

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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 hydrochimique des eaux  
souterraines de l'aquifère superficielle de la plaine chott Gadaïne-Lazrou,  
Wilaya de Batna, Est Algérien**

**Réalisé par :**

**-Boussbaa Nedjla**

**-Boughedid Raghda**

**-Mokrane Nouha**

**Soutenu devant le jury :**

**M.**

**Koussa Miloud**

**Président**

**M.**

**Kabour Abdeassalam**

**Examineur**

**Mme**

**Belalite Halima**

**Promoteur**

**Année universitaire : 2022/2023**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## Dédicace

*Je remercie mon Dieu le tous et le puissant.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À ma chère mère source de tendresse.*

*À mon cher père source de sacrifice.*

*Mes remerciements les plus chaleureux vont à mes chers parents qui m'ont soutenue durant mes études, pour leur présence à côté de moi tout le temps et particulièrement pour leur attention.*

*À mes chers frères : Mohamed et Haithem.*

*À mes belles sœurs : Maha et Assala.*

*À mes chères amies : Houda et Wafae et à amie(e)s.*

*Je tient à remercier mes binômes Boussbaa Nedjla et Boughedid Raghda pour les échanges, cette année nous a permis de construire une forte amitié, pour le soutien mutuel que nous avons pu m'apporter dans ce travail d'équipe, sans qui le mémoire n'aurait pu prendre cet aspect.*

***Nouha***

## Dédicace

*Je remercie mon Dieu le tous et le puissant.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*À ma chère mère source de tendresse.*

*À mon cher père source de sacrifice.*

*Mes remerciements les plus chaleureux vont à mes chers parents qui m'ont soutenue durant mes études, pour leur présence à côté de moi tout le temps et particulièrement pour leur attention.*

*À mes chers frères : Mouloud, Mohamed et Mounir.*

*À mes belles sœurs : Kawther, Nada, Houda, Doua.*

*À mes chères amies : Amani, Djamila, Kenza, Mariam, Ahlam,*

*Chahinez, Raghda et Malak et à amie(e)s.*

*Je tient à remercier mes binômes Mokrane Nouha et Boughedid Raghda pour les échanges, cette année nous a permis de construire une forte amitié, pour le soutien mutuel que nous avons pu m'apporter dans ce travail d'équipe, sans qui le mémoire n'aurait pu prendre cet aspect.*

***Nedjla***



## Dédicace

*Je remercie mon Seigneur tout et cher.*

*Je dédie cet humble travail :*

*À ma chère mère, une source de tendresse.*

*À mon cher père, source de sacrifice.*

*Je tiens à remercier mes chers parents qui m'ont soutenu durant mes études, pour avoir été à mes côtés tout le temps et surtout pour leur sollicitude.*

*À mes chers frères et belles sœurs*

*Àux enfants de la famille*

*À mes chers amis et proches*

*À la famille Boughedid et Herimi*

*Je tiens à remercier mes partenaires Boussbaa Nedjla et Mokrane Nouha*

*Pour les échanges, cette année nous a permis de nouer une amitié forte, pour le soutien mutuel que nous avons pu m'apporter dans ce travail d'équipe, sans lequel le mémoire n'aurait pas pris cet aspect.*

**Raghda**

## **Remerciement**

*Tout d'abord, nous voudrions remercier*

*DIEU Tout-Puissant qui nous a donné la volonté et la patience de développer ce travail.*

*Il nous fait plaisir d'exprimer notre gratitude et notre remerciement*

*A notre encadreur Mme **BELALITE. H***

*Pour nous aidé à l'aboutissement de ce travail.*

*Nous adressons aussi un chaleureux remerciement*

*A notre très cher parent*

*Nos adorables sœurs et nos aimables frères.*

*Pour leurs encouragements et ces énormes sacrifices.*

***En fin ,nous remercions***

*Tous les membres du jury*

*Et tous ceux qui nous fera l'honneur d'évaluer ce travail*

*Nous vous disons encore une fois et du fond du cœur*

***Merci***

*Liste des  
Abréviations*

## Liste des Abréviations

AEP : Alimentation En Eau Potable

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrique

°C : Degré Celsius

Ca : Calcium

C.E : Conductivité Electrique

C.G.G: Compagne Générale de Géophysique

Cl : Chlorure

CP : le coefficient pluviométrique

Da : Déficit Agricole

DSA : Direction des Services Agricoles

ETP : Évapotranspiration Potentielle

ETPc : Évapotranspiration Potentielle Corrigée

ETR : Évapotranspiration Réelle

Ex : Excédent

F : Faille

°F: Degree Français.

F.A.O: Food and Agriculture Organization

HCO<sub>3</sub>: Bicarbonates

I : Infiltration Efficace Moyenne Annuelle

Kc : Coefficient d'Evapotranspiration d'une Culture

K : Potassium

Mg: Magnésium



mg/l : Milligramme par litre.

Na: Sodium

NO<sub>3</sub>: Nitrates

ohm.m: Ohm mètre

P : Précipitation

PH : Potentiel d'Hydrogène.

R : Ruissellement

RFU : Réserve Facilement Utilisable

S.E.V : Sondages Electriques Verticales

T : Température

## Sommaire

Dédicace	I
Remerciement	IV
Liste des Abréviation	V
Sommaire	VII
Liste des tableaux	X
Liste des figures	XII
RESUME	XIV
ملخص	XV
Abstract	XVI
Introduction générale	1
Chapitre I - Généralités	3
Introduction	3
I. Etude physico-géographiques de la zone d'étude	3
I.1.Situation géographique	3
I.2. Géomorphologie	5
I.2.1. Les Montagnes	5
I.2.2. La plaine	6
I.3. Réseau hydrographique	6
I.4. Caractères Physiques	7
I.4.1-Indice de compacité de Gravelius	8
I.5. Rectangle équivalent	8
I.5.1. Longueur équivalente	9
I.5.2-Largeur équivalente	9
Conclusion	9
Chapitre II - Contexte Géologique	10
Introduction	10
II. 1.Analyse litho-stratigraphique	10
II.1.1Formations peu ou pas tectonisées	10
II.1.2Ensemble allochtone sud sétifien	11
II.1.2.1. Crétacé inférieur	12
II.1.2.2. Jurassique supérieur (J <sub>6</sub> )	13
II.1.3. Ensemble parautochtone et autochtone Aurésien	13

II.1.3.1. La structure en tête plongeante du Djebel Tarbennt	13
Conclusion	14
Chapitre III - Etude Géophysique	15
Introduction	15
III.1.Principe de la prospection électrique	15
III.2.Répartition des sondages électriques	15
III.2.1. Echelle de résistivité	16
III.3. Coupes géo-électriques	17
Conclusion	19
Chapitre IV - Contexte Climatique	20
Introduction	20
IV.1. Caractéristiques de station météorologique	20
IV.2. Etude des paramètres climatiques	20
IV.2.1. Les précipitations	20
IV.2.1.1. Variations mensuelles des précipitations	20
IV.2.1.2. Variation saisonnières des précipitations	22
IV.2.2. Températures	22
IV.2.2.1. Variation moyenne mensuelle de la température	22
IV.3. Diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN et BAGNONLS	23
IV. 4. Les indices climatiques	24
IV.4.1 Indice d'aridité de DE MARTONNE	24
IV.4.2. Diagramme d'EMBERGER	26
IV.4.3. Le quotient pluviométrique annuel de Moral	28
IV.5. Le Bilan hydrique	29
IV.5.1. Évapotranspiration potentielle ETP	29
IV .5.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (Méthode de THORNTHWAITE)	30
IV.5.2. Établissement du bilan hydrique	32
IV.6. Le ruissellement	32
IV.7. Calcul de l'infiltration	33
Conclusion	34
Chapitre V –Cadre Hydrogéologique	35
Introduction	35
V.1.Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quaternaire	35

V .1.1. Description de la formation aquifère	35
V.1.2. Alimentation	35
V.1.3. Exutoire	36
V.2.Etude piézométrique	36
V.2.1. Les cartes inventaires	36
V.2.2. Piézométrie	40
V.2.3. Interprétation des cartes	41
V.3.Etude critique	45
V.3.1. Rabattement	45
Conclusion	46
Chapitre VI – Cadre Hydrochimie	47
Introduction	47
VI.1. Inventaire des points d'eaux échantillonnés	47
VI.2. Les facies chimiques	48
VI.2.1Diagramme de Piper	48
VI.3. Analyses des paramètres physico chimiques	51
VI.3.1. Normes de potabilité	51
VI.3.1.1. Paramètres physiques	52
VI.3.1.2. Paramètres chimique	54
VI.4. Aptitude à l'irrigation	65
VI.4.1. Classification par le diagramme Wilcox	66
VI.4.2. Classification par le diagramme Richards (SAR)	70
Conclusion	74
Conclusion Générale	75
Références Bibliographiques	77
Annexes	80



## Liste des tableaux

### CHAPITRE I - GENERALITES

Tableau 1: Les coordonnées géographiques de Chott Gadaïne-Lazrou.	5
Tableau 2: les montagnes de la plaine d'étude.	5
Tableau 3: calcul les paramètres géométriques des sous bassins de la plaine d'étude.	9

### CHAPITRE III - Etude Géophysique

Tableau 4: Echelle des résistivités.	17
--------------------------------------	----

### CHAPITRE IV - Contexte climatique

Tableau 5: Cordonnées de station météorologique d'Ain Skhouna.	20
Tableau 6: Précipitations moyennes Mensuelles en mm, (Station Ain Skhouna) (1989-2018).	21
Tableau 7: répartition saisonnière des précipitations, (Station Ain Skhouna).	22
Tableau 8: Températures moyennes mensuelles (Station Ain Skhouna).	23
Tableau 9: Températures et précipitations moyennes mensuelles.	24
Tableau 10: Indice d'aridité de DEMARTONNE.	25
Tableau 11: Indices d'aridité de Moral.	29
Tableau 12: l'ETP selon les deux méthodes de THORNTHWAITE.	30
Tableau 13: Valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc.	31
Tableau 14: Calcul des paramètres du bilan hydrique.	32
Tableau 15: Ruissellement selon la méthode de TIXERONT et BERKALOFF.	33
Tableau 16: Estimation de l'infiltration de la plaine d'étude.	34

### CHAPITRE V - CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Tableau 17 : résultat d'interprétation des cartes piézométriques.	45
---	----

### CHAPITRE VI - CADRE HYDROCHIMIE

Tableau 18 : Répartition des faciès.	49
Tableau 19 : Normes Algériennes de potabilité (JORADP N° 18 du 23 mars 2011).	51
Tableau 20 : Conductivité électriques des campagnes (2002.2009.2015 et 2016).	52
Tableau 21 : variation de $Ca^{++}$ campagnes (2002.2009.2015 et 2016).	54
Tableau 22 : variation de $Mg^{++}$ campagnes (2002. 2009.2015 et 2016).	57
Tableau 23 : Variation du $Na^{+}+K^{+}$ (campagnes 2002.2009.2015 et 2016 ).	57
Tableau 24 : Variation des Cl (campagnes 2002. 2009.2015 et 2016).	60
Tableau 25 : Variation des $SO_4^{-}$ (campagnes 2002. 2009.2015 et 2016).	61
Tableau 26 : Variation des bicarbonates (campagnes 2002.2009.2015 et 2016 ).	63
Tableau 27 : Variation des nitrate (campagnes 2009.2015 et 2016 ).	63
Tableau 28 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2002).	66
Tableau 29 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2009).	67
Tableau 30 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2015).	68
Tableau 31 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2016).	69

Tableau 32 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2002).	70
Tableau 33 :Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2009).	71
Tableau 34 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2015).	72
Tableau 35 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2016).	73

## Liste des figures

### CHAPITRE I - GENERALITES

Figure 1 : Situation géographique du bassin versant des hauts plateaux constantinois.	3
Figure 2 : Situation géographique de Chott Gadaïne-Lazrou.	4
Figure 3: exemple de couvert végétal steppique et halophyte.	6
Figure 4: Carte de réseau hydrographique (redessiné par Auteurs 2023).	7

### Chapitre II - Contexte Géologique

Figure 5: cartes géologiques de la plaine de Gadaïne-Lazrou (Vila. 1977) (redessiné par Auteurs 2023).	10
--	----

### Chapitre III - Etude Géophysique

Figure 6: Carte position des sondages électriques de la C.G.G, 1969 – 1970 (redessiné par Auteurs 2023).	16
Figure 7: Coupes Géo-électriques de la plaine de Gadaïne de la (C.G.G, 1969) (redessiné par Auteurs 2023).	18

### Chapitre IV - Contexte climatique

Figure 8: Variation des précipitations moyenne mensuelle, Station Ain Skhouna. (1989-2018).	21
Figure 9: Variation des précipitations moyenne saisonnières, Station Ain Skhouna (1989-2018).	22
Figure 10: Variation des Températures moyenne mensuelle, Station Ain Skhouna. (1989-2018).	23
Figure 11: Diagramme pluviométrique de GAUSSEN et BAGNOULS.	24
Figure 12: Abaque de l'Indice climatique de DE MARTONNE 1923.	26
Figure 13: Climato-gramme d'EMBERGER.	28

### CHAPITRE V - CADRE HYDROGEOLOGIQUE

Figure 14: carte inventaire des points d'eaux, campagne 2002 (Redessiné par Auteurs 2023).	37
Figure 15: carte inventaire des points d'eaux, campagne 2009 (Redessiné par Auteurs 2023)	38
Figure 16: carte inventaire des points d'eaux, campagne 2015 (Redessiné par Auteurs 2023).	39
Figure 17: carte inventaire des points d'eaux, campagne 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	40
Figure 18: Carte piézométrique, campagne 2002 (Redessiné par Auteurs 2023).	41
Figure 19: carte piézométrique de la campagne 2009 (Redessiné par Auteurs 2023).	42
Figure 20 : carte piézométrique, campagne 2015 (Redessiné par Auteurs 2023).	43
Figure 21 : carte piézométrique, campagne 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	44

### CHAPITRE VI - CADRE HYDROCHIMIE

Figure 22 : Carte de localisation des points retenus pour les analyses chimiques (redessiné par Auteurs 2023).	48
Figure 23 : Diagramme Losangique de Piper des échantillons analysés en (2002.2009.2015 et 2016).	50
Figure 24 : Cartes des conductivités des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	53

Figure 25 :Cartes des $\text{Ca}^{++}$ de la campagne 2002. 2009. 2015 et 2016(Redessiné par Auteurs 2023).	55
Figure 26 : Cartes des $\text{Mg}^{++}$ de la campagne 2002. 2009. 2015 et 2016(Redessiné par Auteurs 2023).	56
Figure 27 :Cartes des $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ de la campagne 2002.2009.2015 et 2016(Redessiné par Auteurs 2023).	58
Figure 28 :Cartes des $\text{Cl}^{-}$ de la campagne 2002. 2009.2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	59
Figure 29 :Cartes des Sulfate de la campagne 2002. 2009.2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	61
Figure 30 : Cartes des $\text{HCO}_3^{-}$ de la campagne 2002.2009.2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	62
Figure 31 :Cartes des $\text{NO}_3^{-}$ de la campagne 2002.2009. 2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).	64
Figure 32 :Diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2002).	66
Figure 33 : Diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2009).	67
Figure 34 : Diagramme de Wilcox (analyses physico-chimique 2015).	68
Figure 35 : Diagramme de Wilcox (analyses physico-chimique 2016).	69
Figure 36 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2002).	70
Figure 37 :classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2009).	71
Figure 38 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2015).	72
Figure 39 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2016).	73



## RESUME

L'agriculture est considérée comme l'activité socio-économique fondamentale dans la région de la plaine Gadaïne-Lazrou. Ainsi, la qualité des eaux souterraines superficielles est affectée négativement par l'activité anthropique. Au cours de ce travail nous avons essayé d'étudier la caractérisation physico-chimique des eaux souterraines de la plaine à travers les étapes suivantes :

En premier lieu, une délimitation de l'aire d'étude dans le but de décrire la position géographique de la zone d'étude. Cette dernière se situe au Nord-est de la wilaya de la Batna et fait partie des hautes plaines septentrionales. Nous avons décrit le positionnement des zones de convergences du réseau hydrographique, la géomorphologie de la région où nous avons mis l'accent sur les zones basses (Chott Gadaïne...) et les zones hautes (Dj. Guedmane...).

En second plan, une interprétation de la structure géométrique des nappes par des méthodes géologiques et géophysiques qui montre l'aquifère superficielle Mio-Plio-Quaternaire qu'il est constituée de conglomérats, calcaires lacustres, argiles et les marnes ; et l'aquifère profond Crétacé-Jurassique. Les mesures de résistivité montrent des valeurs faibles au niveau des chotts.

Par la suite, le contexte climatique a été abordé par une étude étalant de la région d'étude dans la période (1989-2018). Ainsi le climat est semi-aride avec une moyenne de précipitation de 319.7mm; Ensuite à l'interprétation du bilan hydrologique de la région Gadaïne-Lazrou, qu'il nous a trouvé un bilan hydrologique déficitaire avec un déficit de 335mm et d'une infiltration nulle.

Une étude critique basée sur les travaux réalisés lors des quatre campagnes de «2002, 2009, 2015 et 2016 » vise à déterminer :

L'étude hydrogéologique explique la fluctuation du niveau piézométrique.

L'étude hydro-chimique définit les faciès, les plus répandus qui sont (chlorurés sodique et chloruré magnésien) ; La caractérisation physico-chimique des eaux a mis en évidence la détérioration de leur qualité et la prédominance des chlorures, des calciques et des magnésiennes qui semblent être liées à la nature géologique.

**Mots clés :** Aquifère, Hydrochimie, Hydrogéologie, Nappe Piézométrique, Plaine Gadaïne-Lazrou.

## ملخص

تعتبر الزراعة النشاط الاجتماعي و الاقتصادي الأساسي في منطقة سهل جداين- لازرو، وكذلك فان نوعية المياه الجوفية السطحية تتأثر سلباً بالنشاط البشري. حاولنا خلال هذا العمل لدراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية للسهل من خلال المراحل التالية:

أولاً، تحديد منطقة الدراسة من أجل وصف الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة. تقع هذه الأخيرة شمال شرق ولاية باتنة وهي جزء من السهول الشمالية المرتفعة. لقد وصفنا مواقع مناطق التقارب للشبكة الهيدروغرافية، والجيومورفولوجيا للمنطقة التي وضعنا فيها المناطق المنخفضة (شط جداين..) والمناطق المرتفعة (جبل قدامن..).

ثانياً، تفسير الهيكل الهندسي لطبقات المياه الجوفية بالطرق الجيولوجية والجيوفيزيائية التي توضح طبقة المياه الجوفية السطحية Mio-Plio-Quartenaire الهكونة من تكتلات، وحجر كلس بحيري، وطين، ومارلز؛ وطبقة المياه الجوفية العميقة من العصر الطباشيري والجوراسي. تظهر قياسات المقاومة قيمًا منخفضة على مستوى الشطوط.

ثم وصف مناخ منطقة الدراسة في الفترة (1989-2018) بأنه شبه جاف بمتوسط تساقط 319.7 ملم. ثم تفسير التوازن الهيدرولوجي لمنطقة جداين- لازرو، الذي وجدنا انه توازن هيدرولوجي عاجز ب 335ملم تسلسل منعدم.

تهدف دراسة نقدية مبنية على العمل الذي قام به الوفاق الأربعة " 2002 . 2009 . 2015 و 2016" إلى تحديد:

الدراسة الهيدروجيولوجية تشرح تذبذب مستوى قياس الضغط.

الدراسة الهيدروكيميائية تعرف الوجوه، الأكثر انتشاراً التي هي (كلور و صوديوم و كلوريد مغنيسيوم)؛ أبرزت الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه تدهور جودتها وغلبة الكلوريدات والكالسيوم والمغنيسيوم والتي يبدو أنها مرتبطة بالطبيعة الجيولوجية.

الكلمات المفتاحية: سهل جدانين - لازرو، طبقة المياه الجوفية، طبقة المياه الجوفية، الجيولوجيا المائية، قياس الضغط، الكيمياء المائية.

# Abstract

Agriculture is considered to be the fundamental socio-economic activity in the Gadaïne-Lazrou plain region. As a result, the quality of surface groundwater is negatively affected by anthropogenic activity. In the course of this work, we have attempted to study the physico-chemical characterization of groundwater in the plain through the following stages:

Firstly, a delimitation of the study area in order to describe its geographical position. The study area lies to the north-east of the Batna willaya, in the northern high plains. We have described the positioning of the convergence zones of the hydrographic network, the geomorphology of the region where we have placed the low zones (Chott Gadaïne...) and the high zones (Dj. Guedmane...).

In the background, an interpretation of the geometric structure of the aquifers using geological and geophysical methods, showing the superficial Mio-Plio-Quaternaire aquifer made up of conglomerates, lacustrine limestones, clays and marls; and the deep Cretaceous-Jurassic aquifer. Resistivity measurements show low values in the chotts.

A characterization of the climate in the study region over the period (1989-2018), showing it to be semi-arid with an average rainfall of 319.7mm; then an interpretation of the water balance for the Gadaïne-Lazrou region, showing a deficit of 335mm and zero infiltration.

A critical study based on the work carried out in the four seasons of “2002, 2009, 2015 and 2016” aims to determine:

The hydro geological study explains the fluctuating piezometric level.

The hydro-chemical study defines the most widespread facies (sodium chloride and magnesium chloride); The physico-chemical characterization of the waters has highlighted deterioration in their quality and the predominance of chlorides, calcium and magnesium, which seem to be linked to the geological nature.

**Keywords:** Gadaïne-Lazrou plain, aquifer, water table, hydrogeology, piezometry, hydrochemistry.

# INTRODUCTION

***G***ENERALE...

## Introduction générale

L'eau est une source rare, précieuse et indispensable, c'est le facteur moteur du développement urbain, rural, agricole, industriel et touristique. Elle représente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant, donc, un contrôle rigoureux et précis est obligatoire afin de palier à toute contamination, pollution, qualitativement et quantitativement. Pour cela il nous a été attribué entre autre, et précisément l'étude de la caractérisation hydro-chimique des eaux souterraines de l'aquifère Alluvionnaire de la plaine chott Gadaïne-Lazrou.

La région d'étude fait partie des hautes plaines constantinoises de l'Est Algérien. Cette plaine fait partie des strates agricole de la Wilaya de Batna et s'étale sur une superficie de 439km<sup>2</sup>. Morphologiquement, elle se présente comme une vaste étendue d'herbes halophytes dépourvue d'arbres avec des plans d'eau aux endroits les plus bas naturellement (Chott : Gadaïne, Taricht) et entourée par des massifs (Dj. Guedmane au nord, Dj. Merzeguene au Nord-Ouest, les monts d'Ain Yagout et Dj. El Haouia à l'Est, et au sud par Dj. Sarif et Azem).

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

À travers ce modeste travail, Nous allons essayer de faire une étude de caractérisation physico-chimique des eaux de l'aquifère superficielle du plain chott Gadaïne-Lazrou et ceci suivant les chapitres suivants :

- Etude du cadre physique où nous analyserons les conditions physiques général de la région d'étude.
- Etude du contexte géologique pour définir la lithologie des formations constituant la région, les différentes phases tectoniques ;
- Etude d'interprétation des données géophysiques, qui a pour l'objectif de déterminée la géométrie et l'extension de l'aquifère et la nature des différentes formations ;
- Etude climatologique permettant d'évaluer les apports d'eau alimentant les réserves d'eau souterraines à travers l'établissement d'un bilan hydrique.
- Etude hydrogéologique qui nous permettra d'étudier les fluctuations piézométriques, détermination du sens d'écoulement général et en conclusion le battement de la nappe ;

- Etude hydro-chimique, pour but la détermination de l'origine et la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude et les principaux types du faciès chimique ainsi que l'estimation de la potabilité des eaux destinées à l'alimentation en potable et l'aptitude à l'irrigation. Ce travail est basé sur l'interprétation des résultats des analyses chimiques réalisés auparavant. A savoir Belloula L. 2005 « Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de Gadaïne – Ain Yagout (Ouest de Batna) », Dib I. 2015 « L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne – Ain Yagout (Est Algérien) » et Naili N. « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Gadaïne–Ain Yagout Ouest de Batna (piézométrie et hydrochimie) » et 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) ».

# **Chapitre I :**

## ***GENERALITES...***

## Chapitre I - Généralités

### Introduction

Dans cette première partie on présente la situation géographique de la zone de Gadaïne-Lazrou ainsi que le cadre physique. On essaiera d'expliquer la géomorphologie et le réseau hydrographique de la zone d'étude.

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

#### I.1. Situation géographique

La région d'étude fait partie des hautes plaines constantinoises de l'Est Algérien qui constituent un vaste couloir dominé par deux chaînes de montagnes : le massif des Aurès au sud et la chaîne des Monts de Constantine au Nord. Elle se trouve à quelques dizaines de kilomètres au Nord de la Wilaya de Batna. Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) elle appartient au bassin versant des hautes plaines constantinoises (07-03) (Figure 1). La zone d'étude est caractérisée par une platitude impressionnante dont la pente ne dépasse guère les 5% l'ensemble est étalé sur une surface de 439 km<sup>2</sup> représentant 46% de la surface totale. Ceci favorise la présence de l'endoréisme traduit par une multitude des sebkhas et chotts qui occupent le centre de la plaine [2].

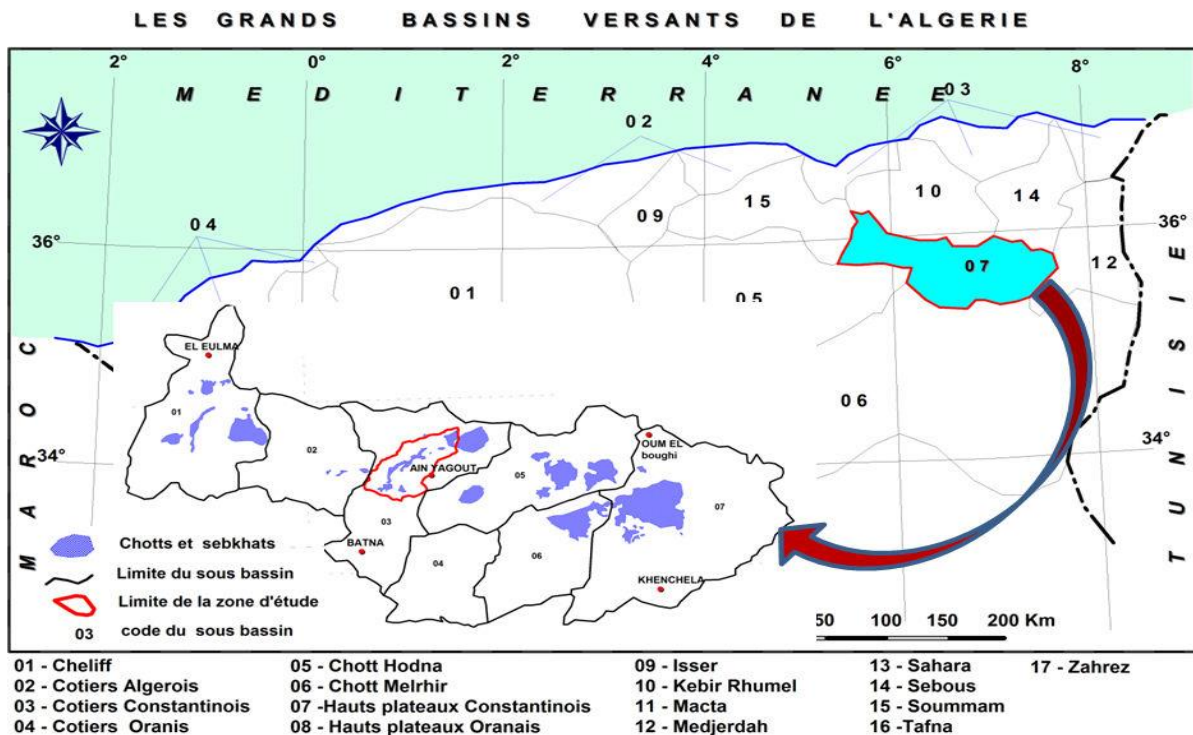


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant des hauts plateaux constantinois.



La Plaine Chott Gadaïne-Lazrou se trouve au Nord-Ouest de la Wilaya de Batna, en Algérie, c'est une région relativement plane et présente des zones dépressionnaires, elle est limitée :

- Au Nord par la commune de Souk Naâmane, Wilaya d'Oum-El-Bouaghi ;
- Au Sud par la commune d'El Madher ;
- A l'Est par la commune de Boumia ;
- A l'Ouest par la commune de Zana-El-Beïda

La Plaine Chott Gadaïne-Lazrou caractérisé par une superficie de 439 km<sup>2</sup> et un périmètre de 100 km. Elle s'étend entre les longitudes E 6°14' et 6°22', et les latitudes N35°43' et 35°51' (Figure 2).

