ces concentrations indiquent que ces eaux sont influencées par la dissolution des formations carbonatées et les formations gypseuses à la fois. On assiste selon la répartition spatiale à une concentration dans le sens d'écoulement.

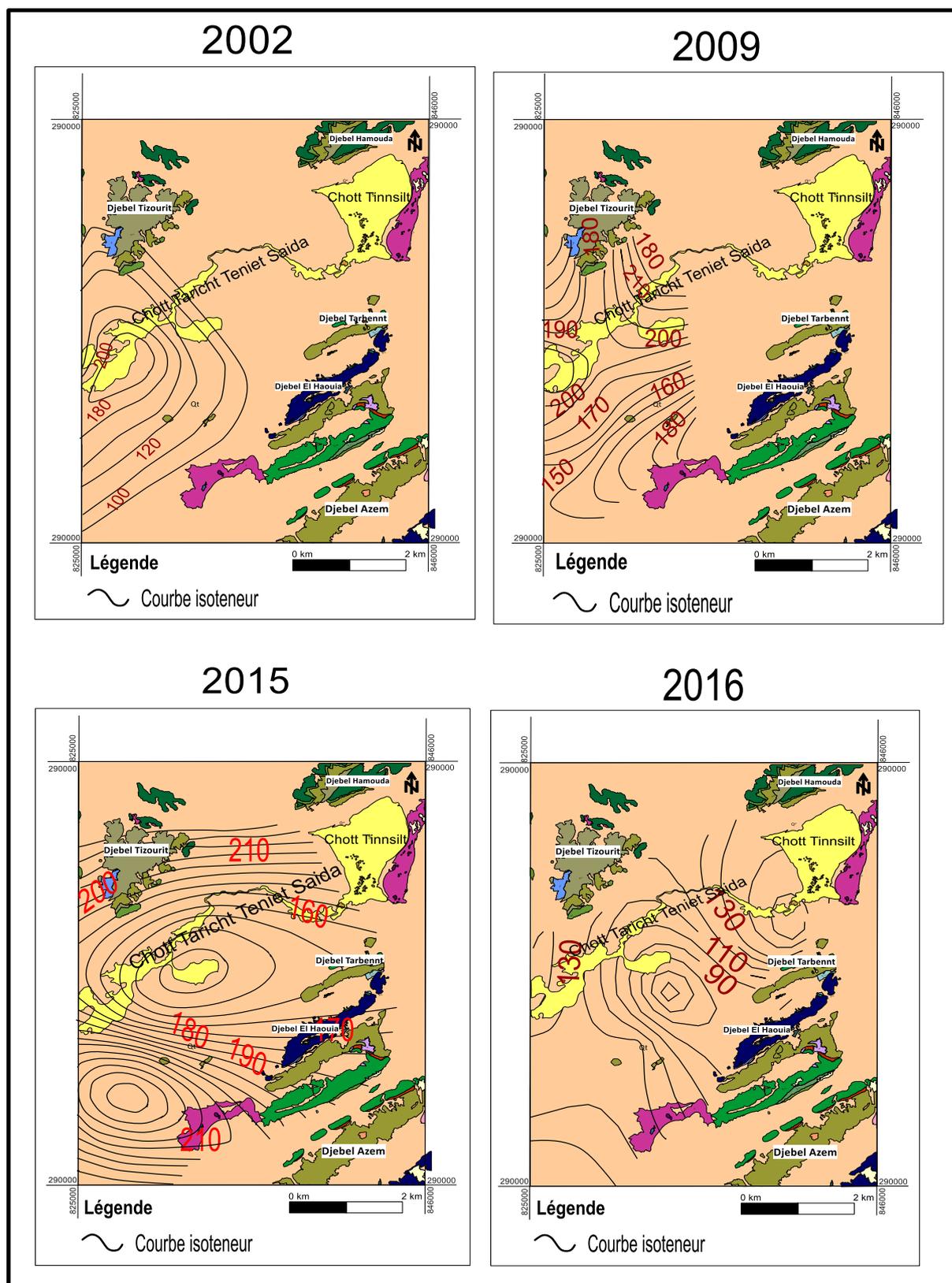


Figure 21 : Carte de Ca^{++} (mg/l) des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023)

Tableau 18 : variation de Ca⁺⁺ « compagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 ».

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
Ca ⁺⁺ (mg/l)	2002	9	216,43	17,25	125,43	49,23	0,39
	2009	9	210	120,14	159,46	28,57	0,18
	2015	9	270,98	155,00	181,74	27,52	0,15
	2016	9	257,98	50,26	122,94	48,40	0,39

III.3.2. Le Magnésium « Mg⁺⁺ »

Le magnésium est un élément très répandu, on le trouve dans les roches sédimentaires, ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium comme la magnésite $MgCO_3 = Mg^{2+} + CO_3^{2-}$, et la dolomite $Ca Mg(CO_3)_2 = Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2(CO_3^{2-})$ (Merkel and Sperling, 1996).

Lors de l'attaque des dolomies, la solubilité sélective est nulle. D'autre part-il Ya une égalisation des teneurs en calcium et magnésium. Si le calcium dépasse le magnésium, l'eau se minéralise du calcaire, par contre une teneur élevée en magnésium nous fait supposer une contamination d'eau de mer ou du lessivage des minéraux magnésiens. La dissolution des dolomies, calcaires dolomitique et du gypse donnent les ions de Mg⁺⁺.

Les concentrations observées au niveau de la région d'étude sont représentées dans la (Figure 22). Les teneurs en magnésium varient entre 20,93 mg/l comme valeur minimale et 335mg/l comme valeur maximale.

60 % des points d'eaux analysés l'an 2002 enregistre une teneur en Mg supérieur à la teneur limite de potabilité suivant les normes algériennes, par contre l'an 2015 tous les points analysés enregistre des teneurs dépassants la norme de potabilité algérienne qui est 150 mg/l. On pense ici que les apports en magnésium proviennent de la dissolution des formations évaporitiques (gypse).

Le faible processus de la dolomitisation qui indique les faibles teneurs de Mg⁺⁺, ce qui est indiquées aussi par les faibles valeurs d'indice de saturation de la dolomite.

