

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université Kasdi  
Merbah Ouargla**

**Faculté des Hydrocarbures, des Energies Renouvelables et des Sciences de la Terre et de  
l'Univers**

*Département des Sciences de la Terre et de l'univers*



**Mémoire de Master Académique**

**Domaine : science de la terre et de l'Univers**

**Filière : Géologie**

**Spécialité : Hydrogéologie**

**THEME :**

**Reconnaissance hydrogéochimique des eaux de la nappe  
souterraine du Jurassique de la plaine de Mascara**

**Présentation et soutenu publiquement par :**

**Khelifa Oum Elkhir**

Président :	Mr. Dali Ahmed	M.C.A	Univ. Ouargla
Promoteur :	Mr. Houari Idir Menad	M.C.A	Univ. Ouargla
Examineur :	Mr. Nezli Imad eddine	Professeur	Univ. Ouargla

*Année universitaire : 2024 - 2025*



## **Remerciements**

*Louange à Dieu qui, par Sa grâce, rend possible l'accomplissement des bonnes œuvres. C'est avec une grande gratitude que je termine ce travail, fruit de plusieurs années d'efforts et d'apprentissage.*

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon encadrant, Houari Idir Menad, pour ses conseils judicieux, son encadrement constant et son soutien tout au long de ce projet. Ses remarques pertinentes ont*

*Grandement enrichi ce travail.*

*Mes remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département d'Hydrogéologie à l'Université Kasdi Merbeh, pour leur disponibilité tout au long de mon parcours universitaire.*

*Je remercie chaleureusement ma famille, en particulier mes parents, pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leurs encouragements constants, sans lesquels je n'aurais pu accomplir ce parcours.*

*Enfin, je souhaite remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, notamment mes camarades et amis pour leur entraide et leur motivation.*

*À toutes et à tous, j'adresse mes sincères remerciements.*

**Dédicace :**



*Louange à Allah et prière et salut sur notre maître Mohammed, sceau des prophètes et des messagers.*

*Il n'y a de réussite qu'avec l'aide d'Allah. Louange à Lui pour ce que nous avons pu accomplir jusqu'à ce jour.*

*Ceci étant dit :*

*Je dédie ce travail à la source de tendresse et de générosité, à la compagne de mon âme et ma chère mère.*

*Que le Tout-Miséricordieux te protège et fasse de toi un pilier de ma vie à chaque pas.*

*À celui dont je porte le nom avec fierté,*

*À celui qui donne sans attendre en retour,*

*À celui qui a sacrifié sa santé et son confort pour que je parvienne à cette étape :*

*À mon cher père, que Dieu te garde sous Sa protection.*

*À ceux qui partagent avec moi les peines, les efforts et les joies,*

*À mes chers frères et sœurs :*

*Saïda, qui m'a soutenue et épaulée tout au long de la réalisation de ce modeste travail.*

*Nail, Ismail, Nour Eddine et Mokhtar.*

*À la petite fleur de la maison, Balkais.*

*À ma compagne de route, celle que je considère comme une sœur : Hanane.*

*À mes camarades de parcours universitaire :*

*Raïda Zahra, Khadra Ben Kouider, Aïcha Djeraji, Safia Mechcha, Aïcha Mokhtari.*

## **Résumé :**

La plaine de Ghriss, principale ressource en eau de la wilaya de Mascara, comprend trois aquifères, dont celui à calcaire dolomitique du jurassique, objet de cette étude. Il s'agit d'un aquifère karstique formé de calcaires et dolomites, où l'eau circule via un réseau karstique souterrain. Cette circulation alimente la source d'Ain Fekan, où les eaux remontent à travers une faille dans les argiles imperméables du Crétacé. L'objectif est de caractériser les propriétés chimiques et hydrogéologiques des eaux, en étudiant notamment les ions majeurs. Les analyses sur les diagrammes de PIPER et STABLER ont identifié deux faciès dominants : carbonaté calcique et chloruré calcique-magnésien. L'étude hydrogéochimique indique que la composition chimique des eaux résulte non seulement de la dissolution des carbonates, mais aussi d'autres lithologies et processus, comme les échanges ioniques.

**Mots-clés :** Algérie – Mascara – La plaine de Ghriss – Nappe calcaire dolomitique - propriétés chimiques de la nappe

## **Abstract:**

The Ghriss Plain, the main water resource of the Mascara province, contains three aquifers, including the Jurassic dolomitic limestone aquifer, which is the subject of this study. It is a well-karstic aquifer composed of limestone and dolomite, where water circulates through an underground karstic network. This circulation feeds the Ain Fekan spring, where the water rises through a fault in the impermeable Cretaceous clays. The aim is to characterize the chemical and hydro-geological properties of the waters, focusing on major ions. Analyses using PIPER and STABLER diagrams identified two dominant water facies: calcium carbonate and calcium-magnesium chloride. The hydro-geochemical study indicates that the chemical composition of the water results not only from carbonate dissolution but also from other lithologies and processes, such as ion exchange.

**Key words:** Algeria – Mascara - plain of Ghriss -Dolomitic limestone aquifer - chemical properties of the aquifer

## ملخص:

يتألف سهل غريس، وهو المورد المائي الرئيسي لولاية معسكر، من ثلاث طبقات جوفية، بما في ذلك طبقة المياه الجوفية من الحجر الجيري الدولوميتي الجيوراسي، موضوع هذه الدراسة. وهي طبقة مياه جوفية كارستية تتكون من الحجر الجيري والدولوميت، حيث تدور المياه عبر شبكة كارستية جوفية. تغذي هذه الدورة نبع عين فكان، حيث ترتفع المياه عبر صدع في طين العصر الطباشيري غير المنفذ. الهدف هو توصيف الخصائص الكيميائية والهيدروجيولوجية للمياه، وخاصة من خلال دراسة الأيونات الرئيسية. حددت التحليلات على مخططي بيبر وستابلر وجهين سائدين: كربونات الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم والمغنيسيوم. تشير الدراسة الهيدروجيوكيميائية إلى أن التركيب الكيميائي للمياه لا ينتج فقط عن ذوبان الكربونات، ولكن أيضًا عن خصائص صخرية وعمليات أخرى، مثل التبادل الأيوني

**الكلمات الرئيسية:** الجزائر - معسكر - سهل غريس - طبقة الحجر الجيري الدولوميتي - الخصائص الكيميائية

## Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	/
Dédicace.....	/
<b>Résumé</b> .....	/
<b>Table des matières</b> .....	<b>VI</b>
<b>Tableau de figure</b> .....	<b>IV</b>
<b>Introduction Générale</b> :	<b>2</b>
<b>Chapitre I</b> :	<b>4</b>
<b>Généralité</b> .....	<b>4</b>
<b>I.1- Introduction</b> :	<b>5</b>
<b>I.2- Contexte géographique de la région d'étude</b> :	<b>5</b>
<b>I.3- Régime climatique</b> :	<b>6</b>
1.3.1- Précipitation :	6
I.3.1. Précipitations mensuelles :	7
I.3.1.1. Précipitations annuelles :	8
I.3.2. Température :	9
I.3.3.L'humidité relative :	11
I.3.4.Vitesse du vent :	12
I.5.1.Topographie :	15
I.5.1.1.Répartition de la surface en fonction de l'altitude :	15
<b>I.5.2.Composition géomorphologique</b> :	<b>17</b>
<b>La morphologie de la région se distingue par divers aspects comme suivant</b> :	<b>17</b>
<b>I.6.Conclusion</b> :	<b>19</b>
<b>Chapitre II</b> :	<b>20</b>
<b>Contexte géologique</b> .....	<b>20</b>
<b>II.1.Introduction</b> :	<b>21</b>
<b>II.2.effleurements géologiques</b> :	<b>21</b>
<b>II.3. Litho stratigraphie</b> :	<b>23</b>

II.3.1.Le secondaire :.....	23
II.3.2.Le Tertiaire :.....	24
II.3.3- Quaternaire :.....	26
II.3.4-Actuel :.....	26
<b>II.4.Tectonique régionale :.....</b>	<b>26</b>
<b>II.5.Conclusion :.....</b>	<b>28</b>
<b>Chapitre III :.....</b>	<b>29</b>
<b>III.1.Introduction : .....</b>	<b>30</b>
<b>III.2.Etude des nappes :.....</b>	<b>30</b>
III.2.1.Aquifère plio-quaternaire :.....	30
III.2.2.Aquifère calcaire et grès du Pliocène :.....	31
III.2.3.Aquifère calcaire dolomitique jurassique :.....	32
<b>III.3.Gestion et exploitation :.....</b>	<b>32</b>
III.3.1.Gestion :.....	32
III.3.1.1.Description du réseau piézométrique dans la plaine de Ghriss :.....	32
III.3.1.2-L'évolution des fluctuations du niveau d'eau dans la plaine de Ghriss :.....	33
III.3.2.Exploitation :.....	35
III.3.2.1.Les barrages :.....	35
Barrages.....	35
Date d'achèvement.....	35
Capacité initiale.....	35
Capacité dernier levé.....	35
III.3.2.2.Les retenues collinaires.....	36
III.3.2.3. Les forages :.....	36
III.3.2.4. Les puits :.....	36
III.3.2.5. Les sources :.....	36
<b>III.4.Conclusion :.....</b>	<b>39</b>
<b>Chapitre IV :</b>	
<b>Résultats et discussion</b>	
<b>IV.1. Introduction :.....</b>	<b>41</b>
<b>IV.2.Présentation des résultats d'analyses :.....</b>	<b>41</b>
IV.2.1.Les paramètres physiques :.....	41

IV.2.1.1. Potentiel Hydrogène (pH) :	41
IV.2.1.2. La Conductivité électrique CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) :	41
IV.2.2. Les paramètres chimiques :	42
IV.2.2.1. Les anions majeurs :	42
IV.2.2.1.1. Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :	42
IV.2.2.1.2. Les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) :	43
<b>IV.2.2.2- Les cations majeurs :</b>	<b>45</b>
IV.2.2.2.1- Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) :	45
IV.2.2.2.2. Le Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) :	46
IV.2.2.2.4. Le Potassium ( $\text{K}^+$ ) :	47
<b>IV.3- Faciès chimique des eaux :</b>	<b>48</b>
IV.3.1- Par la classification de STABLER :	49
IV.3.2- Par le digramme de PIPER :	53
<b>IV.4. Origine des éléments chimiques :</b>	<b>54</b>
IV.4.1. Origine des chlorures, sulfates et du sodium :	54
IV.4.1.1. La relation $r\text{Na}^+ / r\text{Cl}^-$ :	54
IV.4.1.2. La relation $r\text{Ca}^{2+} / r\text{SO}_4^{2-}$ :	55
IV.4.1.3. La relation $r\text{Mg}^{2+} / r\text{SO}_4^{2-}$ :	56
IV.4.1.4. La relation $r\text{Na}^+$ vs $r\text{SO}_4^{2-}$ :	57
IV.4.2. Origine des bicarbonates, du calcium et du magnésium :	58
IV.4.2.1. La relation $r\text{Ca}^{2+}$ vs $r\text{HCO}_3^-$ :	58
IV.4.2.3. La relation $r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+} / r\text{HCO}_3^-$ :	60
<b>IV.5. Equilibres minéraux/solutions dans les eaux :</b>	<b>61</b>
IV.5.1. Notion d'Indice de saturation :	61
IV.5.2. Variation de l'indice de saturation :	62
IV.5.3. Les relations indices de saturation vs minéraux prépondérants :	62
IV.5.3.1. Les relations indices de saturation vs minéraux évaporitiques :	62
IV.5.3.2- Les relations indices de saturation vs minéraux carbonatés :	65
IV.5.4- La relation ISD vs ISC :	67
<b>IV.6- Indice d'échanges de base (i.e.b) :</b>	<b>69</b>
<b>IV.7- Conclusion :</b>	<b>72</b>

### Tableau de figure

Figure 1 : Situation géographique et carte pluviométrique du bassin de la plaine de Ghriss .....	6
Figure 2 : Précipitations moyenne mensuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période .....	8
Figure 3 : Précipitations moyenne annuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période .....	8
Figure 4 : Température moyenne mensuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période .....	10
Figure 5 : Température moyenne annuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période .....	11
Figure 6 : L'humidité relative moyenne mensuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période (1969 -2018) .....	12
Figure 7 : la vitesse annuelle du vent (Km/h) entre 2003 et 2018 .....	13
Figure 8 : La vitesse mensuelle du vent (Km/h) entre 2003 et 2018 .....	13
Figure 9 : Carte géologique de la plaine de Ghriss (Benfetta H. 1997) .....	22
Figure 10 : Histogramme de la variation du pH des eaux dans la plaine de Ghriss .....	41
Figure 11 : Histogramme de la conductivité électrique des eaux .....	42
Figure 12 : Histogramme de variation spatiale des sulfates .....	43
Figure 13 : Histogramme de variation spatiale des chlorures .....	43
Figure 14 : Histogramme de variation spatiale des bicarbonates .....	44
Figure 15 : Histogramme de variation spatiale des nitrates .....	45
Figure 16 : Histogramme de variation spatiale du calcium .....	45
Figure 17 : Histogramme de variation spatiale du magnésium .....	46
Figure 18 : Histogramme de variation spatiale du Sodium .....	47
Figure 19 : Histogramme de variation spatiale du Potassium .....	47
Figure 20 : Faciès chimiques par la relation $rSO_4/rCl$ vs $rNa/rMg$ .....	50
Figure 21 : Faciès chimiques par la relation $rSO_4^{2-}/rCl^-$ vs $rNa^+/rCa^{2+}$ .....	51
Figure 22 : Faciès chimiques par la relation $rHCO_3^- /r Cl^-$ vs $r Na^+ / Ca^{2+}$ .....	52
Figure 23 : Faciès chimiques par la relation $rHCO_3^- /rSO_4^{2-}$ vs $rMg^{2+}/rCa^{2+}$ .....	53
Figure 24 : Faciès chimiques Par le digramme de PIPER .....	54
Figure 25 : La relation $rNa^+/rCl^-$ .....	55
Figure 26 : La relation $rCa^{2+}/rSO_4^{2-}$ .....	56
Figure 27 : La relation $rMg^{2+}$ vs $rSO_4^{2-}$ .....	57
Figure 28 : La relation $rNa^+/rSO_4^{2-}$ .....	58
Figure 29 : La relation $rCa^{2+}/rHCO_3^-$ .....	59
Figure 30 : La relation $rMg^{2+}/rHCO_3^-$ .....	60
Figure 31 : La relation $rCa^{2+}rMg^{2+} /rHCO_3^-$ .....	61
Figure 32 : La relation $Ca^{2+}+SO_4^{2-}$ vs IS Anhydrite .....	63
Figure 33 : La relation $Na^++Cl^-$ vs IS Halite .....	64
Figure 34 : La relation $Mg^{2+}+SO_4^{2-}$ vs IS Epsomite .....	64
Figure 35 : La relation $Na^++SO_4^{2-}$ vs IS Mirabilite et IS Thénardite .....	65
Figure 36 : La relation $Ca^{2+}+Mg^{2+}+HCO_3^-$ vs IS Dolomite. ....	66
Figure 37 : La relation $Mg^{2+}+HCO_3^-$ vs IS Magnésite. ....	66
Figure 38 : La relation $Ca^{2+}+HCO_3^-$ vs IS Aragonite et IS Calcite .....	67
Figure 39 : Diagramme I.S.D = f (I.S.C) des eaux souterraine de la plaine de Ghriss .....	68
Figure 40 : Un cercle relatif représentant l'indice de change de base .....	70

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des stations pluviométriques de la plaine de Ghriss. ....	7
Tableau 2 : précipitation moyenne mensuelle (en mm) de la station de Ghriss (1969-2018).....	8
Tableau 3 : Précipitation moyenne annuelle (en mm) de la station de Ghriss (2003-2016) .....	8
Tableau 4 : température moyenne mensuelle en (°C), Dans la station de Ghriss .....	10
Tableau 5 : Température moyenne mensuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période .....	10
Tableau 6 : L'humidité moyenne mensuelle à la station de Ghriss (1985-2018).....	11
Tableau 7 : la vitesse annuelle du vent (Km/h) entre 2003 et 2018 .....	12
Tableau 8 : la vitesse mensuelle du vent (Km/h) entre 2003 et 2018.....	13
Tableau 9 : Répartition par tranches d'altitude de la superficie du B.V (Hattabe. S. 1993 ).....	16
Tableau 10 : La colonne litho stratigraphique représentative de la plaine de Ghriss. ....	26
Tableau 11 : Variation du niveau du plan d'eau dans les puits témoins entre Mars 1970 et Mars 2002 .....	33
Tableau 12: Evolution du plan d'eau dans les piézomètres entre Janvier 97 et Janvier 2002 .....	33
Tableau 13 : Caractéristiques des barrages situés dans la région de Mascara .....	35
Tableau 14: Caractéristiques des sources existantes dans la région de Mascara .....	37
Tableau 15 : Variations des paramètres physico-chimiques en (mg/l).....	47
Tableau 16 : Les valeurs de l'indice d'échange de bases des points eaux dans la plaine de Ghriss .....	71

# **Introduction générale**

## **Introduction Générale :**

L'eau est la source fondamentale de la vie et est considérée comme un enjeu économique majeur, ce qui nous pousse à rechercher les meilleurs moyens et méthodes pour la gérer et la préserver de manière durable. Surtout s'il s'agit de zones semi-arides ou arides, où le climat rigoureux limite son abondance et son renouvellement.

Notre zone d'étude, qui est la plaine de Ghriss située dans la wilaya de Mascara, se situe au nord-ouest du territoire algérien et fait partie du bassin hydrogéologique de Macta et couvre ainsi une partie du bassin de Fekan. Cette plaine contient un groupe de ressources en eaux souterraines et de réservoirs très importants qui sont utilisés comme source d'eau de base dans la région. Ces dernières nécessitent une bonne gestion et planification. Pour ce faire, il est indispensable de l'étudier de plusieurs cotés et aspects.

La croissance démographique et le développement agricole et industriel ont entraîné une augmentation significative de la demande en eau, ce qui nécessite une large mobilisation de ces ressources en eau exploitables.

Notre étude vise à connaître et à explorer les propriétés chimiques et hydrogéologiques de ces eaux, notamment en analysant leurs composants tels que les principaux ions et minéraux dissous, leurs origines probables et les interactions eaux/roches qui peuvent s'y mettre en place.

Pour bien mener cette étude et obtenir un nombre suffisant d'informations, nous nous appuyons sur la méthodologie représentée par les chapitres suivants :

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude : synthèse d'informations théoriques telles que la situation géographique, le régime climatique, le réseau hydrographique, la topographie et la géomorphologie liées à cette plaine.

Chapitre II : Contexte géologique : Ce chapitre porte sur les informations dans le domaine de la géologie locale de la zone d'étude, il comprend : les affleurements géologiques, la lithostratigraphie et la tectonique régionale.

Chapitre III : Contexte hydrogéologique : présente une synthèse sur les travaux antérieurs du point de vue hydrogéologique, on a : l'étude des nappes et gestion et exploitation

Chapitre IV : Résultats et discussion : dans cette partie nous avons représenté les résultats des analyses physico-chimiques, les faciès chimiques, Origine des éléments chimiques, Equilibres minéraux/solutions dans les eaux, La relation ISD vs ISC et l'indice d'échanges de base.

# **Chapitre I :**

# **Généralité**

## I.1- Introduction :

À l'instar des autres pays du monde, l'Algérie est confrontée aux problèmes du développement et de la gestion durable de ses ressources, particulièrement celles en eau. En effet, les besoins en eau pour l'alimentation en eau potable, l'agriculture et l'industrie ne cessent de s'accroître alors que la ressource mobilisable se fait de plus en plus rare.

Dans cette contribution, on s'intéresse plus particulièrement à la ressource hydrique de la région de Mascara. Cette wilaya, située au nord-ouest du territoire algérienne.

Dans cette étape de l'étude, nous nous concentrerons sur un ensemble d'informations géographiques et climatiques et hydrographique et topographique pour cette région, notamment la plaine de Ghrisse.