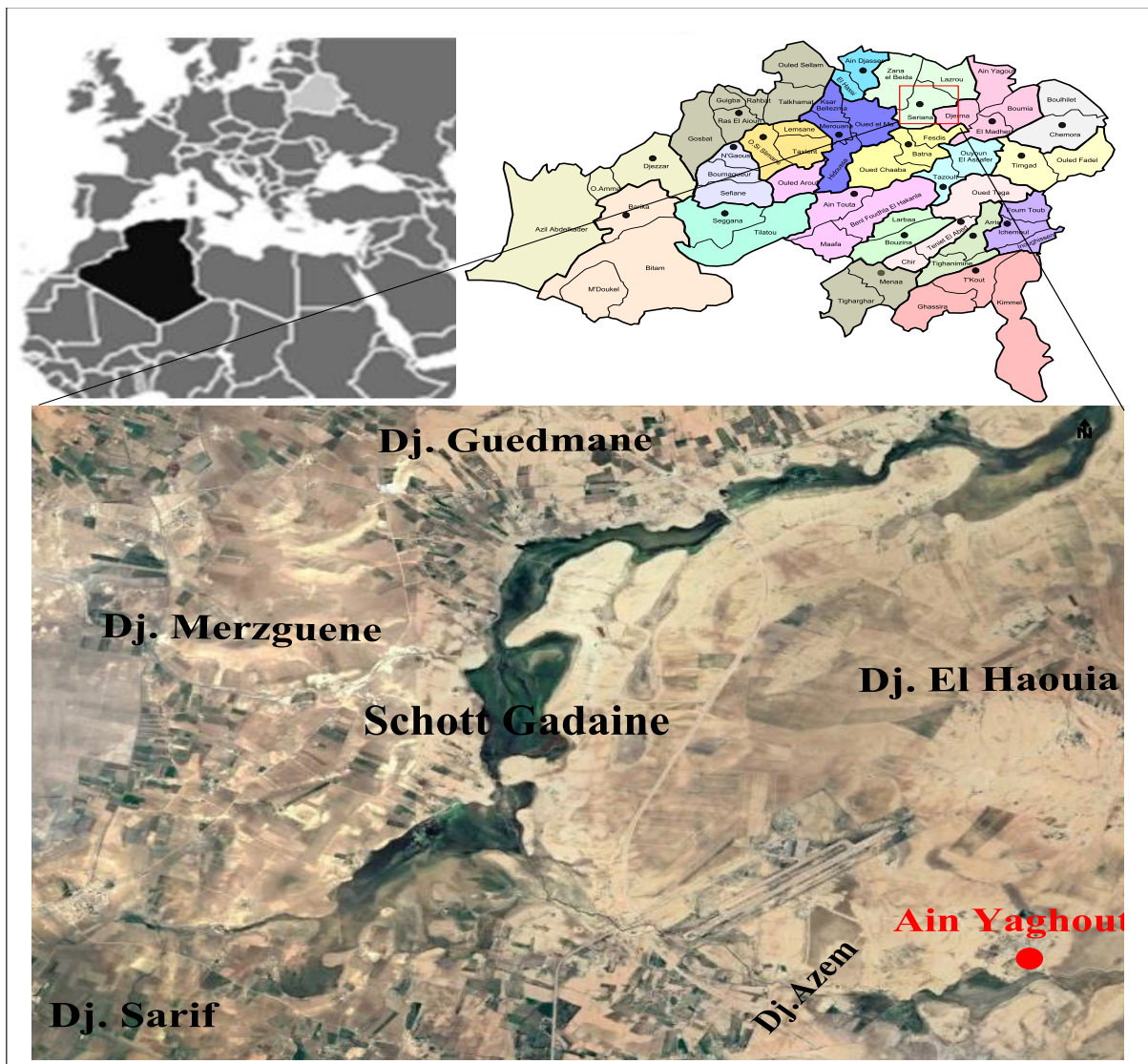


Figure 2 : Situation géographique de Chott Gadaïne-Lazrou.

Les coordonnées géographiques correspondant sont :

**Tableau 1: Les coordonnées géographiques de Chott Gadaïne-Lazrou.**

Coordonnées	Sexagésimales	Décimales
<b>Latitude</b>	35° 43' Nord	35° 51' Nord
<b>Longitude</b>	6° 14' Est	6° 14' Est

## I.2. Géomorphologie

La Plaine Chott Gadaïne-Lazrou appartient à l'ensemble géomorphologique des hautes plaines telliennes dans le bassin versant des hauts plateaux constantinois et plus précisément du sous bassin versant Merdja Zana (07-03) (Figure 1). On distingue deux ensembles structuraux, le secteur des massifs qui présente des caractéristiques morpho-métriques favorables à la genèse et à la propagation des crues et le secteur de plaine qui est le siège d'une accumulation des dépôts détritiques et l'infiltration des eaux ruisselées [12].

### I.2.1. Les Montagnes

Les montagnes encerclant la plaine d'étude se caractérisent par une dénivellation importante entre le sommet et les dépressions et surtout par des pentes ardues. Chaque montagne observée présente des caractéristiques particulières telles que l'altitude, le couvert végétal et l'orientation (Sud-Nord, Est-Ouest, Sud- Est, Nord-Ouest) où l'altitude varie entre 927 à Djebel Merzeguene et 1136 à Djebel Tarbent [6], le tableau ci-dessus représente les différentes caractéristiques des montagnes de la région (tableau 2).

Les reliefs de la plaine d'étude sont pratiquement nus et présentent une rare couverture végétale qui se résume en quelques genévriers et de pin d'Alep dans le Mestaoua (Figure 3).

**Tableau 2: Les montagnes de la plaine d'étude.**

	Montagnes	Altitudes(m)	Caractéristiques
<b>Nord</b>	Dj-Tizourit	1048	Nu
<b>Sud</b>	Kef-Tfouda	1060	Nu
	Dj-Sarif	1114	Nu
<b>Est</b>	Dj-Tarbent	1136	Boisé
<b>Ouest</b>	Dj-Merzeguene	927	Nu



**Figure 3: exemple de couvert végétal steppique et halophyte.**

### **I.2.2. La plaine**

La plaine occupe la majorité de la zone d'étude, à l'Ouest et les basses plaines de Gadaïne au centre. L'ensemble des plaines ayant l'aspect d'une botte de forme allongée, occupent 53% de la superficie totale. Les plus basses altitudes correspondent aux chotts Gadaïne et Tinnsilt[6].

### **I.3. Réseau hydrographique**

Le réseau hydrographique est lié à l'organisation des reliefs. La zone étudiée est caractérisée par une certaine platitude qui influe sur la densité du réseau hydrographique. Elle est marquée par la présence d'un ensemble de chotts (chott Gadaïne, Taricht) traduisant l'existence d'un système hydrogéologique endoréique. Les cours d'eau temporaires prennent naissance au niveau des hauts reliefs, tels que : Oued El Madher, Oued Merzeguene, Oued Gadaïne et Oued Ben Zerhaïb (Figure 4), pour se déverser dans les lacs salés [15].

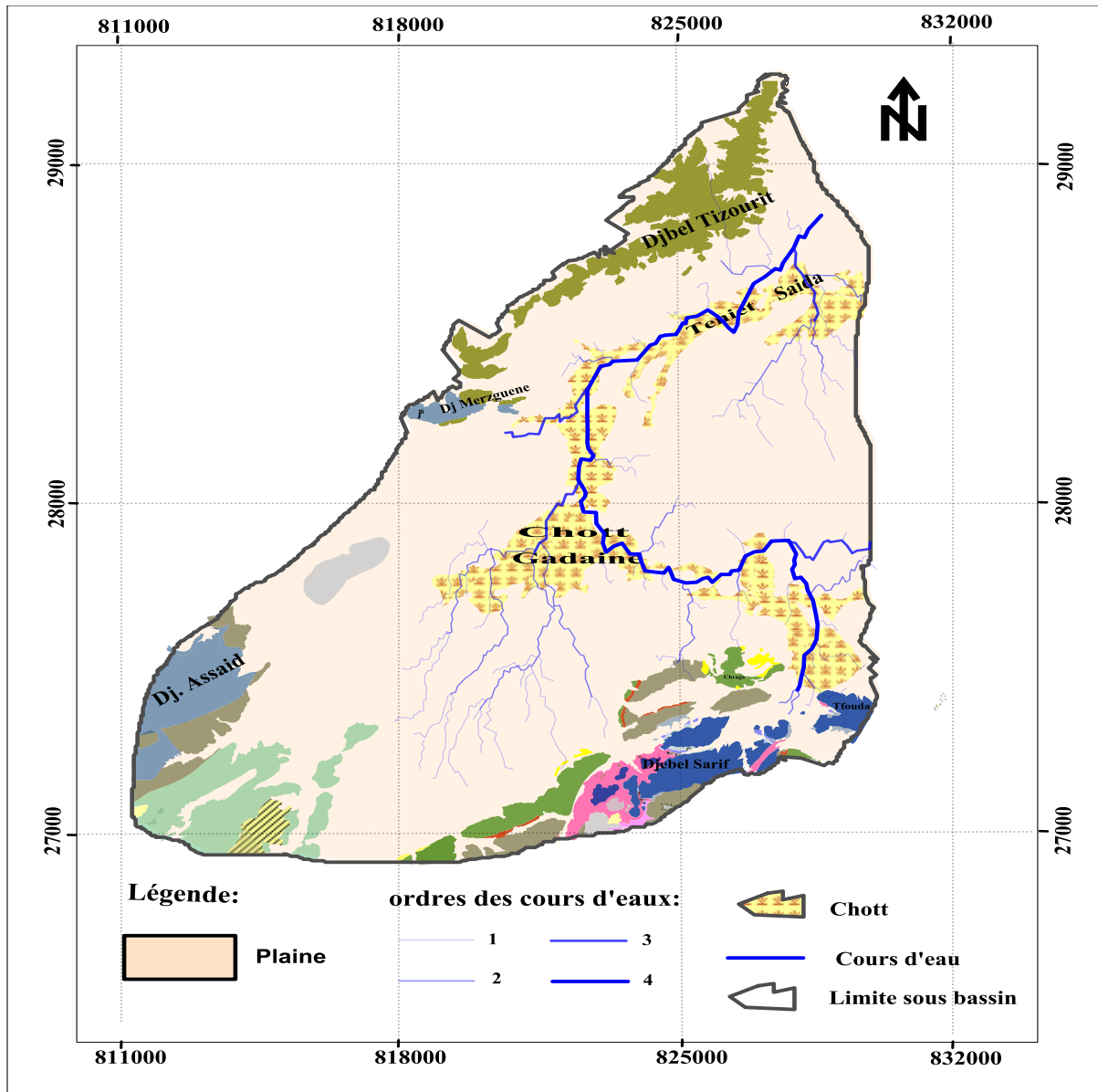


Figure 4: Carte de réseau hydrographique (redessiné par Auteurs 2023).

#### I.4. 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 ( $\text{Km}^2$ ) ;
- L'indice de compacité, ou coefficient de Gravelius ;
- L'indice de la pente « IP ».

Ces trois grandeurs spécifiques du bassin versant Zana-Gadaïne ont été obtenues grâce au planimétrage et au curvimétrage du bassin versant, ici le calcul de la surface et de

périmètre ce fait grâce au logiciel « Surfer 10 » sur la base des cartes Topographique à l'échelle 1 /50000[6].

#### **I.4.1-Indice de compacité de Gravelius**

La forme du bassin versant influence fortement l'écoulement global et notamment le temps de réponse du bassin versant. C'est la configuration géométrique projetée sur un plan horizontal. Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même manière qu'un bassin ramassé s'ils sont placés dans les mêmes conditions météorologiques.

L'indice est établi en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle de même surface. Plus cet indice se rapproche de l'unité et plus le bassin versant a une forme ramassée et plus le temps de concentration du bassin est court. Ce paramètre est estimé à l'aide de la formule suivante :

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

P : périmètre du bassin versant en (Km)

A : superficie du bassin versant en (Km<sup>2</sup>)

L'application d'une telle formule a donné le résultat suivant :

$$Kc = 0.28 \frac{100}{(439)^{1/2}} = 1.33$$

Selon la valeur de Kc, le bassin versant a une forme bien déterminée. Ainsi :

- Si  $KC \leq 1$  : implique que le bassin versant à une forme circulaire.
- Si  $KC = 1.12$  : implique que le bassin versant à une forme carrée.
- Si  $KC > 1.12$  : implique que le bassin versant à une forme allongée.

Donc le bassin versant de Gadaïne-Lazrou est allongé et se rapproche d'un rectangle, ce qui induit un temps de concentration plus long.

#### **I.5. Rectangle équivalent**

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension L et l'ayant la même surface que le bassin versant considéré.

Le rectangle équivalent sert à comparer les bassins entre eux en prenant en considération l'écoulement, tout en supposant qu'ils possèdent la même superficie et le même



périmètre. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits côtés.

### I.5.1. Longueur équivalente

Ce paramètre est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$L = Kc \frac{\sqrt{s}}{1.12} \left[ \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \right]$$

Ce qui nous donne une longueur :  $L=38.1$  Km.

### I.5.2-Largeur équivalente

La largeur du rectangle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$l = Kc \frac{\sqrt{s}}{1.12} \left[ \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right) \right]$$

Ce qui nous donne une largeur :  $l=11.70$  Km.

**Tableau 3: calcul les paramètres géométriques des sous bassins de la plaine d'étude.**

Longueur équivalente	Largeur équivalente
38.1 Km	11.70 Km

## Conclusion

La plaine de Chott Gadaine-Lazrou 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.

# **Chapitre II :**

## ***CONTEXTE GEOLOGIQUE...***

## Chapitre II - Contexte Géologique

### Introduction

L'étude des matériaux constituant le sol et le sous-sol et les structures géologiques permet de connaître la distribution et le mode de gisement, les modalités de l'écoulement et les propriétés physico-chimiques de l'eau.(Figure5)

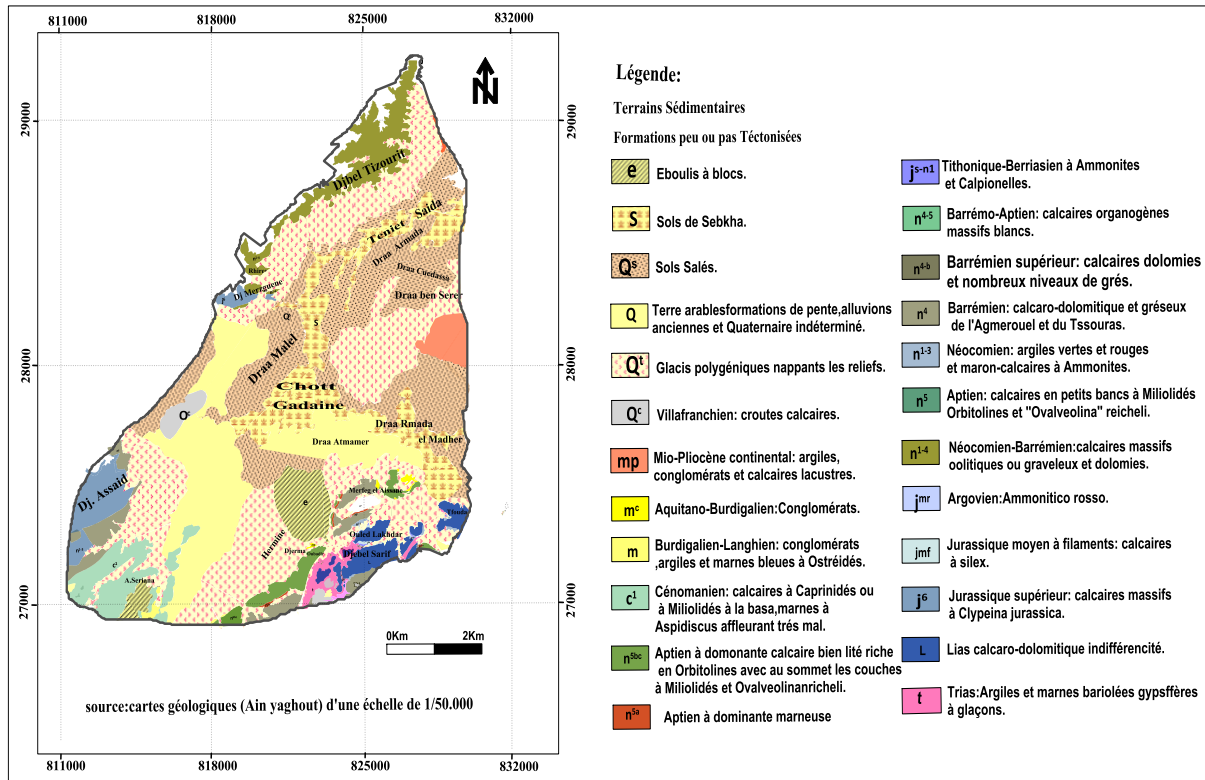


Figure 5: Carte géologique de la plaine de Gadaïne-Lazrou (Vila. 1977) (redessiné par Auteurs 2023).

### II. 1. Analyse litho-stratigraphique

D'après les cartes géologiques de Gadaïne-Lazrou, (Echelle 1/50000), et leurs notices explicatives, la zone étudiée comprend de haut en bas les formations suivantes :

#### II.1.1 Formations peu ou pas tectonisées

##### a. Les formations du Quaternaire :

##### ➤ Eboulis (e) :

Les éboulis à blocs sont peu développés dans la région où les reliefs sont assez faibles en raison de la morphologie. Les éboulis en masse sont localisés sur le versant Nord du Dj Sarif et qui sont apparus comme des vastes zones d'épandage de blocs.

##### ➤ Sols de sebkha (s) :



Ces vases sont périodiquement inondables surtout pendant la saison des pluies au chott Tinnsilt, et 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.

➤ **Sols salés anciens(QS) :**

Ils forment de vastes étendues plates à végétation caractéristique de ces sols (les salsolacées) et correspondent à d'anciens sols hydro morphes salés. Ils sont surélevés de 0.5 m à 1m au dessus du niveau du chott Gadaïne.

➤ **Terres arables, formations de pente, alluvions anciennes et quaternaire indifférencié (Q) :**

C'est un ensemble représenté par des limons et des graviers sur lesquels se sont installés des sols bruns le plus souvent peu calcaires.

➤ **Glacis polygéniques nappant les reliefs (Qt) :**

C'est la forme de relief la plus caractéristique des hautes plaines sétifiennes et constantinoises. Ces glacis correspondent à des surfaces très faiblement pentées près des plaines et dont la pente augmente progressivement vers les reliefs. 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 (Qc) :**

Au Sud- Est de la plaine on trouve les villafranchiens avec un prolongement vers le Sud, ce sont des croûtes calcaires, peu développées.

### **II.1.2 Ensemble allochtone sud sétifien**

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 [24] 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 [27] 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 Tizourit, Merzeguene. Leurs relations avec les séries méridionales ne sont visibles qu'au pied du Djebel Hamouda qui chevauche clairement les écaillés des lacs, elles-mêmes se superposaient au trias des lacs. Selon [27], les unités Sud- Sétifiennes sont relayées par celles des Sellaoua

vers l'Est et par la nappe néritique constantinoise qui recouvre anormalement ces dernières vers le Nord-Est.

### II.1.2.1. Crétacé inférieur

La coupe établie par Guiraud, concernant l'Albien au Sud-Est d'Ain Yagout, montre, de la base au sommet, ce qui suit :

1. Calcaires bleutés, à orbitolines admettant de minces intercalations marneuses ;
2. Calcaires dolomitiques à Rudistes ;
3. Grès brun clair, à inter lits marno-gréseux ;
4. Alternances de marnes verdâtres et de grès bruns ;
5. Grès ferrugineux représentant un niveau de condensation à faune remaniée abondante ;
6. Apparition des marnes cénomaniennes.

➤ **Aptien (n<sup>5</sup>) :**

C'est une série de 150 m, constituée essentiellement de calcaires en petits bancs et de micrites renfermant une microfaune représentée par des Orbitolines et des Miliolidés.

➤ **Barrémo-Aptien (n<sup>4-5</sup>)**

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

➤ **Barrémien supérieur (n<sup>4b</sup>) :**

C'est un ensemble formé par une épaisse série d'une centaine de mètres. Il est constitué de calcaires, de dolomies et de grès, qui sont séparés par des intercalations de marnes sableuses ou argileuses. Cette série affleure au Djebel Guedmane et Hamouda.

➤ **Néocomien-Barrémien (n<sup>1-4</sup>) :**

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

➤ **Néocomien (n<sup>1-3</sup>)**

C'est une série à dominance argileuse bariolé qui forme une vire caractéristique. Le sommet de la série, un peu plus marneux contient une association hauterivienne à lenticulina. on trouve cette formation au Djebel Mestaoua.

➤ **Barrémien (n<sub>4</sub>)**

Le Barrémien est composé de Calcaires variés, dolomies et micrites à néotrocholines et choffatelles.

**II.1.2.2. Jurassique supérieur (J<sub>6</sub>)**

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

**II.1.3. Ensemble parautochtone et autochtone Aurésien**

L'avant-pays autochtone comprend au-delà de la flexure Nord saharienne, du Sud vers le Nord, le massif de l'Aurès et les monts de Batna-Bellezma. Les affleurements de cet ensemble forment les monts d'Ain Yagout et les affleurements de la région des lacs au pied du Djebel Hamouda, Djebel Tafraout, Kaf Tfouda et Djebel Sarif.

**II.1.3.1. La structure en tête plongeante du Djebel Tarbent**

La structure la plus spectaculaire. C'est une tête plongeante dont la charnière frontale est très spectaculaire. En regard dans les fonds de l'Oued orienté Nord-Ouest Sud-Est, les dolomies du Lias sont enveloppées par le Lias supérieur. Au pied Sud de l'arête du Djebel Tarbent et Srhir, le ravin Dar et Tourk permet d'observer sous le lias, la série renversée, très écrasée. La série renversée du Djebel Tarbent au Ras Tarbent est sensiblement complète de l'Albien au Lias [26].

➤ **Jurassique moyen (J mF) :**

C'est une barre de calcaire argileux fin à silex. Il affleure au Dj. Sarif.

➤ **Trias exotique ou extrusif (t) :**

Il affleure à l'Est du chott Tinnsilt, près de Draa Gadaïne, Kaf Tfouda, à Djebel Sarif. Il est constitué de marne bariolée, de gypse bréchiq et de calcaire dolomitique.

## **Conclusion**

La Plaine Chott Gadaïne-Lazrou présente l'aspect typique des Hautes Plaines de l'Est de l'Algérie 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 d'âge Crétacé et jurassique.

# **C**hapitre III :

***E**TUDE GEOPHYSIQUE...*

## Chapitre III - Etude Géophysique

### Introduction

La prospection et l'exploitation des ressources hydrauliques souterraines sont étroitement liées à la connaissance de la nature géologique des formations et leur extension aussi bien horizontale que verticale (épaisseur), ainsi les études géophysique sont des moyens indispensables dans toute étude hydrogéologique. De ce fait, l'étude géophysique est d'un apport précieux, car elle permet de compléter et/ou de confirmer les données géologiques est de déterminer les zones susceptibles d'être horizons productifs et de bien cartographier la géométrie de l'aquifère. [4]

La Plaine Chott Gadaine-Lazrou a fait l'objet d'une étude géophysique réalisée par la Compagne Générale de Géophysique (C.G.G) entre 1969 et 1970 dont de but de déterminer :

- La nature et la géométrie du sole ;
- La localisation des zones d'altération d'épaisseur importante ;
- La localisation des zones d'infiltration préférentielle et des nappes phréatiques ;
- La présence éventuelle d'accidents de terrain pouvant guider les écoulements souterrains ;
- La nature des formations superficielles et leurs comportements hydrologiques et hydrogéologiques.

### III.1.Principe de la prospection électrique

Le principe de la prospection géophysique est de déterminer, à partir de mesures effectuées depuis la surface du sol une caractéristique physique du sous-sol et d'en déduire des indications sur sa constitution. De nombreuses méthodes existent en fonction du paramètre physique concerné, parmi ces méthodes :

- Polarisation spontanée ;
- Méthode électrique des résistivités ;
- Le profil de résistivité ou traînée électrique.

### III.2.Répartition des sondages électriques

La méthode adoptée dans cette étude était celle des sondages électriques verticaux avec les dispositifs quadratiques rectilignes AMNB de Schlumberger, dont les différentes

longueurs de la ligne AB variaient entre 1000 et 3000 m. 88 sondages électriques verticales SEV orientés Nord-Sud suivant un maillage de 1 Km \* 2 Km réparti sur 07 profils (B. C. D. E. F. G. H) dans la plaine de Gadaïne- Lazrou (Figure 6).[6]

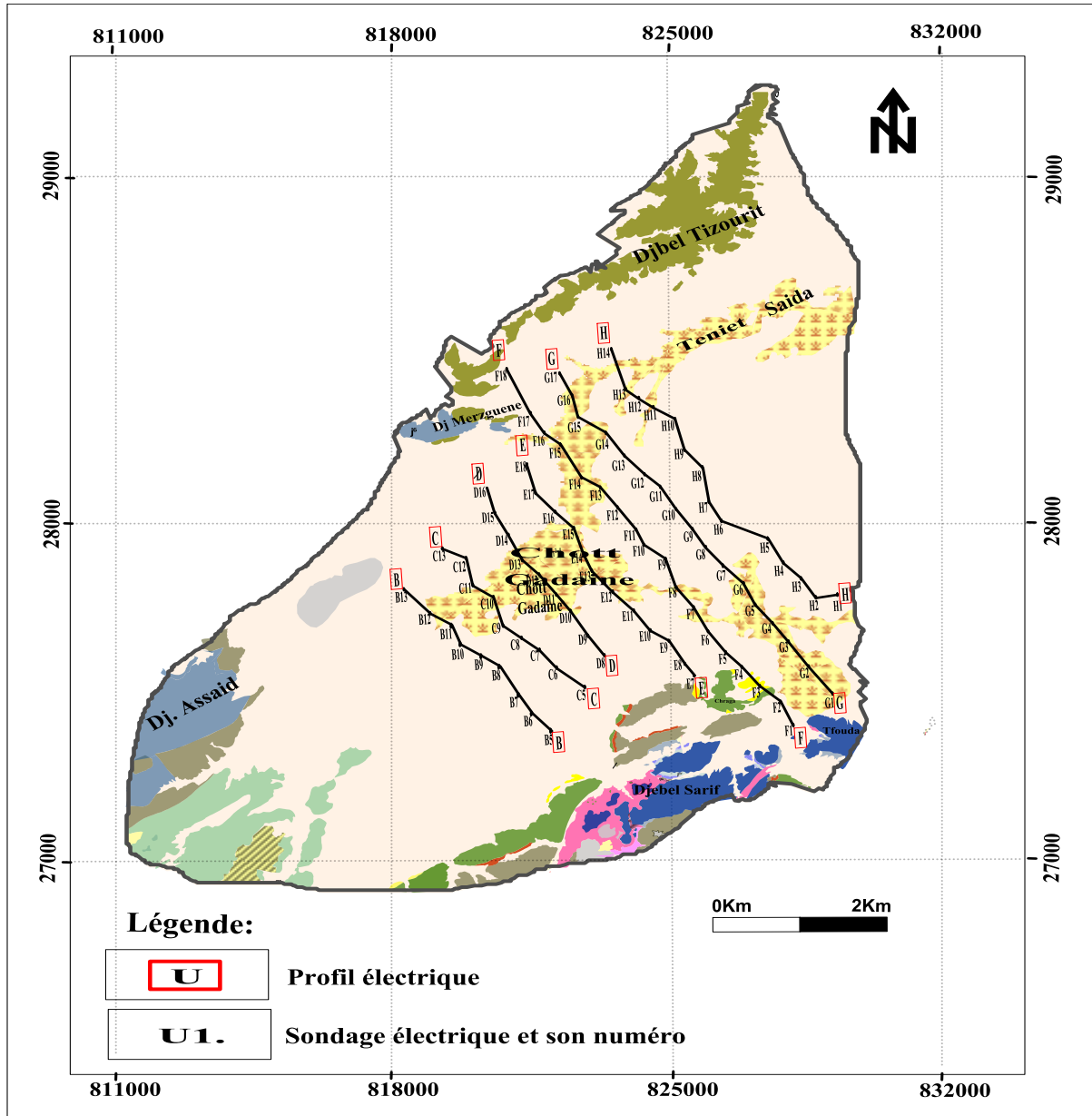


Figure 6: Carte position des sondages électriques de la C.G.G, 1969 – 1970 (redessiné par Auteurs 2023).