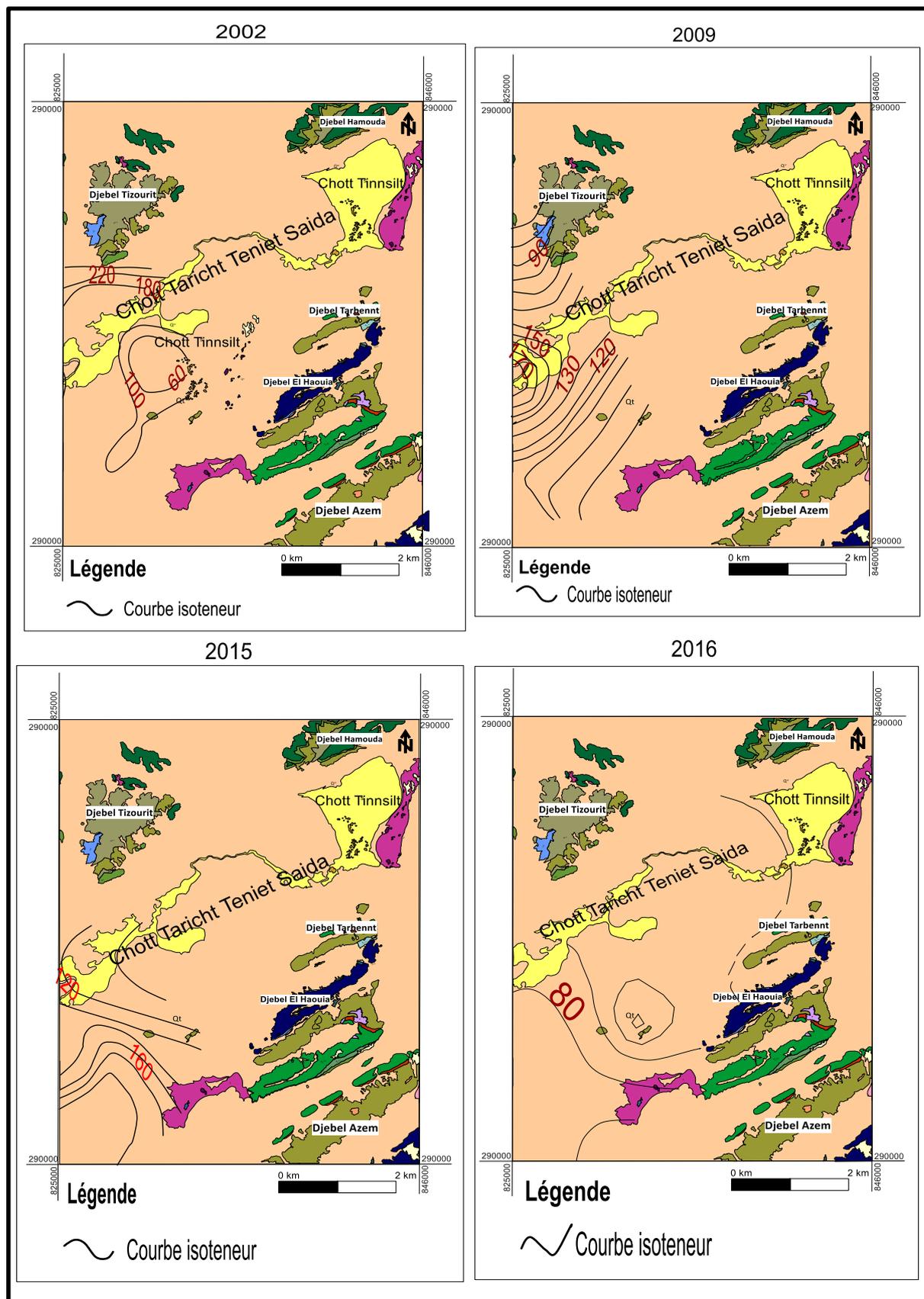


Figure 22 : Carte de Mg^{++} des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).

Tableau 19: variation de Mg⁺⁺ « compagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 ».

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
Mg ⁺⁺ (mg/l)	2002	9	264,50	20,93	131,52	78,95	0,60
	2009	9	180,17	90	135,62	23,05	0,17
	2015	9	335,00	78,00	172,21	74,58	0,43
	2016	9	250,68	23,88	86,89	56,69	0,65

III.3.3. Le Sodium « Na⁺⁺ » et le Potassium « K⁺ »

Le Sodium, ne se rencontre pas naturellement à l'état natif mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (chlorures, sulfates...), liée à la dissolution rapide des formations géologique riches en halite (NaCl), mirabilite Na₂SO₄ (10(H₂O)) (formations triasique et marneuses). L'existence des Sebkhas et des Chotts peut être aussi à l'origine de cet élément. Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage ou de la percolation de terrains salés ou aussi de l'effet de la salinité marine.

Le potassium, provient de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques et même des évaporites du Schott salé.

Au niveau de la région d'étude, les teneurs de Sodium et de potassium varient entre 28.75 mg/l comme valeur minimale et 810.20 mg/l comme valeur maximale.

L'examen de carte (Figure 23), montre que les plus grandes concentrations se sont attribuées à l'influence du Trias évaporitique (Trias d'Ain Yagout) et du Schott, cette valeur va diminuer progressivement.

Ces concentrations témoignent d'un apport salifère à partir des formations évaporitiques liées aux Sebkhas et Trias.

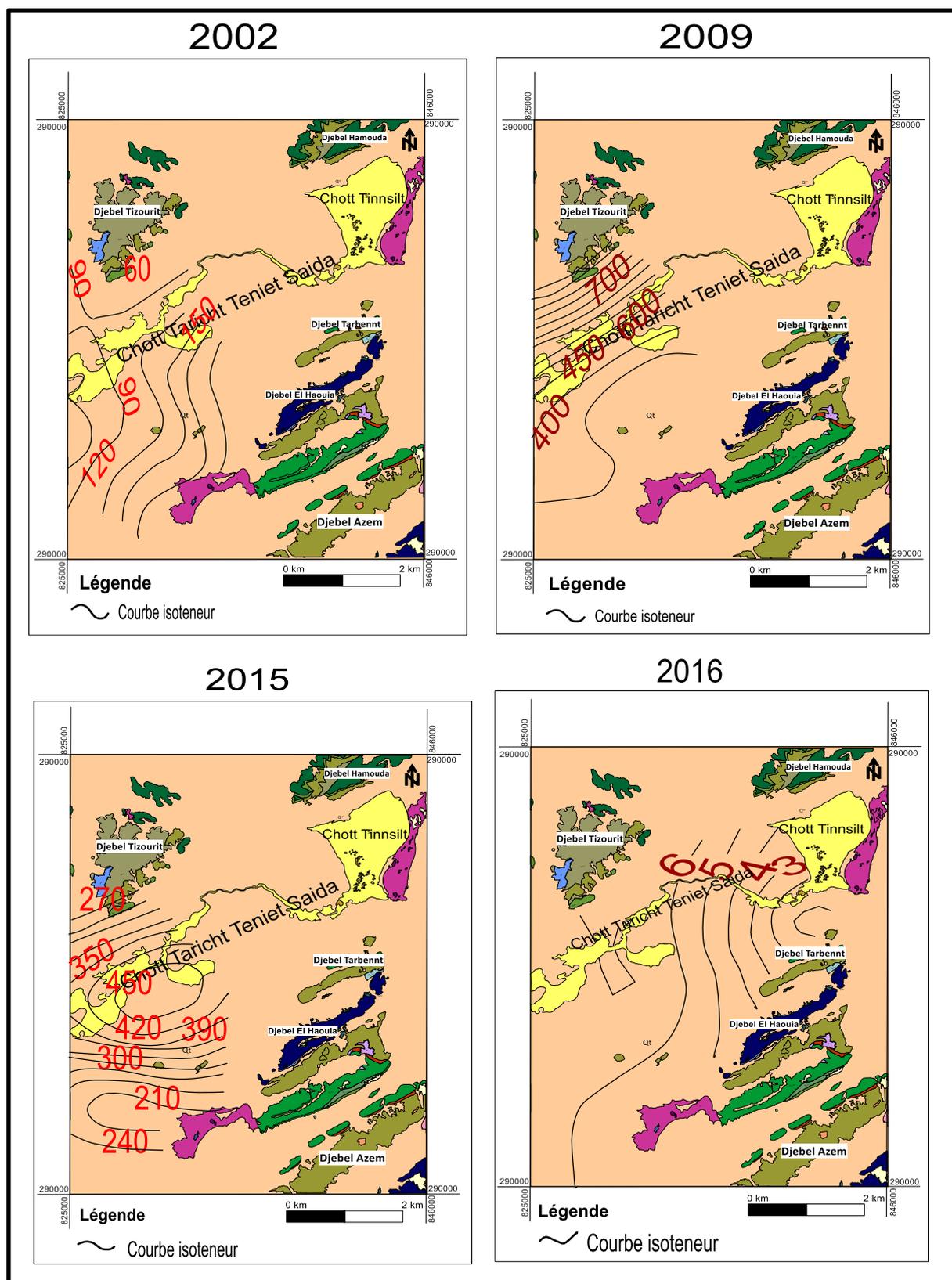


Figure 23 : Carte de Na^+K^+ des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).