## I.2- Contexte géographique de la région d'étude :

La plaine de Ghriss, d'une superficie de 605 km<sup>2</sup>, est située au nord-ouest de l'Algérie. Elle fait partie du bassin hydrologique de la Macta, englobant en particulier une portion du sous-bassin de l'oued Fekan. Plusieurs agglomérations s'y trouvent, notamment Mascara, Tighenif, Ghriss et Matemore, pour une population dépassant les 320 800 habitants selon le recensement de 2009. Cette plaine, caractérisée par une topographie relativement plate avec une altitude moyenne de 470 mètres, est dominée au sud par des reliefs atteignant 1100 mètres d'altitude, notamment la montagne de Nesmoth. **(Bekkoussa.B.2009)**

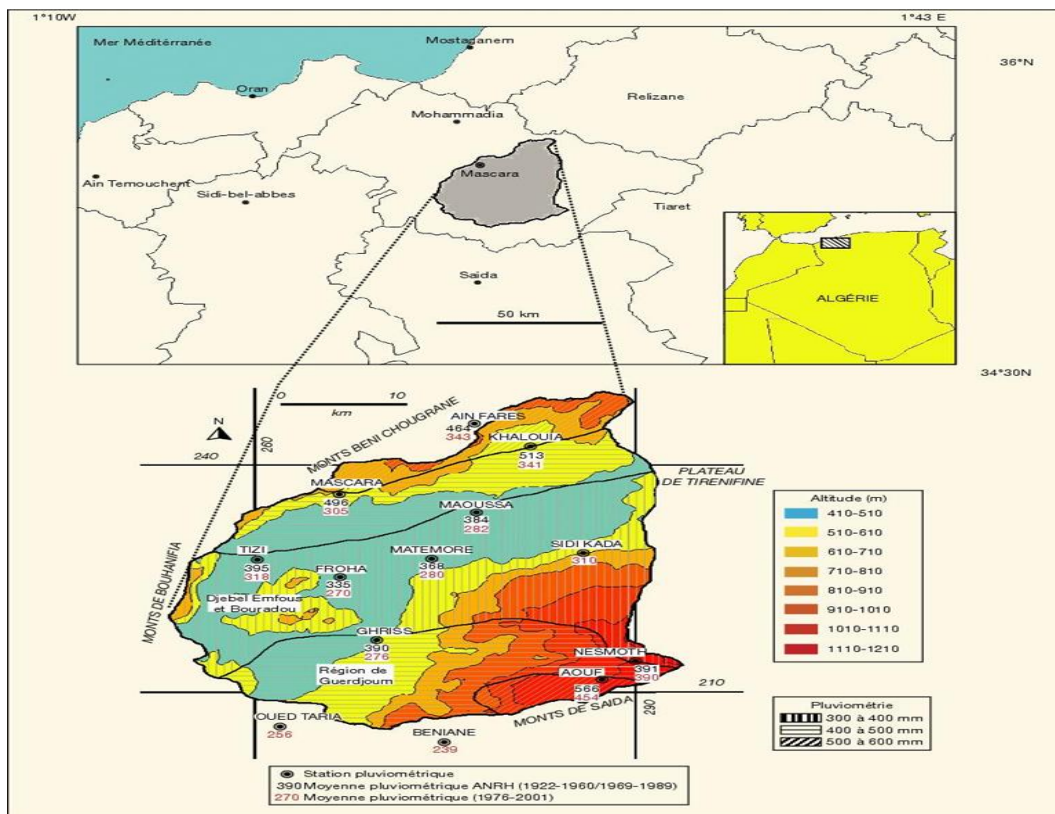
Ses limites géographiques sont définies comme suit :

Au nord : les monts de Beni Chougrane,

Au sud : les monts de Saïda,

À l'est : le plateau de Tighenifine

À l'ouest : les monts de Bouhanifia



**Figure 01 :** Situation géographique et carte pluviométrique du bassin de la plaine de Ghriss (Bekkoussa & al.2008)

**I.3- Régime climatique :**

Caractéristiques climatiques Les conditions climatiques de la plaine de Ghriss sont classées comme semi-arides, caractérisées par des précipitations irrégulières, des températures moyennes élevées, des taux d'évaporation importants et des niveaux d'humidité réduits.

**1.3.1- Précipitation :**

Les conditions climatiques influencent de manière déterminante la dynamique hydrologique des cours d'eau et leur couverture végétale correspondante. Les précipitations contribuent directement au maintien du débit des vallées et affectent ainsi la reconstitution des réserves en eau souterraine. Cependant, l'infrastructure climatique est largement insuffisante, ce qui peut être attribué au nombre limité de stations météorologiques présentes en Algérie. Un autre inconvénient est la rareté des grands ensembles de données d'observation, associée à l'inaccessibilité des données et à la prévalence des lacunes dans les données.

Afin de déterminer les régimes de précipitations dans la plaine de Ghriss, nous avons analysé les données pluviométriques collectées auprès de la station météorologique de Ghriss. Le tableau 01 donne un aperçu complet des attributs associés à cette station de mesure de la pluie (station Ghriss).

station	X	Y	Z	Période d'observation
Ghriss	35.21	0.156	513	1979 à 2016

**Tableau 01** : Caractéristiques des stations pluviométriques de la plaine de Ghriss.

Dans la plaine de Ghriss, les régimes de précipitations présentent des irrégularités et ne sont pas propices au progrès agronomique de la culture céréalière, avec une moyenne annuelle mesurée à environ 440 mm (dérivée des données interannuelles provenant de trois points d'observation météorologiques). Les mois de novembre, décembre et janvier sont considérés comme les périodes où les précipitations sont les plus élevées du calendrier annuel, tandis que juin, juillet et août sont caractérisés par des températures élevées. Les précipitations annuelles sont à la fois irrégulières et insuffisantes. Les données empiriques indiquent une tendance à la baisse des niveaux de précipitations ces dernières années.

### I.3.1. Précipitations mensuelles :

L'examen des mesures mensuelles moyennes des précipitations interannuelles (1998-2018) enregistrées à la station de Ghriss (tableau 02) indique que les niveaux de précipitations les plus élevés sont atteints entre les mois d'octobre et avril. À l'inverse, les valeurs de précipitations les plus faibles sont documentées entre mai et septembre. Cette délimitation facilite l'émergence de deux saisons climatiques distinctes :

- une saison sèche : d'octobre à avril (jusqu'à 56,4 mm)
- une saison humide : de Juin à Août (jusqu'à 7,8 mm)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	56.4	44.4	43.0	46.2	21.2	14.4	7.8	11.5	18.1	27.1	33.2	36.0

Tableau 02 : précipitation moyenne mensuelle (en mm) de la station de Ghriss (1969-2018)

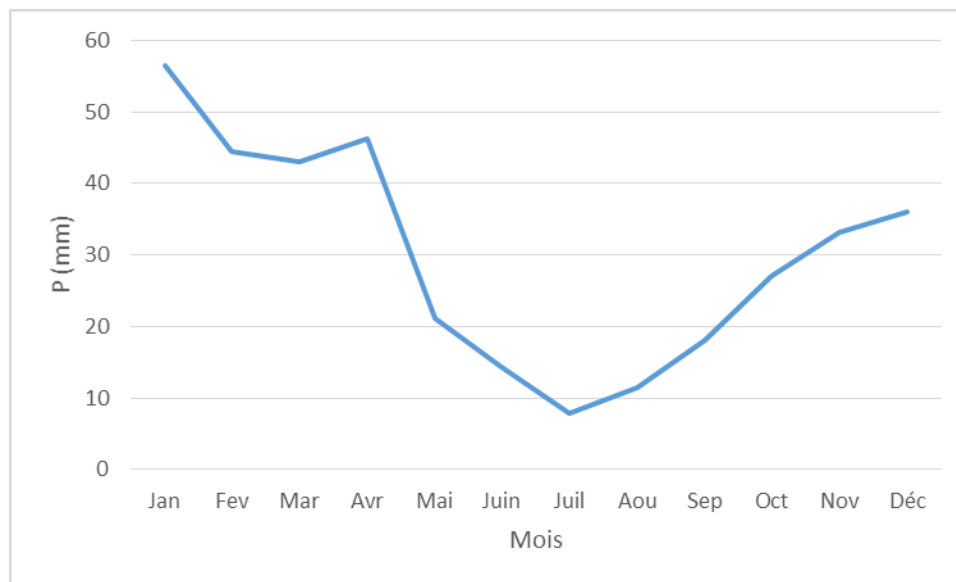


Figure 02 : Précipitations moyenne mensuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période(1969-2018)

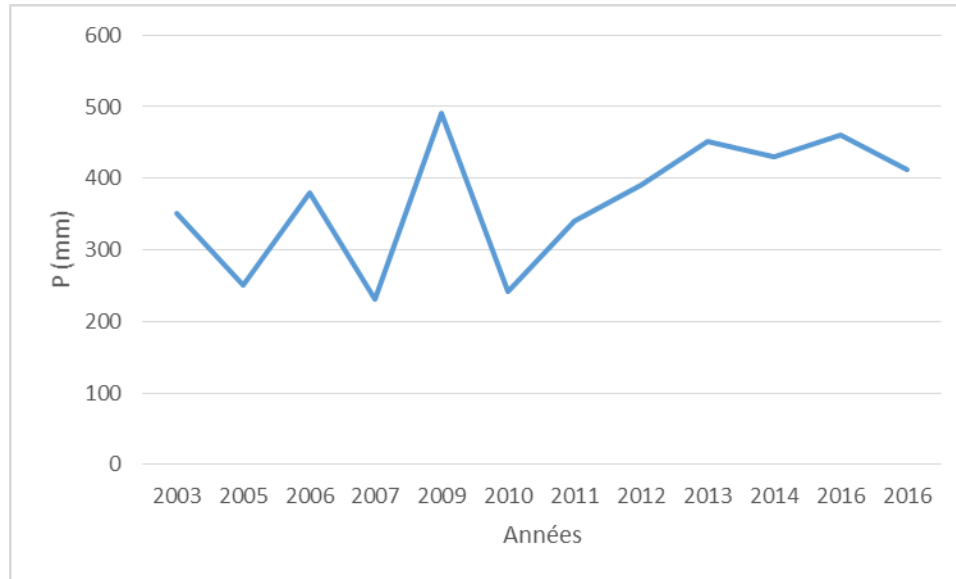
### I.3.1.1. Précipitations annuelles :

Le tableau 03 ainsi que le graphique correspondant illustrent l'évolution des précipitations annuelles enregistrées à la station de Ghriss durant la période allant de 2003 à 2016. Les données montrent une variabilité marquée des quantités de pluie, avec une valeur minimale de 231,4 mm enregistrée en 2007 et une valeur maximale de 490,8 mm en 2009. Ces fluctuations traduisent un régime climatique irrégulier pouvant résulter de changements ou de perturbations climatiques.

On observe également une tendance à la hausse des précipitations à partir de 2011, que l'on peut considérer comme une période relativement humide, avec des valeurs allant de 340,4 mm à 412,8 mm. Dans ce contexte, une gestion appropriée et rationnelle des ressources en eau devient nécessaire.

Années	2003	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2016
P (mm)	350.8	251.4	380.4	231.4	490.8	241.1	340.4	390.4	451.3	430.7	460.7	412.8

Tableau 03 : Précipitation moyenne annuelle (en mm) de la station de Ghriss (2003-2016)



**Figure 03 :** Précipitations moyenne annuelle (mm) de la station de Ghriss pour la période (2003-2016)

### I.3.2. Température :

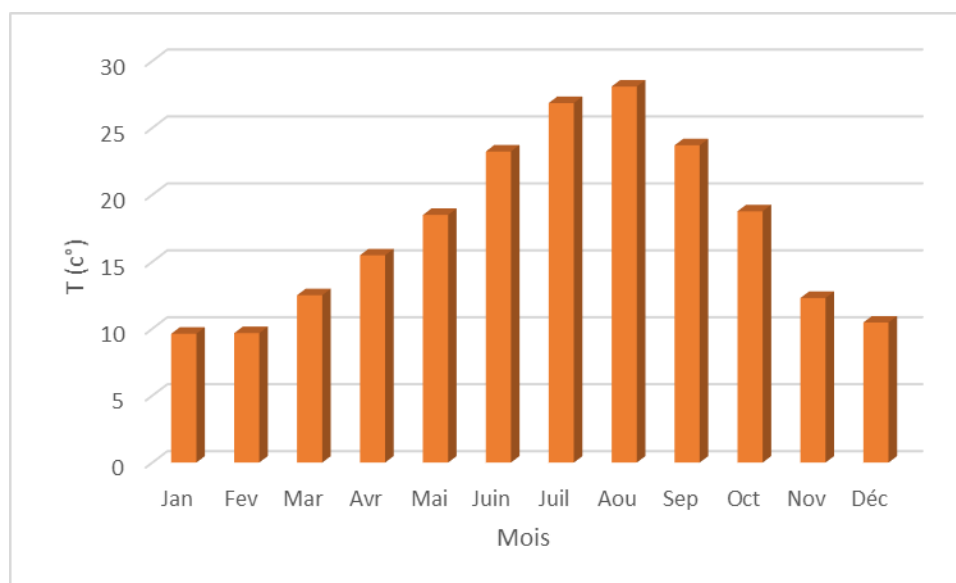
La plaine de Ghriss, est caractérisée par un climat de type méditerranéen. Ce climat se distingue par des étés chauds et secs ainsi que des hivers relativement froids et humides. Les relevés météorologiques provenant de la station de Matmour indiquent une forte variation des températures au cours de l'année. Le mois d'août est le plus chaud, avec une température moyenne de 28,09°C. Durant cette période, les températures maximales peuvent dépasser les 35°C, notamment lors des vagues de chaleur. Cette chaleur intense est due à l'influence des vents chauds et secs en provenance du sud, qui accentuent l'aridité estivale. En revanche, le mois de décembre est le plus froid, avec une température moyenne de 9,63°C. Pendant l'hiver, les températures minimales peuvent chuter en dessous de 5°C, Cette fraîcheur hivernale est souvent accompagnée de précipitations modérées, qui contribuent à la recharge des nappes phréatiques et au maintien de l'humidité du sol. Concernant les années toutes les années représentées dans le tableau ont enregistré des températures comprises entre 16 et 17 degrés, la température la plus élevée enregistrée durant cette période étant de 17,61 degrés.

Ainsi, le climat de la plaine de Ghriss suit un régime saisonnier marqué, où les précipitations sont principalement concentrées en automne et en hiver, tandis que l'été reste sec et chaud.

Pour étudier la température de notre secteur d'étude on a pris la station de Ghriss comme station d'observation, nous l'expliquons comme suit :

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
T(C°) Moy	9.63	9.67	12.5	15.48	18.5	23.24	26.86	28.09	23.7	18.77	12.3	10.46

**Tableau 03 :** température moyenne mensuelle en (C°) dans la station de Ghriss



**Figure 04 :** Température moyenne mensuelle (C°) de la station de Ghriss pour la période(1969-2018)

Années	2003	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
T(C°)	17.04	17.29	17.61	16.93	17.05	16.58	17.47	16.31	16.76	17.25	17.02	16.33

**Tableau 05 :** Température annuelle (c°) de la station de Ghriss pour la période (2003-2016)

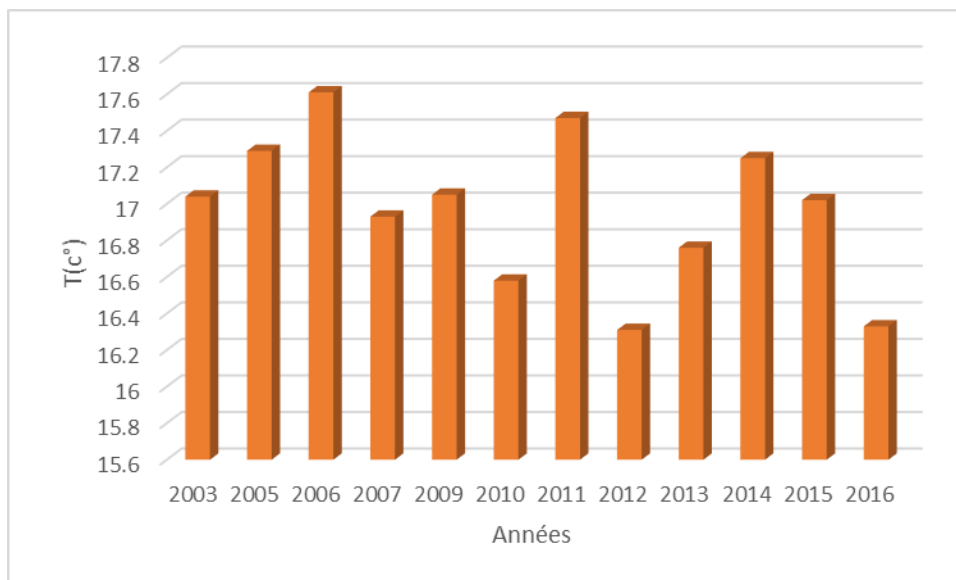


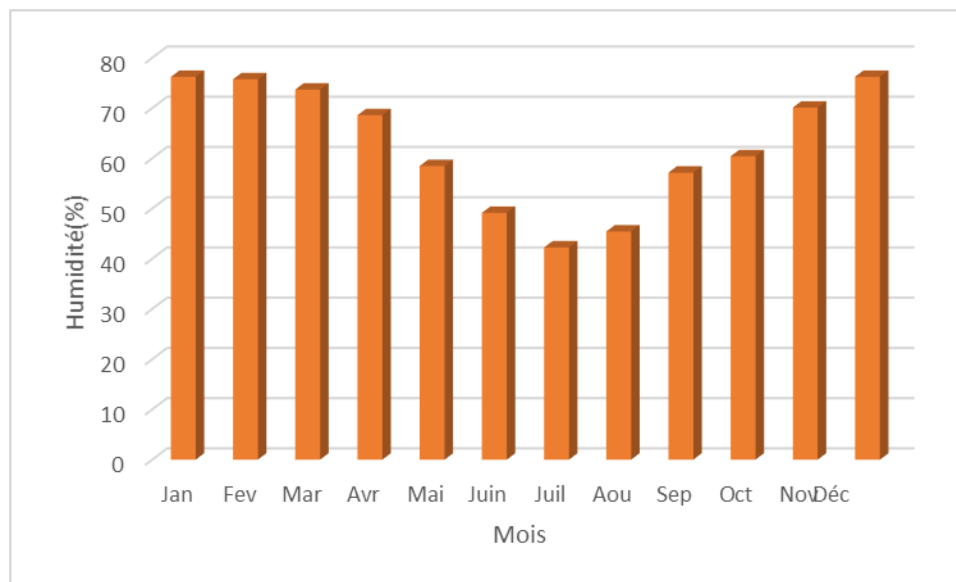
Figure 05 : Température moyenne annuelle (C°) de la station de Ghriss

I.3.3.L'humidité relative :

Définie par le rapport entre la pression de la vapeur d'eau présente dans l'air et la pression de saturation à une même température. D'après les données récentes (1998-2018) de la station météorologique de Ghriss, l'humidité moyenne mensuelle atteint son maximum en décembre avec 76,22 %, tandis que son minimum est enregistré en juillet avec 42,25 %. Le tableau suivant illustre les valeurs de l'humidité relevées à cette station:

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité	76.21	75.73	73.67	68.58	58.46	49.14	42.25	45.43	57.14	60.41	70.09	76.22

Tableau 04 : L'humidité moyenne mensuelle à la station de Ghriss (1985-2018).



**Figure 06** :L'humidité relative moyenne mensuelle (%) de la station de Ghriss pour la période (1969 -2018)

**I.3.4.Vitesse du vent :**

Les valeurs mensuelles et annuelles de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la Station climatologique de Ghriss sont présentées dans les tableaux suivants :

En ce qui concerne la note concernant le tableau annuel qui représente les valeurs de vitesse au cours de la période 2003 à 2018,

nous constatons que la valeur la plus élevée de la vitesse du vent était de 12,10 km/h en 2010, tandis que la valeur la plus basse a été enregistrée, qui était de 6.3 km/h en 2007, ce qui indique que les vents sont considérés comme modérés en vitesse, ce qui signifie qu'il existe une faible probabilité de tempêtes et d'autres catastrophes climatiques causées par des vents forts .