### III.2.1. 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 [16].

**Tableau 4: Echelle des résistivités.**

Formations	Résistivité
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 (chott Tinsilt).	10 – 50
Marne miocène éventuelle non étalonnée.	02 – 05
Conglomérats du Miocène (bordures des massifs).	100 – 150
Marnes du Sénonien.	05 – 10
Calcaires du Cénomaniens ou du Turonien.	100 – 150
Marnes cénomaniennes	02 – 05
Grès et calcaires du Crétacé inférieur.	100 – 300
Marnes valanginiennes.	100 – 300
Calcaires jurassiques.	100 – 500

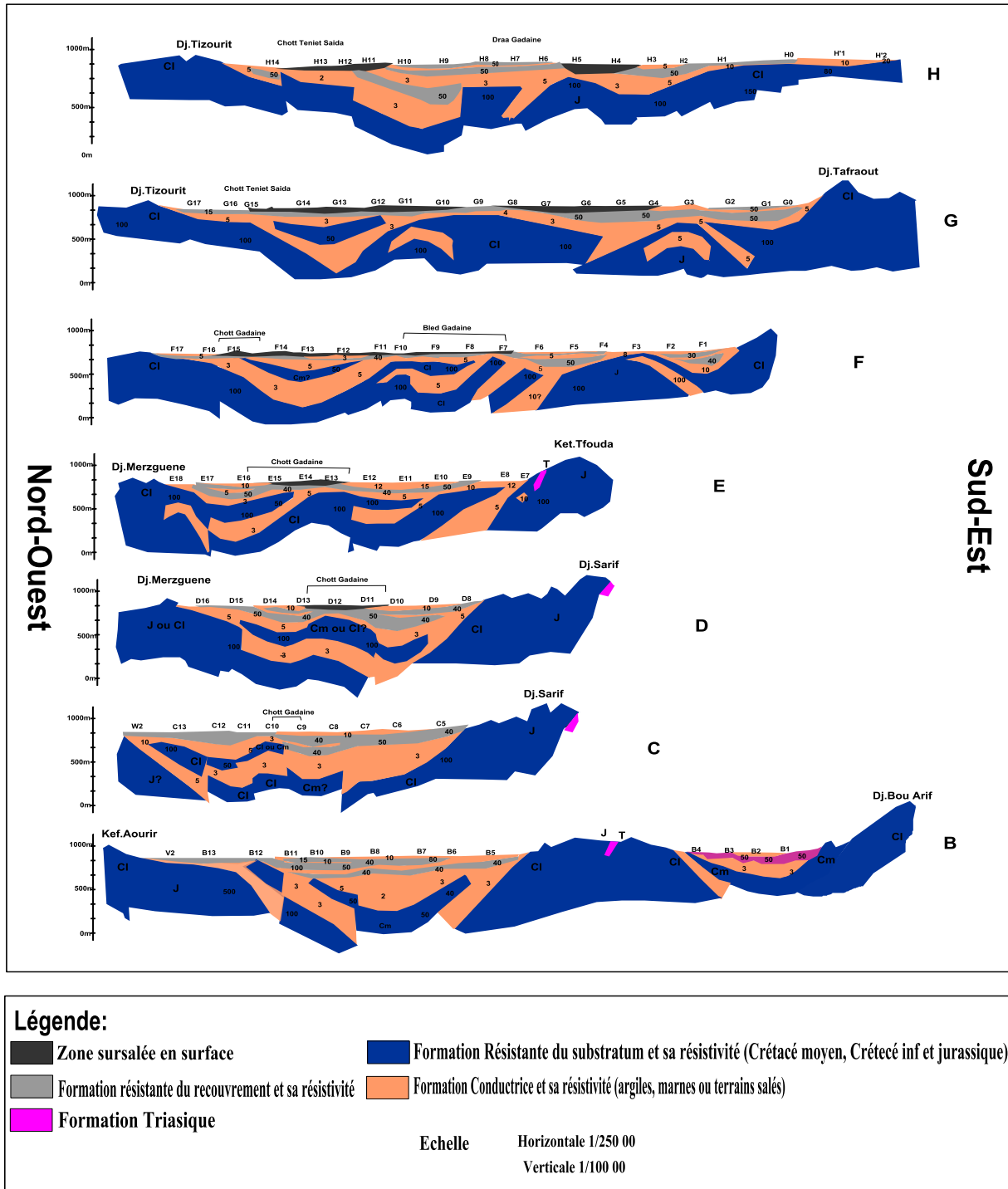
### III.3. Coupes géo-électriques

L'interprétation des coupes géo-électriques effectuées dans la plaine de Chott Gadaïne-Lazrou, nous permet de constater la superposition suivante :

- Une formation de recouvrement (formation résistante) ; avec une résistivité de 15-50  $\Omega\text{m}$  correspond généralement à des alluvions, des conglomérats, des sables et des calcaires lacustre d'âge Plio-Quaternaire ;
- Une formation conductrice ; avec une faible résistivité qui ne dépasse pas 15  $\Omega\text{m}$ , correspond aux argiles et mares d'âge Mio-Pliocène, sont peu profondes à la bordure de la plaine. Par contre, elles sont très profondes (plus de 500 m) dans les zones de subsidence et sous les formations résistantes ;
- Une formation très résistante ; correspond aux calcaires du Jurassique et Crétacé, sa résistivité peut atteindre 300  $\Omega\text{m}$  Ces structures présentent des accidents transversaux importants de direction SW – NE provoquant la remontée du substratum. Ces formations présentent une structure plissée aux Djebels : Merzeguene, Guedmane, Sarif, et des synclinaux comme la plaine de Gadaïne, d'Ain Yagout.



- Et une zone sur salée en surface, ayant des résistivités très faibles de l'ordre de 0.5 à 2  $\Omega.m.$ (Figure7)



**Figure 7: Coupes Géo-électriques de la plaine de Gadaïne de la (C.G.G, 1969) (redessiné par Auteurs 2023).**

L'examen des coupes géo-électrique nous montre ainsi que l'épaisseur, la morphologie et la résistivité de chaque formation varient d'un endroit à l'autre ; Nous avons interprété ces coupes géo-électriques en leur adossant un habillage géologique, en prenant en considération

aussi bien les valeurs des résistivités mais également les affleurements des formations géologiques et leurs pendages ainsi que les coupes des sondages mécaniques qui nous permis d'affiner ces coupes [6]

Vers le Nord- Est de la plaine du Gadaïne, nous signalons l'affleurement des masses triasique (formation très conductrice du trias) localisées sur les coupes « H et I » dans la plaine du Ain Yagout, au niveau de la coupe E (Koudiat Tfouda) et au Djebel Sarif coupes « D, C et B » ;

Ces structures présentent des accidents transversaux importants de direction différente provoquant la remontée du substratum. Ces accidents tectoniques provoquent l'abaissement des formations conductrices et la remontée des formations très résistantes aux niveaux des coupes « B. C. D. E. F. G. H. ». Les failles affectant les formations carbonatées constituent un champ important pour le développement de formations très fissurées à karstiques et assurent les relations hydrogéologiques entre les ensembles aquifères du Mio-Plio-Quaternaire et du Crétacé-Jurassique. Ces relations peuvent exister aussi lorsqu'il n'y a pas un écran imperméable entre ces deux ensembles.

## **Conclusion**

L'interprétation globale, des différentes données géologiques et géophysiques avec les corrélations possibles, a permis de déceler l'existence de deux aquifères séparés par une formation étanche :

La formation de recouvrement présente le premier aquifère (aquifère alluvionnaire) constitué généralement de Calcaires lacustres, alluvions, argiles, sables et de conglomérats d'âge Mio-Plio-Quaternaire.

La formation carbonatée profonde (du Jurassique au Crétacé supérieur) est affectée par une série de failles, ce qui la rend fissurée, alors un milieu convenable à l'accumulation des eaux souterraines présentant ainsi le deuxième aquifère karstique (aquifère profond).

Les deux aquifères sont séparés par une formation étanche formée principalement d'argiles et de marnes (substratum argilo-marneux pour le premier aquifère), mais elle n'empêche pas le contact entre les deux aquifères au niveau des failles ou au niveau des piémonts (la formation carbonatée est surmontée directement par les alluvions).

Les formations carbonatées sont pénétrées par une formation conductrice probablement Triasique dans certains endroits, formant ainsi des limites.

# **Chapitre IV :**

## ***C*ONTEXTE CLIMATIQUE...**

## Chapitre IV - Contexte Climatique

### Introduction

L'étude climatique nous permet également de définir le bilan hydrique en se basant sur les données de précipitations, températures, et l'étude de l'évaporation et du ruissellement, afin de donner un bref aperçu sur leurs répartitions dans le temps et dans l'espace.

D'une manière générale, le climat de la zone d'étude est semi-aride avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, dans tous les points du bassin versant sans exception. Où l'étude climatique a porté sur la partie Nord-Ouest de la Wilaya de Batna[8].

### IV.1. Caractéristiques de station météorologique

La station utilisée dans cette étude est celle d'Ain Skhouna.

**Tableau 5: Cordonnées de station météorologique d'Ain Skhouna.**

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	Période D'observation
Ain Skhouna	827 .048	279 .014	821.29	1989-2018

### IV.2. Etude des paramètres climatiques

Cette étude est basée essentiellement sur les précipitations et la température, à cet effet on utilise une série de données de la station d'Ain Skhouna pour une période de 29 ans (1989-2018).

#### IV.2.1. Les précipitations

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes. La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP), en plus, elles forment un paramètre indispensable dans la réalisation d'un bilan hydrique [1]. Le tableau 6 représente les précipitations moyennes mensuelles.

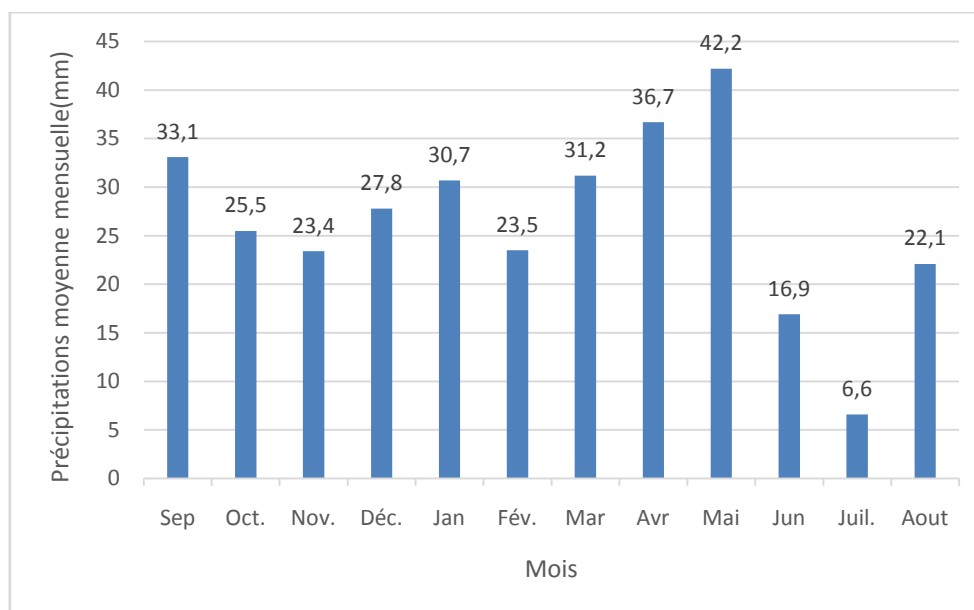
##### IV.2.1.1. Variations mensuelles des précipitations

L'analyse des données pluviométriques moyennes mensuelles permet de mieux approcher la distribution des quantités d'eau enregistrées pour tous les mois de l'année [1].

La variation mensuelle de la précipitation pour la période de 1989 à 2018 est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau 6: Précipitations moyennes Mensuelles inter annuelle en mm, (Station Ain Skhoua) (1989-2018).**

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Aout	Total
<b>Ain Skhoua</b>	33.1	25.5	23.4	27.8	30.7	23.5	31.2	36.7	42.2	16.9	6.6	22.1	319.7



**Figure 8: Variation des précipitations moyenne mensuelle, Station Ain Skhoua. (1989-2018).**

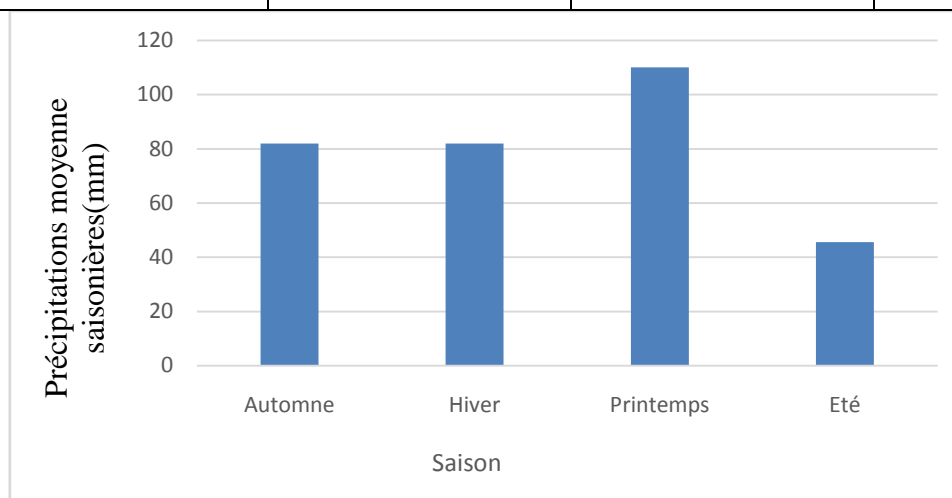
L'analyse de la courbe des variations mensuelles des précipitations sur une période de 29 ans pour la station montre que :

- 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.

#### IV.2.1.2. Variation saisonnières des précipitations

**Tableau 7: répartition saisonnière des précipitations inter annuelle, (Station Ain Skhouna)(1989-2018).**

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Ain Skhouna</b>	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		



**Figure 9: Variation des précipitations moyenne saisonnières, Station Ain Skhouna (1989-2018).**

L'analyse de la courbe des variations saisonnières des précipitations sur une période de 29ans pour la station de Ain Skhouna montre que :

- La saison la plus humide est le printemps : P (110.1mm)
- La saison la plus sèche est l'Été : P (45.6mm)

#### IV.2.2. Températures

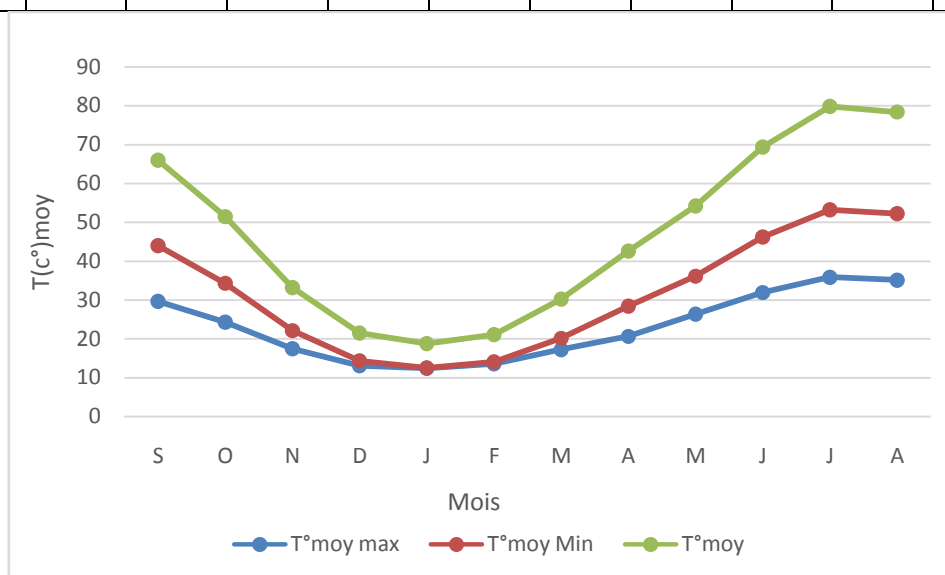
La température est l'un des éléments importants pour la caractérisation du climat [24][14]. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent, elle agit sur le taux de salinité des eaux. La température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique [19] [9].

##### IV.2.2.1. Variation moyenne mensuelle de la température

Les données des températures moyennes mensuelles de la région sont représentées dans le tableau suivant pour la période : (1989-2018).

**Tableau 8:Températures moyennes mensuelles enter annuelle (Station Ain Skhouna)(1989-2018).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
T(C°)moy max	29.65	24.30	17.47	13.09	12.42	13.58	17.24	20.65	26.34	31.93	35.86	35.13	23.13
T(C°)moyMin	14.34	10.00	4.64	1.22	0.08	0.48	2.89	7.75	9.79	14.31	17.37	17.12	8.33
T(C°)moy	21.99	17.15	11.05	7.16	6.25	7.03	10.07	14.20	18.07	23.12	26.62	26.13	15.73



**Figure 10: Variation des Températures moyenne mensuelle, Station Ain Skhouna.(1989-2018).**

Le maximum des températures est atteint en mois de Juillet, avec une valeur de 35,86°C. Tandis que le minimum est observé en Janvier avec une valeur de 0,08°C.

Les données du tableau 8montre que

- La saison la plus chaude est l'Été (Juin, Juillet et Aout)
- La saison la plus froide est l'Hiver (Décembre, Janvier et Février)

### IV.3. Diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN et BAGNONLS

Le diagramme Ombro-Thermique de GAUSSEN et BAGNONLS est la combinaison de deux paramètres climatiques principaux ; qui sont la température et les précipitations.

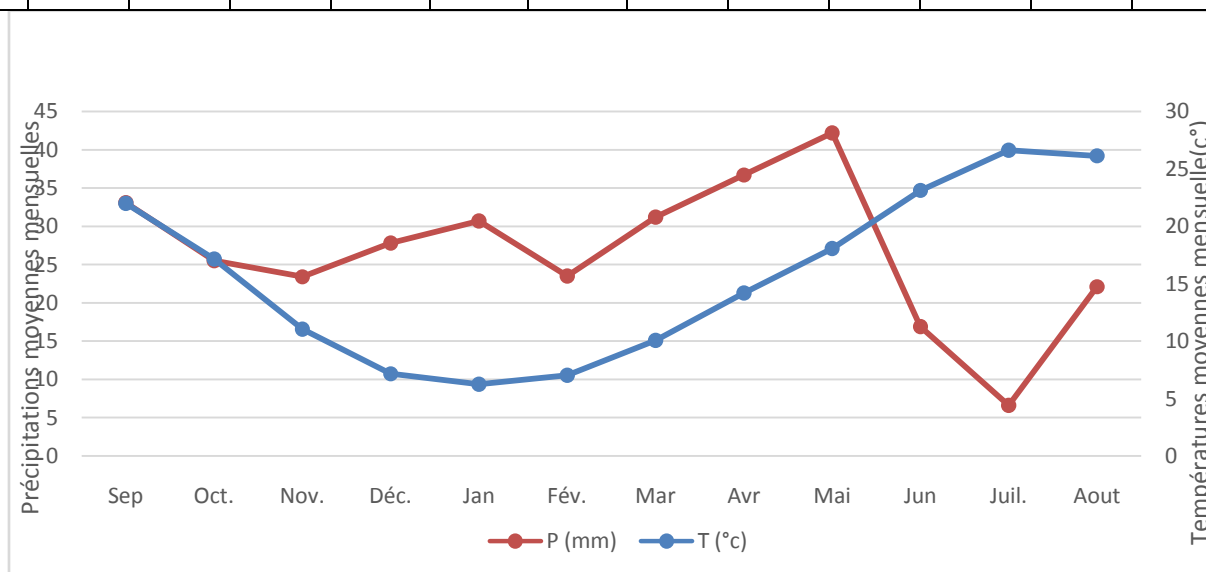
Lorsque la courbe représentant les précipitations passe au-dessus de la courbe de la température ; il s'agit d'une période excédentaire (humide). Alors que si la courbe des

précipitations passent au-dessous de celle de la température ; il s'agit d'une période déficitaire (sèche).

Le tableau suivant représente les précipitations et températures moyennes mensuelles :

**Tableau 9: Températures et précipitations moyennes mensuelles(Station Ain Skhouna).**

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil.	Aout	Total
T (°c)	21.99	17.15	11.05	7.16	6.25	7.03	10.07	14.20	18.07	23.12	26.62	26.13	15.73
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	319.7



**Figure 11: Diagramme pluviométrique de GAUSSEN et BAGNOULS.**

L'analyse de ce diagramme montre que :

- La période humide s'étend du mois de Mars au mois de Mai.
- La période sèche s'étale du mois de Juin au mois Aout

#### IV. 4. Les indices climatiques

##### IV.4.1 Indice d'aridité de DE MARTONNE

L'aridité peut s'exprimer quantitativement par différents indices d'aridité conventionnels et empiriques, la plupart est un simple rapport hydro thermique fondé principalement sur des grandeurs moyennes des précipitations et des températures qui sont utilisées pour définir les degrés d'aridité et les conditions d'écoulement fluvial [4].



Cet indice proposé par De MARTONNE en 1923 est fondé sur le régime des précipitations et sur les températures, il est calculé par la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Où :

I : indice d'aridité annuel de DE MARTONNE ;

P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;

T : température moyenne annuelle (°C).

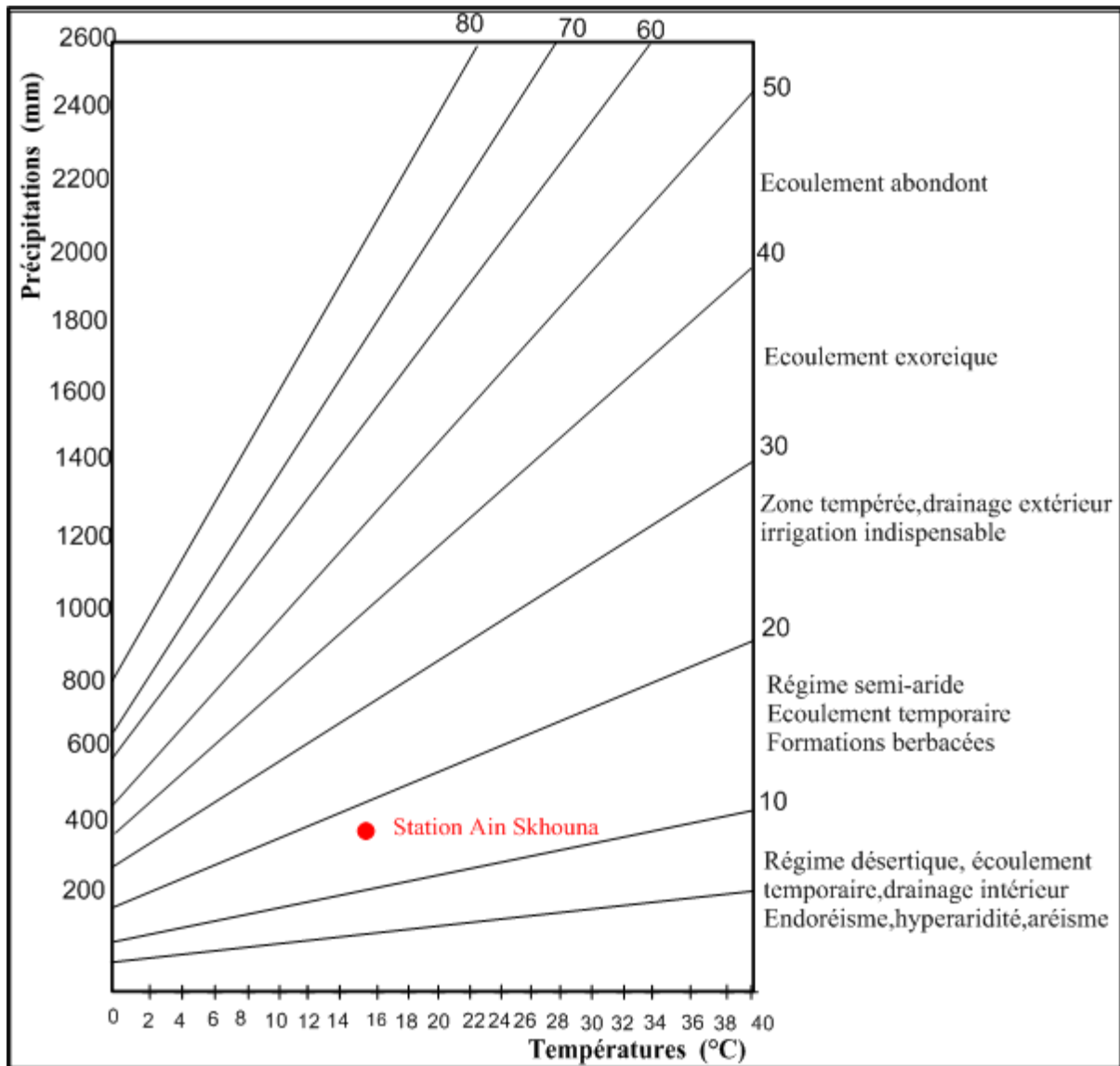
Selon DE MARTONNE :

- pour des valeurs de I inférieures à 5, on est en présence d'un régime hyper aride ;
- pour des valeurs de I comprises entre 5 et 10, on est en présence d'un régime désertique ;
- pour des valeurs de I comprises entre 10 et 20, on est en présence d'un régime semi-aride, mais tout dépend de la répartition saisonnière des pluies.

Les différentes valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la formule de De MARTONNE sont reportées dans le (tableau 10).

**Tableau 10: Indice d'aridité de DEMARTONNE.**

Station	P (mm)	T (°C)	I	Type de Climat
Ain Skhouna	319.7	15.73	12.42	Semi-aride



**Figure 12: Abaque de l'Indice climatique de DE MARTONNE 1923.**

D'après l'indice de l'aridité de DE MARTONNE, la plaine d'étude appartient à une zone ayant un climat semi-aride.

#### IV.4.2. Diagramme d'EMBERGER

Le diagramme d'EMBERGER c'est un indice de caractérisation des climats ; il précise cinq étages bioclimatiques : humide, subhumide, aride, semi-aride, et saharien, et quatre sous-étages bioclimatiques :

- A hiver froid  $m < 0^{\circ}\text{c}$  ;
- A hiver frais  $0 < m < 3^{\circ}\text{c}$  ;
- A hiver doux ou tempéré  $3 < m < 7^{\circ}\text{c}$ .
- A hiver chaud  $m < 7^{\circ}\text{c}$ .

Cet indice est donné par la relation suivante qui combine trois facteurs climatiques primordiaux (moyenne des températures extrêmes, précipitation et valeur de l'évaporation grâce à l'amplitude extrême M-m.

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

Avec :

P : Précipitations annuelle en mm ;

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en degré absolu (°K) ;

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en degré absolu (°K) ;

Avec  $T \text{ °k} = T \text{ °C} + 273.2$

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

$$M = 35.86 + 273.2 = 309.06 \text{ °K.}$$

$$m = 0.08 + 273.2 = 273.28 \text{ °K.}$$

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

$$Q_2 = 30$$

On constate à partir de l'indice d'EMBERGER que la région d'étude appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, un hiver plutôt frais (Figure 13) [4].

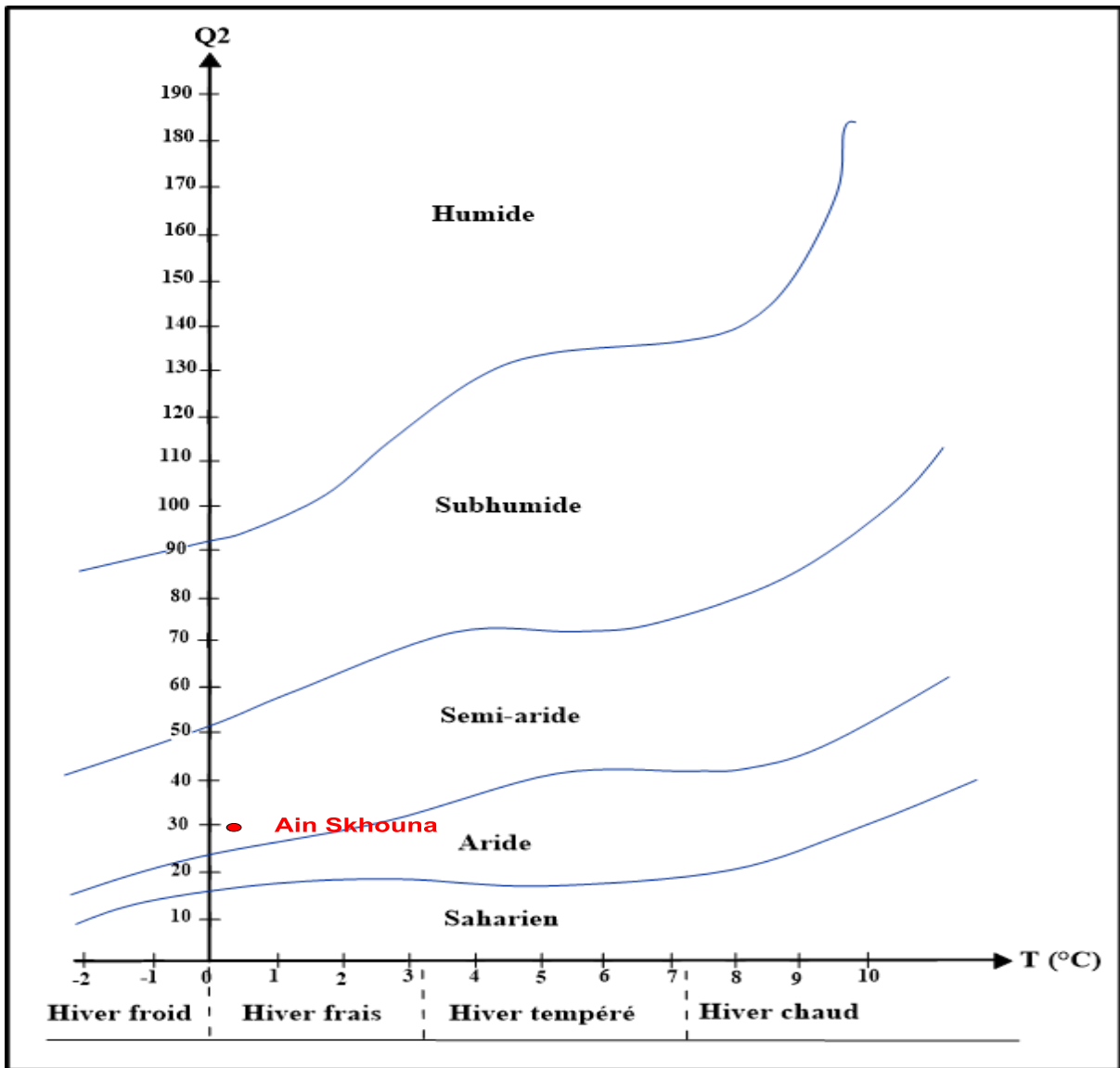


Figure 13: Climato-gramme d'EMBERGER.

Donc la région de Gadaïne - Lazrou a un climat de type Semi-aride.

#### IV.4.3. Le quotient pluviométrique annuel de Moral

Moral propose en 1964 d'utiliser la relation suivante pour calculer le quotient pluviométrique annuel. Cet indice pluviométrique utilise également la hauteur annuelle des précipitations (P en mm) et les températures moyennes annuelles (T en °C) pour délimiter l'humidité et la sécheresse.

$$I_A = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Où :

$I_A$  : Quotient pluviométrique annuel ;

P : précipitations moyennes annuelles (mm) ;

T : température moyenne annuelle (°C).

Avec :

$I_A = 1$ , on est à la limite de la zone aride ;

$I_A < 1$ , on est dans un climat sec.

$I_A > 1$ , on est dans un climat humide (Guyot 1999).