Tableau 20 : Variation du Na⁺+K⁺ des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
Na ⁺ +K ⁺ (mg/l)	2002	9	204,24	28,75	113,34	63,67	0,56
	2009	9	810,20	175,00	485,99	202,35	0,41
	2015	9	471,40	232,50	361,89	66,45	0,18
	2016	9	309,48	28,06	131,00	68,90	0,53

III.3.4. Bicarbonates « HCO₃⁻ »

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches carbonatées ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable.

Les concentrations des bicarbonates dans les différents échantillons analysés, varient entre 114,04mg/l et 441,64mg/l.

Le chott dans la plaine est le niveau le plus bas, ce qui explique probablement sa saturation en bicarbonates lors du remplissage par les précipitations et le lessivage des roches carbonatées.

Tableau 21 : Variation des bicarbonates des campagnes 2002, 2009,2015 et 2016.

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
bicarbonate	2002	9	441,64	234,24	364,18	49,38	0,13
	2009	9	435,00	310,20	361,76	32,00	0,08
	2015	9	381,57	283,34	326,618	32,006	0,09
	2016	9	414,29	114,04	293,16	75,46	0,26

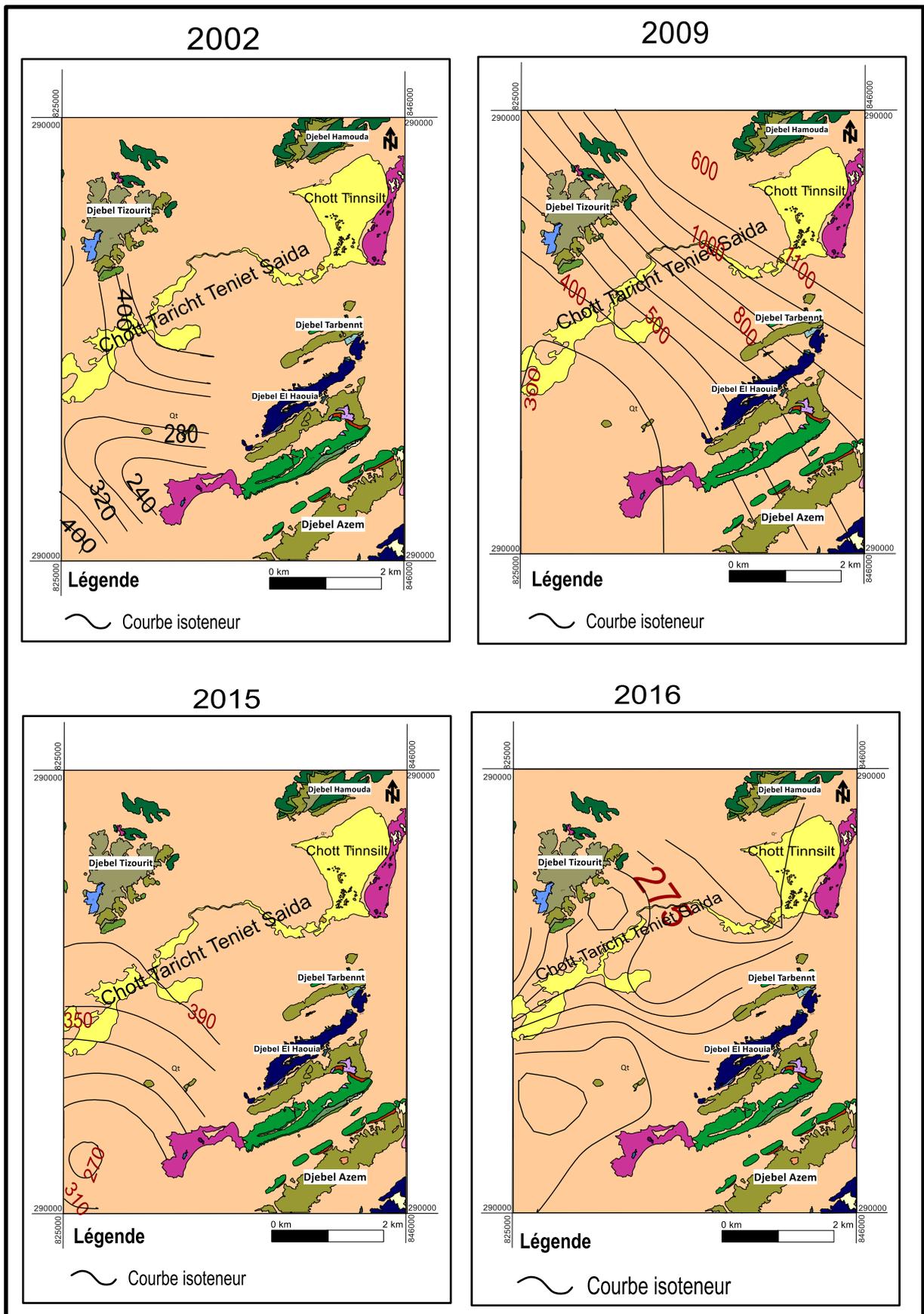


Figure 24 : Carte de HCO_3^- des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).

III.3.5. Sulfate « SO_4^- »

L'augmentation de teneur des Sulfates peut être dues à :

- Des pluies où le soufre est présent dans l'atmosphère subissant une oxydation avec extension.
- La solubilité du gypse
- L'utilisation des engrais chimiques
- La dégradation de la matière organique dans le sol [17].

Les teneurs en sulfates dans la nappe carbonatée varient entre 22,36 mg/l et 750 mg/l. Au niveau de la région d'étude on remarque que les fortes teneurs en SO_4^- sont localisées au niveau du chott, cette valeur commençant à diminuer jusqu'au massifs comme le montre la (Figure 25) Ceci implique le lessivage des formations gypsifères.

On peut dire, que cette augmentation est en liaison des engrais utilisés pour l'agriculture et au lessivage des formations gypsifères.

Tableau 22 : Variation des SO_4^- des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
SO_4^- (mg/l)	2002	9	413,58	84,96	276,11	101,63	0,36
	2009	9	490,83	340,60	402,90	49,56	0,12
	2015	9	139,00	22,36	78,27	36,10	0,46
	2016	9	750	25	287,65	200,32	0,70