Années	2003	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>V(Km/h)</b>	7.2	11.7	6.6	6.3	11.7	12.1	10.5	10	11.1	11.7	10.2	10.2	9.6	8.9

**Tableau 05** : la vitesse annuelle du vent (Km/h) entre 2003 et 2018

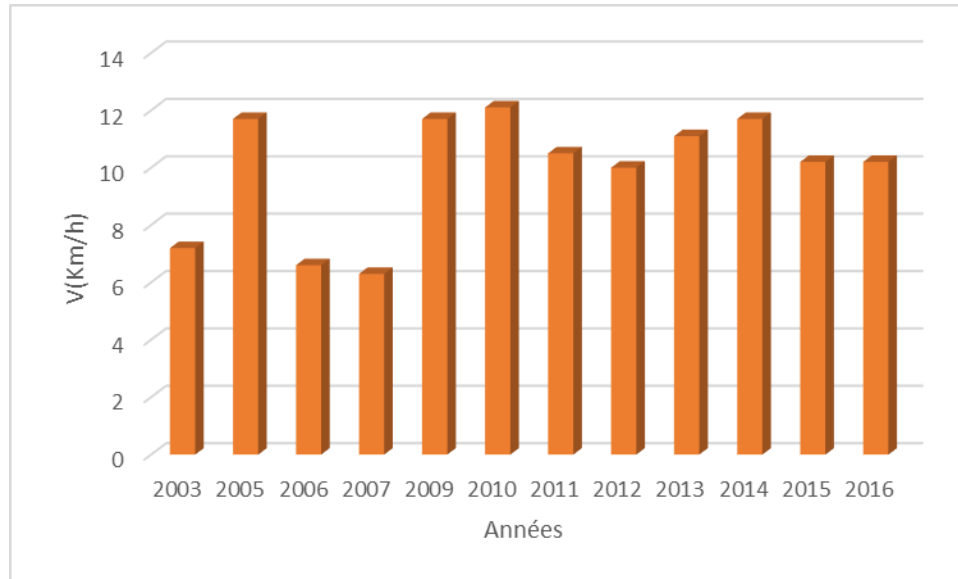


Figure 07 : la vitesse annuelle du vent (Km/h) entre 2003 et 2018

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
V (Km)	10.1	11.4	10.2	10.3	10.2	9.6	9.5	9.0	8.2	8.2	9.4	8.4

Tableau 06 : la vitesse mensuelle du vent (Km) entre 2003 et 2018

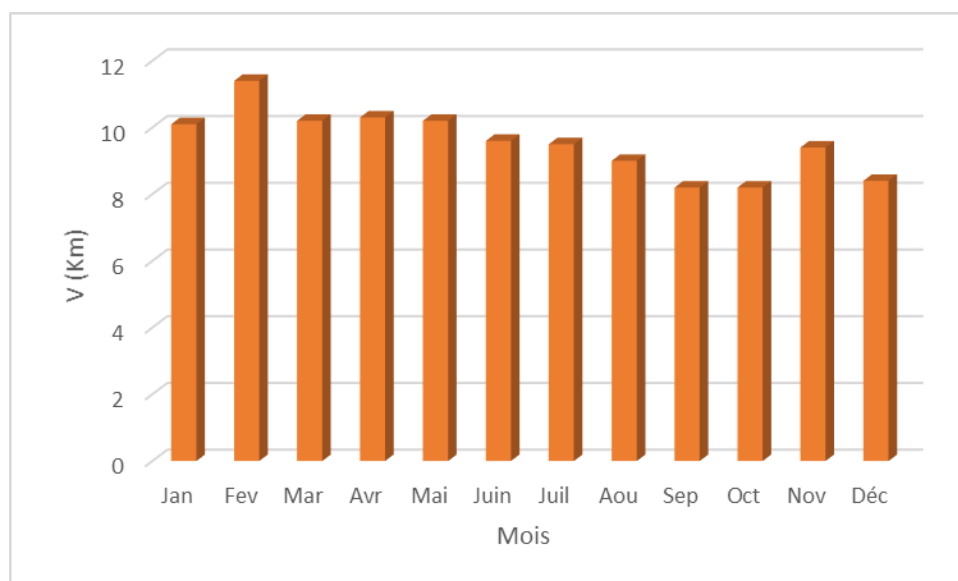


Figure 08 : La vitesse mensuelle du vent (Km) entre 2003 et 2018

**I.4. Réseau hydrographique :**

Le réseau hydrographique de la plaine est peu développé, avec seulement quelques petits oueds comparables à des ruisseaux. Parmi eux, l'oued Maoussa, qui collecte les eaux des glaciers situés sur les versants sud des monts de Beni Chougrane en aval de Khalouia, et l'oued Froha, qui prend naissance dans les dolomies calcaires des monts de Nesmot. Ces deux cours d'eau se rejoignent au niveau de Tizi avant de confluer avec l'oued Fekan.

**Oued Maoussa :**

Au nord-est de Mascara, l'Oued Maoussa prend sa source sur le plateau d'El Bordj, pour ensuite traverser dans une direction nord-sud tout en creusant de profondes gorges dans la topographie des périphériques de la plaine en raison de l'érosion mécanique des sédiments non consolidés de Beni Chougrane ; au-delà des environs de Maoussa, il s'intègre dans la plaine des Ghriss où il subit une infiltration. La station hydrologique installée en amont de la zone urbaine de Maoussa a documenté un débit de base fluctuant de zéro à plusieurs dizaines de litres par seconde pendant les périodes de faible niveau d'eau, en raison de l'important prélèvement d'eau à des fins d'irrigation dans la région de Khalouia. La survenue d'inondations entraîne une érosion régressive importante caractérisée par un transport important de sables argileux, des débits de pointe dépassant 3 m<sup>3</sup>/s ayant été enregistrés.

**Oued Froha :**

Originaire de la chaîne de montagnes de Sidi Kadda, cette caractéristique hydrologique se caractérise par des conditions arides caractérisées par des mesures de débit de base négligeables à la station de surveillance de Ghriss. Dans la région amont, les débits observés fluctuent généralement entre 20 et 30 L/s, puis s'infiltrent dans les dépôts alluviaux situés au sud de Froha avant son arrivée dans le centre urbain de Ghriss. Le débit annuel moyen de cet oued, calculé sur une période de 28 ans (1971-1998), est d'environ 130 L/s.

Oued Fekan :

La source située à l'ouest de Tizi, au niveau d'Aïn Fekan, a enregistré un débit moyen annuel de 288 L/s entre 1970 et 2002. Malgré un débit d'étiage négligeable, des crues instantanées atteignant 15 m<sup>3</sup>/s ont été observées dans les années 1970.

Oued Toudman :

Le débit de cet oued est très stable mais relativement faible, avec un débit de base d'environ 1 l/s. La perméabilité élevée des grès et des calcaires lacustres du Pliocène permet une infiltration importante des pluies, tandis que seules les pluies torrentielles provoquent un ruissellement le long de l'oued. (Sourisseau, 1974).

## **I.5.Topographie et composition géomorphologique :**

### **I.5.1.Topographie :**

#### **I.5.1.1.Répartition de la surface en fonction de l'altitude :**

La plupart des facteurs météorologiques et hydrologiques (précipitations, températures, etc...) sont en fonction de latitude, il est intéressant de calculer la répartition du bassin par tranche d'altitude (Km<sup>2</sup> ou en % de la surface totale), le tableau suivant donne le résultat d'un tel travail pour le bassin versant.

Surface	Tranche d'altitude (cm)	Surface partiel (Km <sup>2</sup> )	Pourcentage de la surface totale	Pourcentage surface cumulé
S1	1100-1000	43	3.7	3.7
S2	1000-900	60	5.2	8.9
S3	900-800	52	4.5	13.4
S4	800-700	104	9	22.4
S5	700-600	145	12	34.4
S6	600-500	309.1	27.04	61.44
S7	500-400	436.5	37.77	99.21
S8	400-300	7	0.64	99.85

**Tableau 09:** Répartition par tranches d'altitude de la superficie du B.V (Hattabe. S. 1993)

À partir du même ensemble de données, nous construisons la courbe hypsométrique du bassin versant analysé, qui délimite les classifications d'altitude en ordonnées et les surfaces (exprimées en %) le long de l'axe des abscisses. La courbe hypsométrique peut être remplacée par une courbe représentant les fréquences altimétriques, qui, via un diagramme à l'échelle, représente les surfaces (en km<sup>2</sup> ou en %) des composantes du bassin sur différentes plages altitudinales.

#### I.5.1.2. Les altitudes :

L'analyse de ces courbes permet de déterminer les altitudes distinctives :

- A) Altitude maximale : elle est définie comme le sommet du bassin.  $H_{\max} = 1100$  m.
- B) Altitude minimale : elle est identifiée comme le nadir du bassin.  $H_{\min} = 300$  m.
- C) Altitude la plus fréquente : elle est reconnue comme la fréquence maximale dans le graphique altimétrique.  $H_{\text{freq}} = 400$  à  $500$  m.
- D) Altitude médiane : elle est comprise comme l'ordonnée centrale de la courbe hypsométrique.

m = 640 m.

E) Altitude moyenne : elle est déterminée comme le quotient de l'agrégat des produits des surfaces élémentaires par l'altitude moyenne, par rapport à la superficie totale du bassin.

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum H_{\text{moy}} \times S_i}{S}$$

Avec :

**H:** altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m].

**Si:** surface élémentaire compris entre deux courbes de niveau [m<sup>2</sup>].

**S:** surfaces du bassin versant [Km<sup>2</sup>].

### I.5.2.Composition géomorphologique :

La plaine, en grande partie occupée autrefois par des marécages, en conserve encore aujourd'hui des vestiges dans la région de Maoussa (Marais de Sidi Lahsen) et au nord de Tizi. Elle présente une légère pente vers l'ouest, avec un relief globalement plat en son centre et des bordures légèrement surélevées, à l'exception de sa partie occidentale, où se trouve le point le plus bas.

La morphologie de la région se distingue par divers aspects comme suivant :

- Au Nord, à l'Ouest et au Sud des piémonts formant des bas-reliefs.
- Au centre, des buttes témoins d'un autre environnement et des monticules rocheux assez élevés.
- Au Sud, un important massif d'aspect tabulaire et coiffé de sommets dépassants 1000 mètres (Monts de Nesmot).
- A l'Est, un relèvement du sol forme le col Temaznia entre Tighennif et la vallée de l'oued Haddad (**HADADJI Abderrahmane et HICHOIR Bachir, 2007**).

Ce bassin se caractérise par une topographie quasiment plane à une altitude de 470 mètres, entourée de reliefs culminant à environ 800 mètres. Il est délimité par :

- Au nord et au nord-ouest : Les Béni Chougrane, composés de terrains plissés et charriés, formant une barrière imperméable et continue, recouverte de formations perméables.
- Au sud et au sud-est : Les monts de Saïda et Sidi Kadda (ex-Cacherou), constitués de terrains rigides, peu plissés et fortement fracturés, assurant une limite méridionale perméable.
- À l'ouest : Une barrière imperméable formée par le Crétacé inférieur, située entre les Béni Chougrane et les monts de Saïda, provoquant la remontée des eaux à Ain Fekan.
- À l'est : Une limite imperméable marquée par l'affleurement des marnes de l'Oligo-Miocène et la transition latérale des calcaires lacustres du Pliocène vers des calcaires marneux.

**I.6.Conclusion :**

L'analyse complète menée dans le cadre de cette étude a facilité l'identification des principaux attributs géographiques, morphologiques et climatologiques, ainsi que du réseau hydrographique de la plaine de Ghriss. L'accent est mis sur un climat méditerranéen semi-aride, caractérisé par un hiver riche en précipitations et un été pauvre en précipitations, ce qui entraîne des variations périodiques du taux de reconstitution des eaux souterraines dans la plaine de Ghriss, influencées par les précipitations pendant les saisons humides et par les effets thermiques pendant les saisons arides (évaporation). Cette dynamique aura sans aucun doute une influence sur les oscillations des niveaux d'eau de ces aquifères (réservoirs d'eau souterrains).

# **Chapitre II :**

# **Contexte géologique**

## **Chapitre II: Contexte géologique**

---

### **II.1.Introduction :**

La plaine de Ghriss, située au nord-ouest de l'Algérie dans l'Etat de Mascara, est une zone de grande importance géologique et hydrogéologique. Il appartient à la grande structure géologique de l'Atlas tellien et se caractérise par une sédimentation diversifiée, dont la majeure partie est d'origine néogène et quaternaire. Cette plaine repose sur un substrat de formations argilo-calcaires qui influencent fortement la circulation des eaux souterraines. . Une analyse détaillée de ses couches, de sa tectonique et de ses eaux souterraines est donc nécessaire pour mieux comprendre ses caractéristiques géologiques et hydrologiques. Dans ce chapitre, nous mentionnerons les formations géologiques et tectoniques les plus importantes de la zone à étudier.

### **II.2.effleurements géologiques :**

La plaine de Ghriss est une unité hydrogéologique entourée de reliefs présentant une grande diversité géologique. Son évolution géologique peut être décrite selon les différentes périodes suivantes :

La plaine de Ghriss constitue une entité hydrogéologique délimitée par des formations topographiques présentant des caractéristiques géologiques diverses : au nord et au nord-ouest de la plaine se trouvent les pentes sud des montagnes de Beni Chougrane, composées d'un terrain très plissé soutenu par un cadre géologique du Crétacé et un mort-terrain tertiaire exceptionnellement épais. Le terrain est recouvert de marnes du Crétacé et de couches marno-calcaires, ainsi que de dépôts isolés de gypse et de sel du Trias datant du Miocène. Les formations nummulitiques, datant de l'Éocène et de l'Oligocène, composées de constituants marneux et de grès, sont en juxtaposition avec les strates du Crétacé ou du Miocène. Ces dépôts néogènes, caractérisés par un léger plissage, recouvrent actuellement la grande majorité de l'étendue sud des montagnes de Beni Chougrane. Les limites nord et ouest de la plaine de Ghriss sont constituées de formations marneuses et de dépôts argileux, auxquels s'ajoutent divers degrés de terres perméables qui servent à alimenter les aquifères de la plaine.

Dans le secteur nord-est de la plaine, et plus précisément à l'est de l'agglomération de Tighennif, l'élévation des dépôts marneux et argileux datant des époques oligocène et miocène constitue une barrière relativement imperméable qui limite considérablement le bassin

## Chapitre II: Contexte géologique

hydrologique de la plaine de Ghriss par rapport à celui de l'Oued Mina. La limite sud du bassin versant de la plaine de Ghriss est délimitée par les montagnes de Saïda. Cette chaîne de montagnes est caractérisée par des formations karstiques, qui ont connu une tectonique fragile considérable, dont des vestiges sont encore observables (notamment dans les horsts du Djebel Emfouss et du Bourradou). Cet assemblage géologique présente un léger affaissement vers le nord, facilitant ainsi l'écoulement et le drainage des eaux karstiques vers la plaine. Au niveau de la source d'Aïn Fekan, cet assemblage calcaire-dolomitique du Jurassique supérieur est délimité par une faille qui le juxtapose à des argiles de grès du Crétacé, constituant ainsi une barrière importante. L'interruption soudaine de la perméabilité est à l'origine de l'émergence de la source d'Aïn Fekan. Au centre de la plaine, une cuvette d'effondrement s'est formée, où se sont déposés des calcaires lacustres, particulièrement au nord de cette dépression, ainsi que des argiles rouges, des graviers roulés détritiques, des sables fins et des graviers d'origine quaternaire. Les seuls phénomènes tectoniques répertoriés dans la plaine de Ghriss sont les failles d'effondrement affectant le substratum jurassique. (Sourisseau, 1972).

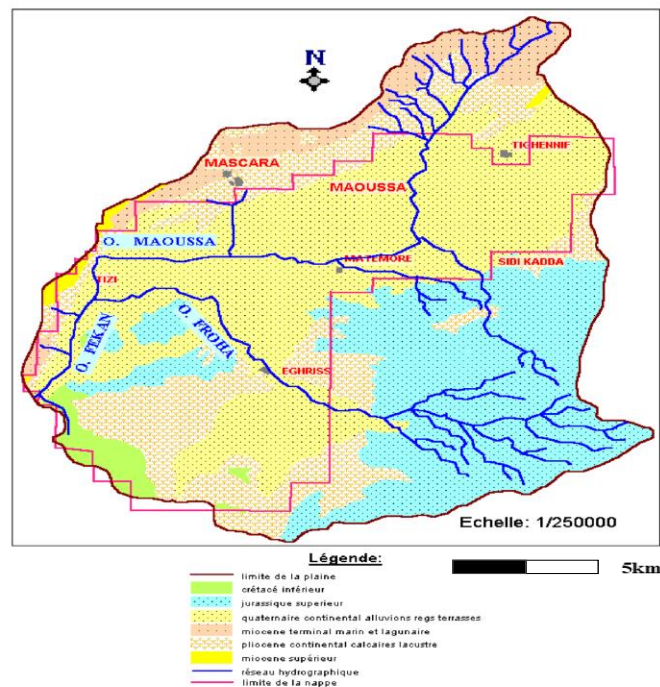


Figure 09 : Carte géologique de la plaine de Ghriss (Benfetta H. 1997)

## Chapitre II: Contexte géologique

---

### II.3. Litho stratigraphie :

#### II.3.1. Le secondaire :

##### a) Trias :

La présence de cette formation géologique dans le bassin versant n'est toujours pas documentée. Il est situé dans la région montagneuse de Beni Chougrane, plus précisément à la base des aquifères du Crétacé et dans une structure diapir que située au sud, dans la vallée de l'Oued Taria. Cette formation est principalement gypsifère, présentant parfois des caractéristiques salifères, et est associée à un assemblage lithologique comprenant des roches vertes, des ophites, du gabbro, des dolomites, des cargneules, des brèches fétides et des marnes panachées. **(B. Sourisseau, 1972).**

##### b) Callovo-Oxfordien :

Cette unité géologique est exposée dans la région sud du bassin, en particulier dans la vallée de l'Oued Taria. Il comprend une séquence de fines couches de grès, entrecoupées d'importants dépôts d'argile et de marnes jaunes et vertes. L'épaisseur totale de cette formation est d'environ 250 mètres

##### c) Lusitanien :

Il affleure dans la partie Sud des montagnes de Sidi Kada et a été rencontré en sondage dans la plaine. Il est composé d'une alternance de bancs gréseux et dolomitique, qui font corniches à l'affleurement de passage argilo-marneux, également épais la puissance totale de la formation est de l'ordre de 150 mètres.

##### d) Jurassique supérieur :

Il comprend le Kimméridgien supérieur et Purbeckien. Il affleure largement tout le long de la bordure méridionale de la plaine. Il constitue également le substratum résistant effondré. Au sommet on trouve des calcaires gris à pâte fine, Zoogénies, riches en périmées. Et polypiers, exploités en carrière dans les Djebel Emfouss et Bon Rhaddou. La formation se poursuit avec des calcaires dolomitiques. Des occurrences mineures de marne noire ont été identifiées, ce qui empêche l'infiltration de l'eau et peut entraîner la formation de résurgences perchées. L'altitude cumulée de l'entraînement devrait dépasser 350 mètres.

## Chapitre II: Contexte géologique

---

### e) Crétacé inférieur :

Attribué à l'époque hauterivienne, il est exposé dans la région amont à l'ouest de Djebel Enfouss et dans la zone sud-ouest de la plaine de Guerdjoum. Cette formation géologique se caractérise par une succession de grès calcaire qui se transforme en matériaux de plus en plus riches en argile en profondeur, ainsi que par de fines couches de grès argileux.

### II.3.2.Le Tertiaire :

#### a) Éocène :

Cette formation est visible le long du périmètre ouest de la plaine. Il est constitué d'une séquence de bancs de sable et de calcaire métriques entrecoupés de strates argilo-marneuses atteignant plusieurs mètres d'épaisseur. (B. Sourisseau, 1972)

#### b) Oligocène :

Cette unité géologique est située à Beni Chougrane et à l'est de Tighenif. Elle présente un faciès analogue à celui de la formation précédente, qu'elle recouvre de manière non conforme. La composition comprend des couches argilo-marneuses accompagnées de bancs de grès. Au niveau de la section basale, il existe un conglomérat intercalé caractérisé par une base polygénique, quoique d'épaisseur limitée. (B.Sourisseau, 1972)

#### c) Miocène :

Cette période est représentée dans les montagnes de Beni Chougrane, bien que limitée par l'absence de données paléontologiques fiables. Par conséquent, il n'est pas possible de distinguer les strates marneuses inférieure et moyenne du Miocène. Marno-sableux du Miocène supérieur :

Cette formation consiste en un assemblage monotone et substantiel, composé principalement de marne verte, parsemé de couches riches en macrofaunes de gastéropodes et de lamellibranches, ainsi qu'un conglomérat de base polygénique situé sous la plaine, qui est formé à partir de matériaux qui ont rempli les fosses d'effondrement du Jurassique supérieur. A Djebel Oucilles, les strates marines du Miocène sont supplantées par un gisement continental argilo-sableux rouge connu sous le nom de Bou Hanifia. Sur ce complexe marneux, de fins sables argileux entrecoupés de concrétions calcaires reposent en équilibre. De plus, du sable et de vastes calcaires récifaux de lithothamnium sont observables en expositions fragmentées à Djebel Oucilles et au nord d'El-Bordj. Les formations susmentionnées sont attribuées à la fin du Miocène terminal (saharien).