Les différentes valeurs du quotient pluviométrique annuel calculé selon la relation de Moral sont reportées dans le tableau 11

**Tableau 11: Indices d'aridité de Moral.**

Station	P(mm)	T(°C)	$I_A$
Ain Skhouna	319.7	15.73	1.1

On remarque que la valeur dans la station d'Ain Skhouna supérieur à 1, on peut dire que le climat de la région d'étude est humide, c'est-à-dire qu'il peut être qualifié de semi-aride.

#### IV.5. Le Bilan hydrique

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par écoulement, infiltration ou évaporation [1].

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante [11] :

$$P = ETR + R + I$$

ETR : l'évapotranspiration annuelle (mm) ;

I : infiltration annuelle (mm) ;

P : Précipitation annuelle (mm) ;

R : ruissellement annuel (mm).

##### IV.5.1. Évapotranspiration potentielle ETP

L'évapotranspiration est définie comme une restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre à l'atmosphère.

Cette notion englobe aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du sol, ou celle transpirée par les plantes.

Elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrique et dépend de plusieurs paramètres : température, précipitation, humidité de l'air et couvert végétal.

**IV .5.1.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle (Méthode de THORNTHWAITE)**

Il existe plusieurs formules empiriques pour calculer l'évapotranspiration potentielle, mais elles ne sont pas représentatives pour toutes les régions du monde, parce qu'elles doivent subir plusieurs corrections locales.

$$ETP=16\left(\frac{10\times T}{I}\right)^a \times k \text{ en (mm)}$$

Avec :

**ETP** : Évapotranspiration mensuelle corrigé en mm ;

**T** : Température moyenne du mois considère en °C ;

**I** : Indice thermique annuelle ;  $I= \sum i$  ;

**i** : Indice thermique mensuelle, déterminer par l'expression :  $i= \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$

**a** : coefficient calculé par la formule :  $a = 1.6\left(\frac{I}{100}\right) + 0.5$  ;

**K** : coefficient de correction de la latitude.

Certains auteurs pensent que les valeurs de l'ETP calculées par la méthode de THORNTHWAITE 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.

$$E.T.Pc = K * E.T.P$$

Où :

**ETPc** : évapotranspiration potentielle corrigée (mm);

**Tableau 12: L'ETP selon les deux méthodes de THORNTHWAITE.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
<b>T (°C)</b>	21.9	17.15	11.05	7.16	6,25	7.03	10.07	14.2	18.07	23.12	26.62	26.13	<b>15.73</b>
<b>I</b>	9,36	6.46	3.32	1.72	1,4	1.68	2.89	4.86	7	10.16	12.58	12.23	<b>73.64</b>
<b>a</b>	1.7												
<b>ETP (mm)</b>	99.7	66.1	31,6	15.3	12,1	14.8	27.1	48.2	72.2	109.1	138.3	134	<b>768.4</b>
<b>K</b>	1.03	0.96	0,83	0.83	0.86	0,84	1.03	1.1	1.22	1.23	1.25	1.17	—
<b>ETPc</b>	103	63	26	13	10	12	28	53	88	134	173	157	<b>861</b>

**A. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :**

Les parties d'eau d'un sol atteignent l'ETP si le stock d'eau de la RFU lui est supérieur ou égal, en cas d'insuffisances, elles sont limitées à une quantité plus petite, cette limite est appelée [11].

Cette estimation se fera à partir des formules de TURC et THORNTHWALTE.

➤ **Formule de TURK**

$$E. T. R = \frac{P}{\sqrt{(0.9 + (\frac{P}{L})^2)}}$$

Où :

**P** : précipitation moyenne annuelle (en mm).

**ETR** : évapotranspiration réelle (en mm)

**L** : le pouvoir évaporant de l'atmosphère

**T** : température moyenne annuelle (en °C).

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Les différentes valeurs de l'ETR calculée selon la méthode de Turc sont portées dans le tableau 13.

**Tableau 13: Valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc.**

Station	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
Ain Skhouna	319.7	15.73	887.86	315

**Le calcul de l'ETR d'après THORNTHWALTE est :**

- **Si P > ETP ⇒ ETR =ETP** : Et s'il y a un excédent qui est (P – ETP),il va alimenter le RFU, le ruissellement et l'infiltration. Le sur plus d'eau s'écoule à moitié dans les réseaux hydrographiques pendant le mois considéré M, et l'autre (écoulement souterrain) est reportée au mois suivant M+1.
- **Si P < ETP ⇒ ETR=P** : Plus toute ou partie de la RFU jusqu'à égale la valeur de l'ETP, si malgré l'apport de la RFU, l'ETR.

Il existe un déficit agricole  $D_a = ETP - ETR$ , ce dernier est sensiblement lié aux besoins en eau d'irrigation des cultures.

#### IV.5.2. Établissement du bilan hydrique

Un bilan hydrique est le résultat chiffré de la comparaison du total des précipitations tombées dans une région et l'évapotranspiration potentielle (ETP) évaluée en laboratoire.

La RFU ainsi calculée pour la plaine est égale à 56 mm. Les bilans hydriques, selon la méthode de Thornthwaite, portée dans le tableau 14.

**Tableau 14: Calcul des paramètres du bilan hydrique.**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
<b>T (°C)</b>	21.9	17.15	11.05	7.16	6.25	7.03	10.07	14.2	18.07	23.12	26.62	26.13	<b>15.73</b>
<b>I</b>	9.36	6.46	3.32	1.72	1.40	1.68	2.89	4.86	7.00	10.16	12.58	12.23	<b>73.64</b>
<b>a</b>	1.7												
<b>ETP (mm)</b>	99.7	66.1	31.6	15.3	12.1	14.8	27.1	48.2	72.2	109.1	138.3	134.0	<b>768.4</b>
<b>K</b>	1.03	0.96	0.83	0.83	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	–
<b>ETPc</b>	103	63	26	13	10	12	28	53	88	134	173	157	<b>861</b>
<b>P (mm)</b>	33.1	25.5	23.4	27.8	30.7	23.5	31.2	36.7	42.2	16.9	6.6	22.1	<b>319.70</b>
<b>P-ETP</b>	-70	-38	-3	15	20	11	3	-16	-46	-117	-166	-135	–
<b>RFU</b>	0	0	0	15	35	46	47	31	0	0	0	0	–
<b>Da</b>	66	37	2	0	0	0	0	0	1	118	167	135	<b>526</b>
<b>Ex</b>	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	<b>3</b>
<b>ETR (mm)</b>	37	26	24	13	10	12	28	53	87	16	6	22	<b>335</b>

Pour la station de l'Ain Skhouna, nous avons obtenu une valeur ETPc totale de l'ordre de 861 mm/an

La méthode de THONTHWAITE a été critiquée par certains chercheurs, notamment quelqu'un citera Serra en 1954. Selon lui, cette méthode s'apparente à l'utilisation des lysimètres sont sous-estimés dans les régions arides et semi-arides, alors qu'en Tropiques humides ou équatoriaux. Il ne convient que pour les zones humides. Régions subhumides tempérées, d'où il est originaire (États-Unis) [5].

#### IV.6. Le ruissellement



La formule empirique de TIXERONT et BERKALOFF en 1961, exposée ci-après, qui s'appliquerait le plus souvent aux bassins hydrologiques en climat semi-aride à aride, s'appuie sur la théorie suivante :

- Si les précipitations sont vues à la hausse, le ruissellement lui, tend à une grandeur qui leur soit analogue (déduction faite de l'ETR plafonnée à la valeur de l'ETP) ;
- Si les précipitations tendent à diminuer, le ruissellement se réduit à néant et le rapport ruissellement pluviométrie tend par conséquent vers zéro.

La formule de calcul est la suivante :

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

Cette formule est applicable lorsque les précipitations sont inférieures à 600 mm.

Où :

R : ruissellement (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle (mm).

Les valeurs du ruissellement selon la méthode de TIXERONT et BERKALOFF sont portées dans le tableau 15.

**Tableau 15: Ruissellement selon la méthode de TIXERONT et BERKALOFF.**

	Station	P (mm/an)	ETP (mm/an)	R (mm/an)	R en % de P
<b>Thornthwaite</b>	Ain Skhouna	319.7	861	15	5

#### IV.7. Calcul de l'infiltration

Par définition l'infiltration est la quantité d'eau qui pénètre dans le sous-sol et alimente les aquifères souterrains. Ce paramètre peut être estimé à partir de la formule du bilan hydrologique donnée par la relation suivante[6].

$$P = D + R + I \Rightarrow I = P - (D + R)$$

Où :

P : précipitation (mm) ;

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

R : ruissellement (mm) ;

I : infiltration (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 16.

**Tableau 16: Estimation de l'infiltration de la plaine d'étude.**

	Station	P (mm/an)	ETR (mm/an)	R (mm/an)	I (mm/an)
<b>Thornthwaite</b>	Ain Skhouna	319.7	335	15	0

Si l'on se réfère aux résultats, il faut dire que la pénétration est quasi nulle Dans la zone d'étude, le volume d'eau sédimentée a donc été pris presque de l'évapotranspiration, ce qui ne reflète guère la réalité. Par conséquent, les chiffres sont toujours prudents et ne doivent pas toujours être en tant que témoin ou référence, mais doit être considérée comme une ordonnance ordre de grandeur.

Les valeurs osmotiques ne représentent pas vraiment l'infiltration l'ensemble du bassin versant, car ses estimations sont basées sur les données de station à proximité 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 sûrement de faire ressortir des journées aux excédents hydriques, notamment consécutivement aux averses.

## Conclusion

L'analyse des paramètres climatiques observés sur une période de 29 ans (1989-2018) à la station de Ain Skhouna, a permet de déduire que :

Le climat est typiquement semi-aride type Continental (hiver froid et été chaud), avec des températures moyennes annuelles de 15.73°C et un taux de précipitation moyen annuel de l'ordre de 319.7 mm.

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.

# **C**hapitre V :

## **C***ADREHYDROGEOLOGIQUE...*

## Chapitre V – Cadre Hydrogéologique

### Introduction

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre. La source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration à partir de la surface du sol d'une fraction fixe de l'eau connue sous le nom de précipitations efficaces. L'infiltration renouvelle l'eau des réservoirs souterrains et acquies une certaine composition chimique par son circuit dans les aquifères qui lui donne un certain faciès chimique.

L'étude géologique et géophysique ont permis de bien cartographier la géométrie et la nature de l'aquifère. La plaine de Gadaïne - Lazrou abrite deux formations aquifères superposés et en contacts par endroits :

- L'aquifère superficiel se trouvant dans le recouvrement Mio-Plio-quadernaire.
- Un aquifère profond carbonaté du Jurassique et du Crétacé.

Lors de ce chapitre nous nous intéressons à l'aquifère superficiel, où nous étudierons 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 (2005), I. Dib (2009) et N. Naili (2015). H. Belalite (2021).

### V.1. Aquifère superficiel d'âge Mio-Plio-Quadernaire

#### V.1.1. Description de la formation aquifère

Il existe une nappe superficielle dans les niveaux superficiels. Cette nappe a pour siège les formations perméables ou peu perméables du recouvrement Mio-Plio-Quadernaire occupant presque tout le terrain d'étude à l'exception des reliefs. Elle affleure dans l'axe des dépressions pour former les Chotts. Les Chotts représentent l'affleurement de la nappe superficielle.

#### V.1.2. Alimentation

La nappe superficielle est alimentée par les précipitations directes sur la plaine et par les ruissellements sur les glacis nappant les reliefs et par les niveaux sous-jacents en charge, eux même recevant leur alimentation des massifs du Crétacé et jurassique par l'intermédiaire des dépôts grossiers de bordure. La nappe superficielle reçoit une alimentation ascendante vers le haut par l'aquifère profond au niveau des failles et probablement aux zones de superposition des deux aquifères. La nappe affleure dans l'axe de dépression correspondant au chott Gadaïne.

### **V.1.3. Exutoire**

L'exutoire naturel de cet aquifère superficielle est souligné par les débits important en période sèche et par affleurée dans les dépressions (les chotts). Les Chotts représentent l'affleurement de la nappe superficielle, toute fois il peut y avoir un écoulement de la nappe vers Chott Tinnsilt à l'Est.

## **V.2. Etude piézométrique**

### **V.2.1. Les cartes inventaires**

Nous nous somme basé dans notre travail sur les données des travaux réalisés auparavant en l'occurrence Belloula.L (2005)« Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de Gadaïne – Lazrou (Ouest de Batna) », Dib. I « L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaïne – Lazrou (Est Algérien) », Naili. N « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Gadaïne –Lazrou Ouest de Batna (piézométrie et hydrochimie » et 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) ».

#### **➤ Inventaire des points d'eaux campagne 2002**

L'inventaire des points d'eaux captant cette nappe nous permet de constater que la majorité des ouvrages sont des forages. La campagne effectuée a permis de mesurer les niveaux piézométriques et les paramètres physico-chimiques in situ (conductivité, température et pH). 23 points d'eaux ont été inventoriés.

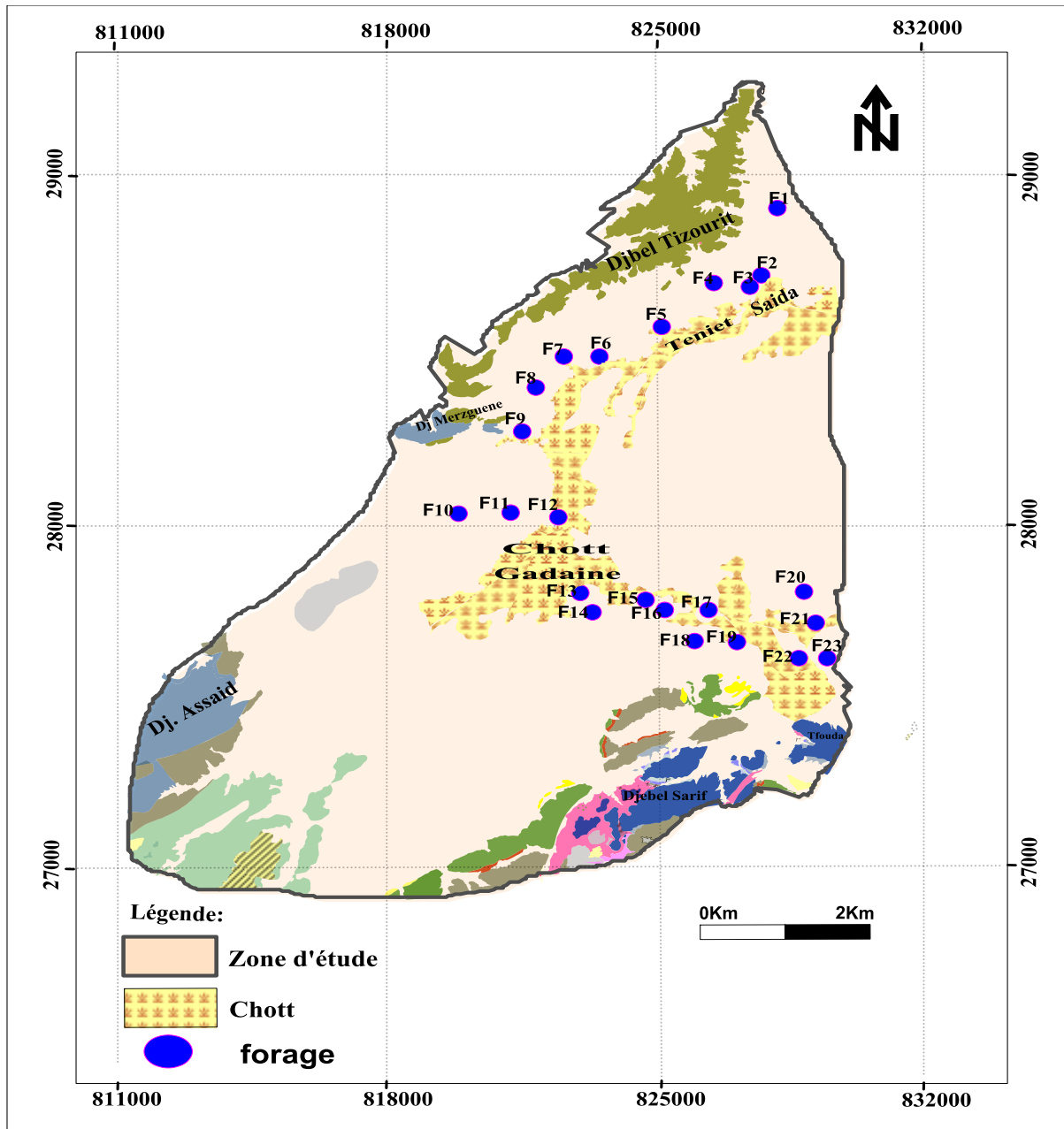


Figure 14: carte inventaire des points d'eau, campagne 2002 (Redessiné par Auteurs 2023).

#### ➤ Inventaire des points d'eau campagne 2009

Lors de cette campagne seule 11 points d'eau exploitant le complexe aquifère superficiel sont retenus pour le suivi piézométrique et les analyses des éléments fondamentaux. Les forages retenus sont destinés à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et aux autres usages domestiques.

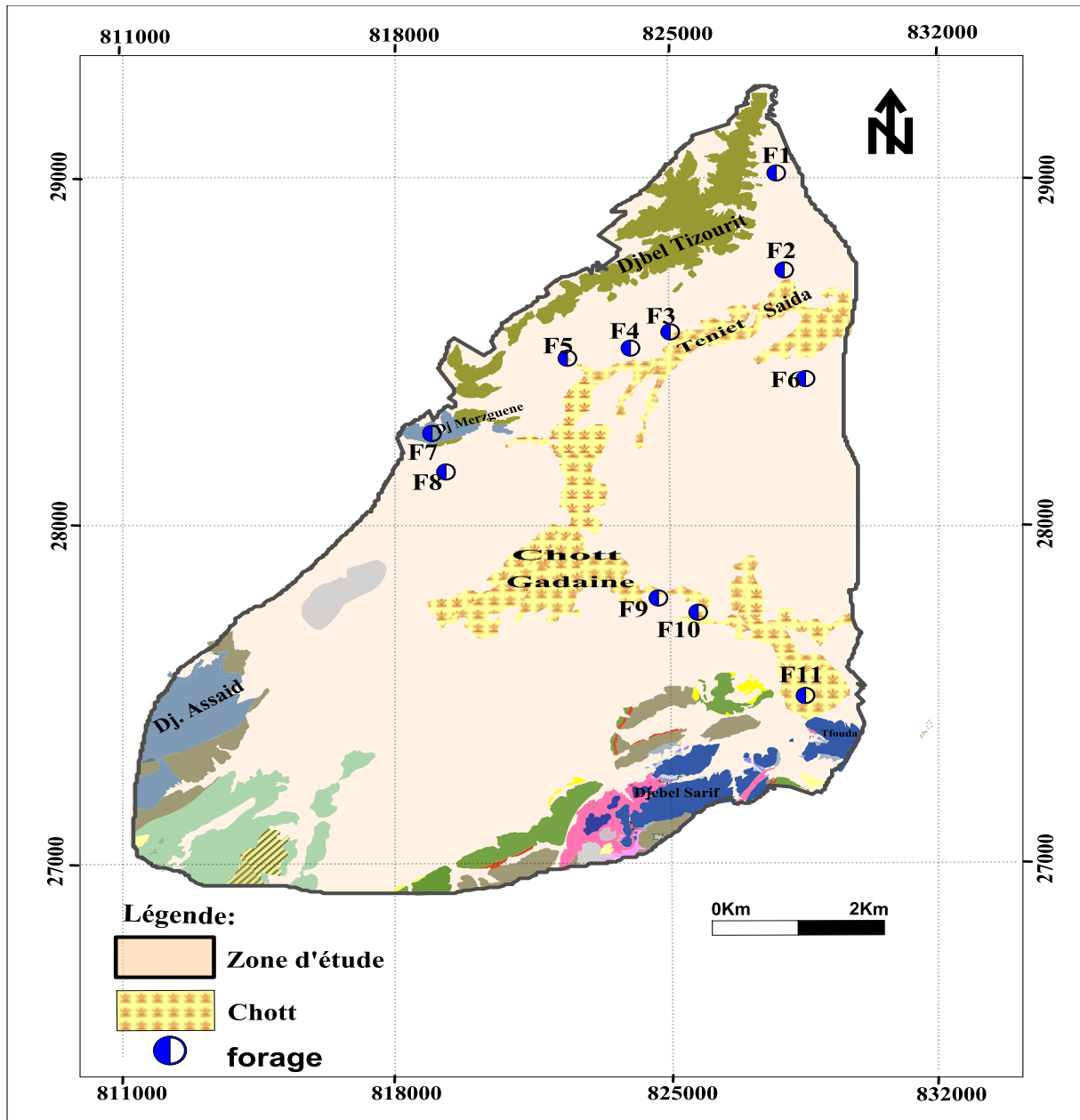
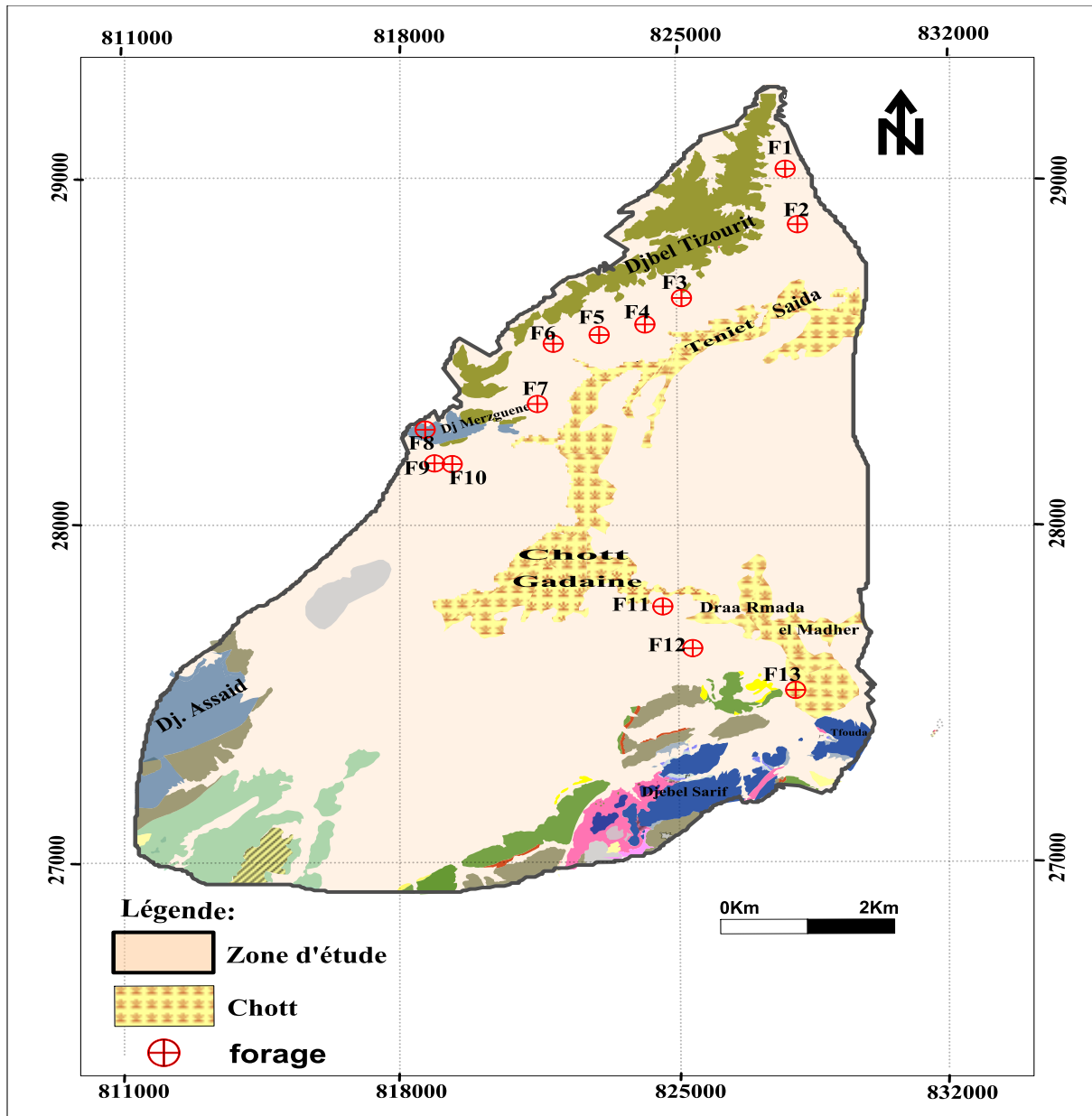


Figure 15: carte inventaire des points d'eaux, campagne 2009 (Redessiné par Auteurs 2023)

#### ➤ Inventaire des points d'eaux campagne 2015

Lors de cette campagne seule 13 points d'eau exploitant le complexe aquifère superficiel sont retenus pour le suivi piézométrique et les analyses des éléments fondamentaux. Les forages retenus sont bien.



**Figure 16: carte inventaire des points d'eaux, campagne 2015 (Redessiné par Auteurs 2023).**

#### ➤ Inventaire des points d'eaux campagne 2016

Lors de cette campagne 22 points d'eau exploitant le complexe aquifère superficiel sont retenus pour le suivi piézométrique et les analyses des éléments fondamentaux. Les forages retenus sont bien.



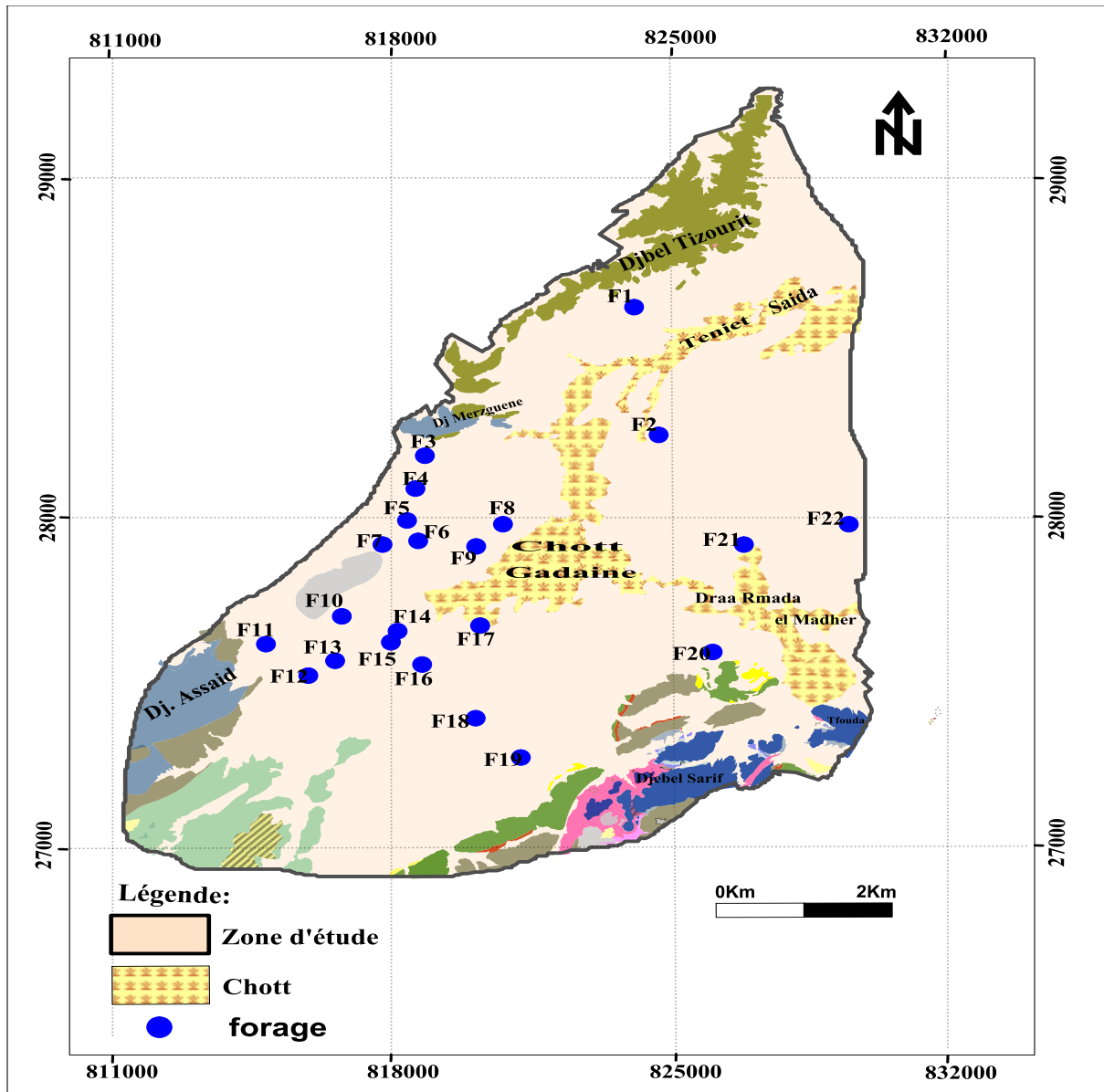


Figure 17: carte inventaire des points d'eaux, campagne 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).

### V.2.2. Piézométrie

La carte piézométrique est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique. Elle comporte le 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.

### V.2.3. Interprétation des cartes

De façon 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 générale de la zone d'étude suit un axe SW de chott Gadaïne vers NE de chott Taricht Theniet Saida.

#### ➤ Carte piézométrique de campagne 2002 :

La carte piézométrique nous a permis de faire une analyse détaillée sur la morphologie de la surface piézométrique. L'écoulement souterraine converge vers la zone de drainage chott Gadaïne, chott Taricht Teniet 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.