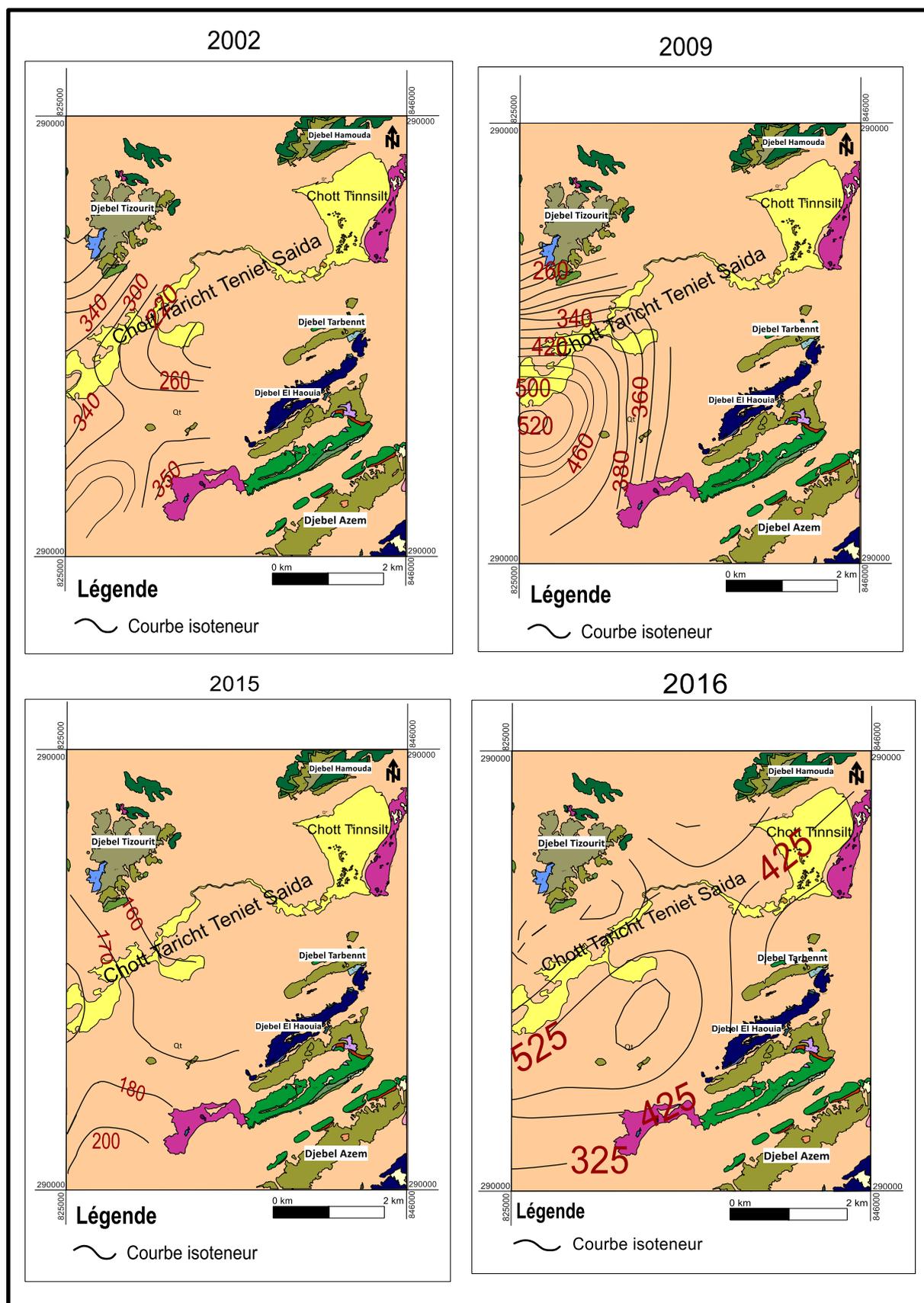


Figure 25 : Carte de SO_4^{2-} des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).

III.3.6. Les chlorure « Cl⁻ »

Généralement les chlorures présents sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂), les eaux riches en chlore sont riches en sodium, parfois le calcium remplace le sodium.

L'origine de cet élément est comme pour le cas du sodium, liée principalement à la dissolution des formations salifères. Les évaporites constituent la source principale de cet élément. L'effet de la salinité marine, les bassins endoréiques (Chotts, Sebkhass), les eaux fossiles, le salage des routes et l'adoucissement des eaux par les résines peuvent aussi être à l'origine de cet élément.

Les teneurs en chlorures de la région d'étude, varient entre 17,75 mg/l comme valeur minimale et 3800,58mg/l comme valeur maximale (Tableau 23).

Les fortes valeurs du coté Ain Yagout sont en rapport direct avec la présence des terrains triasiques salifères riches en halite (NaCl), et au centre liée à la présence du (Chotts, Sebkhass). Ces teneurs présentent des valeurs importantes par rapport à celle du sodium, à cause des caractéristiques spéciales de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimique, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui est très mobile et probablement aux rejets des eaux d'assainissement dans les chotts utilisés comme points de rejet.

Tableau 23 : Variation des Cl⁻ « campagnes Juin2002-Mai2009-Mai2015 ».

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
Cl ⁻ (mg/l)	2002	9	460,00	269,80	349,55	54,64	0,15
	2009	9	1400,77	616,04	874,01	274,93	0,314
	2015	9	3800,58	1000,23	1909,37	832,94	0,43
	2016	9	637,25	17,75	278,60	124,39	0,45

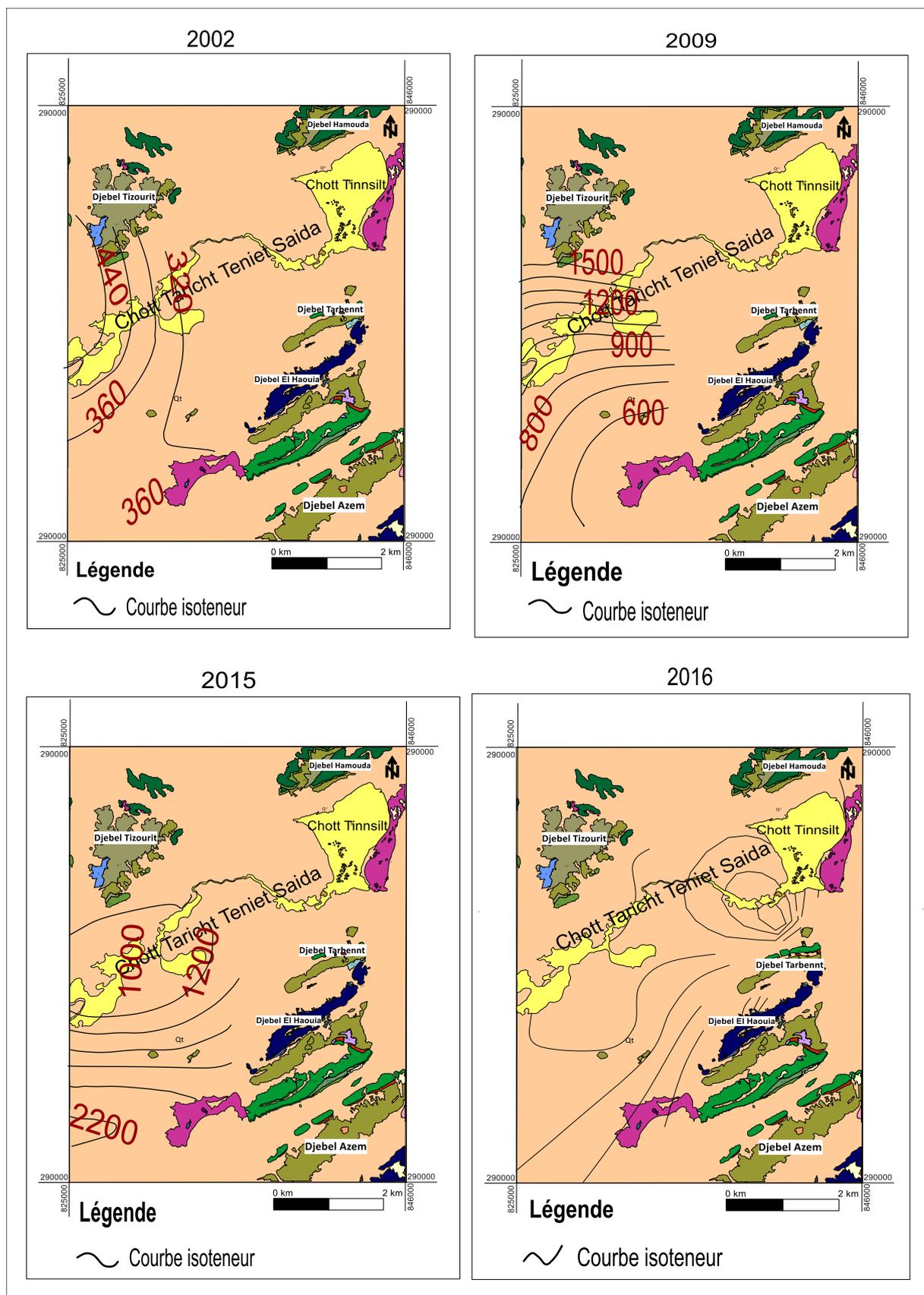


Figure 26 : Carte de CI des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).