## Chapitre II: Contexte géologique

---

Ces strates sont notamment absentes du substrat de base de la plaine. **(B. Sourisseau, 1972)**

### d) Pliocène :

Cette formation géologique est située dans les montagnes de Beni Chougrane et se trouve également sous la couverture sédimentaire de la plaine. Il est placé juste en dessous d'une couche superficielle de limon. Au niveau de la couche basale, des grès marins transgressifs, déposés par la mer d'Astien, sont observables. À la couche supérieure, ces grès se transforment en sables consolidés, qui se transforment ensuite en dépôts de plage et en dunes jaunes. L'épaisseur de cette formation géologique varie entre 40 et 100 mètres, y compris les sables de désintégration présents à la surface. Ces sédiments émergent à proximité de Mascara et Khalouia, puis descendent vers la plaine où ils se rétrécissent pour former le Djebel Oucilles, d'une épaisseur d'environ 10 mètres. Directement au-dessus des grès et des sables, ou bien séparés par un faible épaisseur d'argile sableuses rouge détritiques, on peut observer des calcaires blancs calcaires contenant des traces d'oxygène, de manganèse et de fer. Ces calcaires lacustres très érodés du plateau de Mascara se manifestent sur tout le périmètre de Beni Chougrane. À ce stade, une flexibilité considérable les amène à descendre sous la plaine, où leur épaisseur augmente rapidement. Vers l'ouest et le sud, l'épaisseur des calcaires lacustres diminue pour finalement atteindre un état nul. À l'ouest de Mascara, la composition géologique passe d'une prédominance de matériaux calcaires à une présence accrue d'argile ; la teinte blanche observée précédemment est remplacée par des nuances de marnes jaunes et vertes. À proximité de la chaîne de montagnes de Sidi Kada, la présence de formations lacustres est particulièrement absente. Ces formations lacustres sont remplacées par d'importantes accumulations d'éléments géologiques laminés caractérisés par des propriétés calcaires et calcaro-dolomitiques, qui sont liés entre eux par cimentation argilo-carbonatée. Ces conglomérats sont associés de manière concomitante à des argiles rouges limoneuses et à des sables argilo-magnésiens apparus à la suite de l'altération de substrats calcaires. **(B. Sourisseau, 1972)**

## Chapitre II: Contexte géologique

### II.3.3- Quaternaire :

Dans la région de Moulayen, de vastes expositions d'argiles détritiques rouges ont été documentées le long des limites ouest et nord complètes de la plaine, qui recouvrent les calcaires lacustres. Au cours du Quaternaire moyen, une terrasse alluviale composée de sable fin, accompagnée de graviers décimétriques mineurs, a empiété sur la zone située entre Maoussa et Tighanif.

### II.3.4-Actuel :

Les sols qui prévalent dans la plaine sont principalement constitués de sables limoneux et argileux, d'une épaisseur maximale ne dépassant pas 6 mètres. Les caractéristiques de ces dépôts sédimentaires dépendent des processus de transport et du substrat géologique sous-jacent. Ces formations constituent la base agricole de la région. **(B. Sourisseau, 1972)**

STRATIGRAPHIE			EPAISSEUR (m)	COLONNE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	
AGE	SYSTEME	SOUS SYSTEME				
QUATERNAIRE	-	-	-		Argile rouge silteuse, sable argileux, conglomérats, calcaire dolomitique, calcaire	
PLIO-QUATERNAIRE	-	-	-		Argile rouge détritique, gravier, terrasses alluviale de sables	
TERTIAIRE	MIOCENE	Pliocène	40-270		Grès marins, sables, argiles sableuses, calcaire lacustre	
		Miosène	Sup	=100		Sables fins argileux à concrétions calcaire, sables, calcaire récifaux massif
			Inf			Marnes vertes, conglomérats
		PALEOGENE	Oligocène	-		Couches argilo- marneuse avec des bancs de grès, conglomérat
	Eocène		Inf marin	-		Alternance métrique de bancs grés calcaires, couches argilo- marneuse
		SECONDAIRE	CRÉTACÉ INF	Hautérvien	-	
JURASSIQUE	Supérieur		300 - 400		Calcaire gris, calcaires dolomitiques, dolomies, marnes noires	
	Lusitanien		= 150		Alternance de bancs gréseux dolomitiques, série marnoux à intercalation de calcaire dolomitique, marnes grises à modules ferrugineux	
	Callovo- Oxfprdien		= 250		Bancs gréseux, argiles, marnes grises, jaunes et vertes	
	TRIAS		Sup Moy Inf	-		Marnes bariolée, dolomies, congueules, brèches fétides, gypse

**Tableau 10 :** La colonne litho stratigraphique représentative de la plaine de Ghriiss.

## Chapitre II: Contexte géologique

---

### II.4. Tectonique régionale :

Le bassin versant de la plaine de Ghriss ne constitue pas le lieu d'activités tectoniques importantes (notamment l'absence de formations triasiques) ; les seules occurrences tectoniques reconnues sont les failles d'effondrement associées au substrat jurassique, qui restent actives de nos jours, parallèlement à l'émergence des sources d'Ain Fekan provoquée par la faille. Les contreforts du Néogène, qui ont été légèrement déformés par les récents événements tectoniques, couvrent actuellement la quasi-totalité de la périphérie sud de la chaîne de montagnes de Beni Chougrane. La limite sud du bassin, représentée par les montagnes de Saïda, a connu des activités tectoniques considérables. Cassante, d'où subsistent certains vestiges géologiques (les chevaliers de Djebel Enfunss et Ben Rhadou). Le massif calcaro-dolomitique des montagnes de Sidi Kada est principalement influencé par une tectonique fragile le long de deux orientations principales des failles, qui indiquent les mouvements du socle sous-jacent (à proximité de la masse granitique du Tiffrit). **(Sourisseau, 1974)**

## Chapitre II: Contexte géologique

---

### II.5.Conclusion :

La plaine de Ghriss représente une caractéristique géomorphologique caractérisée par un effondrement des moyens de subsistance. Le substrat calcaro-dolomitique jurassique présente une fragmentation due à un réseau de systèmes de failles exceptionnellement linéaires. Ce phénomène peut être attribué à un événement tectonique récent. Un affaissement perceptible se manifeste par une configuration en gradins, provenant des élévations sud et s'étendant vers les régions nord. Des anomalies transversales induisent la formation de fossés effondrés orientés nord-sud (Froha) et de haut-fond (Mascara, Matemore). Les dépôts de marne plastique et d'argile du Miocène masquent considérablement le substrat accidenté sous-jacent. Néanmoins, l'activité tectonique continue d'influencer les modèles de sédimentation, entraînant le développement de calcaires lacustres du Pliocène dans les zones effondrées, caractérisées par une réduction de l'épaisseur à proximité des blocs géologiques élevés.

**Chapitre III :**  
Contexte  
hydrogéologique

**III.1.Introduction :**

L'utilisation des ressources en eau souterraine dans la plaine de Ghriss revêt une importance significative, notamment en raison du rapport élevé entre les eaux souterraines et les eaux de surface. Il est impératif de prendre en compte les aquifères potentiels tout en reconnaissant la présence de formations rocheuses qui constituent des barrières imperméables et des obstacles structurels. L'agriculture représente le secteur le plus important en termes de consommation d'eau dans les plaines. L'irrigation des terres agricoles et l'approvisionnement en eau potable des zones urbaines sont facilités par l'extraction de l'eau à partir d'un vaste réseau de plus de 5 000 points d'extraction, provenant principalement d'aquifères calcaires dolomitiques. L'étude géologique de la plaine de Ghriss a considérablement amélioré notre compréhension du cadre hydrogéologique. Les conditions influant sur l'approvisionnement de chaque aquifère ont été déterminées. L'évaluation hydrogéologique vise à délimiter les différents niveaux d'eau et leur distribution géographique, en plus de formuler des stratégies pour la gestion et l'exploitation de ces couches aquifères.

**III.2.Etude des nappes :**

La plaine de Ghriss constitue une entité hydrogéologique distincte, caractérisée par l'entrelacement d'aquifères perméables entrecoupés de formations géologiques imperméables qui facilitent la rétention et la recharge de ces systèmes aquifères. Les recherches menées dans la région ont permis d'identifier trois couches principales d'eaux souterraines régionales.

**III.2.1.Aquifère plio-quadernaire :**

Cet aquifère non confiné, composé de dépôts alluviaux, de calcaires blancs altérés poreux et fissurés, de sables de désintégration, de grès et de calcaires lacustres, couvre l'ensemble de la plaine. Cet aquifère superficiel (également appelé nappe phréatique plio-quadernaire) se recharge principalement par l'infiltration de précipitations dans son bassin versant, en plus du flux de retour vers le système d'eau souterraine des zones irriguées. En outre, il bénéficie de contributions latérales provenant de l'aquifère jurassique au sud et au sud-est, ainsi que de l'aquifère calcaire et gréseux de l'époque pliocène au nord. La limite géologique de cet aquifère est constituée de marnes

du Miocène. La fluctuation de cette nappe phréatique varie généralement de -6 à -80 mètres par rapport à la surface. Les flux hydrauliques sont dirigés vers un point de décharge commun appelé Ain Fekan, qui correspond à une source actuellement desséchée. Le taux d'infiltration est estimé à environ 20 % des précipitations reçues dans la plaine. Les valeurs de transmissivité des alluvions présentes dans la plaine fluctuent entre  $5 \times 10^{-5}$  et  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. La région de Guerdjoum, située à proximité sud-ouest de la ville de Ghriss, représente la zone la plus faible perméabilité de la région, avec une transmissivité moyenne de  $10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. Ces valeurs sont dérivées d'essais de pompage effectués dans cinquante puits agricoles répartis dans la région. Néanmoins, les informations concernant la durée ou les méthodologies utilisées dans ces essais de pompage réalisés au début des années 1970 sont insuffisantes. Le coefficient de stockage présente une variabilité comprise entre 0,1 et 0,25 en moyenne, ce qui indique la porosité importante caractéristique de l'aquifère plio-quadernaire. (Sourisseau 1972)

### **III.2.2. Aquifère calcaire et grès du Pliocène :**

Cet aquifère, caractérisé par du calcaire lacustre du Pliocène, est exposé dans la région montagneuse de Beni Chougrane. Les grès astiens sont géologiquement associés à ces formations calcaires, constituant collectivement une unité hydrogéologique singulière. Au nord de Tighennif, les affleurements de grès présentent des dimensions considérables, tandis que l'aquifère de grès se confine au sud, sous une couche de calcaire lacustre présentant un faciès marneux. La couche aquifère, composée de calcaires lacustres et de grès, s'incline sous la plaine et finit par disparaître vers le sud, délimitée par une frontière qui relie Djebels Emfous et Bouradou au nord des montagnes de Saïda. Il repose sur un horizon de très faible perméabilité, composé d'argile rouge dans la région sud et caractérisé par une épaisseur importante de marnes dans la zone nord, s'étendant au nord de la ligne Tizi-Matmore. Le point de rejet principal de cet aquifère est en interface avec les formations plio-quadernaires, à partir desquelles l'eau de l'aquifère remonte par percolation. La possibilité d'un drainage vers le bas de cet aquifère est extrêmement improbable, en raison de l'épaisseur considérable et de la faible perméabilité du substrat sous-jacent. Le niveau piézométrique de l'eau souterraine contenue dans les calcaires lacustres fluctue entre 23 et 50 m par rapport à la surface du sol, tandis que le niveau piézométrique dans les grès varie entre 6 et 23 m au-dessus du sol. Des tests de pompage effectués sur des forages accédant à cette formation du Pliocène ont indiqué une valeur de transmissivité comprise entre  $5 \times 10^{-5}$  et  $3 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Le

coefficient de stockage de ces formations géologiques est estimé à environ  $5 \times 10^{-3}$ . (Sourisseau 1972)

### **III.2.3.Aquifère calcaire dolomitique jurassique :**

Cet aquifère est caractérisé comme un aquifère karstique ayant connu une évolution significative. Les calcaires et les dolomites jurassiques sont exposés sur les montagnes de Saïda ainsi que sur les Djebels Emfous et Bouradou. La circulation de l'eau est facilitée par un réseau karstique situé sous la plaine, qui dirige le flux vers la source d'Ain Fekan. À ce stade, les eaux de l'aquifère remontent lorsqu'elles rencontrent une faille adjacente aux argiles de grès imperméables associées à la période du Crétacé. De plus, cet aquifère est réapprovisionné par des gisements de galets et de conglomérats provenant de la région du Piémont. Les limites latérales de cet aquifère sont constituées de roches calcaro-dolomitiques robustes, compactes et non fissurées. La limite supérieure est constituée de marnes du Miocène ou d'argiles détritiques rouges datant du Pliocène. Les caractéristiques hydrodynamiques, dérivées d'essais de pompage effectués sur des trous de forage accédant à cette formation géologique, sont estimées entre  $10^{-4}$  et  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s pour la transmissivité, et environ  $3 \times 10^{-3}$  pour le coefficient de stockage. (Bekkoussa et al. 2008)

### **III.3.Gestion et exploitation :**

#### **III.3.1.Gestion :**

##### **III.3.1.1.Description du réseau piézométrique dans la plaine de Ghriss :**

Jusqu'en 1998, le suivi piézométrique dans la plaine de Ghriss se concentrait principalement sur l'aquifère quaternaire, à travers un réseau témoin composé majoritairement de puits. Par la suite, sept piézomètres ont été ajoutés, portant le nombre total à 76 puits d'observation. Cependant, seuls 41 de ces puits présentent un niveau d'eau mesurable ; les autres sont soit secs, soit inaccessibles en raison de leur abandon, de leur localisation dans des zones hostiles ou de leur fermeture. Cette situation est attribuée à plusieurs facteurs, notamment l'abaissement des niveaux des nappes, l'assèchement des puits peu profonds, la prolifération de forages illicites atteignant souvent le substratum, l'approfondissement des ouvrages existants et la persistance de la sécheresse depuis

plusieurs années. Ces conditions ont entraîné des modifications fréquentes dans le réseau d'observation, avec de nombreux puits devenus secs ou ayant nécessité un approfondissement.

**III.3.1.2-L'évolution des fluctuations du niveau d'eau dans la plaine de Ghriss :**

Suscite une vive inquiétude, puisque celui-ci a récemment franchi le seuil critique tant redouté. Actuellement, le niveau statique dans les puits dépasse les soixante-dix (70) mètres. Pour faire face à cette situation, les agriculteurs ont recours au forage de puits profonds, atteignant parfois plus de 100 mètres, ce qui rend difficile, voire impossible, l'utilisation de sondes de mesure de pression. Par ailleurs, l'usage persistant de méthodes d'irrigation traditionnelles, associé à la culture exclusive de la pomme de terre une plante fortement consommatrice d'eau contribue à l'aggravation de la baisse généralisée de la nappe dans cette région. **(H. Benfetta.2011)**

<b>N° du puits /carte</b>	<b>Mars 1970</b>	<b>Mars 2002</b>	<b>Rabattement</b>
W212-0242	2.64	48.21	45.57
W212-0381	2.75	48.91	46.16
W212-0152	5.15	Sec	-----
W212-0519	14.08	65.41	51.33
W212-0290	10 .60	36.15	25.55
W213-0810	16.10	69.02	52.92
W213-01014	8.60	40.88	32.28

**Tableau 11 :** Variation du niveau du plan d'eau dans les puits témoins entre Mars 1970 et Mars 2002

N° piézomètre	NS (m) Jan 97	NS (m) Jan 02	rabattement
P1-1	40.52	Sec	50
P1-2	56.86	78.81	19.95
P3	51.24	57.16	5.92
P4	54.42	82.44	28.01
P5	53.32	72.41	19.09
P6	16.47	18.60	2.13
P7	34.94	38.90	3.96

**Tableau 12 :** Evolution du plan d'eau dans les piézomètres entre Janvier 97 et Janvier 2002

Le tableau 10 illustre la stabilité des niveaux d'eau et les baisses d'hydratation observées entre mars 1970 et mars 2002. Les données démontrent sans équivoque une baisse importante des niveaux d'eau, présentant une amplitude négative supérieure à 53 mètres à certains endroits. Ce phénomène suggère que la plaine de Ghriss est entrée dans une situation précaire qui met en danger sa viabilité fondamentale. D'après le tableau 12, on peut constater que :

- Le manomètre P1-1, situé à 50 mètres sous la surface, suit le niveau des eaux souterraines appauvries depuis juillet 1999 jusqu'à aujourd'hui.
- Le manomètre P1-2, chargé de surveiller le niveau d'eau dans le calcaire marin, a enregistré une réduction d'environ 20 mètres entre janvier 1997 et janvier 2002.

Les observations effectuées à l'aide de piézomètres révèlent que tous les niveaux des eaux souterraines sont influencés de manière significative par des dépressions prononcées. De plus, la couche de calcaire dolomitique, qui était auparavant considérée comme une couche de réserve en raison de la profondeur importante de son plafond, a également été touchée. Une analyse comparative du niveau constant du manomètre P1-2, par exemple, au cours des années 1997, 1999 et 2001, montre sans équivoque que le niveau de l'eau, qui mesurait environ 60 mètres en septembre 1997, est monté à près de 75 mètres au cours du mois correspondant de 1999, pour ensuite dépasser les 80 mètres en 2001. En outre, il devient évident que la baisse des niveaux d'eau pendant les mois

d'été est nettement plus marquée que pendant la période des précipitations, au cours de laquelle il y a une réduction notable de la recharge des eaux souterraines. En septembre 1997, le niveau de l'eau est monté à environ 75 mètres au cours du même mois de 1999 avant de dépasser 80 mètres en 2001. Les études portant sur les mesures de niveau constant du manomètre P1-2, ainsi que sur les données de précipitations provenant de la plaine au cours des années 1997, 1999 et 2002, corroborent le fait que la baisse du niveau des eaux souterraines est plus prononcée pendant les périodes de faibles précipitations. En effet, la saison des pluies génère une charge minimale qui s'épuise rapidement pendant les mois d'été, car la zone est principalement agricole.

**III.3.2. Exploitation :**

**III.3.2.1. Les barrages :**

La région de Mascara abrite quatre barrages (**Figure 13**), qui possèdent collectivement une capacité volumétrique initiale de 273 millions de mètres cubes, avec un taux de remplissage de 75 %. En outre, comme indiqué dans le Tableau I, le barrage de Fergoug a connu une réduction significative de sa capacité de stockage, quantifiée à 78 %, en raison de l'état d'envasement prononcé affectant le barrage. Dans ce contexte, il convient de souligner que la durée de vie opérationnelle prévue d'un barrage en Algérie est généralement estimée à 30 ans. Sur la base des caractéristiques des différents barrages de la région de Mascara détaillées dans le Tableau, la contribution du barrage de Fergoug est pratiquement insignifiante. En effet, ce barrage présente un taux d'envasement particulièrement élevé de 78 %. Parmi les huit communes desservies au sein de la wilaya, les communes de Sig et Mohammadia sont responsables des prélèvements d'eau les plus élevés, à savoir : 65 litres par seconde et 93 litres par seconde, respectivement. (**K .SEMARI 2012**).

<b>Barrages</b>	<b>Date d'achèvement</b>	<b>Capacité initiale (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Capacité dernier levé (hm<sup>3</sup>)</b>
<b>Bouhanifia</b>	1948	73	38
<b>Chorfa</b>	1954	82	70
<b>Fergoug</b>	1970	18	4
<b>Ouizert</b>	1986	100	94
<b>Total</b>	-----	273	206

**Tableau 13 :** Caractéristiques des barrages situés dans la région de Mascara

**III.3.2.2. Les retenues collinaires**

Neuf réservoirs collinaires sont actuellement opérationnels. Ces réservoirs sont administrés par la Direction hydraulique de wilaya (DHW) et sont destinés à des fins d'irrigation et de subsistance du bétail. (K .Semari .2012)

**III.3.2.3. Les forages :**

Forages Le nombre cumulé de forages opérationnels s'élève à 125, soit un débit total de 1 500 L/s. En outre, 118 trous de forage sont destinés à la fourniture d'AEP, trois étant réservés à des fins industrielles et quatre à des fins agricoles. Les profondeurs de ces trous de forage varient de 82 mètres à 648 mètres, ces mesures respectives correspondant aux profondeurs de forage de Tighennif et d'Ain Ferah. Les municipalités caractérisées par un nombre important de forages sont notamment Mascara, Tighennif et Hachem. (K .Semari .2012)

**III.3.2.4. Les puits :**

Il existe au total trois puits, produisant collectivement un débit de 9 L/s, administrés par l'Assemblée populaire communale (APC) et destinés à l'AEP. Les profondeurs des puits, qui sont situés dans toute la plaine de Ghriss, vont de 50 mètres à 190 mètres. (K .Semari .2012)

**III.3.2.5. Les sources :**

La wilaya de Mascara dispose de plusieurs sources naturelles réparties sur son territoire. Parmi elles, trois sources principales Ouled Ali Bouziane, Ain Guetarra et Sidi Dahou se distinguent par des débits relativement élevés, allant de 2 à 15 litres par seconde, comme l'indique le tableau 13. Ces sources jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau potable (AEP) des populations locales.