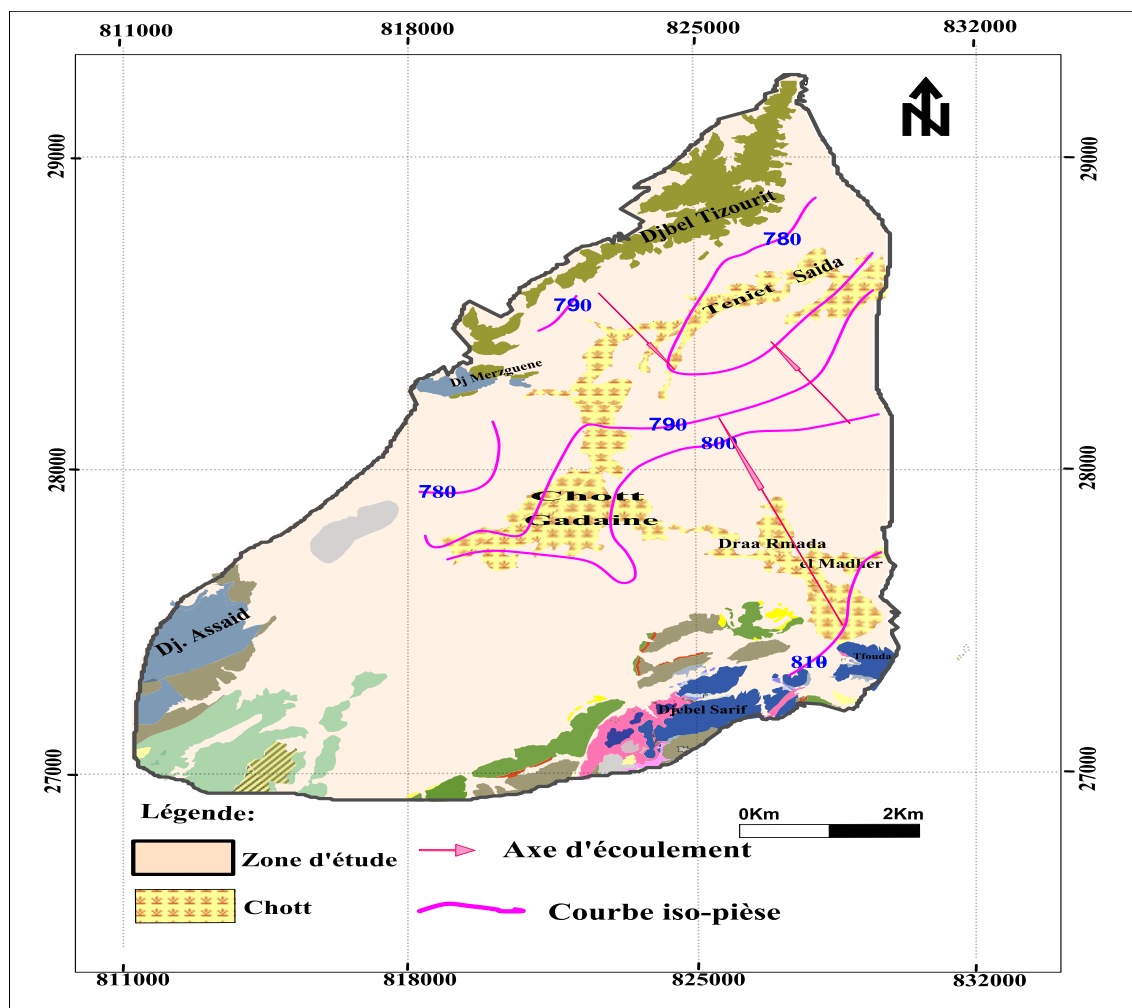


Figure 18: Carte piézométrique, campagne 2002 (Redessiné par Auteurs 2023).

➤ **Carte piézométrique de campagne 2009 :**

La carte piézométrique de la zone étude en 2009 montre que l'organisation générale des écoulements est orientée du SW vers le NE à l'Est de la plaine et du NW vers le SE à l'Ouest. Ces écoulements convergent, avec gradient hydraulique de 0,0043 vers la zone de drainage du chott Gadaïne et chott Taricht Teniet Saïda.

Le niveau piézométrique de cette dernière s'est abaissé progressivement depuis chott Gadaïne (par 1 m) vers les monts d'Ain Yagout (par 2 m).

La comparaison de la carte piézométrique avec celle établie en Juin 2002 montre que le niveau piézométrique enregistré pendant la campagne de Mai 2009 augmente à proximité du chott Gadaïne (par 1 m), au centre de la plaine (environ de 0.5 m) et vers les monts d'Ain Yagout (par 12 m). Dans la partie NW de la plaine le relèvement de la nappe atteint 4 m.

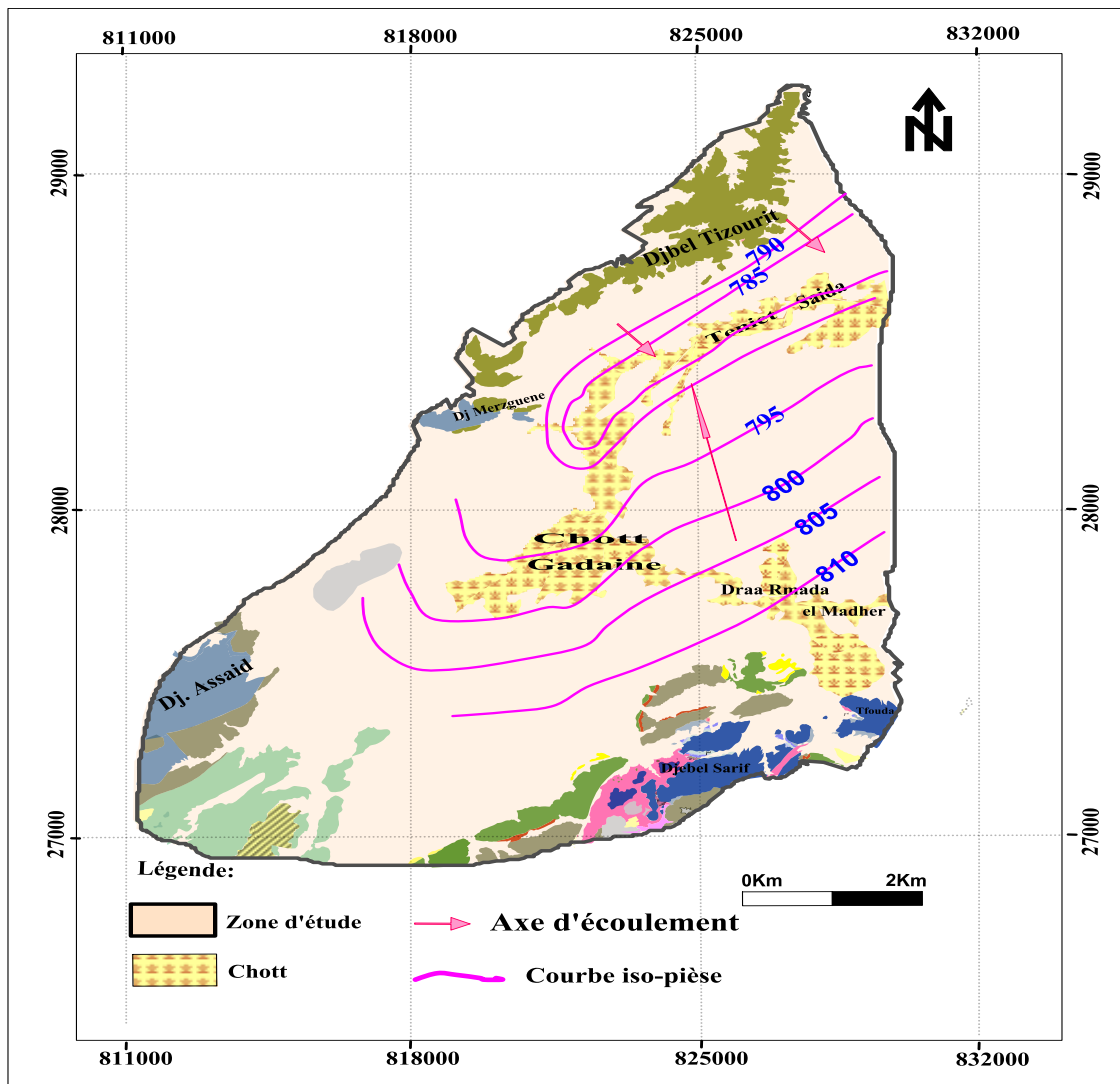


Figure 19: carte piézométrique de la campagne 2009 (Redessiné par Auteurs 2023).

➤ **Carte piézométrique de campagne 2015 :**

L'existence d'un dôme piézométrique a rendu l'explication du sens d'écoulement caduc car nous sommes devant une divergence. Nous pouvons avancer comme explication plausible, le rôle joué par le Chott comme une limite à potentiel imposé qui a donné naissance à ce dôme. Dans la partie NE de la région d'étude, les courbes iso-pièzes présentent un large espacement avec un gradient hydraulique de 0,028 et les courbes dans la partie SW présentent des courbes homogènes avec un gradient de 0,010 (faible gradient), mais dans la partie centrale nous avons trouvé un dôme piézométrique avec des courbes très serrées qui indiquent un gradient très fort avec un écoulement vers l'est.

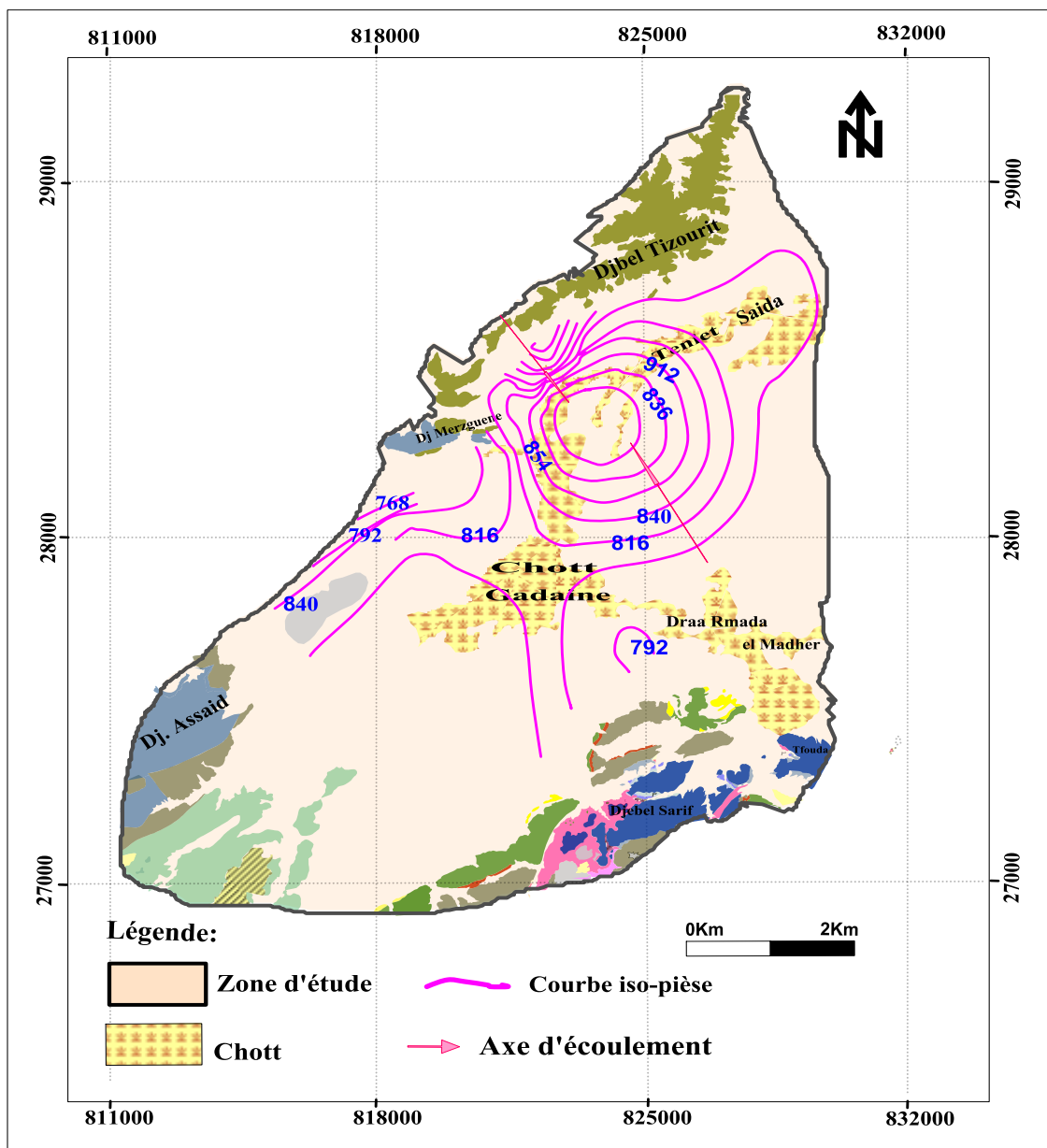


Figure 20 : carte piézométrique, campagne 2015 (Redessiné par Auteurs 2023).

➤ **Carte piézométrique de campagne 2016 :**

On a la même allure morphologique de la carte piézométrique de l'année 2015, la cote piézométrique s'établit entre 750 et 800 m (Figure 21). Il faut noter cependant qu'un rabattement important est observé par rapport à l'année 2015. Ce rabattement témoigne d'un déséquilibre dans le bilan de la nappe qui est le résultat de la surexploitation de l'aquifère du recouvrement par des centaines de forages. Un dôme piézométrique et une autre dépression piézométrique est observé au chott Gadaïne.

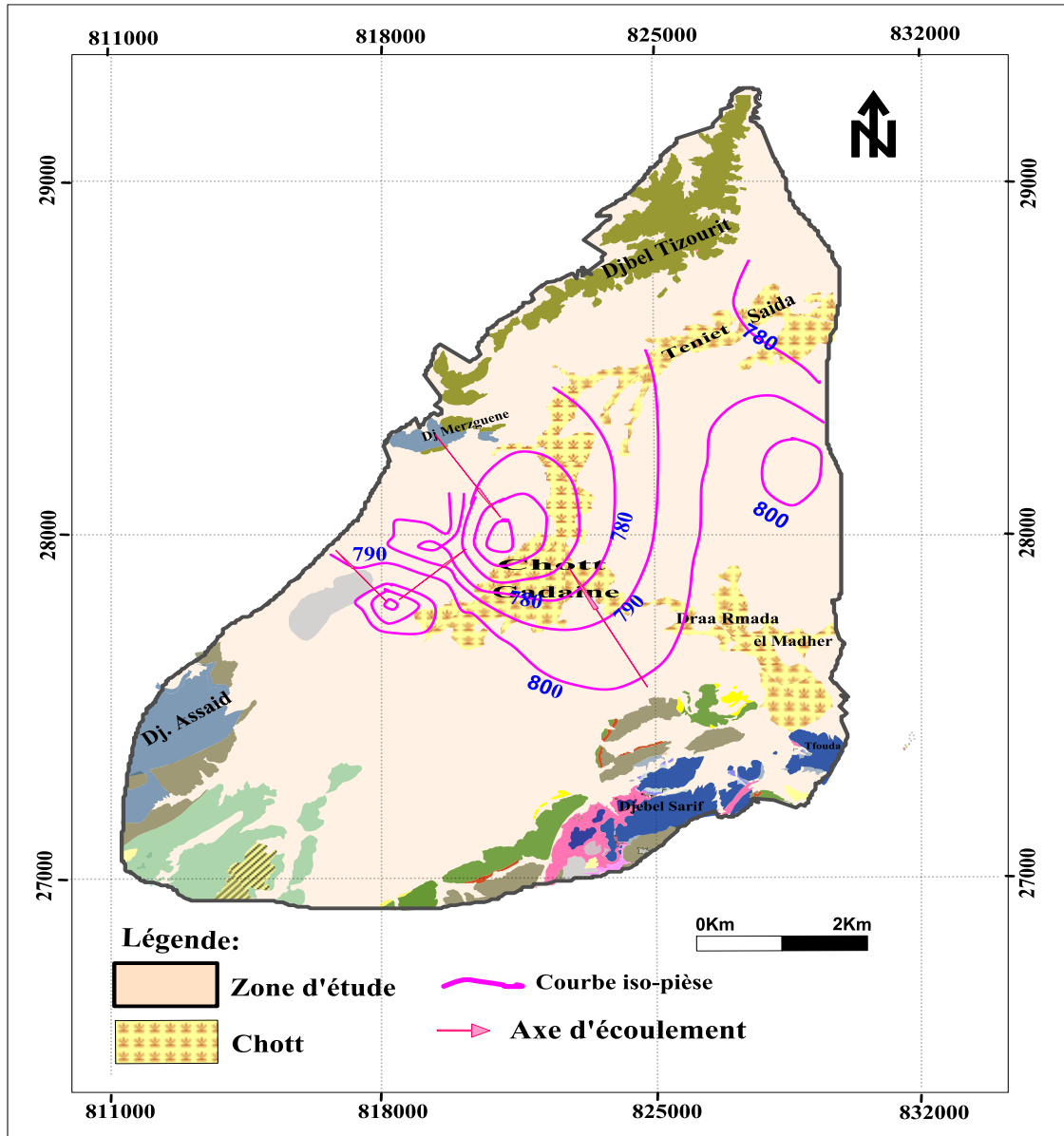


Figure 21 : carte piézométrique, campagne 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).

### V.3. Etude critique

**Tableau 17 : résultat d'interprétation des cartes piézométriques.**

	<b>Sens d'écoulement global</b>	<b>Anomalie piézométrique détectée</b>	<b>Gradient hydraulique</b>	<b>Courbes iso- pièzes</b>
<b>Compagne 2002</b>	SW-NE	Absence	Moyen	Homogène
<b>Compagne 2009</b>	SW-NE	Absence	Faible	Homogène
<b>Compagne 2015</b>	Divergence	Présence d'un dôme piézométrique	Fort	Hétérogène
<b>Compagne 2016</b>	Divergence	Présence d'un dôme piézométrique	Fort	Hétérogène

#### V.3.1. Rabattement

L'aquifère du recouvrement Mio-Plio-Quaternaire représente une nappe libre dont le niveau statique est fortement exposé aux variations saisonnières et en relation directe avec la pluviométrie.

La diminution du niveau piézométrique durant la campagne de 2015 est due aux faibles précipitations et l'exploitation intense de la nappe. Nous pensons que dès qu'il y a des apports importants durant la période humide ou la demande d'exploitation baisse, il, y'aura un relèvement du niveau d'eaux.

La comparaison des deux cartes piézométriques de 2002 et 2009 nous a permis de calculer le battement en hausse de la nappe où on remarque que la fluctuation positive varie de 0.0 m au point P30 à 12.0m au point P25, ce rehaussement est du probablement à une alimentation directe par les précipitations ou on enregistre une année 2009 bien arrosée avec 607.39 mm enregistré à la station Ain Skhouna. Cette fluctuation diminue vers Nord-Est et devient importante vers le centre de la plaine à cause des apports des Chotts.

La comparaison des deux cartes piézométriques 2002 et 2009 avec celle établie en 2015 et 2016 montre que le niveau piézométrique enregistré pendant les campagnes 2015 et

2016 diminue considérablement avec une même allure d'abaissement d'environ 20 m et un maximum de rabattement de 25 m au point du probablement à la surexploitation pour usages agricole important dans cette région de la plaine.

### **Conclusion**

Le complexe aquifère de la plaine de Gadaïne –Lazrou est formé par deux nappes :

- Aquifère superficiel contenu dans le remplissage du Mio-Plio-Quaternaire d'une épaisseur pouvant atteindre les 500 m. La nappe est alimentée par les massifs carbonatés qui l'entoure et son exutoire principal sont les Chotts Gadaïne, Teniet Saida;
- Les axes d'écoulement des eaux souterraines convergent vers les zones de drainage qui sont les Chotts.
- L'écoulement se fait principalement dans deux sens du Sud-Ouest vers le Nord-Est, ou d'Ouest vers l'Est avec un gradient hydraulique variable allant de 0.028 à 0.0071, le niveau le plus bas de cette nappe superficielle est représenté.

# **Chapitre VI :**

## ***CADREHYDROCHIMIQUE***

...



## **Chapitre VI – Cadre Hydrochimique**

### **Introduction**

C'est en circulant dans les micros fissures et les micropores des roches que les eaux dissolvent certains composants. La dissolution est facilitée par la chaleur ambiante et par la durée du contact entre l'eau et la roche. La composition chimique de l'eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, qui affectera ses possibilités de l'approvisionnement en eau potable ou bien de l'irrigation ou des autres usages.

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

### **VI.1. Inventaire des points d'eaux échantillonnés**

Nous avons pris les analyses chimiques de la campagne de Juin 2002 effectuée par Mr L. Belloula et procédera des extractions des valeurs des éléments physico-chimiques à partir des cartes iso-teneurs après digitalisation des campagnes de Mai 2009 effectuée par Mme I. Dib et celle de Mai 2015 effectuée par Melle N. Naili et celle de 2021 effectuée par Mme H. Belalite. 2021(Figure 22).

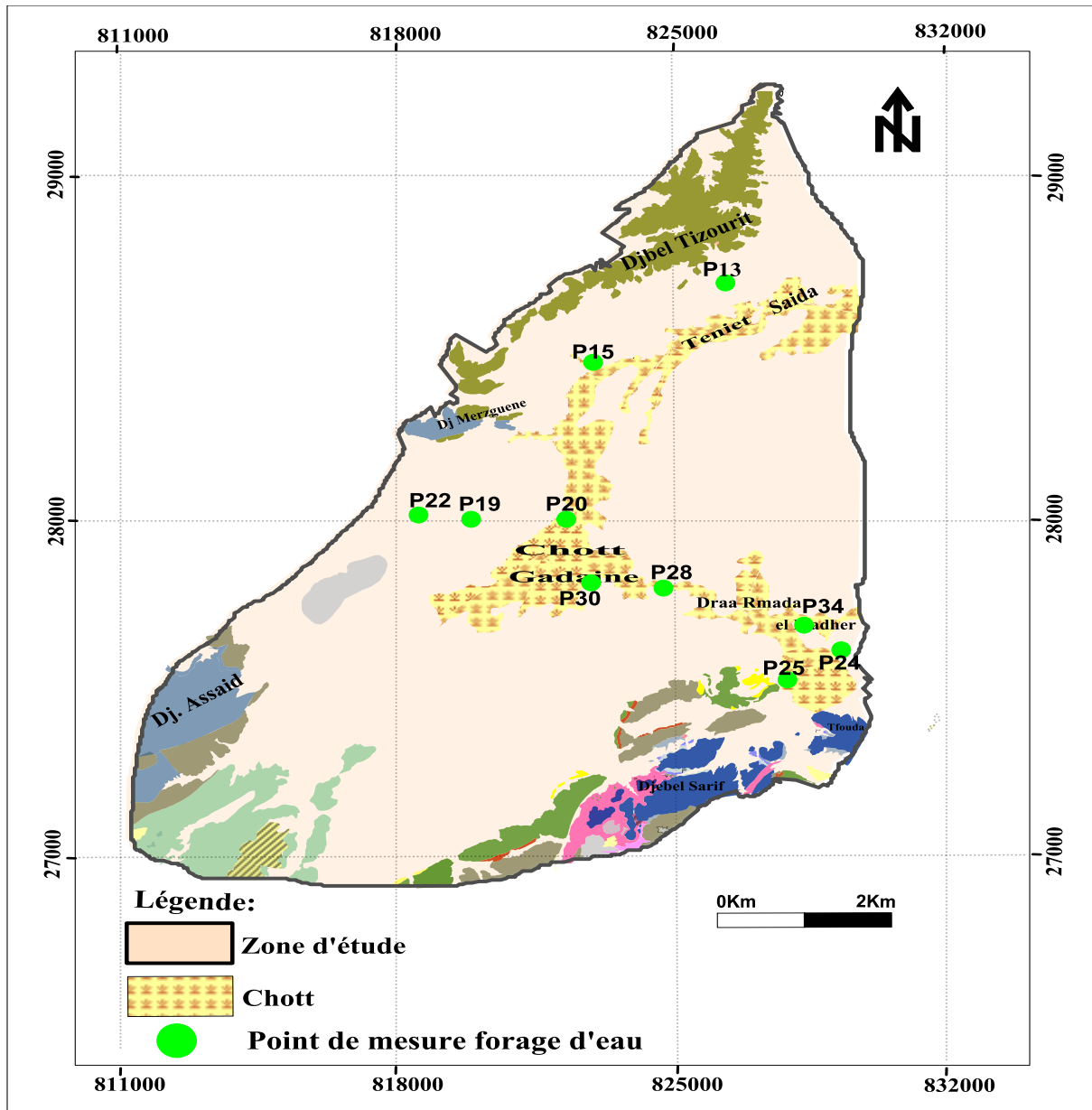


Figure 22 : Carte de localisation des points retenus pour les analyses chimiques (redessiné par Auteurs 2023).

## VI.2. Les faciès chimiques

### VI.2.1 Diagramme de Piper

Pour avoir une idée générale sur les faciès hydro-chimique dominant dans les eaux de la nappe superficielle de la plaine Gadaïne-Lazrou, nous avons établi un diagramme de Piper pour les campagnes des analyses chimiques des années (Juin 2002. Mai 2009. Mai 2015 et Septembre 2016) (Figure 23). Ce travail est réalisé avec le logiciel diagramme du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon [25]. Ce diagramme permet de catégoriser faciès chimique d'une eau et d'étudier l'évolution spatio-temporelle du chimisme d'une eau ou d'un aquifère [28].

La représentation des concentrations en éléments majeurs sur le diagramme de piper (Figure 23), montre que les eaux de la nappe superficielle Gadaïne-Lazrou présente deux familles dominantes sont :

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

On observe qu'il y a un changement progressif des faciès pendant les années (2002.2009.2015 et 2016).

**Tableau 18 :Répartition des faciès.**

<b>% des points dans les campagnes</b>	<b>2002</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Faciès</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>Chloruré et sulfaté calcique et magnésien</b>	90%	70%	80%	60%
<b>Chloruré sodique et potassique</b>	10%	30%	20%	40%
<b>Nombre points d'eau</b>	10	10	10	10

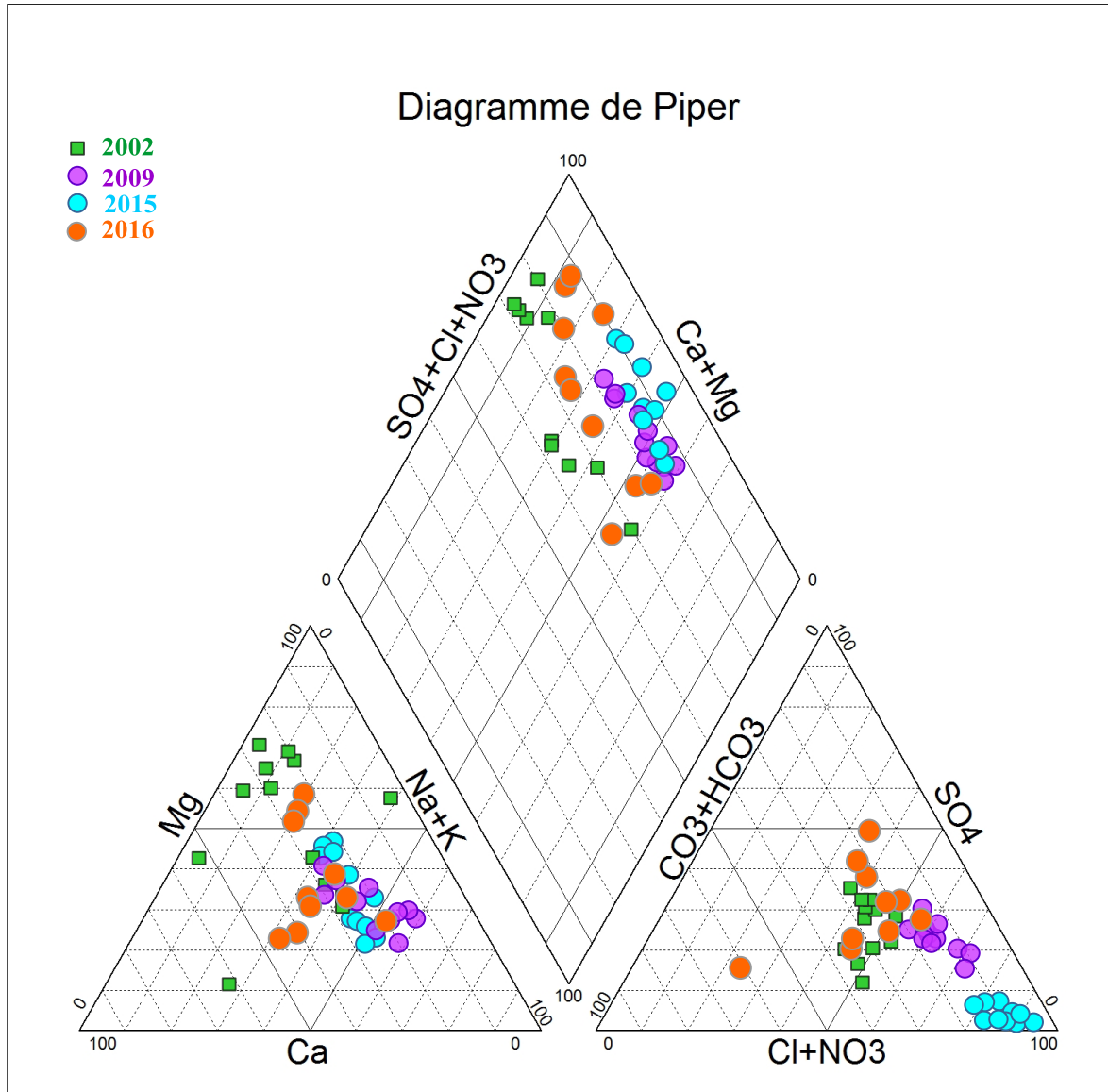
A partir du tableau 18 de la répartition des faciès, on constate que l'année 2009 a connu une métamorphose dans le chimisme des eaux de la nappe superficielle de Gadaïne – Lazrou du faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésien (90 % l'an 2002) au faciès chloruré sodique et potassique (30 % l'an 2009).