III.3.7. Les nitrate « NO₃⁻ »

L'azote est présent en abondance dans la nature sous forme gazeuse, organique ou minérale. Les nitrates (NO₃⁻) constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et les eaux de surface, elle dépend du type de sols, de la végétation qui les recouvrent ainsi que du taux d'oxygénation dans la zone noyée. On peut dire aussi que l'origine des nitrates dans les eaux souterraines est essentiellement externe (apports anthropiques). Les nitrates sont utilisés comme indice de pollution, l'apport atmosphérique en nitrates est faible. Les teneurs en nitrates sont très faibles, elles ne dépassent pas les normes de potabilité (> 50 mg/l).

Les teneurs en nitrates de nos analyses varient entre 0mg/l comme valeur minimale et 74,01 mg/l comme valeur maximale. Dans la nappe alluvionnaire, la grande concentration est au niveau du Schott, diminue progressivement vers les bordures.

Tableau24 : Variation des nitrates des campagnes 2009, 2015 et 2016

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
NO3-	2009	9	74,01	9,02	23,23	20,41	0,88
	2015	9	24,92	6,28	12,98	5,94	0,45
	2016	9	0,275	0	0,0072	0,025	3,47

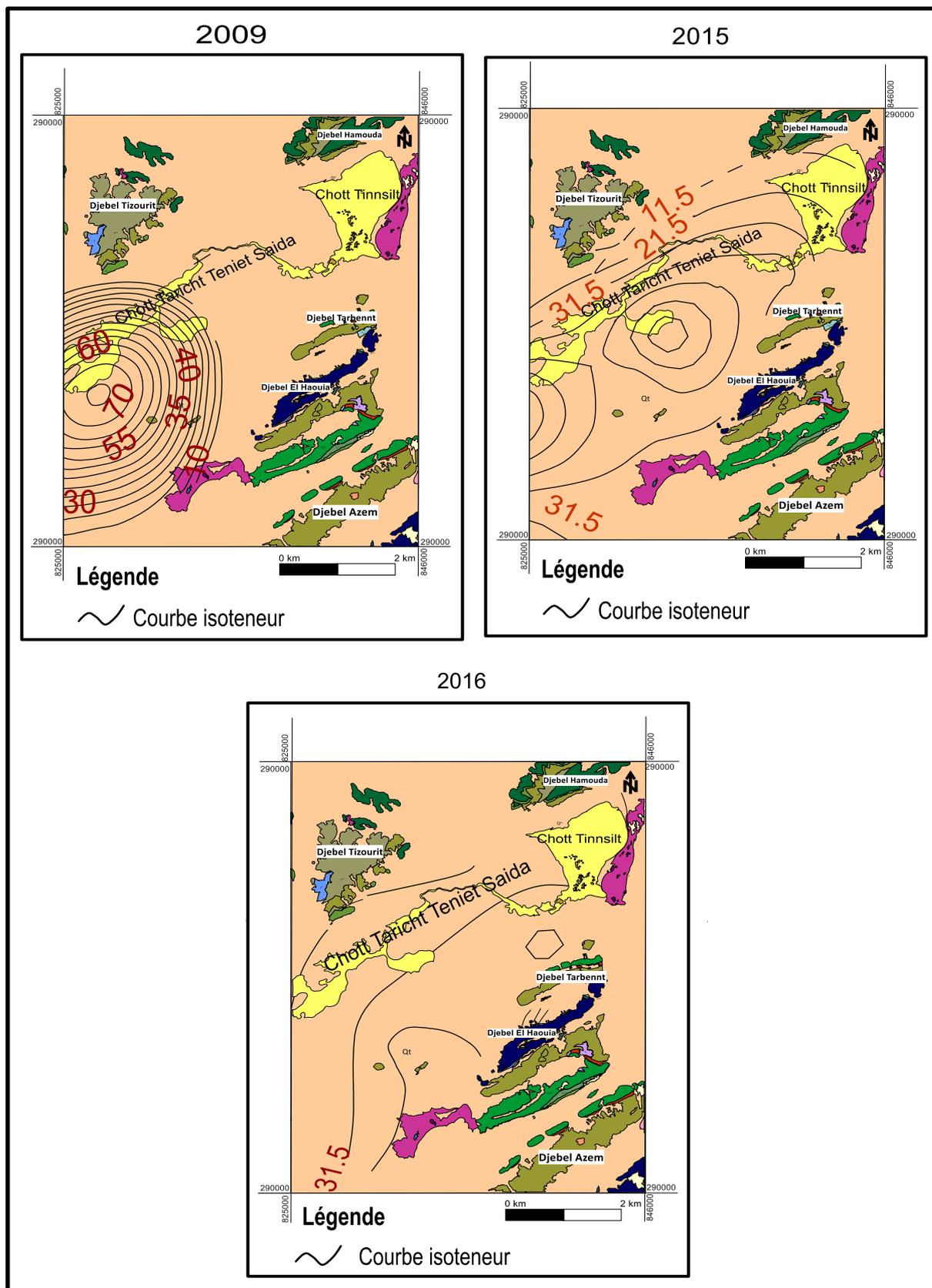


Figure 27 : Carte de NO_3^- des campagnes 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par auteurs 2023).

III.4. Aptitude de l'eau à l'irrigation

Dans toutes les activités humaines, l'irrigation est de loin la plus grande consommatrice d'eau, il est nécessaire donc d'avoir des ressources présentant des propriétés Physico-chimiques adaptées aux plantes.

La plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout est une région à vocation agricole où sont pratiquées essentiellement les cultures céréalières et maraîchères. Les eaux d'irrigation présentent des teneurs élevées en certains éléments chimiques qui peuvent présenter un véritable danger, comme l'accumulation des sels dans le système racinaire qui perturbe la croissance de la plante et de changer la structure physique du sol par l'altération de sa perméabilité.

III.4.1. Eaux à forte teneur en sodium

L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (R.S. AYERS et D.W. WESTCOT, 1988), dans de telles conditions, il devient extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture, le risque est déterminant à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ration) (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau selon la formule de [18] :

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{rMg^{+2} + rCa^{+2}}}$$

Où tous les éléments sont exprimés en méq/l.

Pour classer les eaux d'irrigation, il est nécessaire d'évaluer la concentration en ions Na⁺ dans le sol. Cet élément remplace dans le complexe absorbant le calcium ou le magnésium.

Les concentrations de Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺ sont exprimées en méq/l. Le SAR de chaque point d'eau est reporté sur le diagramme de Wilcox en fonction de sa conductivité électrique. Ce diagramme montre que la majorité des points d'eau présente une salinité forte.

Tableau 25 : Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.