Commune	Nom de source	Débit moyen (L/s)
Chorfa	Ouled Ali Bouziane	2
El gaada	Ain Guetarra	3
Mamounia	Sidi Dahou	15

**Tableau 14:** Caractéristiques des sources existantes dans la région de Mascara

L'auteur a également mentionné dans son article les solutions et mesures qui ont été prises pour lutter contre la mauvaise utilisation des eaux souterraines dans la zone étudiée, qui provoque des problèmes tels que la sécheresse, la pollution et d'autres problèmes. Ces mesures sont les suivantes :

Réhabiliter le réseau de surveillance piézométrique afin d'établir un cadre de surveillance pour dissuader le développement d'opérations de forage illégales ou excessivement profondes.

Innovation pour une technologie d'irrigation plus rentable, notamment grâce à l'irrigation goutte à goutte, tout en introduisant un nombre limité de nouvelles variétés de cultures pour les utilisateurs d'eau.

L'évaluation de la densité et de la profondeur des cultures est essentielle à la croissance des racines, essentielle à la nutrition.

Réguler la demande et la consommation d'eau

- Atténuer la surexploitation des ressources en eau en utilisant des méthodes alternatives

D'utilisation de l'eau telles que le dessalement de l'eau de mer ou la mise en place d'installations de traitement des eaux brutes.

Renforcement des réservoirs collinaires pour faciliter la recharge du système d'eau souterraine.

Envisager de répondre aux besoins régionaux (approvisionnement en eau, irrigation, etc.) en explorant la possibilité d'obtenir de l'eau à partir d'un bassin versant alternatif des eaux souterraines.

Considérez le processus de recharge artificielle, qui consiste à injecter de l'eau dans l'aquifère pour élever le niveau des eaux souterraines. **(H. Benfetta.2011)**

**III.4.Conclusion :**

La wilaya de Mascara, située dans l'étendue nord-ouest du territoire algérien, représente une zone agricole où les ressources souterraines sont principalement exploitées par rapport aux ressources de surface ; ce phénomène est illustré par la baisse marquée des niveaux piézométriques constatée au cours des dernières décennies. Les précipitations ont un effet direct sur le réapprovisionnement des systèmes d'eau souterraine et d'eau de surface, ce qui influence par la suite la mobilisation des ressources en eau dans la région. La région est soumise à la double influence climatique des conditions méditerranéennes et sahariennes, caractérisées par de fortes irrégularités dans les régimes pluviométriques. En effet, une analyse des enregistrements de précipitations révèle une trajectoire ascendante perceptible tout au long de l'intervalle allant de 2000 à 2005. Une enquête approfondie sur les sources d'approvisionnement de la région révèle l'existence de barrages, de réservoirs collinaires, de forages, de puits et de sources sur le territoire de Mascara. Cela souligne l'importance considérable de ces ressources en termes de quantité et de disponibilité temporelle. En outre, une évaluation de l'allocation municipale effective moyenne indique que 60 % des municipalités enregistrent actuellement un excédent de l'approvisionnement moyen en eau potable, tandis que 40 % des municipalités connaissent un déficit hydraulique. Dans l'ensemble, la situation s'est considérablement améliorée au cours de la période allant de 2000 à 2008. Ce résultat favorable peut être attribué aux investissements importants entrepris par l'État dans le secteur de l'eau, visant à améliorer l'AEP, notamment par la mise en place d'infrastructures hydrauliques, la mobilisation des ressources en eau et le raffinement des réseaux d'approvisionnement et de distribution. Pour garantir la durabilité à long terme, cette stratégie nécessite l'incorporation d'un plan complet pour la gestion judicieuse des infrastructures et l'utilisation optimale des ressources en eau.

# **Chapitre IV :**

## **Résultats et discussion**

**IV.1. Introduction :**

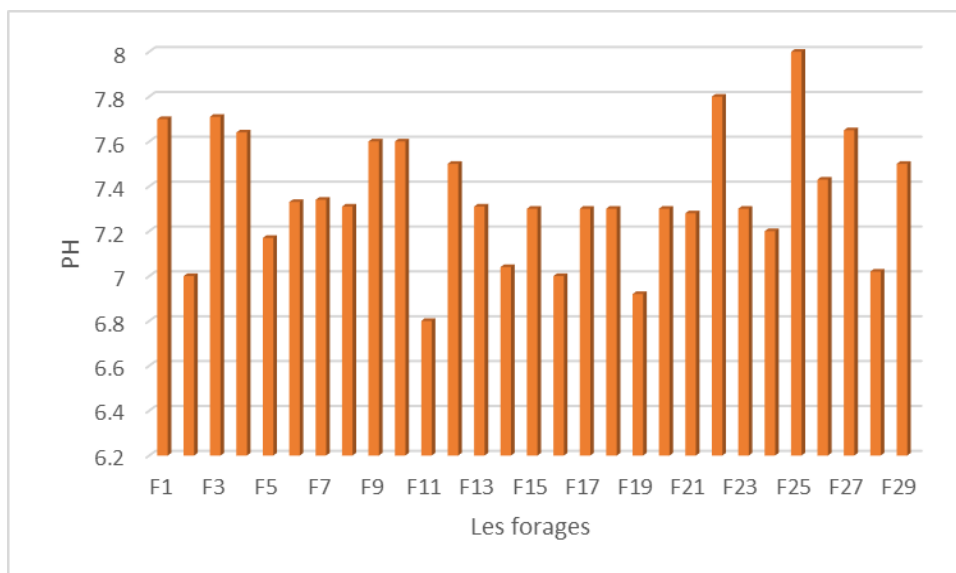
Dans ce chapitre, nous avons effectué des analyses physico-chimiques des eaux souterraines dans la région de Mascara (plaine de Ghriss). Cette recherche vise à analyser les propriétés chimiques et hydrogéologiques des eaux de la nappe des calcaires dolomitiques du Jurassique. Pour mener à bien l'étude, nous avons exploité les données de 29 puits captant les eaux souterraines de cette nappe. L'analyse s'est concentrée sur les éléments majeurs suivants :  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$  pour les cations et  $HCO_3^{-}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $NO_3^{-}$ , pour les anions. Les calculs et les comparaisons d'analyses sont grandement facilités en exprimant les teneurs en éléments en milliéquivalents par litre plutôt qu'en mg/L.

**IV.2.Présentation des résultats d'analyses :**

**IV.2.1.Les paramètres physiques :**

**IV.2.1.1.Potentiel Hydrogène (pH) :**

Est une mesure de l'activité chimique des protons ou ions hydrogène en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous forme d'ions hydronium (ion  $H^{+}$  hydraté, ou  $H_3O^{+}$ ) L'acidité moyenne dans la zone étudiée est de 7.40, Nous pouvons donc conclure que l'eau de cette plaine est considérée comme neutre à légèrement basique.

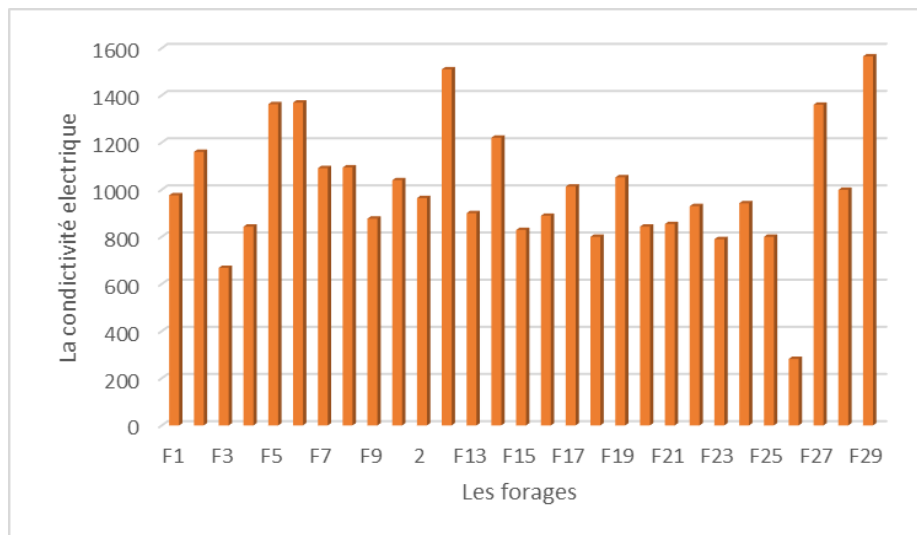


**Figure 10 :** Histogramme de la variation du pH des eaux dans la plaine de Ghriss

#### IV.2.1.2. La Conductivité électrique CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) :

La conductivité électrique est un phénomène physique qui permet aux charges électriques de traverser librement un corps, qu'il soit solide ou liquide. Dans le cas de l'eau, cela reflète la capacité de l'eau à laisser passer un courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la teneur totale en minéraux présents dans l'eau.

Dans la plaine de Ghriss, sa valeur moyenne est de 923. La valeur la plus basse est de 282 et la valeur la plus élevée est de 1565. À partir de ces valeurs, nous pouvons dire qu'il ne s'agit ni d'eau complètement douce ni complètement salée, c'est-à-dire qu'elle est modérément salée.



**Figure 11:** Histogramme de la conductivité électrique des eaux

#### IV.2.2. Les paramètres chimiques :

##### IV.2.2.1. Les anions majeurs :

##### IV.2.2.1.1. Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) :

Les concentrations de sulfates (**Figure 12**) dans l'eau de la région sont généralement moyennes, variant de 20 mg/L à 144 mg/L. Cette présence importante de sulfates est principalement liée à dissolution de formations évaporitiques, telles que le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ).

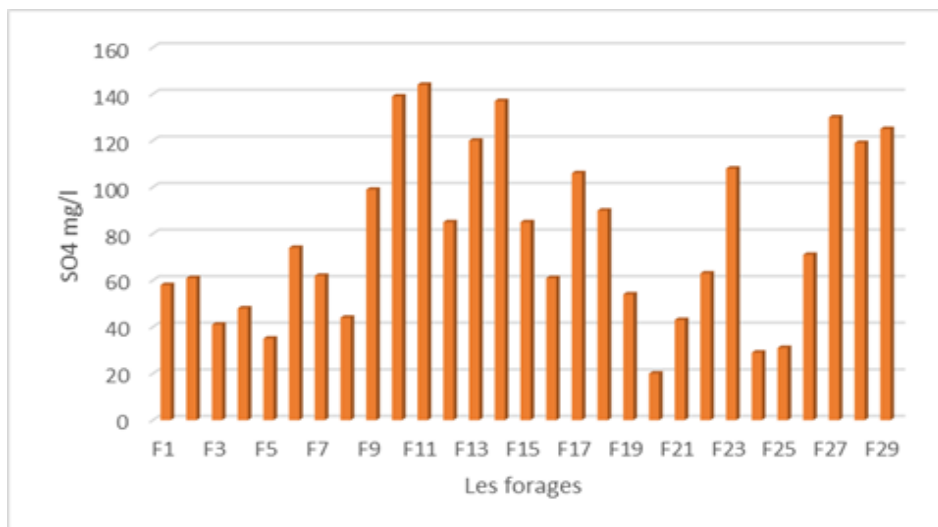


Figure 12 : Histogramme de variation spatiale des sulfates

IV.2.2.1.2. Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>) :

La présence de cet élément chimique dans les eaux souterraines s'explique par la dissolution de sels naturels, notamment la sylvite (KCl) et l'halite (NaCl). Il est naturellement présent dans l'environnement à des concentrations variables et sert d'indicateur de l'intrusion d'eau de mer ancienne ou de l'impact des activités humaines, telles que l'utilisation excessive d'engrais chimiques en agriculture ou l'infiltration d'eaux usées. Cette influence est confirmée par les concentrations élevées de chlore observées dans certains puits, atteignant jusqu'à 420 mg/L.

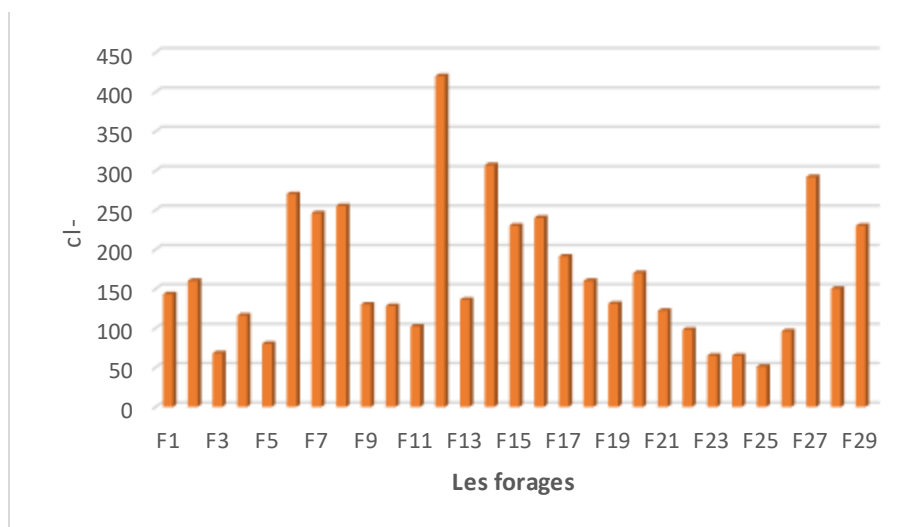
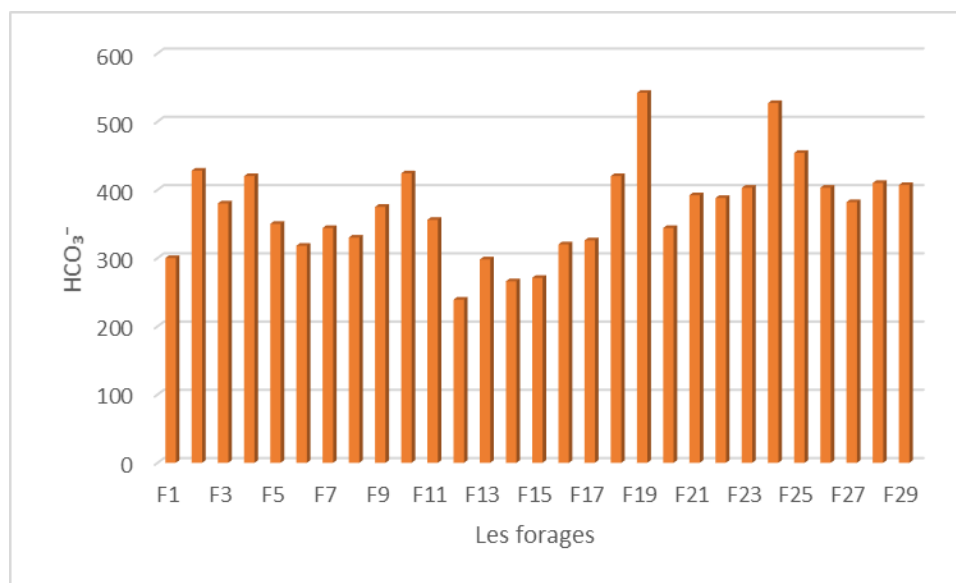


Figure 13 : Histogramme de variation spatiale des chlorures

**IV.2.2.1.3. Les bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$  (mg/l) :**

La concentration de  $\text{HCO}_3^-$  (**Figure 104**) dans les eaux de cette plaine varie entre 239 et 542 mg/L, ce qui reflète des proportions significatives. Ces valeurs indiquent une dissolution de formations carbonatées, notamment le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) et la dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ ).



**Figure 14** : Histogramme de variation spatiale des bicarbonates

**IV.2.2.1.4- Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :**

L'ion nitrate est la forme oxydée de l'azote. Ses sources naturelles sont la pluie et les interactions avec le sol et les plantes, et ses sources artificielles sont l'activité humaine comme la pollution agricole (engrais chimiques) et la pollution de l'air. Les teneurs en nitrates de cette eau sont inférieures à la norme (50 mg/l) sauf pour le forage F6 qui présente une concentration de 66 mg/L.

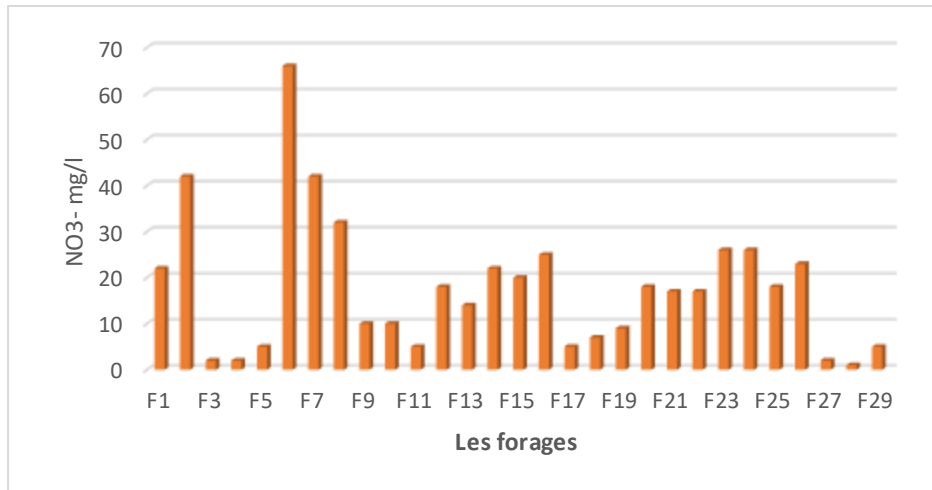


Figure 15 : Histogramme de variation spatiale des nitrates

IV.2.2.2- Les cations majeurs :

IV.2.2.2.1- Le Calcium (Ca<sup>2+</sup>) :

La présence d'ions calcium (Ca<sup>2+</sup>) dans l'eau résulte soit de la dissolution de formations carbonatées, telles que la calcite (CaCO<sub>3</sub>) et la dolomite [(Ca, Mg) CO<sub>3</sub>], soit de la dissolution de formations évaporitiques, notamment le gypse [CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O] et l'anhydrite (CaSO<sub>4</sub>). Ses concentrations varient entre 43 et 146 mg/L dans cette plaine, ce qui est conforme aux normes algériennes de potabilité de l'eau et aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (200 mg/L).

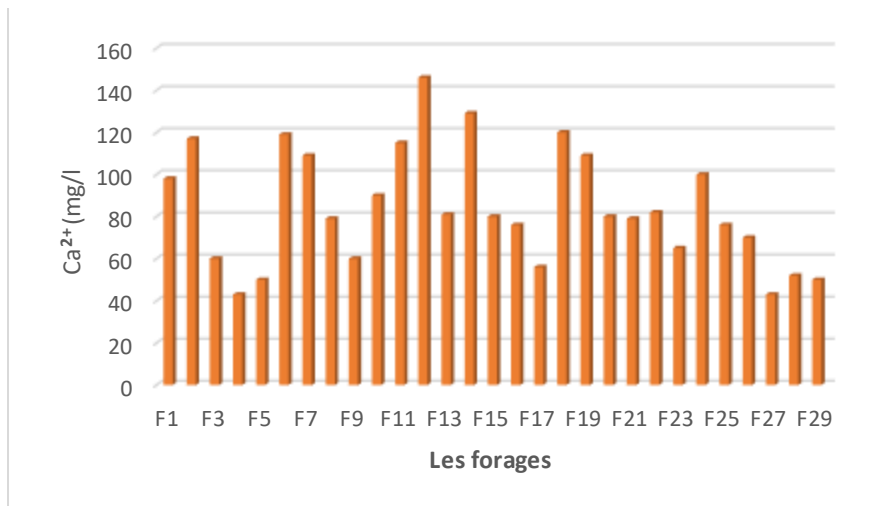
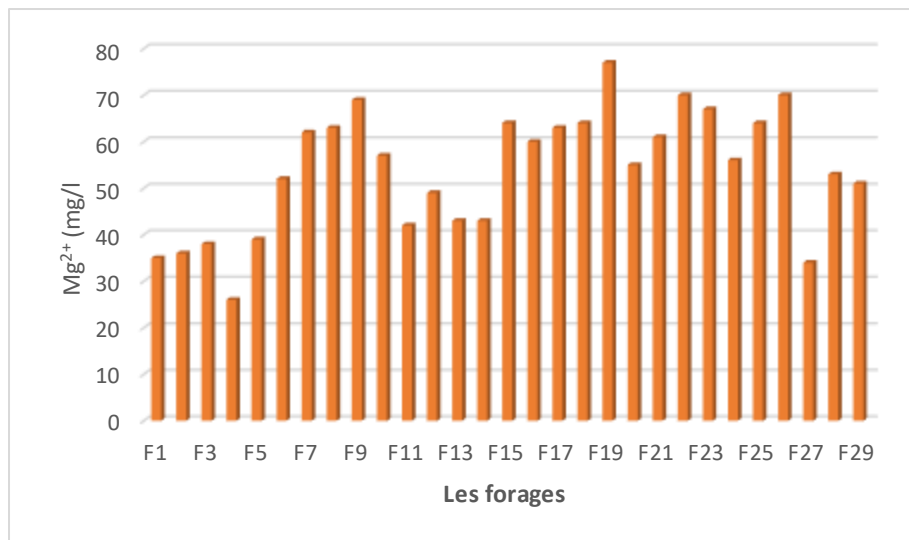


Figure 16: Histogramme de variation spatiale du calcium

#### IV.2.2.2.2. Le Magnésium ( $Mg^{2+}$ ) :

Le magnésium est un élément largement répandu, présent principalement dans les roches évaporitiques sous forme de sels de magnésium, notamment la carnallite ( $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ ), la kiesérite ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ) et la dolomite carbonatée  $[(Ca, Mg) CO_3]$ . Dans cette plaine, les concentrations de magnésium dans les eaux souterraines varient de 26 mg/L à 77 mg/L, restant conformes aux normes algériennes de potabilité de l'eau et aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (150 mg/L).