➤ **La critique :**

Les faciès évolue 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 l'an 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 carbonatés des massifs cernant la plaine ( $CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$ ).

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 :

$\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$  et dolomite:  $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2(\text{CO}_3^{2-})$ . Quand la dolomie est attaquée, il n'y a pas de solubilité sélective, il y a autant de calcium que de magnésium.



**Figure 23 : Diagramme Losangique de Piper des échantillons analysés en (2002.2009.2015 et 2016).**

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).

### VI.3. Analyses des paramètres physico chimiques

#### VI.3.1. 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.

**Tableau 19 :Normes Algériennes de potabilité (JORADP N° 18 du 23 mars 2011).**

Paramètre	Valeur	Unité	Campagne juin2002		Campagne Mai2009		Campagne Mai2015		Campagne Septembre 2016	
			Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
<b>Paramètres Physico-chimiques</b>										
Température	25	°C	24	16	24	14	21.4	17.7	26.00	8.3
PH	6.5-8.5		-	-	-	-	-	-	8	6.8
Conductivité	2800	µS/cm	8109.00	1730.00	6290.00	2999.00	10000.00	1900.00	6400	800
Calcium	200	mg/l	216.43	17.25	210.00	120.14	270.98	155.00	257.98	50.26
Magnésium	150	mg/l	264.50	20.93	180.17	90.00	335.00	78.00	250.68	23.88
Sodium+ Potassium	200	mg/l	204.24	28.75	810.20	17.00	471.40	232.50	319.615	28.09
Chlorure	600	mg/l	460.00	269.80	14000.77	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
Dureté total	500	mg/l	441.64	234.24	435.00	310.20	381.57	283.34	414.29	114.04
Bicarbonate	250	mg/l	441.64	234.24	435	310.20	381.57	283.34	414.29	114.04
<b>Substances Indésirables</b>										
Nitrates	50	mg/l	-	-	74.01	9.02	24.92	6.28	0.275	0

### VI.3.1.1. Paramètres physiques

#### a- La température :

Les températures mesurées in situ en degré Celsius, varient entre 14.0 °C (2009) et 24.0°C (2002 et 2009). On remarque les points d'eau présente des températures ordinaires et ne dépassent pas les normes algériennes (25°C).Sauf quelque points à l'an 2016 (26.0°C)  
Tableau 19.

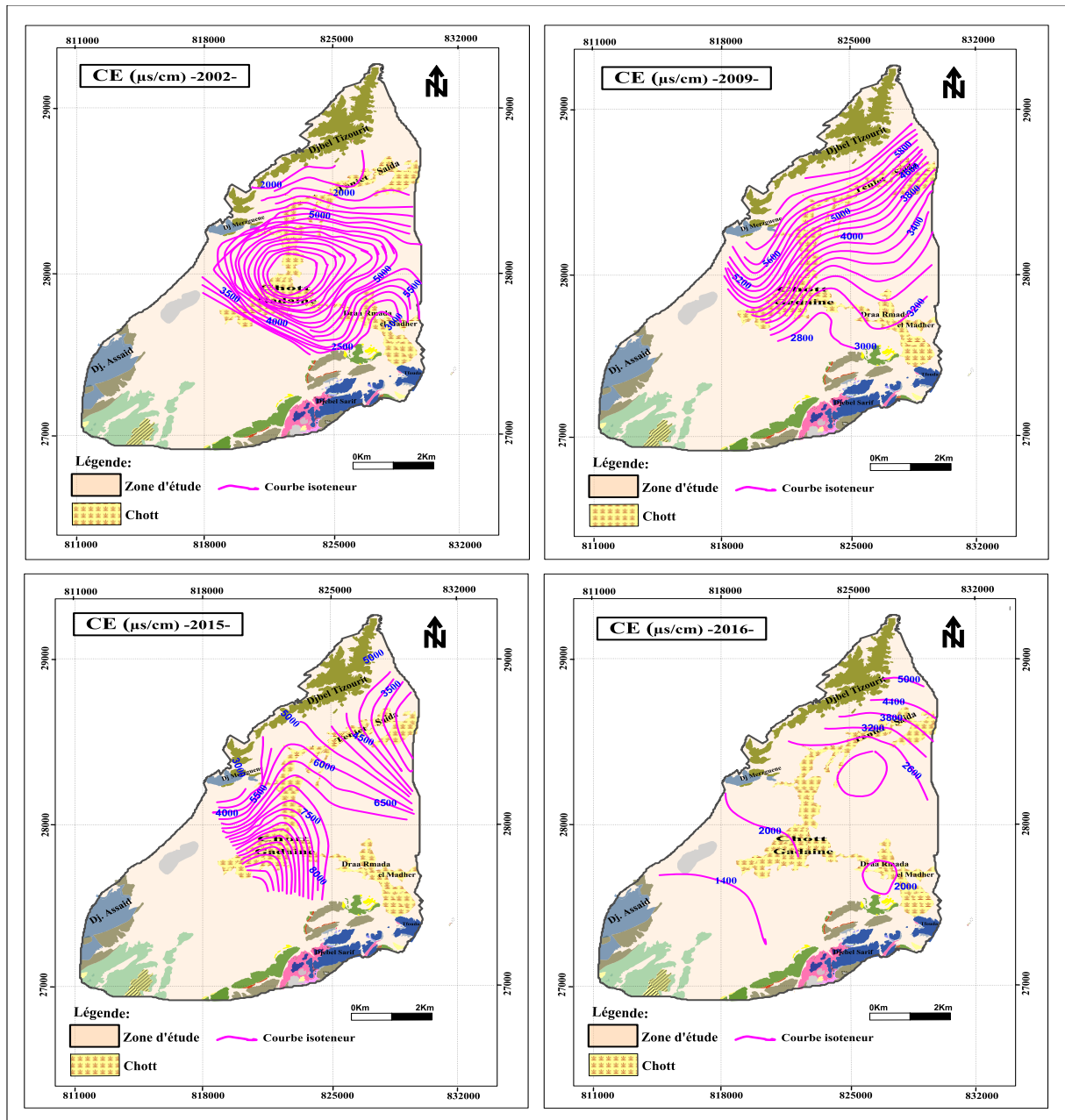
- **Juin 2002** : La valeur de la température des eaux souterraines de la nappe superficielle de la plaine Gadaïne- Lazrou mesurés en cette période varie de 16°C à 24°C [7].
- **Mai 2009** : La quasi-totalité des eaux de la plaine de Gadaïne-Lazrou présentent une température qui varie entre 14°C et 24°C [15].
- **Mai 2015** : La valeur de la température des eaux souterraines de la plaine Gadaïne-Lazrou mesurés dans cette période oscille entre 17.7°C et 21.4°C [23].
- **Septembre 2016** : La valeur de la température des eaux souterraines de la plaine Gadaïne-Lazrou mesurés dans cette période oscille entre 8.3°C et 26°C [6].

#### b- Conductivité :

La conductivité électrique est la propriété qu'à une eau pour conduire le courant électrique (capacité électrolyte), 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. Elle est directement proportionnelle à la quantité des sels minéraux dissous dans l'eau et constitués de cations et d'anions.

**Tableau 20 : Conductivité électriques des campagnes (2002.2009.2015et 2016).**

	Statistique	Nombre	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
CE (µS/cm)	<b>Juin 2002</b>	10	1730	8109	3348.33	1700.07	0.51
	<b>Mai 2009</b>	10	2999	6290	4293.27	1286.13	0.30
	<b>Mai 2015</b>	10	1900	10000	6038.20	243.89	0.40
	<b>Septembre 2016</b>	10	800	6400	2760.58	1505.82	0.56



**Figure 24 : Cartes des conductivités des campagnes 2002, 2009, 2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).**

D'après la figure 24 et le tableau 20 On remarque que :

- Les valeurs de conductivité électrique de la majorité des forages d'eaux de la nappe superficielle de Gadaïne- Lazrou pendant les quatre campagnes sont supérieures aux normes de potabilité algériennes 2800 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Tableau 20).
- Les valeurs de C.E augmentent considérablement aux voisinages des Chotts de Gadaïne, Taricht Teniet Saida durant les quatre campagnes de 2002.2009. 2015 et 2016 Figure 24 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.

- Aucun changement dans les valeurs de la conductivité aux voisinages des chotts, figure 24 durant l'année 2009, ce qui explique probablement un mélange des eaux suite à une alimentation efficace des réserves souterraines avec les précipitations importante enregistrés durant le premier semestre de l'année agricole.
- Les valeurs élevées de la C.E enregistrées dans la partie Est près des monts Lazrou sont liés aux formations salifères du Trias.

### VI.3.1.2.Paramètre chimique

#### a- Les éléments majeurs :

##### ➤ Les Cations :

Les principaux cations sont ; Le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), Le magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ), Le potassium ( $\text{K}^+$ ) et le Sodium ( $\text{Na}^+$ ).

##### ➤ Etude critique du $\text{Ca}^{++}$ :

La présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles: soit la dissolution des formations carbonatées soit à la dissolution des formations gypseuses. 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.

Pour notre cas les teneurs en calcium varient entre 17.25 mg/l comme valeur minimale enregistrée l'an 2002 et 270.98 mg/l comme valeur maximale enregistrée l'an 2015. Ces concentrations indiquent que ces eaux sont influencées par la dissolution des formations carbonatées et les formations gypseuses à la fois.

**Tableau 21 : variation de  $\text{Ca}^{++}$  compagnes (2002.2009.2015 et 2016).**

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
$\text{Ca}^{++}$ (mg/l)	<b>Juin 2002</b>	10	216.43	17.25	125.43	49.23	0.39
	<b>Mai 2009</b>	10	210	120.14	159.46	28.57	0.18
	<b>Mai 2015</b>	10	270.98	155.00	181.74	27.52	0.15
	<b>Septembere2016</b>	10	257.98	50.26	122.94	48.40	0.4



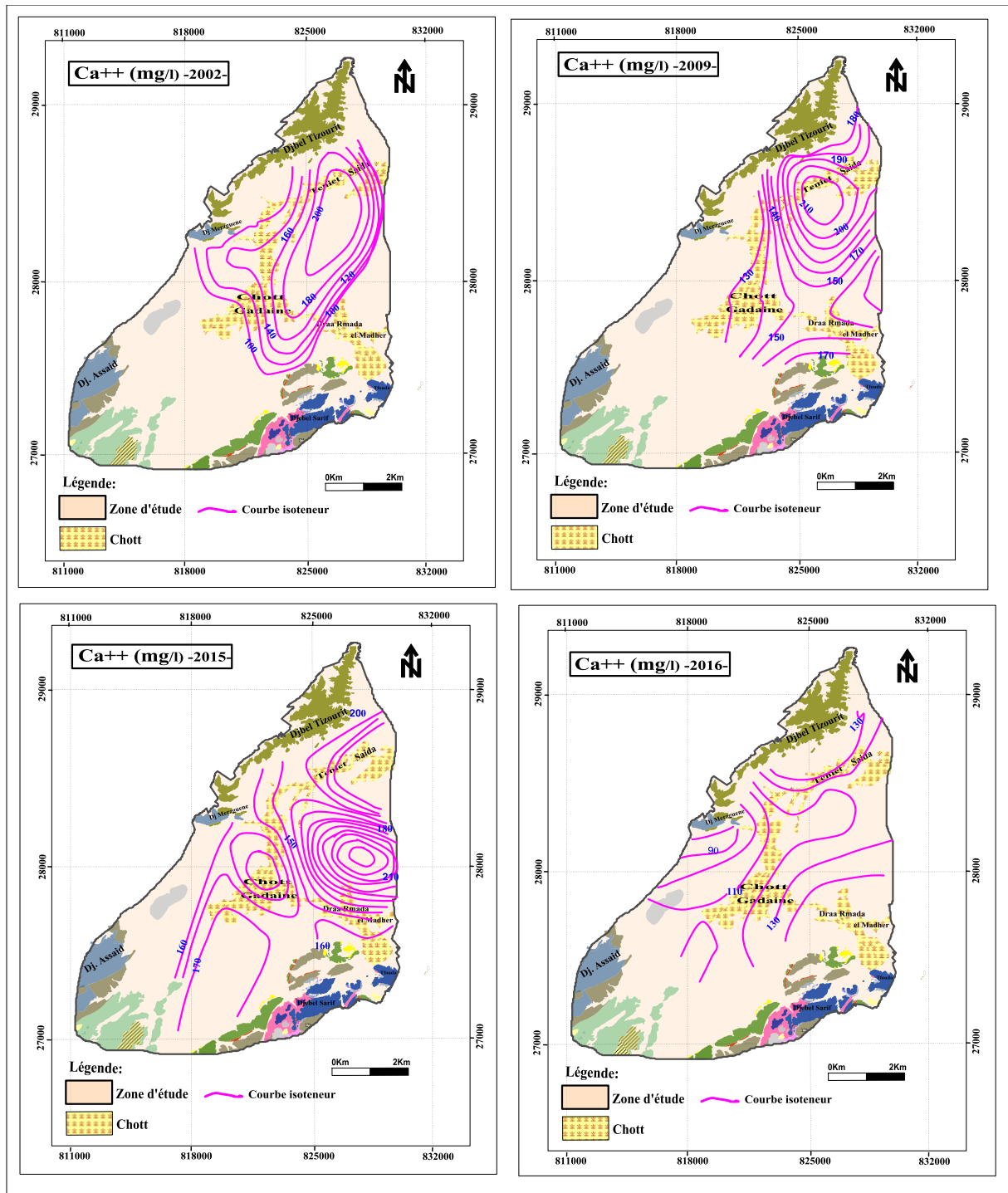


Figure 25 : Cartes des  $\text{Ca}^{++}$  de la campagne 2002. 2009. 2015 et 2016(Redessiné par Auteurs 2023).

➤ **Etude critique du  $\text{Mg}^{++}$  :**

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium, magnésite et dolomite. Quand la quantité du calcium dépasse celle du magnésium, l'eau aurait obtenu sa minéralisation du

calcaire. Par contre une teneur élevée en magnésium peut faire penser à lessivage des minéraux magnésiens.

Pour notre cas les teneurs en magnésium varient entre 20.93 mg/l comme valeur minimale enregistrée l'an 2002 et 335.00 mg/l comme valeur maximale enregistrée l'an 2015. On pense ici que les apports en magnésium proviennent de la dissolution des formations évaporitiques. 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.

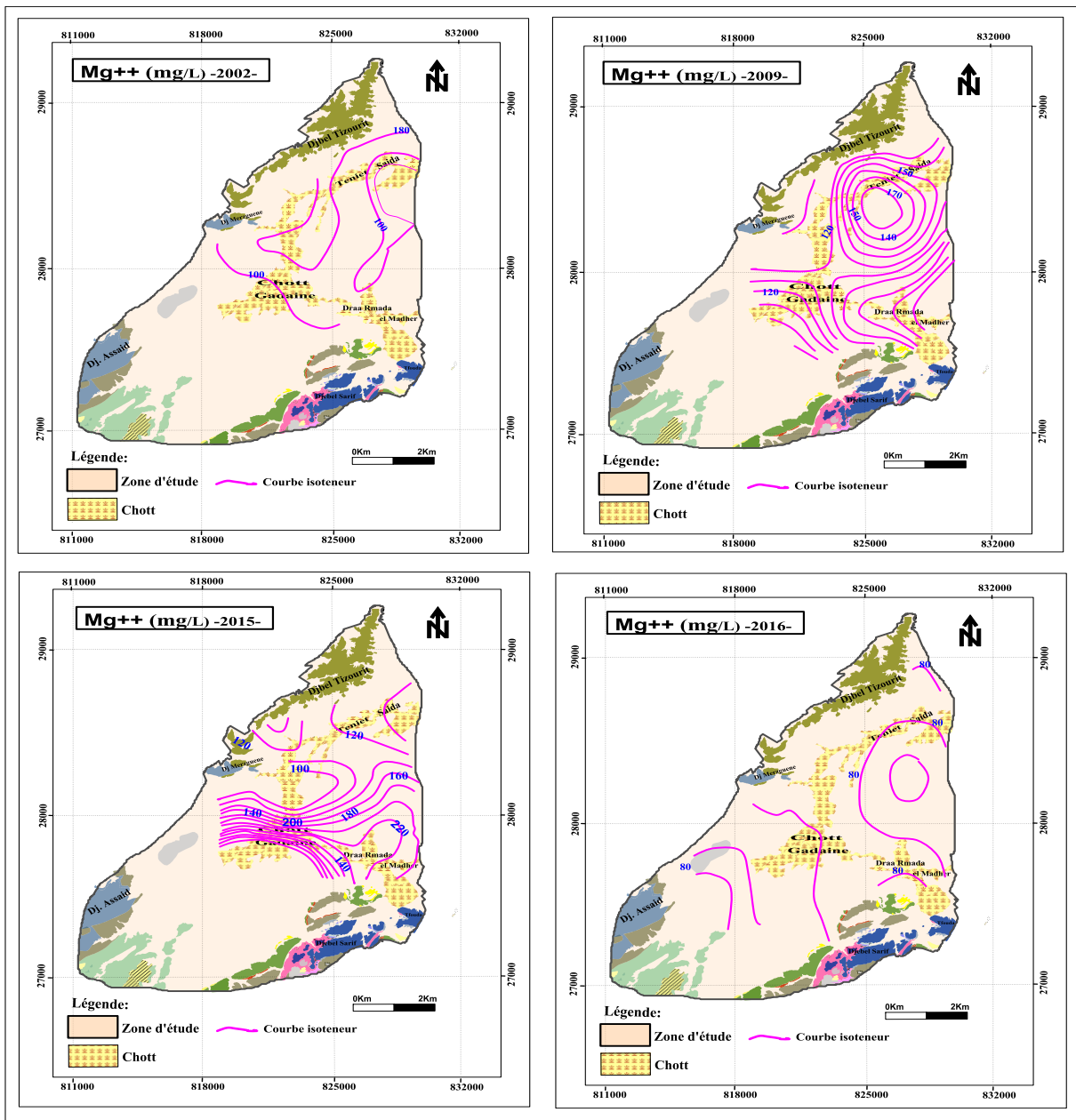


Figure 26 : Cartes des Mg<sup>++</sup> de la campagne 2002. 2009. 2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).

**Tableau 22 : variation de Mg<sup>++</sup> compagnes (2002. 2009.2015 et 2016).**

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Jun2002	10	264.50	20.93	131.52	78.95	0.60
	Mai2009	10	180.17	90	135.62	23.05	0.17
	Mai2015	10	335.00	78.00	172.21	74.58	0.43
	Septembere2016	10	250.68	23.88	86.89	56.79	0.7

➤ **Etude critique de sodium et potassium :**

L'origine de sodium et potassium est liée principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de la salinité marine. La plus importante source de sodium se trouve dans les évaporites (halite Na Cl, mirabilite Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10(H<sub>2</sub>O))). La présence du sodium est liée à la dissolution rapide des formations évaporitiques riches en halite. L'existence des Chotts peut être aussi à l'origine de cet élément.

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques. En général le potassium dépasse rarement les 10 ou 15 mg/l dans les eaux naturelles.

Pour notre région d'étude les teneurs en sodium et potassium varient entre 28.75 mg/l comme valeur minimale enregistrée l'an 2002 et 810.20 mg/l comme valeur maximale enregistrée l'an 2009. Ces concentrations témoignent d'un apport salifère à partir des formations évaporitiques liées aux chotts et triasiques à l'Est de la plaine.

**Tableau 23 : Variation du Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup>( campagnes 2002.2009.2015 et 2016).**

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> (mg/l)	Jun2002	10	204.24	28.75	113.34	63.67	0.56
	Mai2009	10	810.20	175.00	485.99	202.35	0.41
	Mai2015	10	471.40	232.50	361.89	66.45	0.18
	Septembere2016	10	319.615	28.095	134.64	71.88	0.53

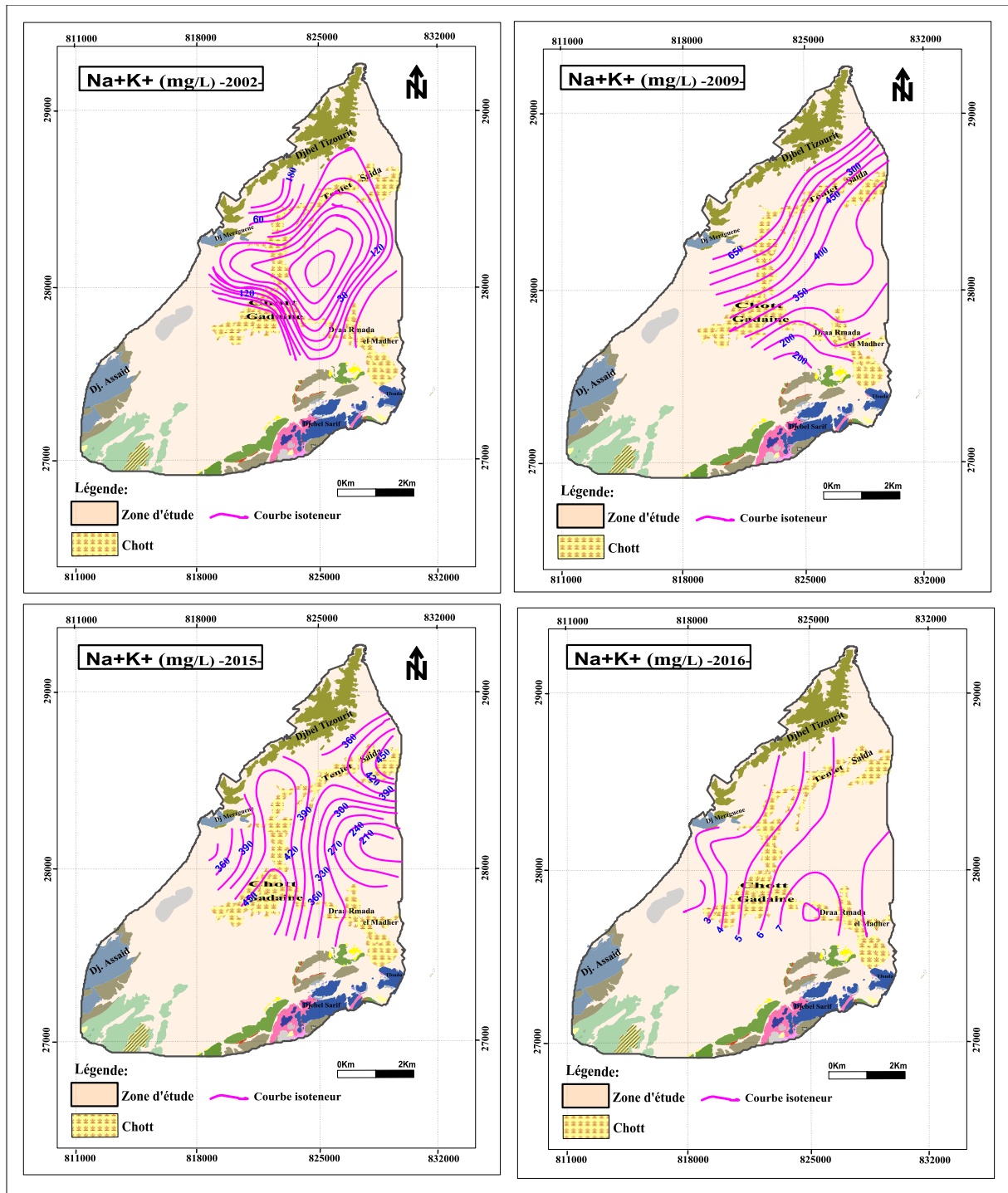


Figure 27 : Cartes des  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  de la campagne 2002.2009.2015 et 2016(Redessiné par Auteurs 2023).

➤ Les anions :

Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ); Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ); Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

➤ Etude critique de Chlorure :

L'origine des chlorures est 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 usées domestiques, le salage des routes peuvent aussi être à l'origine de cet élément.

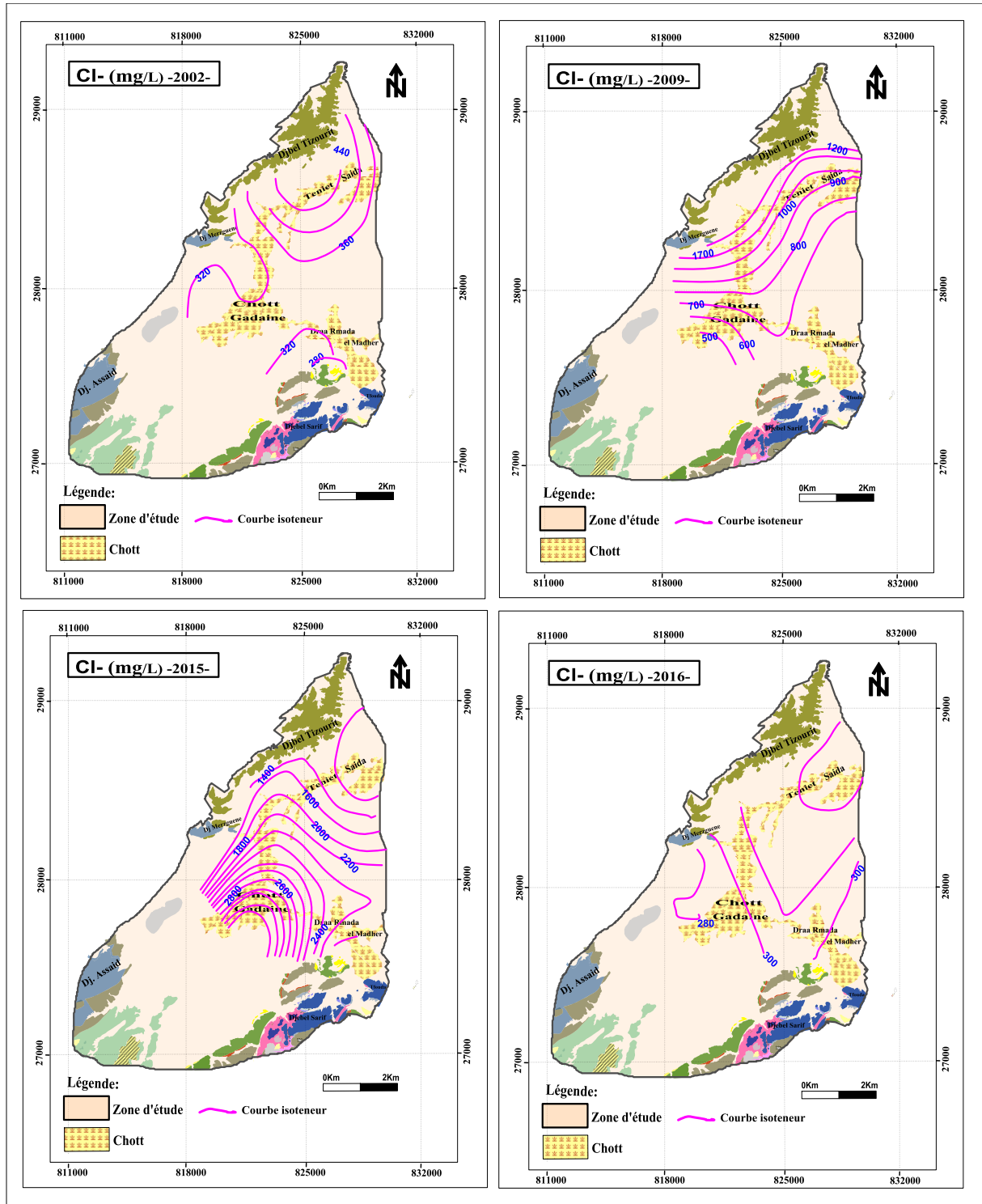


Figure 28 : Cartes des Cl<sup>-</sup> de la campagne 2002. 2009.2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).

Tableau 24 : Variation des Cl<sup>-</sup>(campagnes 2002. 2009.2015 et 2016).

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	Juin2002	10	460.00	269.80	349.55	54.64	0.15
	Mai2009	10	1400.77	616.04	874.01	274.93	0.314
	Mai2015	10	3800.58	1000.23	1909.37	832.94	0.43
	Septembere2016	10	637.25	17.75	278.60	124.39	0.45

Les teneurs en chlorures des points d'eau analysés varient entre 17.75mg/l comme valeur minimale l'an 2016 et 3800.58 mg/l comme valeur maximale l'an 2015. 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.

Ces concentrations indiquent l'existence d'apports salifères à partir des formations évaporitiques liées aux chotts et probablement aux rejets des eaux d'assainissement dans les chotts utilisé comme points de rejet.

➤ **Etude critique de sulfate :**

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, à la dégradation de la matière organique dans le ainsi qu'à l'apport anthropique (origine agricole). Les teneurs en sulfates de nos analyses varient entre 22.36 mg/l comme valeur minimale l'an 2015 et 750 mg/l comme valeur maximale l'an 2016. Donc la présence des sulfates est beaucoup plus liée aux formations gypseuses et apports anthropiques surtout l'an 2009 .Sauf la valeur de l'an 2016 (750 mg/l).