	Classe		%des points	% totale
2002	Elevé	C3S1+C3S2	33,33	100
	Très Elevé	C4S1+C4S2+C5S1	66,66	
2009	Très Elevé	C4S1+C4S2+C5S3+C5S4	100	
2015	Elevé	C3S2	11,11	100
	Très Elevé	C4S2+C5S2	88,88	
2016	Elevé	C3S1	44,44	100
	Très Elevé	C4S1+C4S2	55,55	

On peut dire que la plus grande partie des eaux de la nappe de la plaine d'étude sont mauvaise pour l'irrigation et présente un risque d'alcalinisation des sols (Tableau 25).

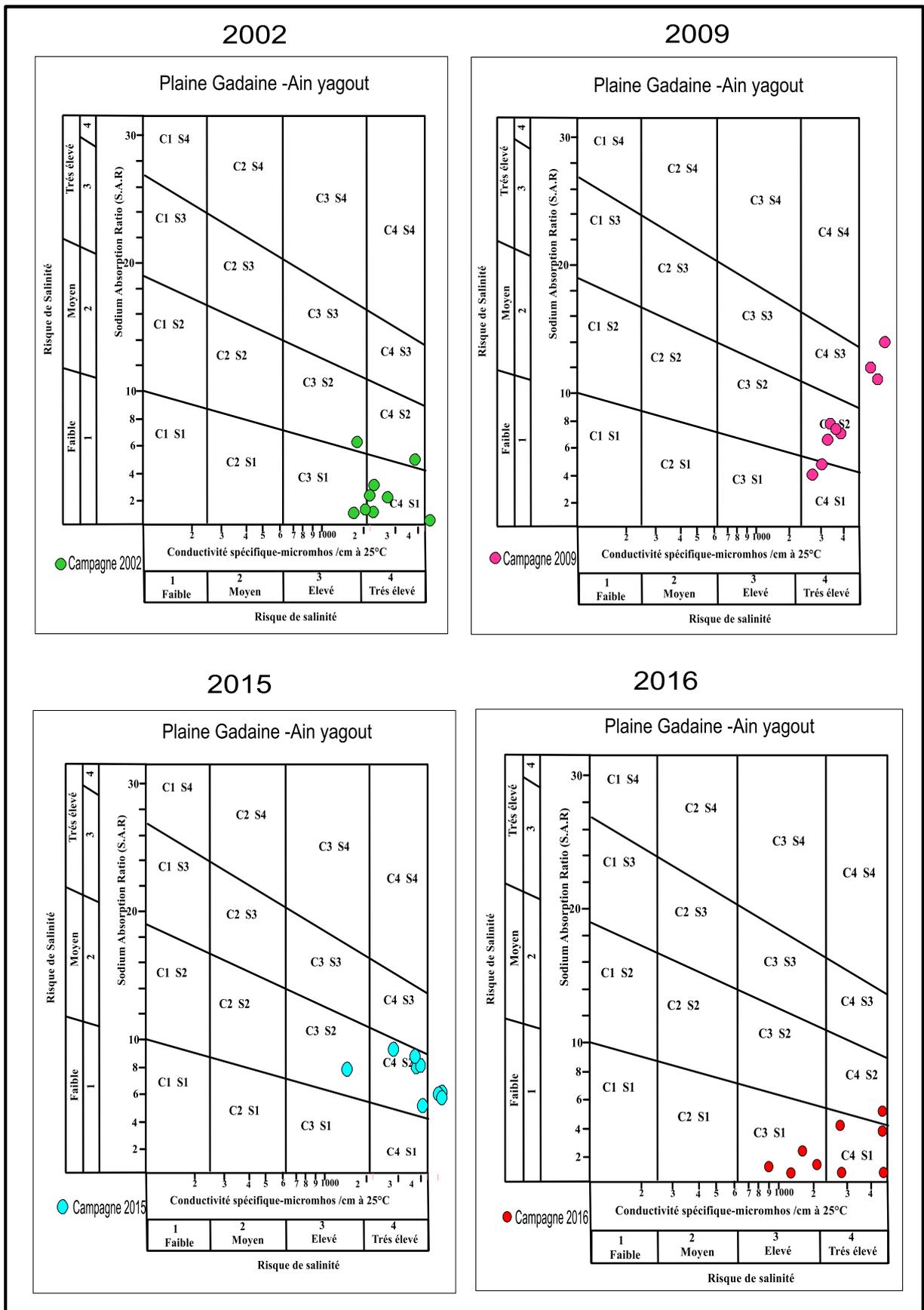


Figure28 : Diagramme du S.A.R des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.

III.4.2. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de WILCOX (1948)

Le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium, c'est pourquoi on utilise une classification basée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, qui est définie par la relation suivante.

$$\%Na^+ = \left[\frac{rNa^+}{r(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \right] * 100$$

Tableau 26 : Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.

	Classe	% des points	% totale
2002	Bonne	11,11	100
	Admissible	11,11	
	Médiocre	44,44	
	Mauvaise	33,33	
2009	Mauvaise	100	100
2015	Admissible	11,11	100
	Mauvaise	88,88	
2016	Bonne	44,44	100
	Médiocre	22,22	
	Mauvaise	33,33	