**Figure 17 :** Histogramme de variation spatiale du magnésium

#### IV.2.2.2.3. Le Sodium ( $Na^+$ ) :

Le sodium ( $Na^+$ ) trouve principalement son origine dans la dissolution des formations salifères très solubles, notamment l'halite ( $NaCl$ ). Ce processus de dissolution libère des ions sodium dans l'eau, ce qui explique leur présence dans les ressources en eau souterraine. Dans la région, les concentrations en sodium varient de 14 mg/L à 290 mg/L, reflétant les interactions entre l'eau et les formations géologiques riches en sel. Ces valeurs restent conformes aux normes de potabilité établies, garantissant une qualité de l'eau adaptée à la consommation.

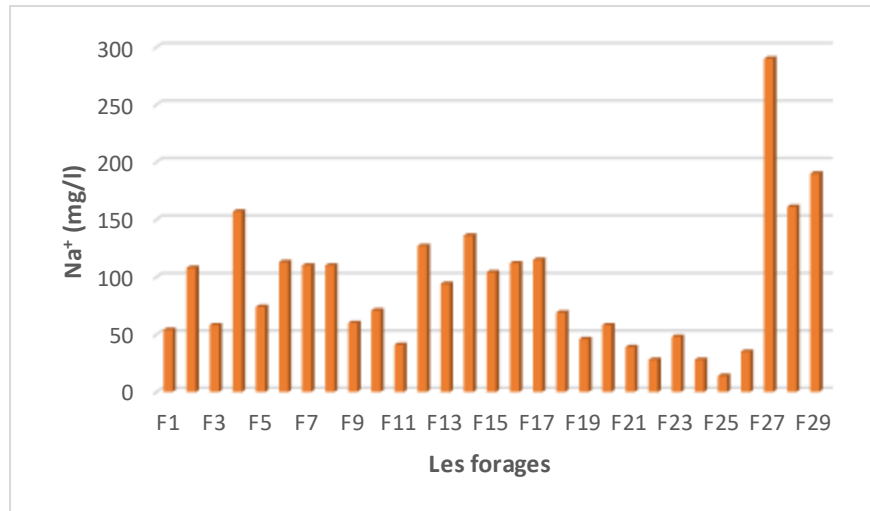


Figure 18 : Histogramme de variation spatiale du Sodium

**IV.2.2.2.4. Le Potassium (K<sup>+</sup>) :**

Des concentrations élevées de potassium sont observées dans l'eau des formations argileuses, ainsi que dans l'eau ayant traversé des couches d'évaporites riches en sylvite (KCl) et en carnallite. Dans cette plaine, les teneurs en potassium (K<sup>+</sup>) varient entre 0,05 et 23 mg/L. Toutes les valeurs sont inférieures aux normes algériennes pour l'eau potable et aux recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) de 20 mg/L, à l'exception du forage 10, qui a dépassé cette norme, ce qui peut s'expliquer par l'intensité de l'activité agricole.

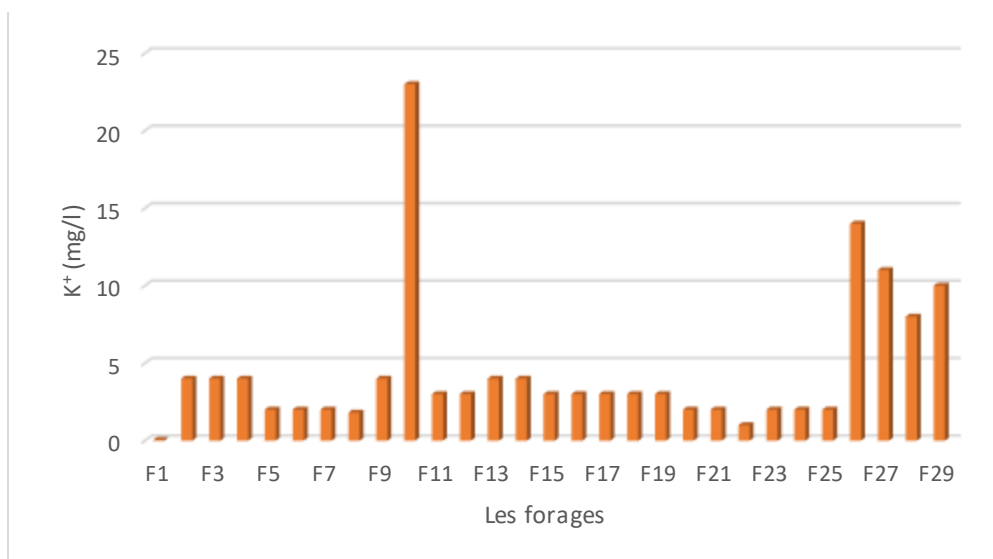


Figure 19 : Histogramme de variation spatiale du Potassium

- **Présentation du tableau :**

Ce tableau présente les principales caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines prélevées dans les forages étudiés, avec l'indication des valeurs minimales, maximales, écart type et le moyenne de chaque paramètre. Ces données sont comparées aux normes algériennes et internationales.

Paramètre	N.A	N.O.M.S	Min	Max	Moy	Ecart-type
PH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.8	8	7.35689655	0.28281876
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	2800	1000	282	1565	1000.75862	265.181428
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	400	250	20	144	78.6896552	37.2454249
$\text{Cl}^-$ (mg/l)	500	250	51	420	167.310345	87.4385921
$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	300	240	239	542	373	69.9698915
$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	50	50	1	66	17.6206897	14.5979788
$\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	200	200	43	146	83.9310345	27.7693704
$\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	150	150	26	77	53.8965517	13.1403001
$\text{Na}^+$ (mg/l)	200	200	14	290	91.3793103	58.6840291
$\text{K}^+$ (mg/l)	20	20	0.05	23	4.47758621	4.72012383

**Tableau 15 :** Variations des paramètres physico-chimiques en (mg/l)

- **Analyse et interprétation des résultats :**

D'après le tableau, l'acidité moyenne des eaux de la zone étudiée est de 7,40, ce qui signifie que l'eau est proche de la neutralité, avec une légère tendance basique ( $\text{pH} > 7$ ). En ce qui concerne la conductivité électrique, elle souligne que l'eau est modérément saline.

S'agissant des paramètres chimiques, la plupart des ions (cations et anions majeurs) restent en dessous des seuils fixés par les normes, à l'exception de certains cas particuliers. Nous avons remarqué que les ions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$  (F6) présentent des concentrations plus élevées que les recommandations, pouvant parfois signaler l'influence de l'activité anthropogène. De même, les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  se trouvent en quantité relativement importante, pouvant refléter l'interaction de l'eau avec certaines formations géologiques ou des apports liés à l'agriculture.

**IV.3- Faciès chimique des eaux :****IV.3.1- Par la classification de STABLER :**

La méthode de STABLER est une technique hydro-chimique utilisée pour analyser la composition chimique des eaux souterraines, identifier leurs faciès hydro-chimiques et évaluer leur origine, leur circulation et leur qualité pour la potabilité et l'irrigation en fonction des concentrations relatives des principaux ions dissous. La méthode consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale de l'eau, cette formule est :

$$r \% = (100/c) \times r$$

Avec :

r : est la quantité en réaction de l'ion considéré en  $\text{m}\ddot{\text{e}}\text{q.l}^{-1}$  ; c : la concentration totale.

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant, on obtient ainsi les différents faciès chimiques des eaux étudiées.

Les résultats d'analyses des eaux de la zone d'étude montrent l'existence deux faciès Chimiques qui est dominants dans la zone d'étude,

- Faciès Carbonaté Calcique
- Faciès Chloruré Calcique et magnésienne.

Étant donné que la lithologie de notre aquifère est dominées par les formations carbonatées, la classification de STABLER peut être exprimée comme suit : ( $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ ) ou ( $r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{2-}$ ) pour les anions. Alors que pour les cations, on a enregistré la dominance du calcium et le magnésium ( $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{Na}^+$ ).

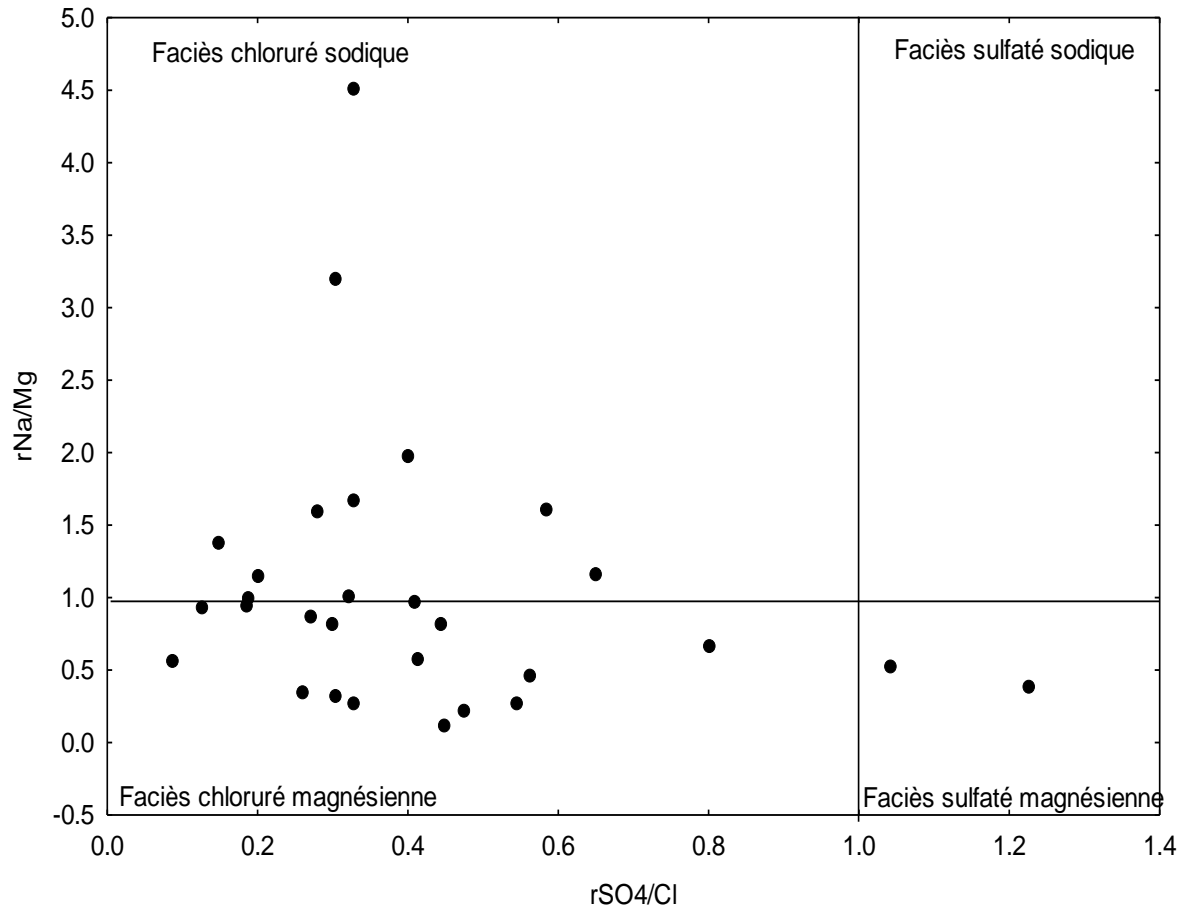


Figure 20 :Faciès chimiques par la relation rSO4/rCl vs rNa/rMg

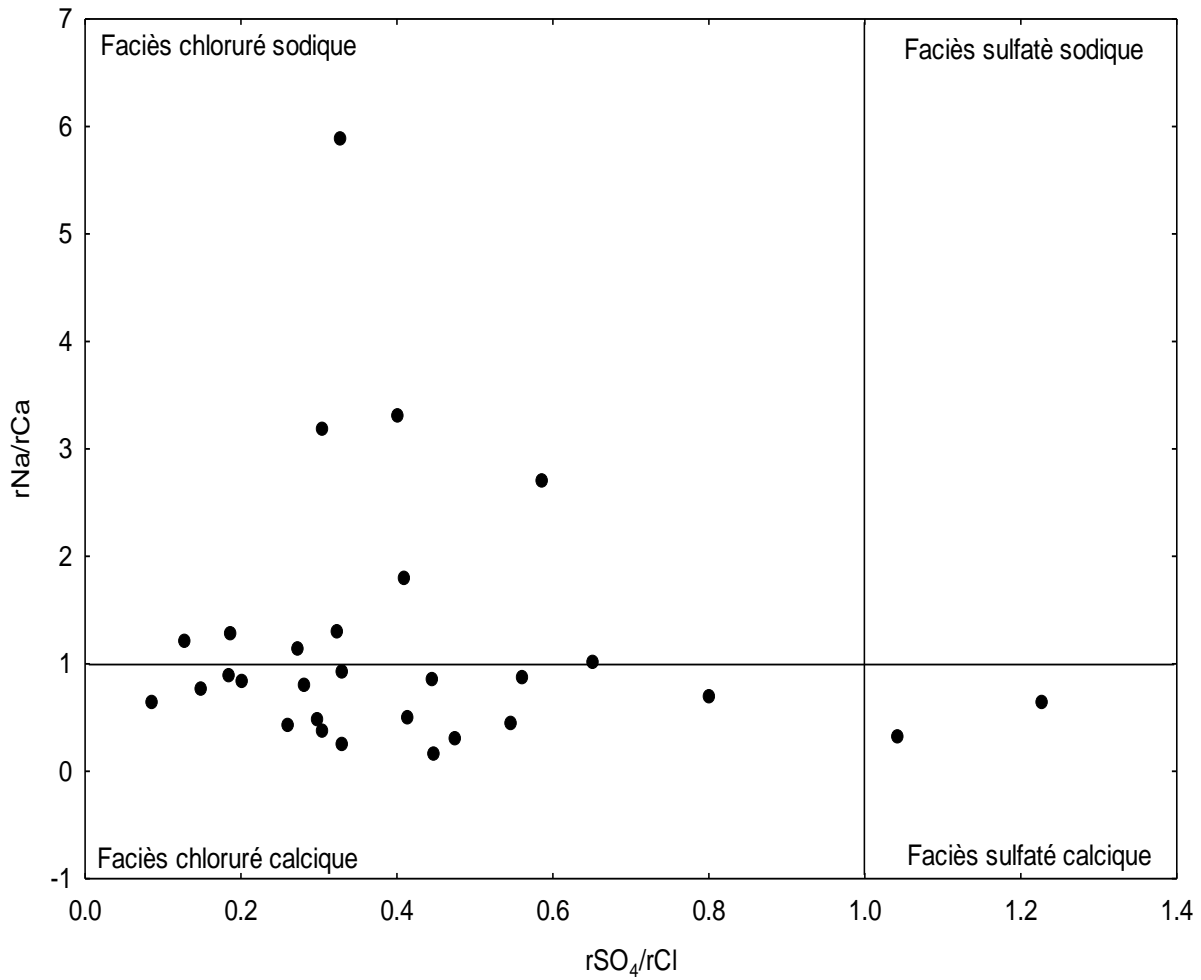


Figure 21 : Faciès chimiques par la relation  $rSO_4^{2-}/rCl^-$  vs  $rNa^+/rCa^{2+}$

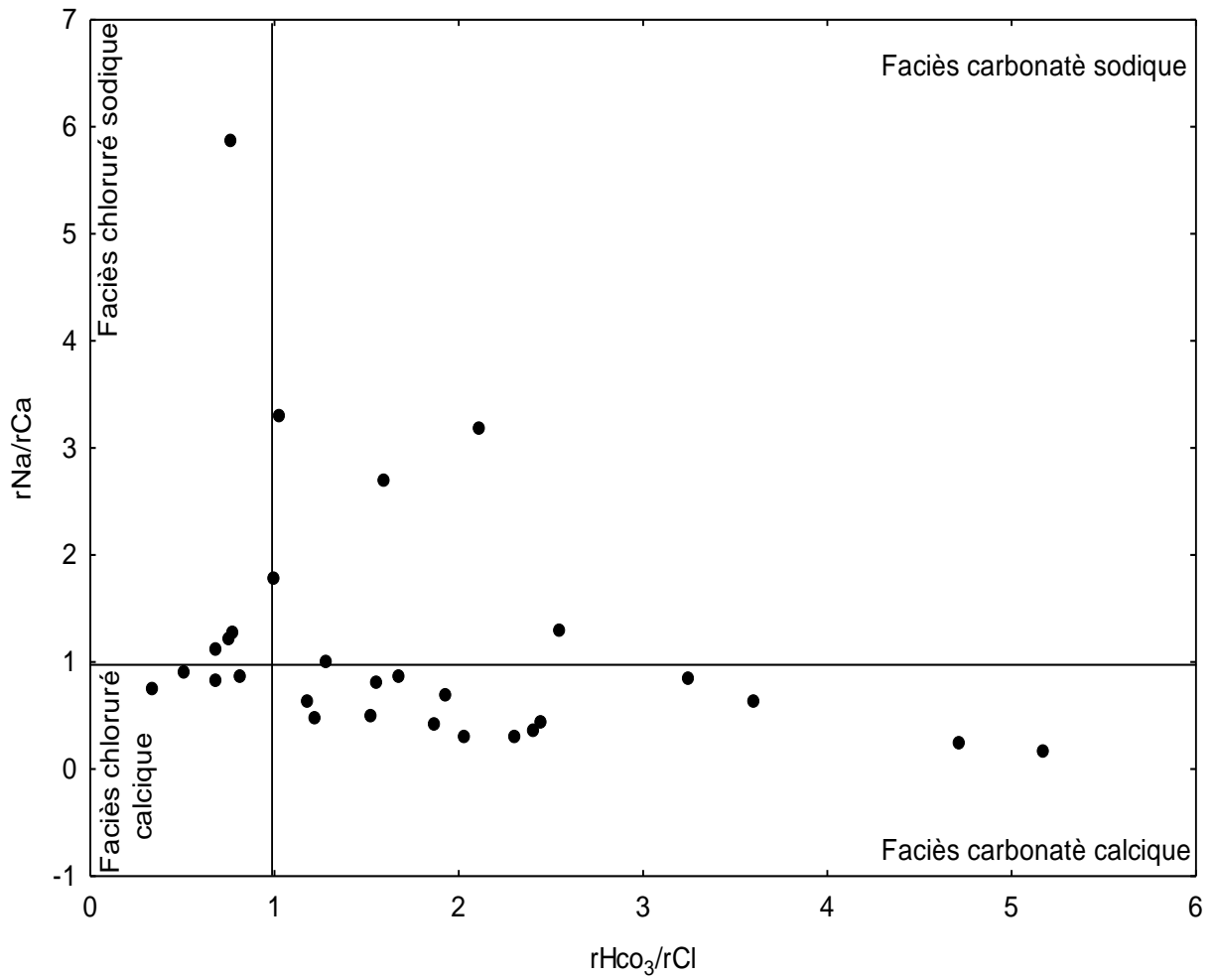
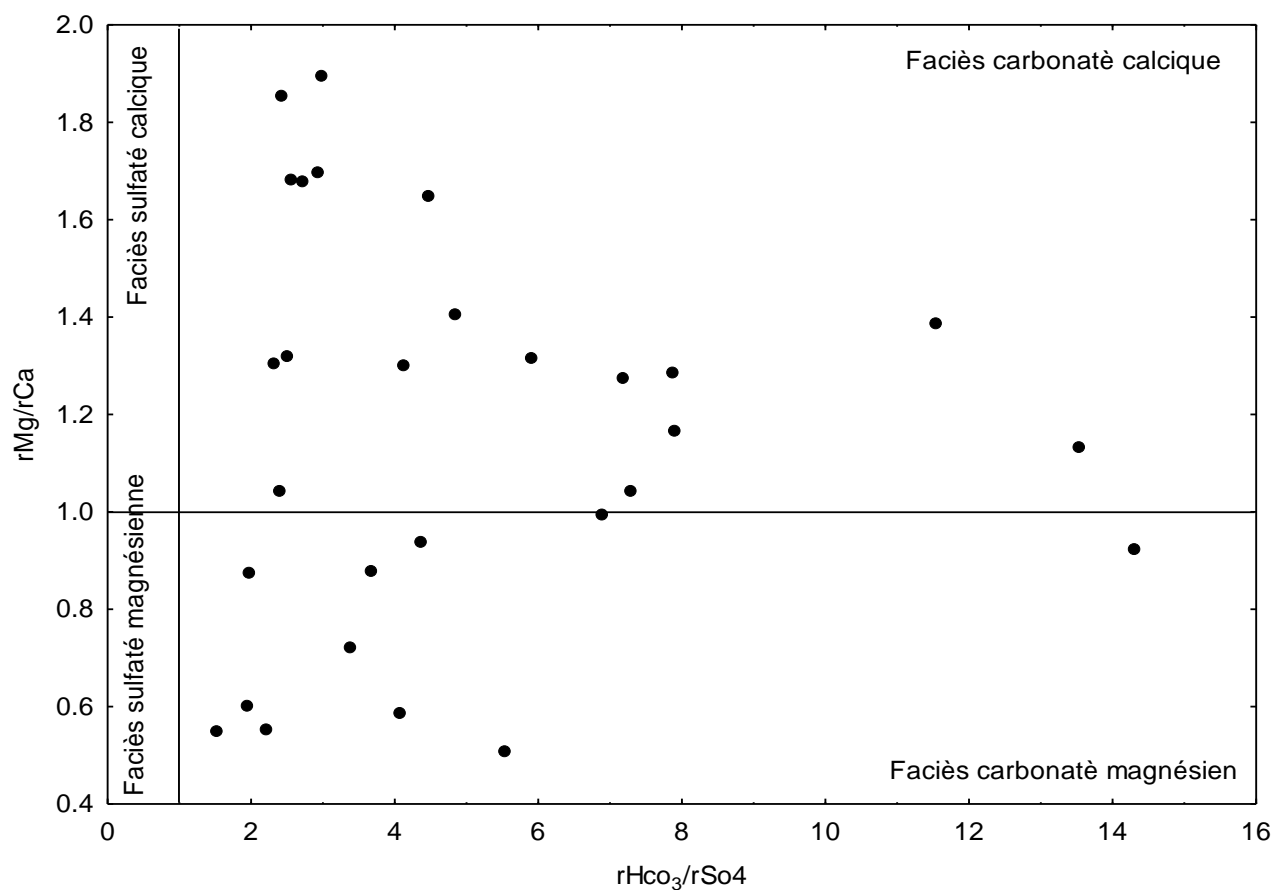