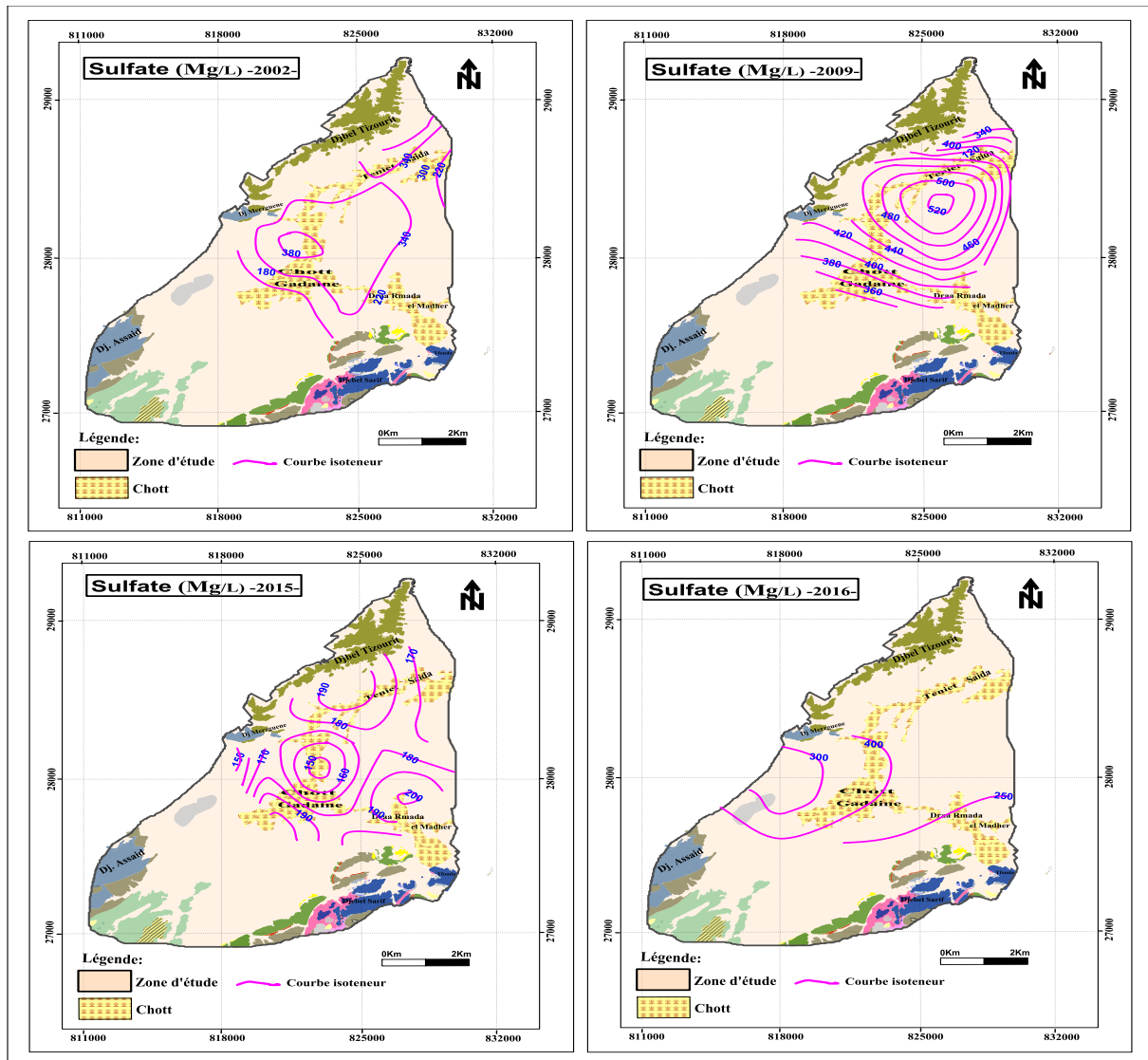


Figure 29 : Cartes des Sulfate de la campagne 2002. 2009.2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).

Tableau 25 : Variation des  $SO_4^{2-}$  (campagnes 2002. 2009.2015 et 2016).

Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation	
							Compagne
$SO_4^{2-}$ (mg/l)	Juin2002	10	413.58	84.96	276.11	101.63	0.36
	Mai2009	10	490.83	340.60	402.90	49.56	0.12
	Mai2015	10	139.00	22.36	78.27	36.10	0.46
	Septembre2016	10	750	25	287.65	200.32	0.7



➤ **Etude critique des bicarbonates :**

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires. Les teneurs en bicarbonates de nos analyses varient entre 114.04l'an 2016 mg/l comme valeur minimale et 441.64 mg/l comme valeur maximale l'an 2002.

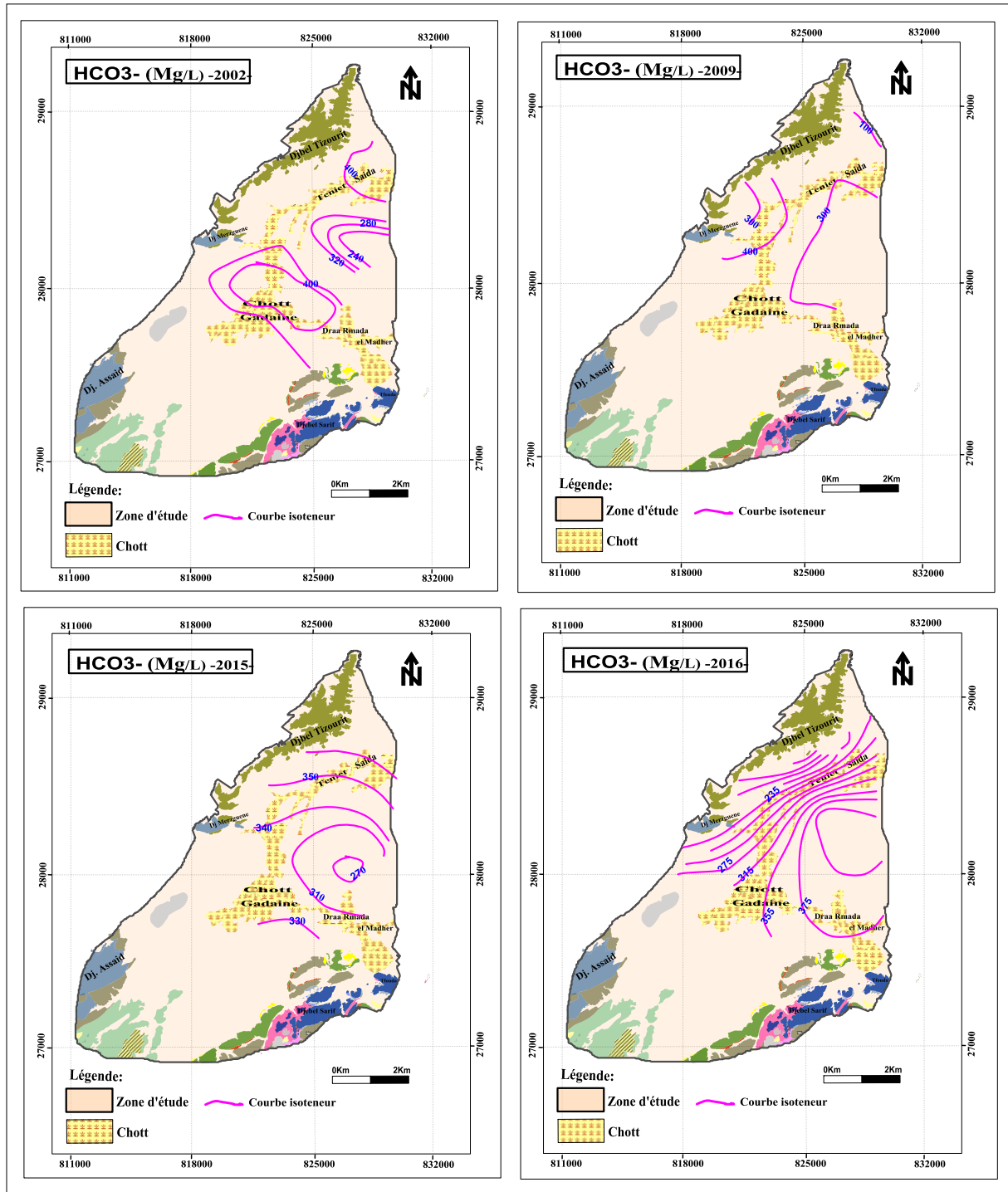


Figure 30 : Cartes des HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la campagne 2002.2009.2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).



**Tableau 26 : Variation des bicarbonates (campagnes 2002.2009.2015 et 2016).**

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
<b>Bicarbonates</b>	<b>Juin2002</b>	10	441.64	234.24	364.18	49.38	0.13
	<b>Mai2009</b>	10	435.00	310.20	361.76	32.00	0.08
	<b>Mai2015</b>	10	381.57	283.34	326.618	32.006	0.09
	<b>Septembere2016</b>	10	414.29	114.04	293.16	75.46	0.26

➤ **Etude critique de nitrate :**

Les nitrates, représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. La teneur naturelle des eaux souterraines en cet élément est faible, 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. Les teneurs en nitrates de nos analyses varient entre 0 mg/l comme valeur minimale l'an 2016 et 74.01 mg/l comme valeur maximale l'an 2009.

**Tableau 27 : Variation des nitrate (campagnes 2009.2015 et 2016).**

	Statistique	Nombre	Max	Min	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de variation
	Compagne						
<b>NO3-</b>	<b>Mai2009</b>	10	74.01	9.02	23.23	20.41	0.88
	<b>Mai2015</b>	10	24.92	6.28	12.98	5.94	0.45
	<b>Septembere2016</b>	10	0.275	0	0.0072	0.025	3.47

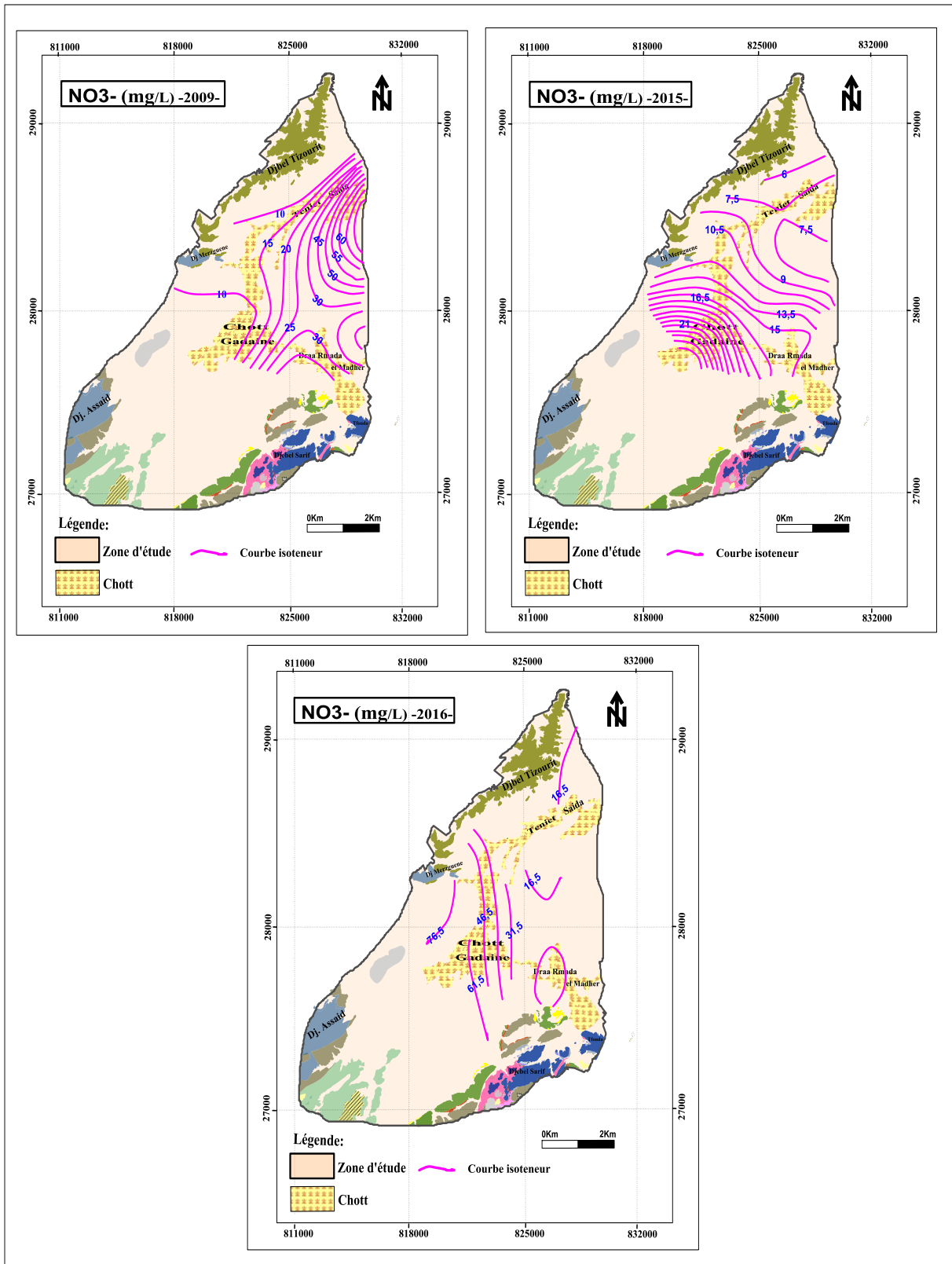


Figure 31 : Cartes des NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la campagne 2002.2009. 2015 et 2016 (Redessiné par Auteurs 2023).

## VI.4. Aptitude à l'irrigation

De toutes les activités humaines, l'irrigation est de loin la plus grande consommatrice d'eau, c'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir une ressource présentant des propriétés physico-chimiques adaptées aux plantes. La plaine de Gadaïne –Lazrou 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. Pour cela on va utiliser la classification de RICHARDS(1954) et WILCOX (1948).

Pour mieux connaître l'aptitude des eaux à l'irrigation, on va calculer la quantité de sodium adsorbé (SAR) par l'équation suivante:

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

Les concentrations de  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  sont exprimées en me q/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.

VI.4.1. Classification par le diagramme Wilcox

➤ 2002 :

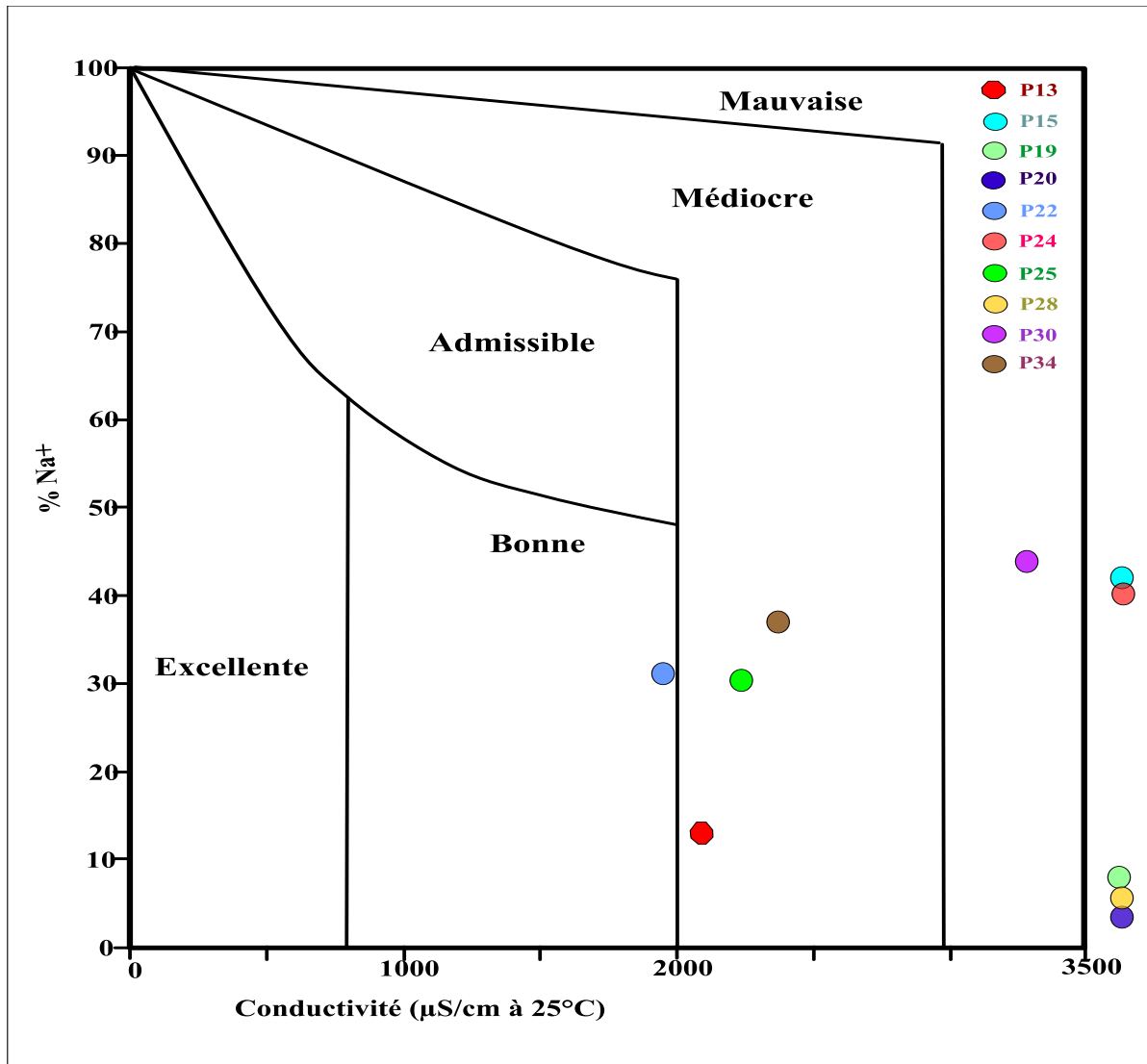


Figure 32 : Diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2002).

Tableau 28 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2002).

Classe	Points	% des points
Bonne	P22	10%
Médiocre	P13.P25.P34	30%
Mauvaise	P15.P19.P20.P24.P28.P30	60%

➤ 2009 :

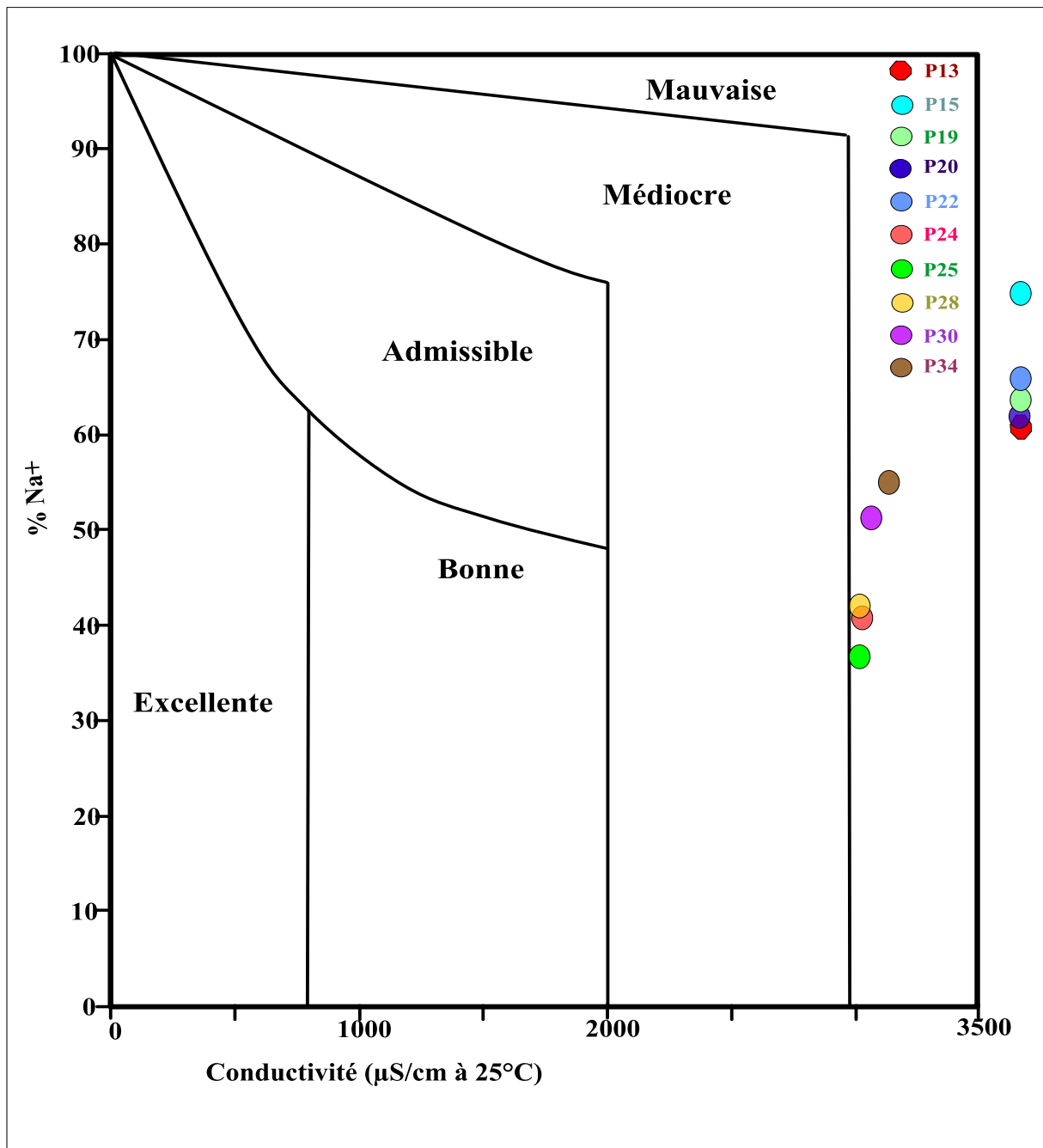


Figure 33 : Diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2009).

Tableau 29 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2009).

Classe	Nom de Puits	%des points
Mauvaise	P13.P15.P19.P20.P22.P24.P25 P28.P30.P34	100%

➤ 2015 :

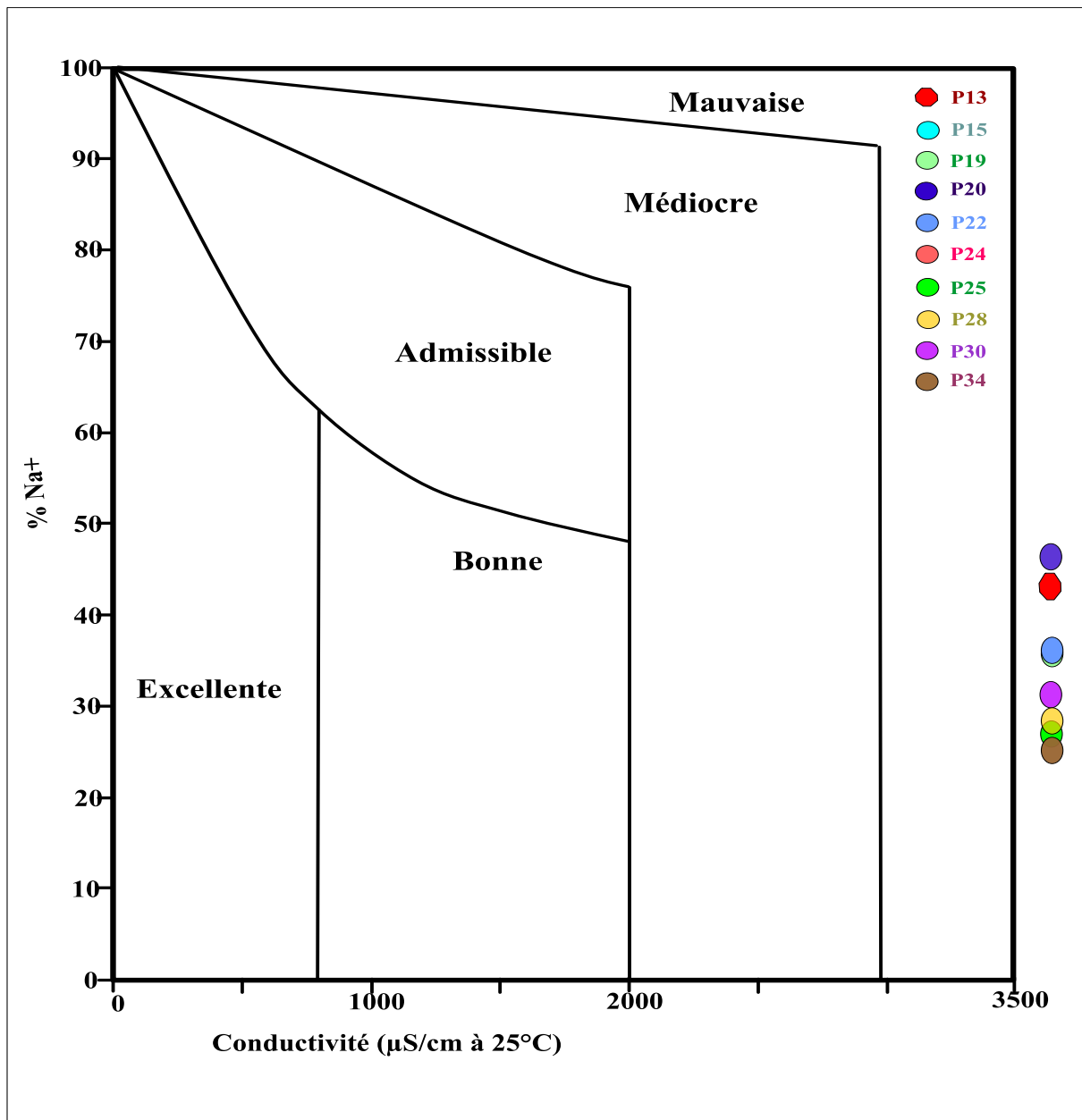


Figure 34 : Diagramme de Wilcox (analyses physico-chimique 2015).

Tableau 30 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2015).

Classe	Points	%des points
Mauvaise	P13.P15.P19.P20.P22.P24.P25.P28	100%
	P30.P34	

➤ 2016 :

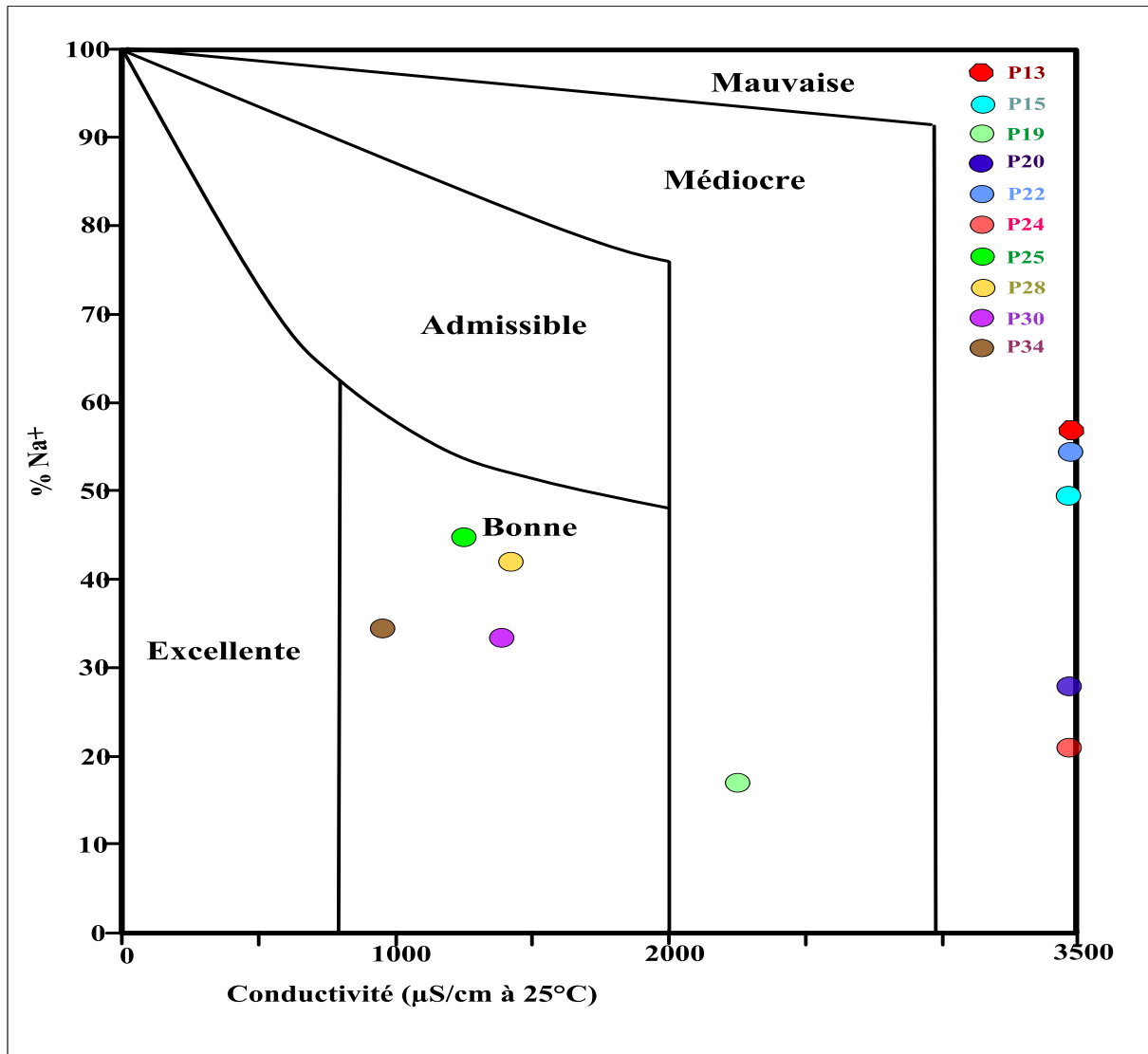


Figure 35 : Diagramme de Wilcox (analyses physico-chimique 2016).