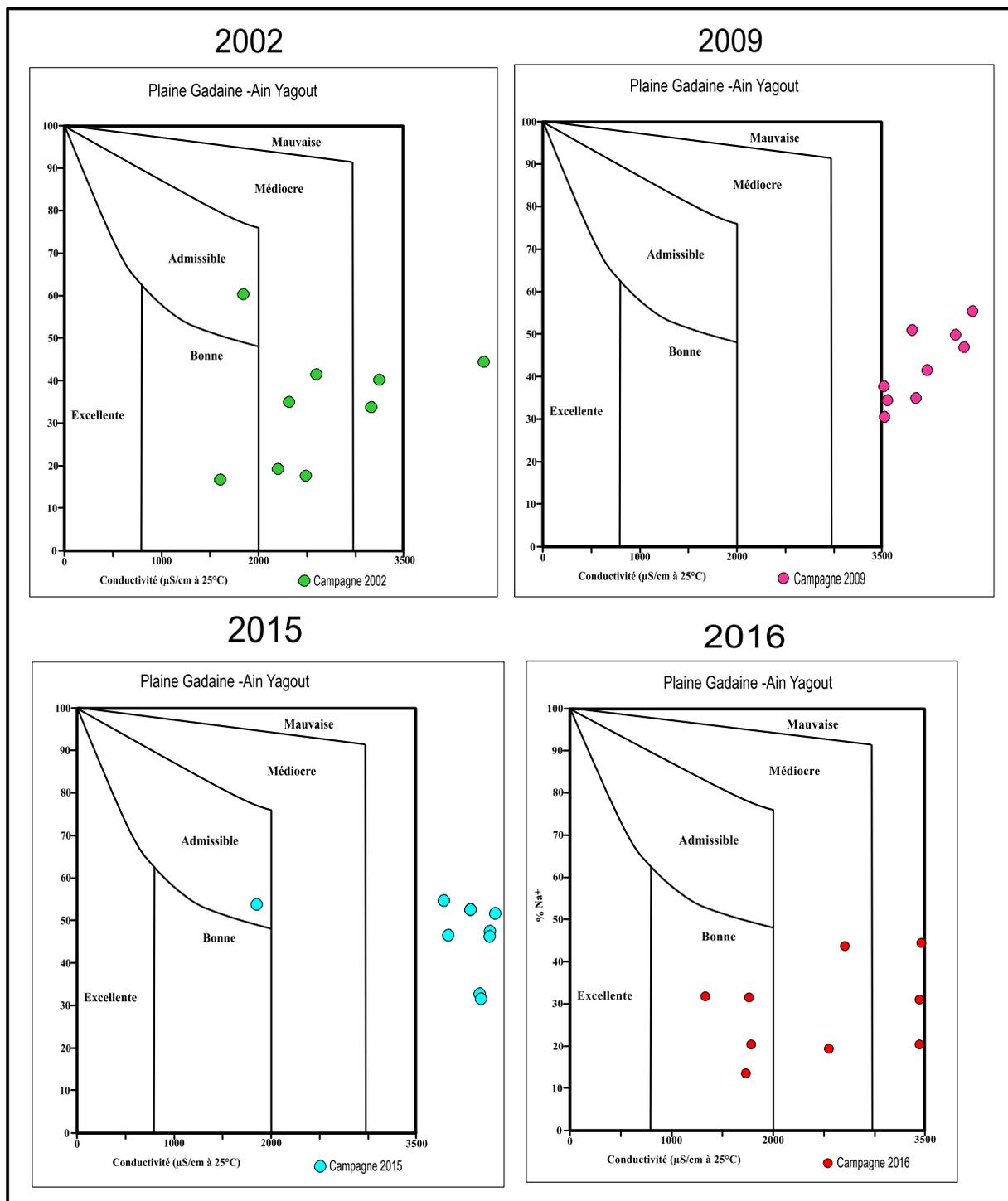


Figure29 : Diagramme Wilcox des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016.

On peut dire que la qualité de l'eau d'irrigation varie d'une campagne à l'autre, par exemple le pourcentage d'eau acceptable en 2002 (Bonne 11,11% ; Admissible 11,11% ; Médiocre 44,44%), en 2009 (Mauvaise), en 2015 (Admissible 11,11%), et en 2016 on a (Bonne 44,44% ; Médiocre 22,22%).

Conclusion

L'interprétation des diagrammes de PIPER, a montré que les eaux de la région de la plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout sont caractérisées par une dominance des chlorures ou des magnésiums qui semble être liée à la nature géologique (évaporitique et carbonaté).

L'analyse cartographique fait ressortir que le calcium, le magnésium et les bicarbonates ont des concentrations élevées à proximité des massifs. Cette augmentation est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires et les calcaires dolomitiques ce qui confirme l'alimentation de la nappe par les calcaires de bordures. Par contre les chlorures, les sulfates et le sodium sont caractérisés par des teneurs élevées au centre de la plaine, dues à l'influence des formations salifères comme le gypse et les marnes salifères, les argiles qui sont relativement salées.

La majorité des points d'eau de la plaine sont mauvais et ne peuvent être exploitées pour l'irrigation l'agriculture avec la présence d'un danger de salinisation (risque de salinité des sols).

La forte minéralisation enregistrée dans cette zone est liée aux valeurs élevées de conductivité traduisant une salinité élevée qui doit être prise en considération et que l'eau doit être utilisée avec beaucoup de précaution en agriculture.

CONCLUSION

GENERALE

COCLUSION GENERALE

La plaine Chott Theniet Sedra-Ain Yagout fait partie de bassin versant des hauts plateaux Constantinois au Nord-Ouest de la ville de Batna.

Elle présente l'aspect typique des Hautes Plaines de l'Est Algérien Septentrionale, avec un relief diversifié constitué en grande majorité par des plaines et plateaux ; qui sont en général des dépôts du Mio-Plio-Quaternaire, formés par des calcaires lacustres, des argiles, des conglomérats, des alluvions et des dépôts de piémonts, par contre les massifs rocheux sont à dominance carbonatée dont l'âge est Crétacé et Jurassique.

L'étude géophysique révèle la présence de deux aquifères :

- Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire (aquifère Alluvionnaire) ;
- Aquifère profond d'âge Jurassique et Crétacé (aquifère Carbonaté)

Les deux aquifères sont séparés par une formation étanche formée principalement d'Argiles et de Marnes d'âge Mio-Pliocène.

L'étude hydroclimatologique atteste que la zone d'étude est soumise à un climat semi-aride ; (pluvieux, froid en hiver, et un été prolongé chaud), marqué par une température moyenne annuelle de l'ordre de 15,73°C et une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 319,7 mm.

L'ETR est de l'ordre de 315 ce qui présente 98.53% des précipitations, Tandis que L'infiltration est quasi-nulle, ce qui ne reflète guère la réalité.

Le bilan hydrique est dans l'ensemble est déficitaire, à l'exception du mois de Mars devient excédentaire.

L'analyse des différentes cartes piézométrique montre :

- Les axes d'écoulement des eaux souterraines convergent vers les zones de drainage qui sont les Chotts ;
- L'alimentation de la nappe superficielle se fait par les précipitations, soit par alimentation latérale à partir des massifs calcaires fissurées entourant la plaine, et la nappe profonde où les piémonts des massifs ou le réseau de fracturation ;
- La variation de gradient hydraulique dans la plaine peut être due à l'hétérogénéité du remplissage alluvionnaire (variation de perméabilité) ;
- Son exutoire principal est les Chotts Taricht Teniet Saida et Tinnsilt.

L'analyse hydrochimique fait ressortir que le calcium, le magnésium et les bicarbonates ont des concentrations élevées à proximité des massifs. Cette augmentation est due à l'influence des formations carbonatées telles calcareuses et calcareuses dolomitiques confirmant l'alimentation de la nappe par les calcaires de bordures. Par contre les chlorures, les sulfates et le sodium sont caractérisés par des teneurs élevées au Nord-Ouest et au centre de la plaine, dues

à l'influence des formations salifères comme le gypse et les marnes salifères, les argiles sont relativement salées.

- La potabilité des eaux est différente d'un endroit à un autre, de bonne à médiocre. Les eaux à usage agricole sont admissibles à médiocres aussi, avec des risques de salinisation des sols.

REFERENCE

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : **Belalite, H. (2021)**. Etude hydrogéologique des plaines de Zana et de Gadaïne dans un contexte de changement climatique et de contraintes anthropiques pour l'élaboration d'un schéma de gestion intégrée des ressources en eau (Nord-Est algérien) (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [2] : **Dib, I. (2010)**. L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de gadaine-ain Yagout (est algérien) (doctoral dissertation, université de batna 2).
- [3] : **Joradp. (1984)**. N° 67 du 19 décembre 1984, Décret n° 84-365, fixant la composition, la consistance et les limites territoriale des communes. Wilaya de Batna, p. 1479.
- [4] : **Wisler, C. O., & Brater, E. F. (1959)**. Hydrology. John Wiley and Sons. Inc. NY 408p.
- [5] : **Roche M. (1963)**. Hydrologie de surface. Gauthier-Villars et ORSTOM, Paris, France, p.430.
- [6] : **Ward, R. C., & Robinson, M. (1975)**. Principles of hydrology (Vol. 367). London : McGraw-Hill.
- [7] : **O.M.M. (1996)**. Guide des pratiques hydrologiques : acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Publication OMM no.168. OMM (World Meteorological Organization), Genève, Suisse.
- [8] : **Savornin J. (1920)**. Etude géologique de la région du Hodna et du plateau Sétifien. Thèse es sce Nat. Lyon p.44-45.
- [9] : **Vila J.M. (1980)**. La chaine Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat es Science naturelle, Univ. Pierre et Marie Curie Paris VI. p.665.
- [10] : **Guiraud R. (1977)**. Sur la néotectonique des régions ouest-constantinoises, Bull. Soc. géol. France XIX (3) p.645-650.
- [11] : **Glaçon J. (1967)**. Recherches sur la géologie et les gites métallifères du Tell Sétifien Bull. serv. géol. Alger, 2 volumes ; cartes.
- [12] : **Vilain M. (1987)**. La production végétale. Vol 1. Les composantes de la production. ED. Baillièrè. France. P .416.
- [13] : **Athamena, A. 2018**. Thèse Doctorat. Flux azoté : origine et devenir dans les eaux souterraines, cas de la région de Zana. Est algérien. Université de Batna 2.
- [14] : **Dib I. (2009)**. L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne-Ain Yagout (Est Algérien). Université. Hadj Lakhdar-Batna. p132.
- [15] : **Naili, N., Hazami, M., Kooli, S., & Farhat, A. (2015)**. Energy and exergy analysis of horizontal ground heat exchanger for hot climatic condition of northern Tunisia. Geothermics, 53, 270-280.