Figure 22 : Faciès chimiques par la relation  $r\text{HCO}_3^-/r\text{Cl}$  vs  $r\text{Na}^+/r\text{Ca}^{2+}$



**Figure 23 :** Faciès chimiques par la relation  $rHCO_3^-/rSO_4^{2-}$ -vs  $rMg^{2+}/rCa^{2+}$

#### IV.3.2- Par le digramme de PIPER :

Le diagramme nous permet de représenter des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de Préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux Lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de Préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

À travers le dessin suivant que nous avons réalisé dans le programme diagramme, il nous est apparu clairement que les faciès prédominants sont comme suivants :

- Faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne là où il y a une densité de points (forages) dans cette partie du diagramme, cela signifie qu'il s'agit de faciès dominant.
- Faciès bicarbonaté calcique et magnésienne il y a un grand nombre des forages dans ce domaine, que nous considérons comme le faciès secondaire.

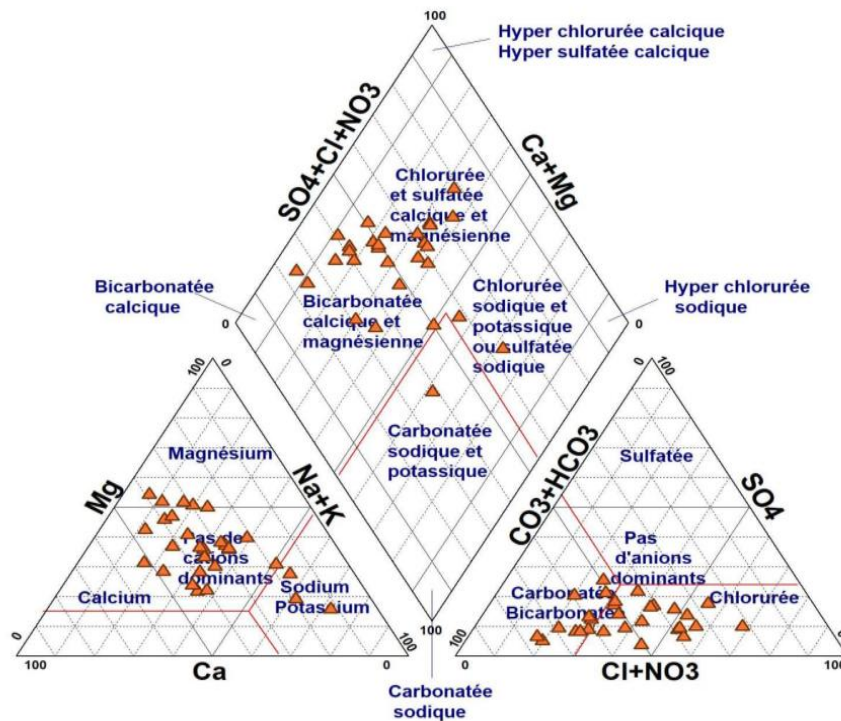


Figure 24 : Faciès chimiques Par le digramme de PIPER

#### IV.4.Origine des éléments chimiques :

##### IV.4.1.Origine des chlorures, sulfates et du sodium :

###### IV.4.1.1.La relation $r_{Na^+}/r_{Cl^-}$ :

Le graphique (Figure 27) met en évidence un nuage de points relativement aligné le long de la droite de dissolution, avec un coefficient de corrélation avoisinant  $r = 0.647$ . Cette corrélation suggère que les ions  $Na^+$  et  $Cl^-$  proviennent en grande partie d'une même source, probablement liée à la dissolution de l'halite ( $NaCl$ ). Ce constat renforce l'hypothèse selon laquelle les eaux de

la nappe sont majoritairement influencées par ce processus. Néanmoins, un excès de  $\text{Cl}^-$  est observé dans la majorité des forages, tandis que certaines données montrent une concentration élevée en  $\text{Na}^+$ , ce qui indique la possible contribution d'autres sources d'enrichissement en ces ions.

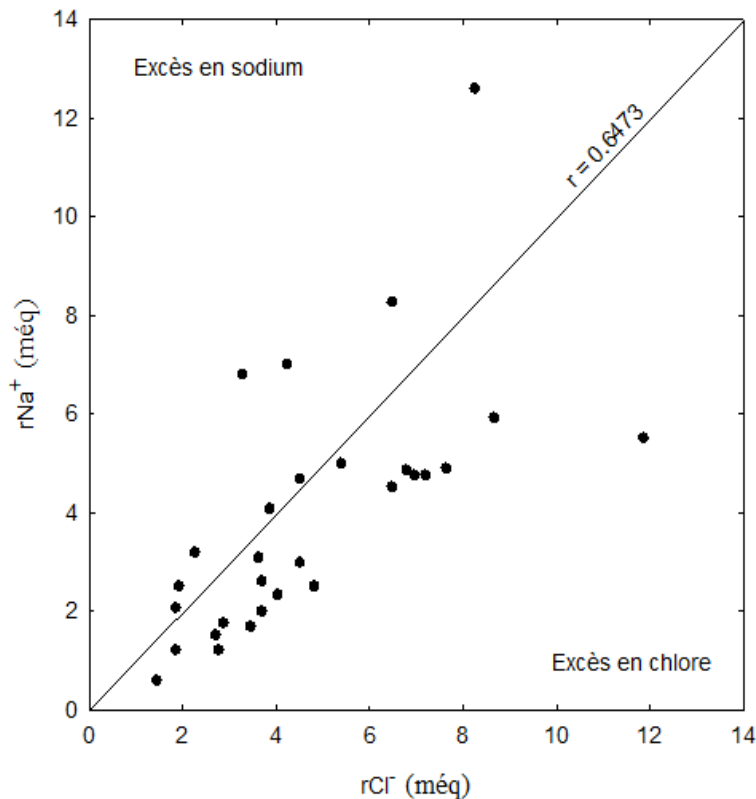


Figure 25 : La relation  $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$

#### IV.4.1.2. La relation $r\text{Ca}^{2+}/r\text{SO}_4^{2-}$ :

Le graphique (Figure 28) révèle un nuage dispersé vers le haut (On observe un excès en calcium). Avec un coefficient de corrélation de  $r = 0.0315$ . L'analyse montre que la relation entre eux est très faible. C'est-à-dire que la source de calcium ne provient pas de la dissolution des minéraux sulfatés et il a une autre source, qu'on suggère la dissolution de minéraux carbonatés ou les phénomènes modificateurs de chimismes tels que l'hydrolyse des silicates et les échanges de base, ce dernier on le verra plus tard.

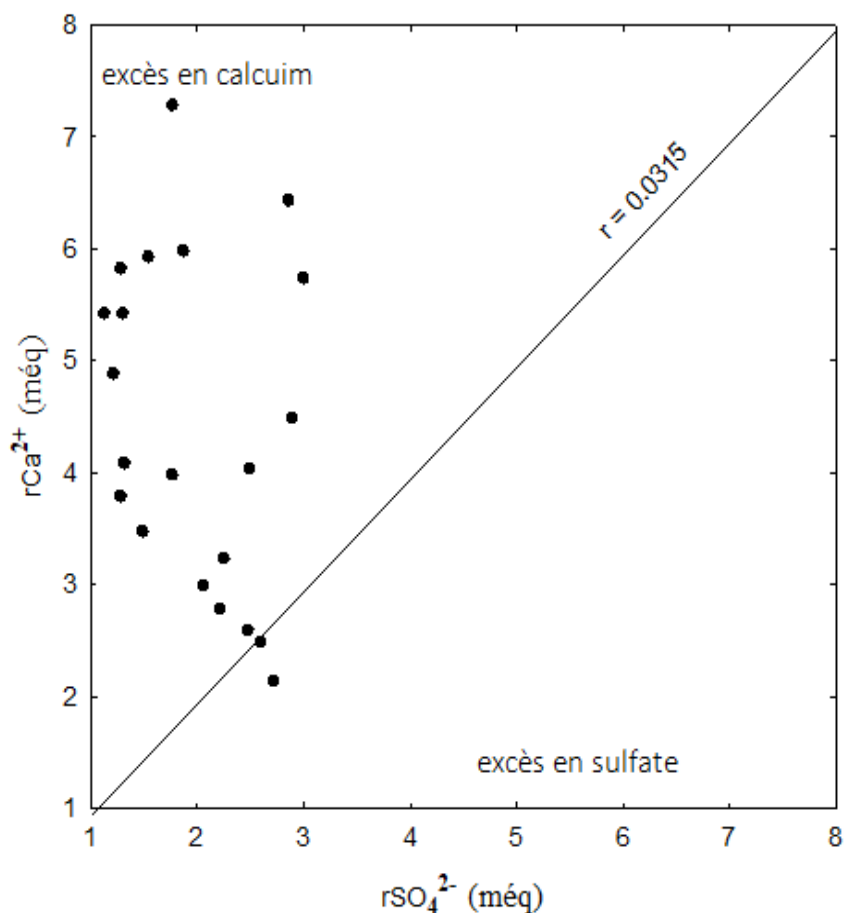


Figure 26 : La relation  $rCa^{2+}/rSO_4^{2-}$

#### IV.4.1.3. La relation $rMg^{2+}/rSO_4^{2-}$ :

Le graphique montre un nuage de points entre le  $Mg^{2+}$  (sur la côté gauche) et  $SO_4^{2-}$  (sur la côté droite), et le magnésium semble être présent en excès dans tous les forages avec un coefficient de corrélation négative proche de zéro  $r = -0.0998$  ce qui indique que la relation entre eux est inverse et très faible. Nous expliquons ces résultats qui la source de magnésium (plusieurs sources) est différente de la source de sulfate et peut être la dissolution de minéraux de dolomite ou d'epsomite.

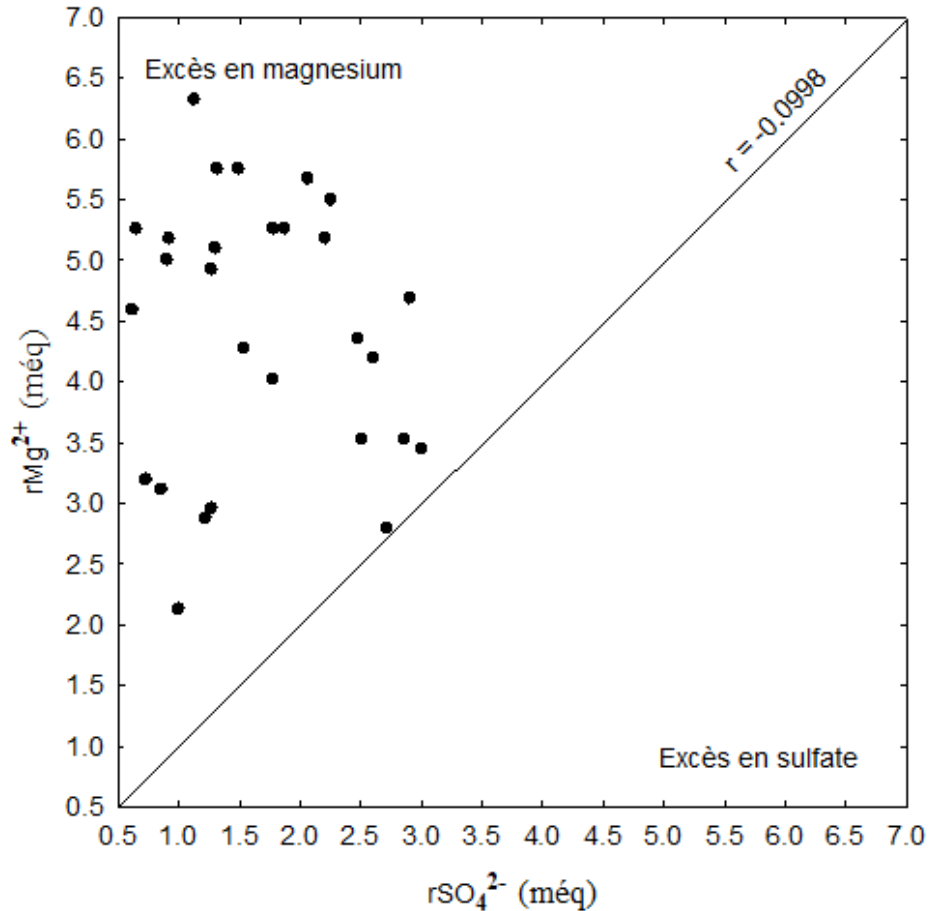


Figure 27 : La relation  $r\text{Mg}^{2+}$  vs  $r\text{SO}_4^{2-}$

#### IV.4.1.4. La relation $r\text{Na}^+$ vs $r\text{SO}_4^{2-}$ :

Le graphique suivant montre un nuage de points de  $\text{Na}^+$  dans la côté gauche avec le  $\text{SO}_4^{2-}$  dans la côté droite. Nous remarquons que la plupart des points sont sur le côté gauche, ce qui signifie qu'il y a un excès en sodium. Avec un coefficient de corrélation  $r = 0,4383$ . Nous en concluons que la relation entre eux est faible a moyenne c'est à dire que leur source est différente, le sodium peut être de l'halite ou les échange de base qui se produit lorsque l'eau interagit avec différentes substances capables d'échanger des ions avec celles qu'elle contient.

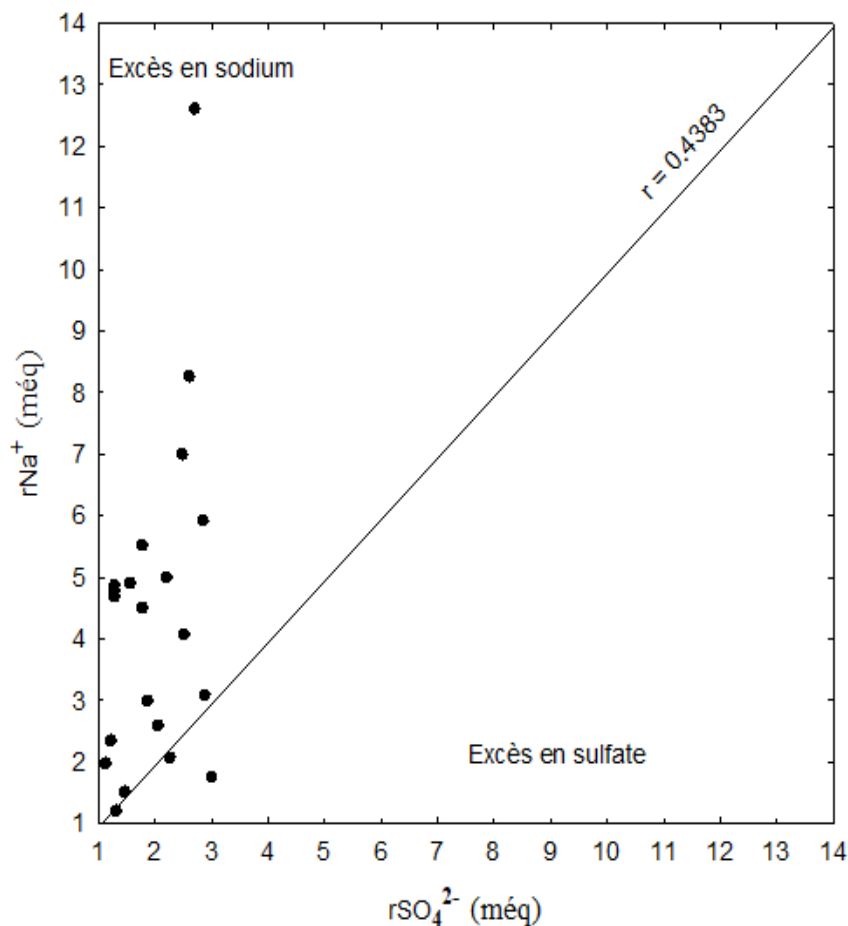


Figure 28 : La relation  $rNa^+/rSO_4^{2-}$

#### IV.4.2. Origine des bicarbonates, du calcium et du magnésium

##### IV.4.2.1. La relation $rCa^{2+}$ vs $rHCO_3^-$ :

Le graphique suivant montre un nuage de points de  $Ca^{2+}$  dans la côté gauche avec le  $HCO_3^-$  dans la côté droite nous remarquons que la plupart des points sont sur le cote droite (excès en carbonate) ces deux éléments évoluent de manière inverse et faible, ce qui s'explique par le coefficient de corrélation qui est égal à  $r = -0.1829$  à partir de cela, Nous pouvons expliquer que le calcium a une autre source non associé à la dissolution des minéraux carbonatés. Cette origine peut être due aux échanges de base.