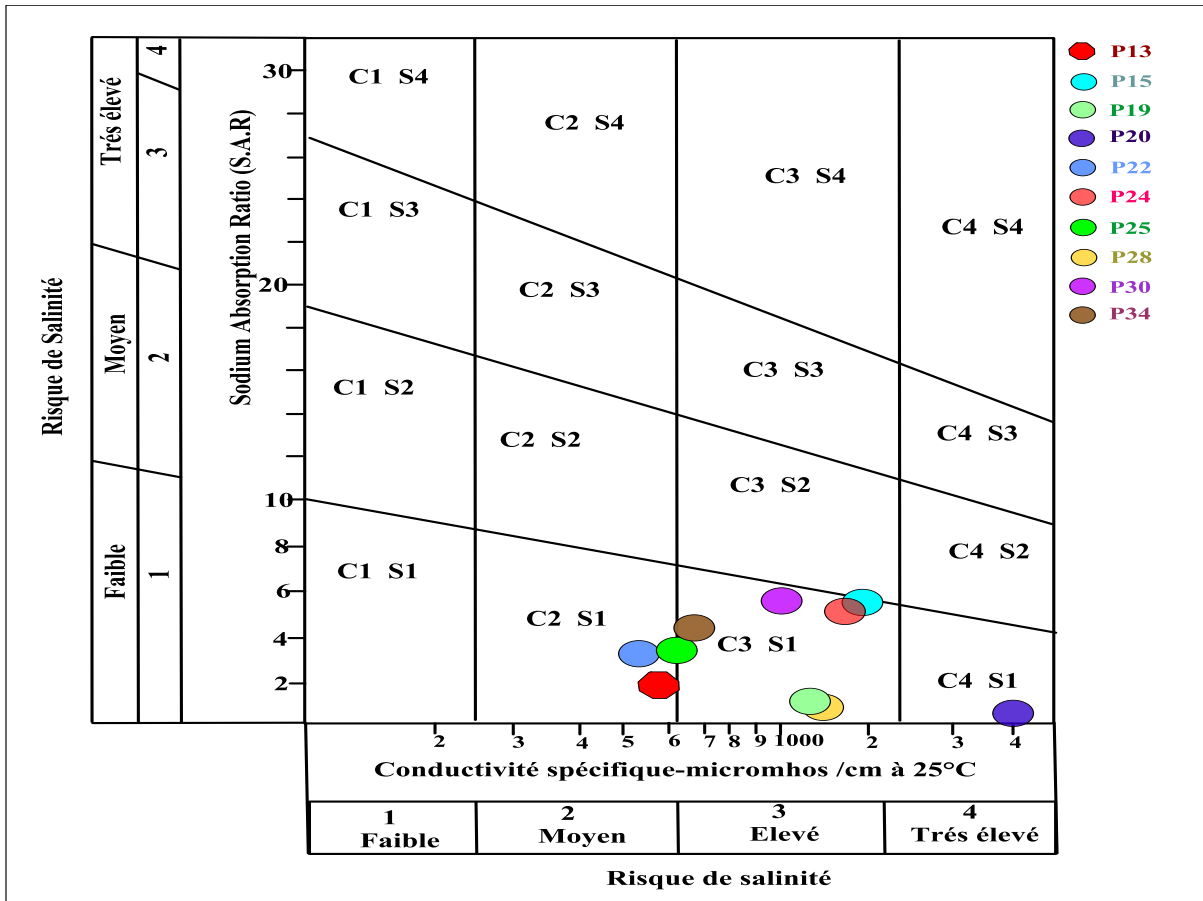
Tableau 31 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Wilcox (Analyses physico-chimique 2016).

Classe	Points	%des points
Bonne	P25.P28.P30.P34	40%
Médiocre	P19	10%
Mauvaise	P13.P15.P20.P22.P24	50%

**VI.4.2. Classification par le diagramme Richards (SAR)**

Richards (1954) a élaboré une classification, en se basant sur les deux paramètres à savoir(SAR et conductivité électrique). Les classes de potabilité des eaux (C1S1,...C4S4) correspondent, dans le diagramme de Richards au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C).

➤ 2002 :



**Figure 36 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2002).**

**Tableau 32 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2002).**

Classe		Points	%des points
Bonne	C2S1	P22.P13	20%
Admissible	C3S1,C3S2	P15.P19.P24.P25.P28.P30.P34	70%
Médiocre	C4S1	P20	10%



➤ 2009 :

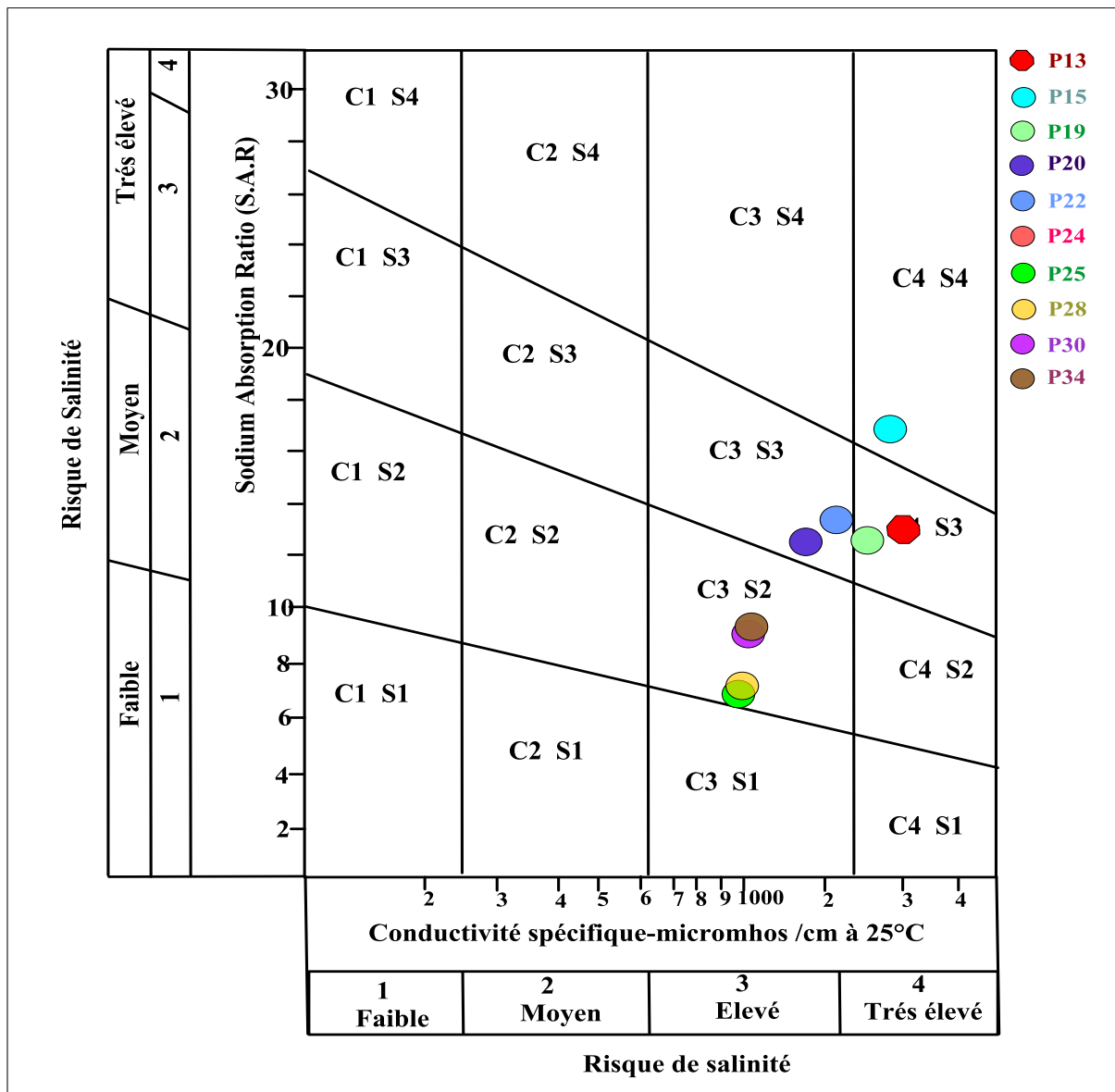


Figure 37 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2009).

Tableau 33 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2009).

Classe		Points	%des points
Admissible	C3S2	P24.P25.P28.P30.P34	50%
Médiocre	C3S3	P20.P22	20%
Mauvaise	C4S3+C4S4	P13.P15.P19	30%

➤ 2015 :

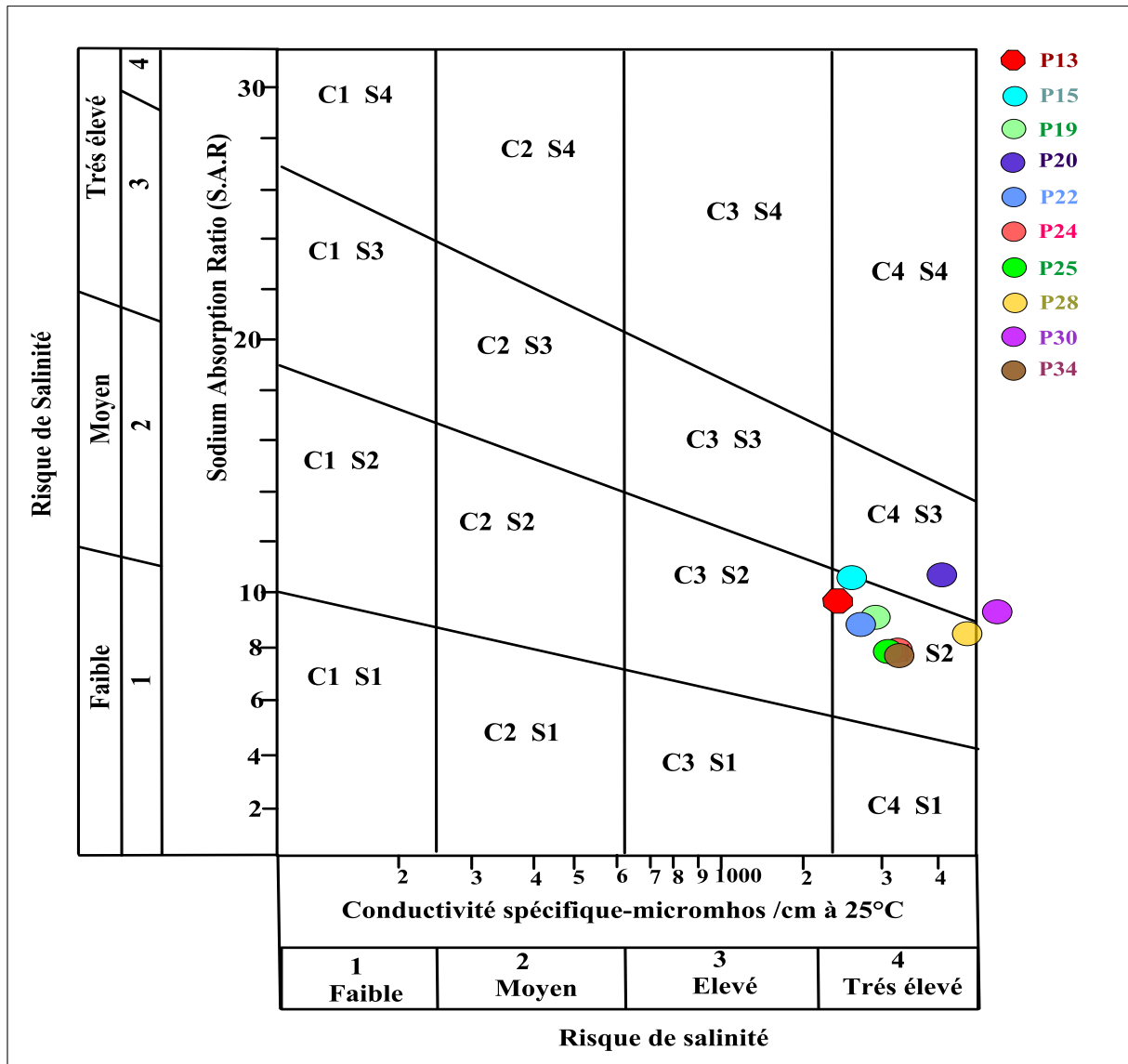


Figure 38 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2015).

Tableau 34 : Résultat obtenus après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2015).

Classe		Points	% des points
Médiocre	C4S2	P13.P15.P19.P22.P24.	80%
		P25.P28.34	
Mauvaise	C4S3	P20.P30	20%

➤ 2016

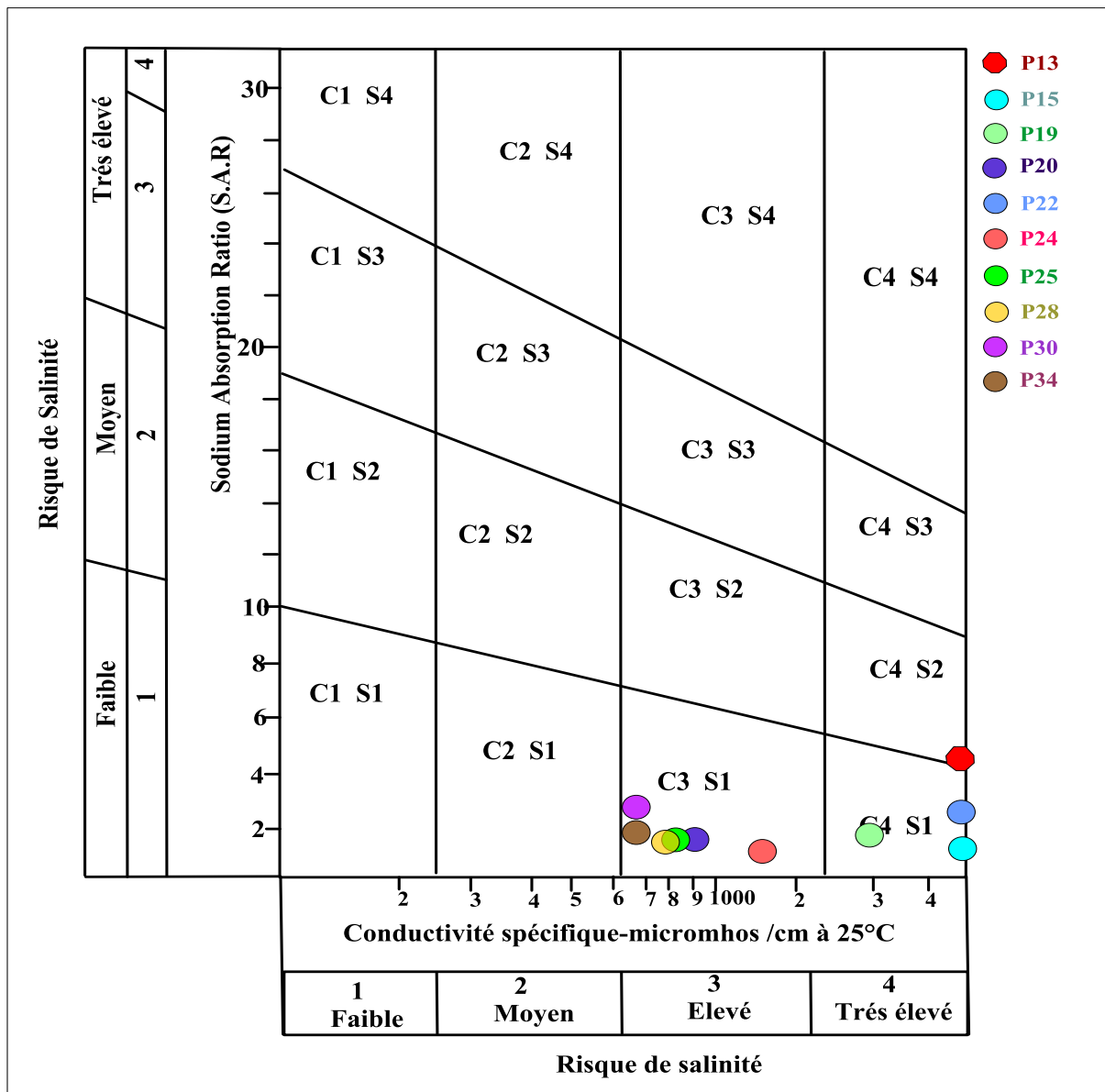


Figure 39 : classification de faciès chimiques par la méthode Richards (SAR) (analyses physico-chimique 2016).

Tableau 35 : Résultat obtenu après interprétation du diagramme de Richards (SAR) (Analyses physico-chimique 2016).

Classe		Points	% des points
Admissible	C3S1	P20.P24.P25.P28.P30.P34	60%
Mauvaise	C4S1	P13.P15.P19.P22	40%

Les résultats dans les tableaux (28.29.30.31.32.33.34.35) ci-dessus permet de voir après l'interprétation des diagrammes Wilcox et Richards (SAR) des analyses physico-chimique Juin 2002- Belloula ; Mai 2009-Dib ; Mai2015-Naili et Septembre 2016 -Belalite) que la majorité des eaux de la nappe de notre région sont mauvaise pour l'irrigation et présente un risque d'alcalinisation des sols.

## **Conclusion**

Les eaux souterraines ont des propriétés étroitement liées à leur origine géologique, c'est-à-dire déterminées par la nature et la structure des terrains. A tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule, il s'établit, alors un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau.

Les conclusions suivantes pourront être tirées à partir de l'étude hydro chimique des eaux de la plaine de Gadaine – Lazrou.

- Les eaux de cette zone possèdent une forte salinité ;
- Les faciès dominants sont le chlorurés sodiques et chlorurés magnésiennes
- La majorité des points d'eau de la plaine sont mauvais et ne peuvent être exploitées pour l'irrigation.

**C**ONCLUSION

***G***ENERALE...

## Conclusion Générale

Nous avons essayé, par ce travail, d'apporter une contribution à la caractérisation hydrogéologiques et hydro chimique des eaux souterraines de l'aquifère de la plaine Chott Gadaïne-Lazrou.

La plaine de Chott Gadaïne-Lazrou fait partie des zones agro-pastoral Nord de la wilaya de Batna et appartient aux hautes plaines constantinoises. qui s'étend sur une superficie de 439 km<sup>2</sup> environ.

L'étude de la géologie en association avec les données de la géophysique met en évidence l'existence de deux formations. La première formation, de surface d'âge Mio-Plio-Quaternaire formée par des niveaux de sable, de gravier, de calcaire lacustre et des intercalations argileuses. La deuxième formation est carbonatée et formée essentiellement par des calcaires du Crétacé inférieur et du Jurassique supérieur de l'ensemble sud sétifien et du parautochtone aurésien. Le recouvrement de surface atteint dans certains endroits les 150 m d'épaisseur notamment au milieu de la plaine et une faible épaisseur au voisinage des massifs, les formations carbonatées atteignent 500 m d'épaisseur.

La géomorphologie, montre que notre bassin est allongé, caractérisé par un relief modéré et une pente douce. Le réseau hydrographique est peu développé et de type endoréique avec un écoulement temporaire.

L'étude climatologique a montré un climat semi-aride avec un bilan hydrologique déficitaire.

L'étude piézométrique de cette zone montrée que :

- ✓ Un écoulement souterrain a un aspect convergent vers chott Gadaïne. Les massifs carbonatés constituent la limite de la nappe superficielle.
- ✓ L'écoulement se fait principalement dans deux sens du Sud-ouest vers le Nord-est, ou d'Ouest vers l'Est avec un gradient hydraulique variable allant de 0.028 à 0.0071, le niveau le plus bas de cette nappe superficielle est représenté par les chotts.
- ✓ En fin du fait des rabattements considérables enregistrés ceci peut expliquer une sur exploitation de l'aquifère.

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 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.

# REFERENCES

*BIBLIOGRAPHIQUES...*



## Références Bibliographiques

- [1] **Abbas. Y et al.(2018)**: Fate of Organic and Inorganic Pollutants in Paddy Soils
- [2] **ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrique**
- [3] **Athamena. A. (2008)** : Etude de l'évaluation du flux azoté au niveau de la plaine de Seriana - Zana El Beida. Mémoire. Magister. Départ d'Hydraulique, Univ. de Batna, 147 p.
- [4] **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.
- [5] **Athamena. M. (2006)** : Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud sétifien, Thèse de Magister, Option : mobilisation des ressources hydriques, Département de l'hydraulique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Batna, p.131.
- [6] **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) Université Mostefa Ben Boulaïd. Batna 2.
- [7] **Belloula.L. (2005)**:Contribution à l'étude hydrogéologique et modélisation de la plaine de Gadaïne – Ain Yagout (Ouest de Batna). Mémoire de magister en hydraulique. Univ. Batna. 132 pages.
- [8] **Bennadji. Y.(2022)**: La possibilité de la réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration de la wilaya de Batna pour l'irrigation de la plaine d'El Madher.Mémoire de Master. Départ Génie civil et d'Hydraulique, Univ de Biskra.
- [9] **Bouhata. R. (2015)**: Application des techniques de géomatique dans l'analyse de la vulnérabilité des zones endoréiques (Hauts plateaux de l'Est Algérien\_ cas de la Plain de Gadaïne et ses bordures), Univ. Hadj Lakhdar - Batna.
- [10] **BOUKABA RIMA. (2015)**: Evaluation des changements des zones humides du Sud Constantinois par télédétection, avec application particulière au lac barrage de Koudi et Medaouar (Timgad, Batna). Mémoire Magister, Départ des sciences de la nature et de la vie, Univ Oum El Bouaghi.
- [11] **CASTANY G. (1963)** : Traitement pratique des eaux souterraines. Dunod édit. Paris. 661 pages

- [12] **Chabour.** (1997) : Etude hydrogéologique de la plaine d'Ain Djasser-Zana. Mémoire de magister, Univ. De Constantine. p .200.
- [13] **Compagne Générale de Géophysique.** (1969): Prospection géophysique des Chotts Gadaïne et Saboun et de la plaine d'El Madher, p.39.
- [14] **DAJOZ .** (1985): Précis d'écologie. Ed Dunod. Paris, 505p .
- [15] **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.
- [16] **Dib.I.**(2020): Vulnérabilité intrinsèque et risque de pollution des eaux souterraines par l'activité agricole de la plaine de Gadaïne - Ain Yagout, W. Batna (Nord- est algérien). Université des Frères Mentouri - Constantine 1.
- [17] **Emberger L.** (1955): Une classification biogéographique des climats. Recueil des travaux des laboratoires de botanique, géologie et zoologie de la faculté des sciences de l'université de Montpellier (Série Botanique), Fascicule 7, p.3-43.
- [18] **Glaçon J.** (1967): Recherches sur la géologie et les gites métallifères du Tell Sétifien Bull. serv. géol. Alger, 2 volumes; cartes.
- [19] **Gouaidia .** (2008): Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe Meskiana Nord-est Algérien. Univ Badji Mokhtar Annaba.
- [20] **G.Castany .** (1967): Traitement pratique des eaux souterraines. Dunod édit. Paris. 661 pages
- [21] **Guiraud R.** (1990). Evolution Post-Triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine en Algérie, Public. Office national de la géologie, Alger 259 P.
- [22] **Naili Nassima, Amouri Nadjib** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Gadaïne – Ain Yagout Ouest de Batna (piézométrie et hydrochimie). Mémoire de MASTRE 2 en géologie. Univ. Batna. 131 pages.
- [23] **RAMADE .**(1984): Ramade, F. \_ Eléments d'écologie, Ecologie fondamentale. Mc Graw-Hill, Paris, 1984.
- [24] **Savornin J.** (1920): Etude géologique de la région du Hodna et du plateau Sétifien. Thèse es sceNat. Lyon p.44-45.

**[25]Simler R, (2007):**Diagrammes. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, Université d'Avignon, Logiciel d'hydrochimie multi langage en distribution libre.

**[26]Vila J.M. (1977):**Notices explicatives des cartes géologiques 1/50 000 de Boughzel. Ministère de l'énergie. Algérie.

**[27]Vila J.M. (1980):**La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat es Science naturelle, Univ. Pierre et Marie Curie Paris VI. p.665.

**[28]Piper A. M. (1994):** A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses, American. Geophysical. Union. Transactions, 25: 914-923.

# **Annexes**

## Annexes

Les données climatiques de la station Ain Skhouna :

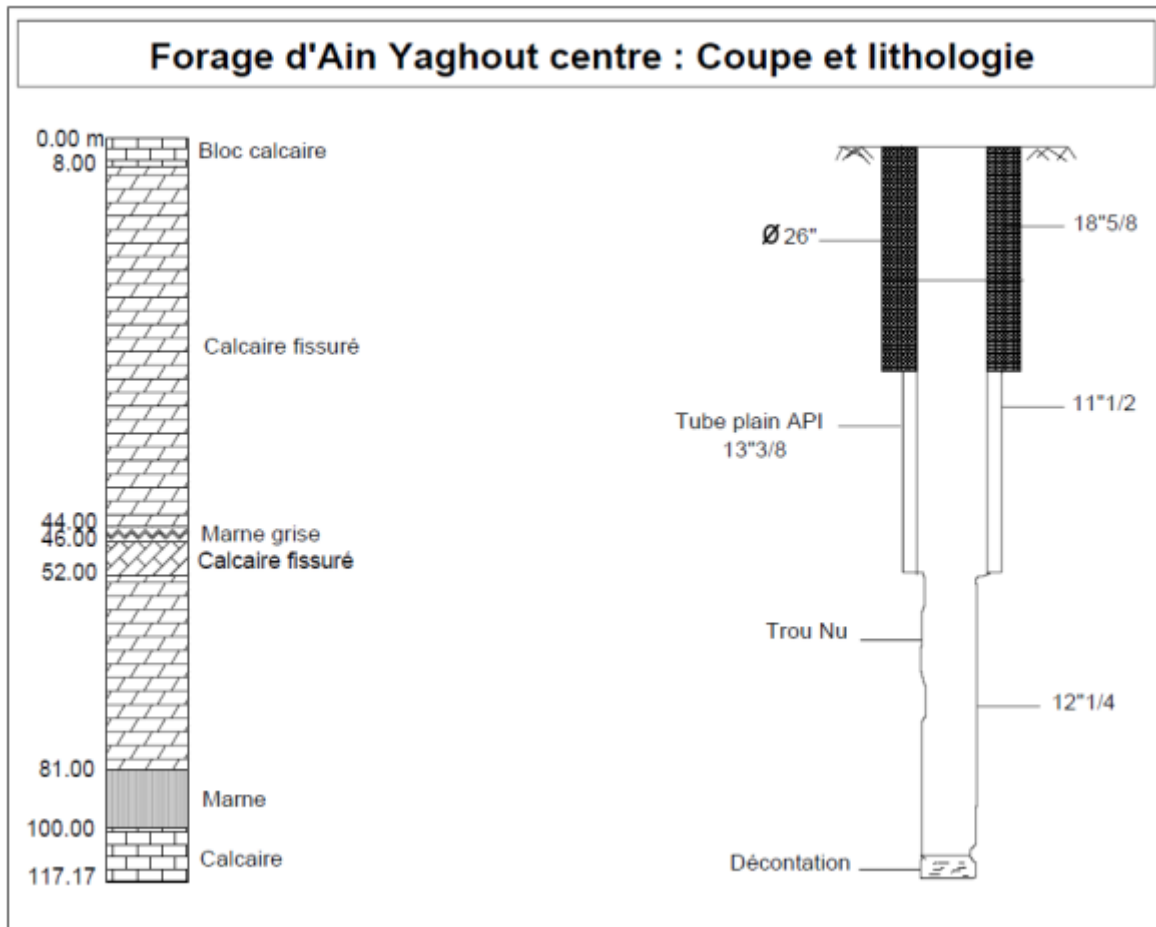
**Tableau: précipitation et Température mesurer en station Ain Skhouna**

Années	Précipitations en mm	Températures en °C
1989	234.00	15.9
1990	456.70	15.28
1991	300.30	14.03
1992	445.10	14.05
1993	188.00	14.78
1994	215.50	16.02
1995	283.60	15.12
1996	393.70	14.89
1997	379.00	15.77
1998	269.40	15.01
1999	311.10	16.25
2000	292.80	15.66
2001	230.10	16.26
2002	287.00	15.88
2003	503.00	15.89
2004	596.80	14.98
2005	252.00	15.29
2006	377.40	15.96
2007	293.80	15.58
2008	348.40	15.63
2009	349.80	15.36
2010	280.60	16.04
2011	462.00	15.48
2012	207.20	15.87
2013	363.40	15.52
2014	275.90	16.20
2015	339.30	15.46
2016	210	16.18
2017	169.7	15.85
2018	319	15.57

## Les coupes lithologiques

Sondage : GADAIN TAKLILT (G1)						
Carte : AinYaghout 1/50000			X : 821.550			
Date de travaux : du 21.02.70 au 11.09.70			Y : 283.900			
			Z : 810.000			
Profondeur et cotes	Tubage et cimentation	Plan d'eau	Coupe	Description géologique	Etage	
0					JURASSIQUE SUPERIEUR ?	
20	22"1/4 Tube plein Ø16"	-539		Marne beige à verdâtre		
40				Galets calcaires gris beige		
60	86 m			Galets calcaires avec argile rouge		
80				Marnes brunes avec pastilles vertes		
100				Marne brunes tent verdâtres		
120	12"1/4			Calcaire dolomitique		
140				(avec pastilles de marnes vertes rares)		
160				Zone broyée (Faille)		
180	250 m			Calcaire dolomitique avec intercalations de marnes brunes		
200				Calcaire dolomitique		
220						
240						
260						

Figure : coupe lithologie G1 (la C.G.G, 1969 – 1970)



**Figure : coupe et lithologie de forage d'Ain Yaghout centre**