[16] : **Belloula L. (2004)**. Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de Gadaïne-Ain Yagout (Ouest de Batna). Mémoire de magister en hydraulique. Univ. Batna. p132.

[17] : **Vieville, r., & Domont, a. (1983)**. Alcoolisme et accidents de trajet. Ann med accid trafic, (34).

[18] : **Richards L.A. (1954)**. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p.160.



ANNEXES

ANNEXES

Les données climatiques de la station Ain Skhouna :

Tableau : précipitation mesurer en station Ain Skhouna

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
1989-2018	30,7	23,5	31,2	36,7	42,2	16,9	6,6	22,1	33,1	25,5	23,4	27,8	319,7
2015	58,7	43,0	43,6	6,8	22,8	29,3	4,8	59,4	13,5	41,7	15,7	-	339,3
2016	16,0	18,3	20,2	66,5	26,5	1,3	0,3	0,1	11,3	6,1	33,8	9,6	210
2017	35,0	7,4	-	20,5	4,1	24,4	0,2	4,8	4,7	22,1	26,0	20,5	169,7
2018	0,7	17,1	38,8	47,6	56,2	0,4	3,9	57,3	27,5	64,6	0,2	4,7	319

Tableau : Température mesurer en station Ain Skhouna

Mois	1989-2018			2015			2016			2017			2018		
	M	m	Moy.	M	m	Moy	M	m	Moy	M	m	Moy.	M	m	Moy.
Jan.	12,42	0,08	6,25	11,6	-0,3	5,0	15,7	1,2	8,5	10,2	-0,7	4,2	15,1	-0,4	7,3
Fev.	13,58	0,48	7,03	10,4	1,3	5,6	15,8	1,7	8,8	16,4	1,1	8,7	11,7	-0,7	5,5
Mars	17,24	2,89	10,07	16,4	3,0	9,5	9,5	-2,6	9,5	20,3	2,0	11,2	17,1	4,7	10,9
Avr.	20,65	7,75	14,20	23,0	6,0	14,8	22,8	7,3	15,1	21,7	5,3	13,5	21,9	6,6	14,3
Mai	26,34	9,79	18,07	28,2	9,9	19,4	26,9	10,0	18,5	29,9	11,4	20,7	23,9	9,6	16,7
Juin	31,93	14,31	23,12	30,9	13,2	22,6	32,6	13,6	23,1	33,5	16,1	24,8	31,5	13,3	22,4
Juil.	35,86	17,37	26,62	36,3	16,3	27,3	35,8	16,4	26,1	37,0	17,7	27,4	35,6	24,9	29,3
Août	35,13	17,12	26,13	34,9	16,7	26,2	34,0	15,4	24,7	37,1	18,4	27,8	32,0	15,7	23,9
Sep.	29,65	14,34	21,99	29,5	14,7	21,8	29,1	13,2	21,2	29,9	12	21,0	30,2	15,4	22,8
Oct.	24,30	10,00	17,15	23,7	10,7	16,8	26,9	11,2	19,1	23,2	6,9	15,1	20,3	9,2	15,6
Nov.	17,47	4,64	11,05	17,5	4,0	10,3	18,1	4,3	11,2	17,0	1,7	9,4	18,0	3,6	10,8

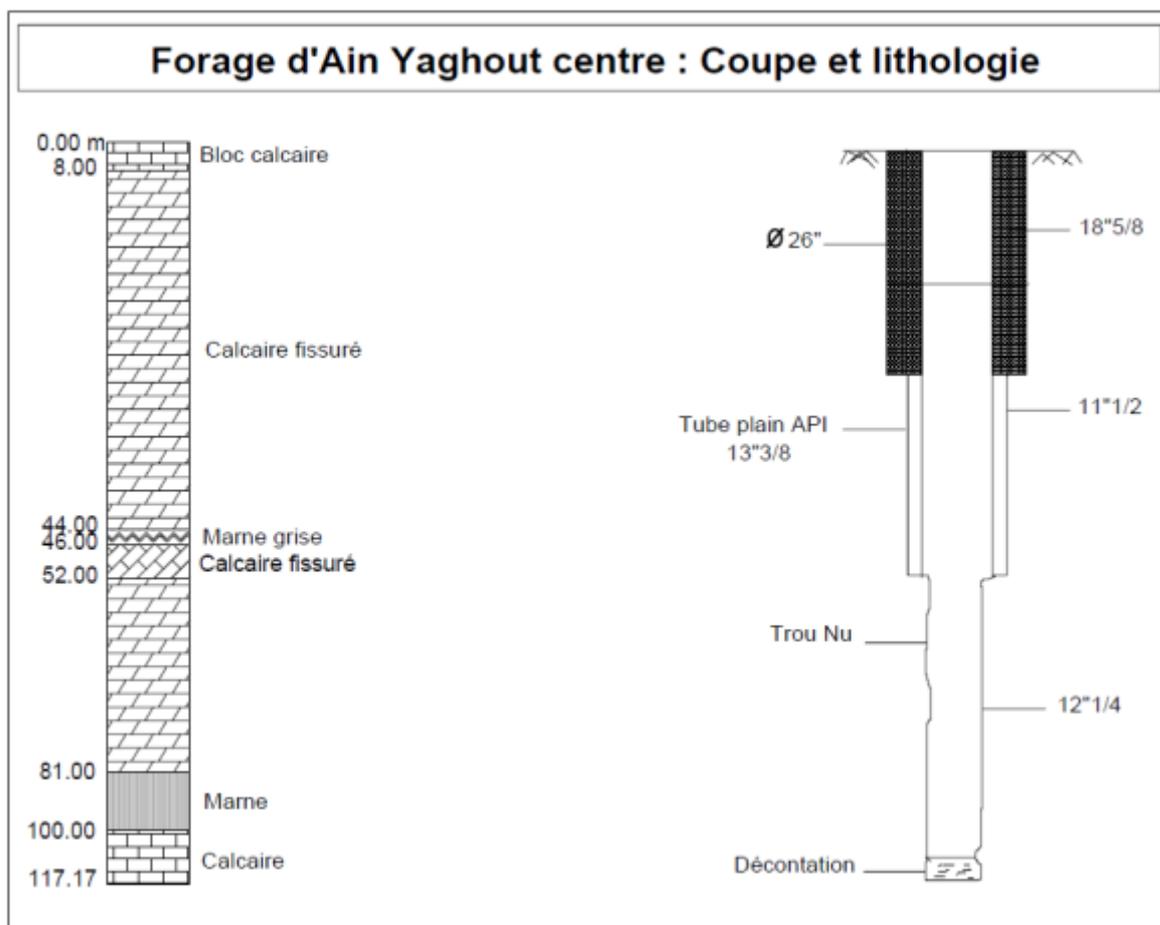


Figure : coupe et lithologie de forage d'Ain yagout centre