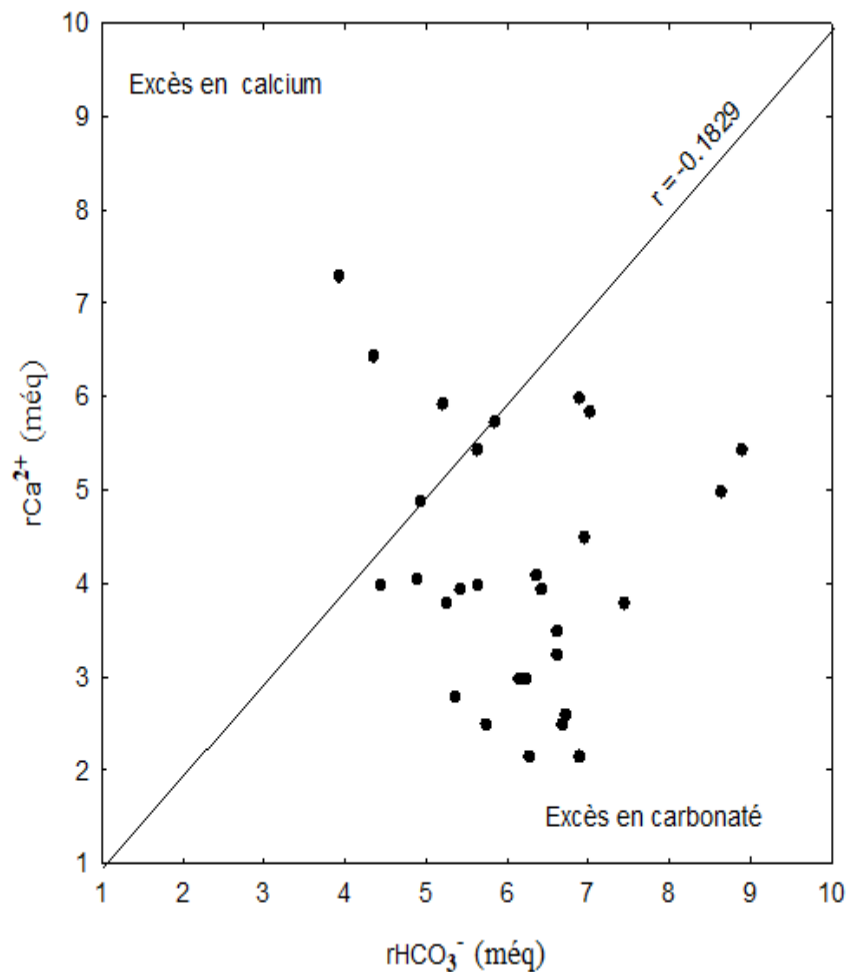


Figure 29 : La relation  $rCa^{2+}/rHCO_3^-$

#### IV.4.2.2. La relation $rMg^{2+}/rHCO_3^-$ :

Le graphique suivant montre un nuage de points de  $Mg^{2+}$  dans la côté gauche avec le  $HCO_3^-$  dans la côté droite nous remarquons que la plupart des points sont sur le cote droite (excès en carbonate) avec un coefficient de corrélation  $r = 0.2515$  qui indique une relation très faible entre les deux, nous concluons de ce qui précède que le magnésium a d'autres sources.

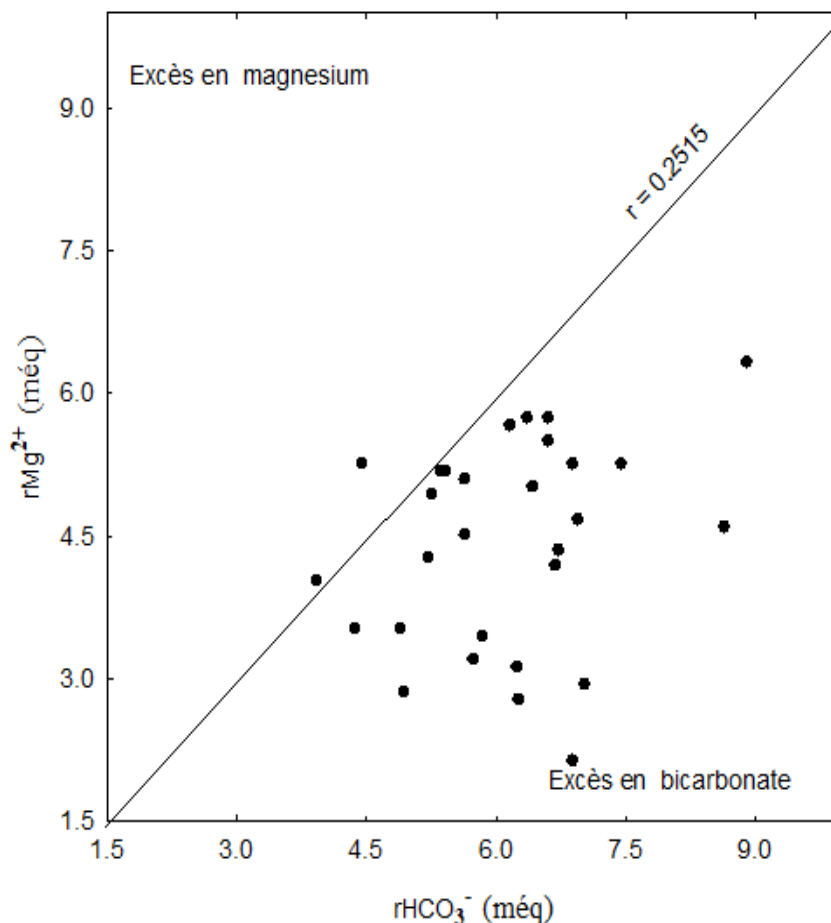


Figure 30 : La relation  $rMg^{2+}/rHCO_3^-$

#### IV.4.2.3. La relation $rCa^{2+}+rMg^{2+}/rHCO_3^-$ :

Le graphique suivant montre un nuage de points de  $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$  dans la côté gauche avec le  $HCO_3^-$  dans la côté droite nous remarquons que la plupart des points sont sur le cote gauche (excès en calcium et de magnésium) avec un coefficient de corrélation  $r = 0.2515$  qui indique une relation très faible entre les deux .Cela indique que ces éléments proviennent de sources différentes. Quant au calcium, sa source peut être la dissolution des minéraux sulfatés Ou les échange de base et le magnésium peut être l'epsomite ou magnésite.

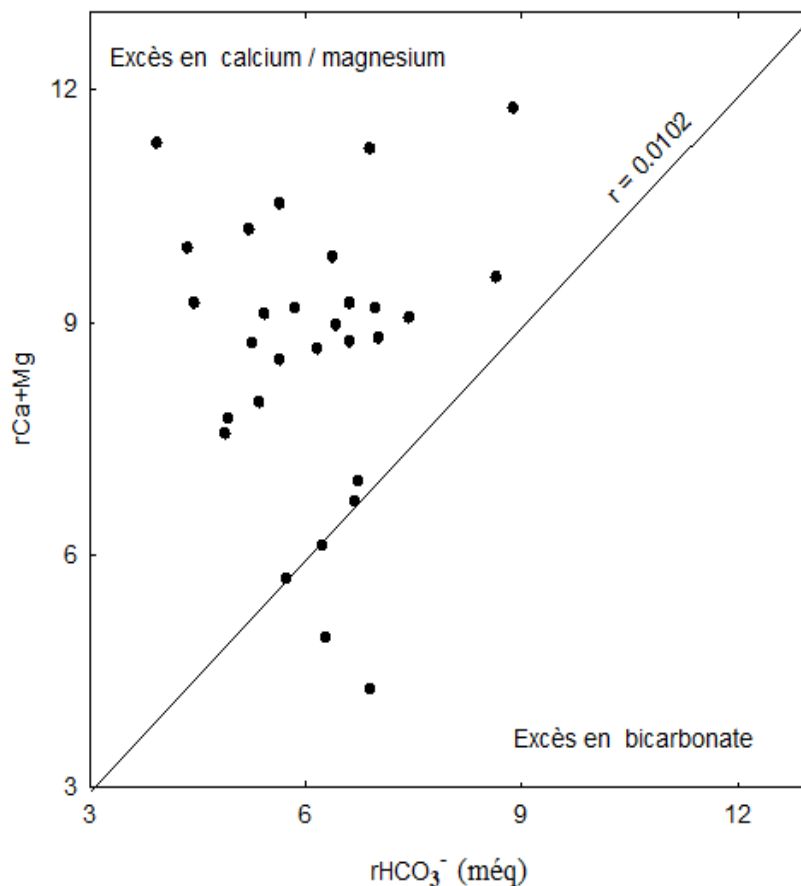


Figure 31 : La relation  $r\text{Ca}^{2+}+\text{rMg}^{2+} / r\text{HCO}_3^-$

#### IV.5. Equilibres minéraux/solutions dans les eaux :

##### IV.5.1. Notion d'Indice de saturation :

L'équilibre des eaux avec la matrice peut être exprimé par deux paramètres principaux : le taux de saturation (S) et l'indice de saturation (Is). Le taux de saturation est défini par la relation :

$$S = (\text{PAI}/K_s) \times 100$$

Où PAI représente le produit d'activité des ions concernés, et  $K_s$  est le produit de solubilité du minéral en question. Cependant, l'indice de saturation (Is) est la forme la plus couramment utilisée pour les eaux souterraines. Il se calcule selon l'expression suivante :

$$I_s = \log(K) - \log(PI)$$

Dans cette équation, PI désigne le produit d'activité des ions, et K représente le produit de solubilité du minéral considéré. L'interprétation de cet indice se fait comme suit :

**$I_s = 0$**  : L'eau est en équilibre avec le minéral.

**$I_s < 0$**  : L'eau est sous-saturée par rapport au minéral, ce qui favorise la dissolution de ce dernier.

**$I_s > 0$**  : L'eau est sursaturée, ce qui peut entraîner la précipitation du minéral.

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé le logiciel « PhreeqC » pour déterminer les indices de saturation de plusieurs minéraux prépondérants, à savoir pour les carbonates : la calcite, l'aragonite, la dolomite, la magnésite, et pour les évaporites : l'anhydrite, le gypse, l'epsomite, l'halite, la mirabilite et la thénardite. Ces indices de saturation permettent de mieux comprendre les mécanismes d'acquisition de la minéralisation au sein des eaux souterraines.

#### **IV.5.2. Variation de l'indice de saturation :**

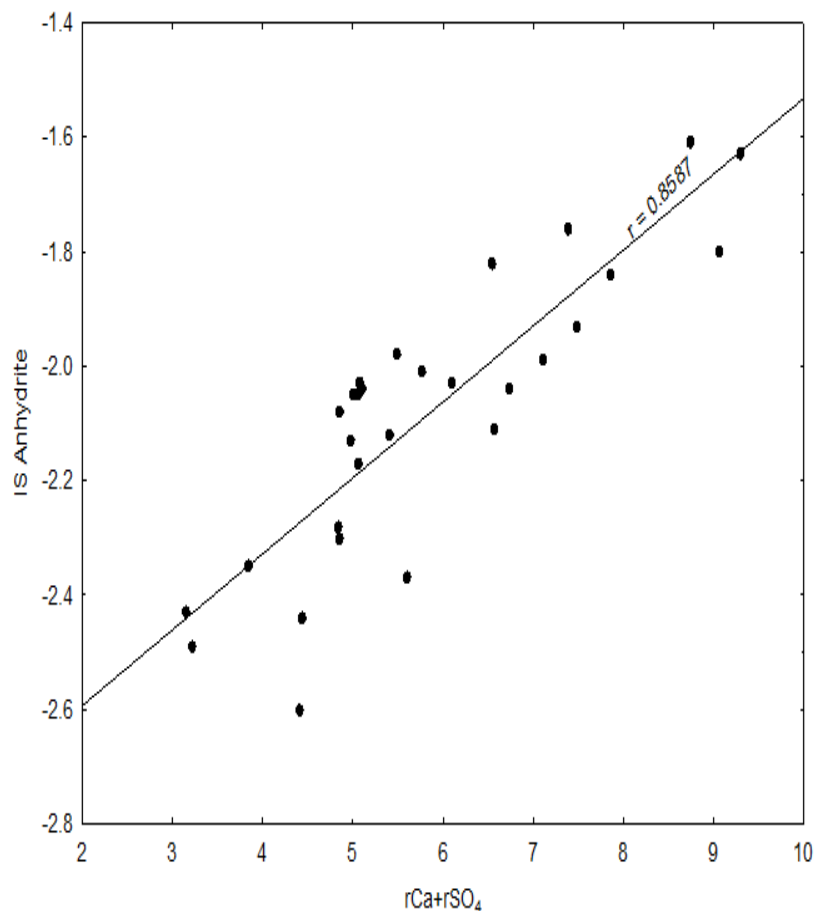
Après les calculs, il a été constaté que la plupart des indices de saturation étaient négatifs, ce qui reflète un état de sous-saturation en minéraux dans les eaux souterraines. Les résultats de l'indice de saturation des différents minéraux montrent que tous les minéraux, qu'ils soient carbonatés ou évaporitiques, présentent une sous-saturation, avec des valeurs négatives dans tous les forages étudiés. Toutefois, la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) affiche quelques valeurs positives dans certains forages, indiquant une tendance à atteindre un équilibre ou une saturation partielle. Cette variation reflète l'influence des conditions géochimiques locales et l'interaction de l'eau avec les roches, où les carbonates peuvent se précipiter plus facilement que les minéraux évaporitiques, tels que le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou l'halite ( $\text{NaCl}$ ), qui restent en état de sous-saturation malgré leurs concentrations élevées.

#### **IV.5.3. Les relations indices de saturation vs minéraux prépondérants :**

##### **IV.5.3.1. Les relations indices de saturation vs minéraux évaporitiques :**

Les figures suivantes montrent des corrélations plus ou moins significatives entre l'indice de saturation (IS) de l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) et les ions ( $\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ ), et l'epsomite et les ions

(Mg+SO<sub>4</sub>) avec des coefficients de corrélation  $r = 0.858$  et  $r = 0,844$  respectivement, et des relations très significatives pour l'halite (NaCl) avec les ions (Na<sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup>), où  $r = 0,948$ , et pour la mirabilite (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O) et la thénardite (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) avec les ions (Na<sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) avec  $r = 0,93$  pour les deux minéraux. Ces résultats suggèrent la possibilité de la dissolution des chlorures et des sulfates de sodium en premiers lieux, puis les sulfates de calcium et de magnésium en deuxième position, le long du trajet d'écoulement des eaux de la nappe dans notre zone d'étude.



**Figure 32 :** La relation  $\text{Ca}^{2+}+\text{SO}_4^{2-}$  vs IS Anhydrite

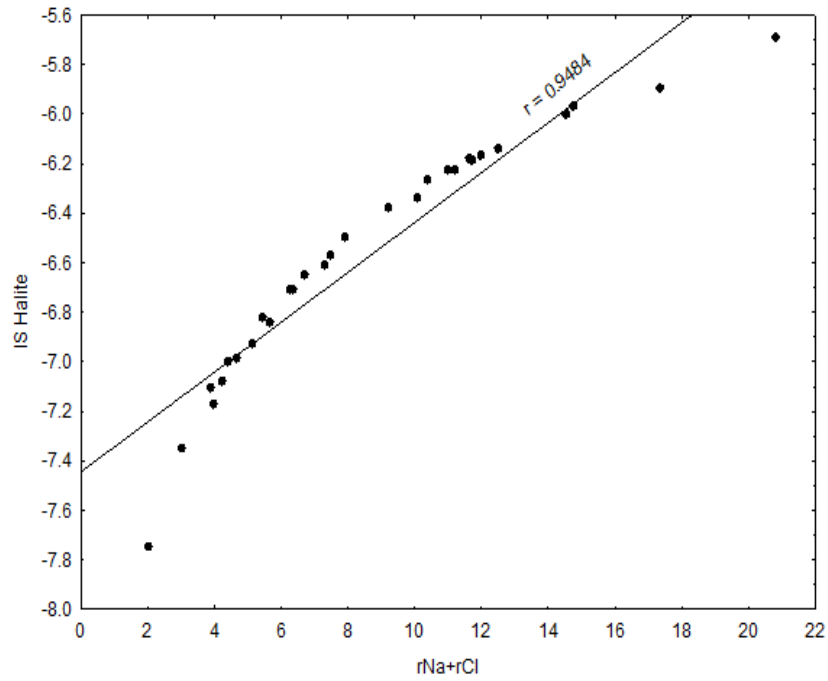


Figure 33 : La relation  $\text{Na}^+\text{+Cl}^-$  vs IS Halite

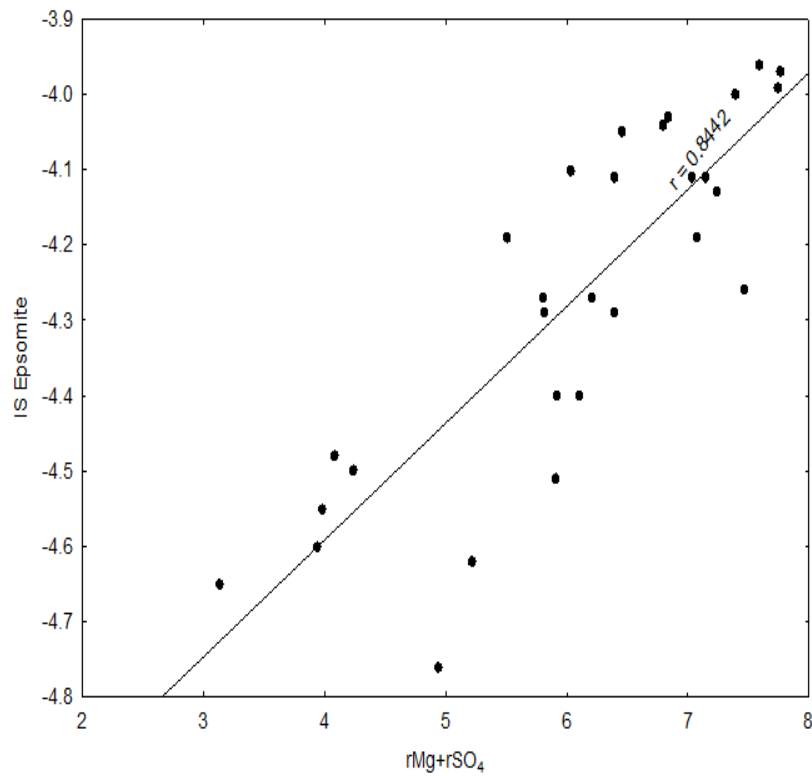


Figure 34 : La relation  $\text{Mg}^+\text{+SO}_4^{2-}$  vs IS Epsomite

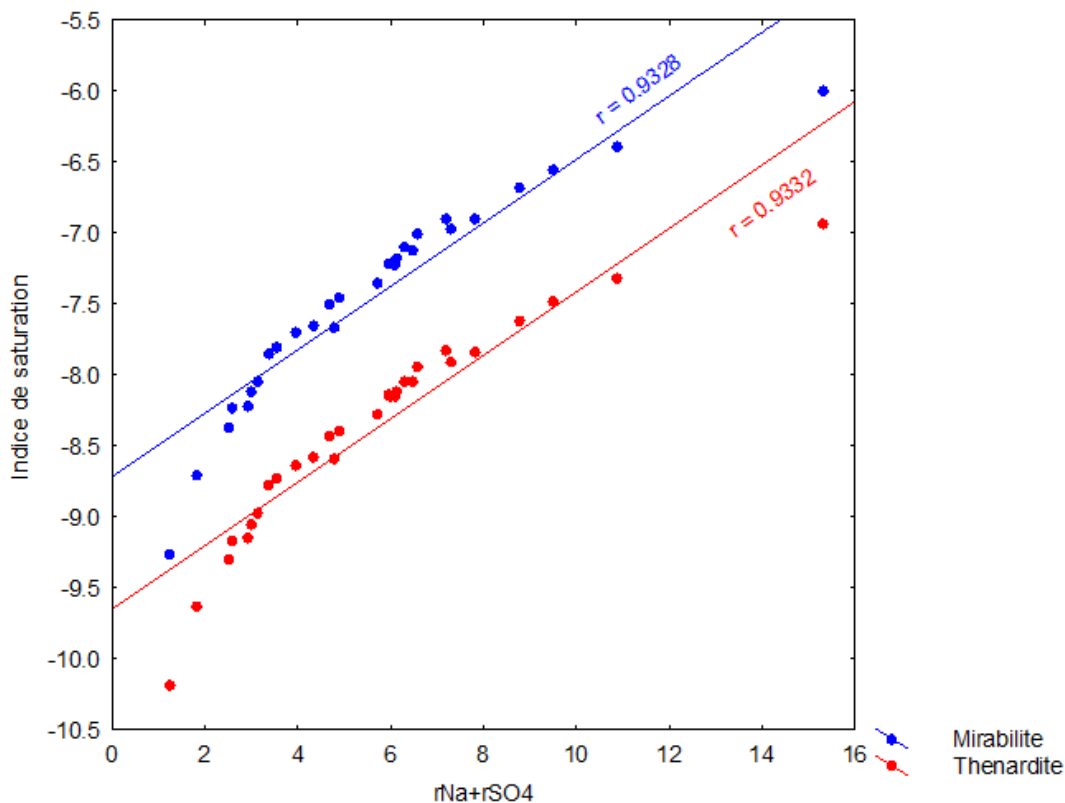


Figure 35 : La relation  $\text{Na}^+\text{+SO}_4^{2-}$ -vs IS Mirabilite et IS Thénardite

#### IV.5.3.2- Les relations indices de saturation vs minéraux carbonatés :

Les indices de saturation des minéraux carbonatés révèlent des corrélations très significatives, notamment entre la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) et l'aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ) avec les ions ( $\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$ ), où  $r = 0,95$ . De même, la dolomite ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) montre une forte corrélation avec les ions ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{HCO}_3^-$ ), avec  $r = 0,951$ , tandis que la magnésite ( $\text{MgCO}_3$ ) présente une corrélation encore plus élevée avec les ions ( $\text{Mg}^{2+} + \text{HCO}_3^-$ ), où  $r = 0,972$ . Ces relations confirment l'influence des processus de dissolution et de précipitation de ces carbonates dans le système aquifère étudié.

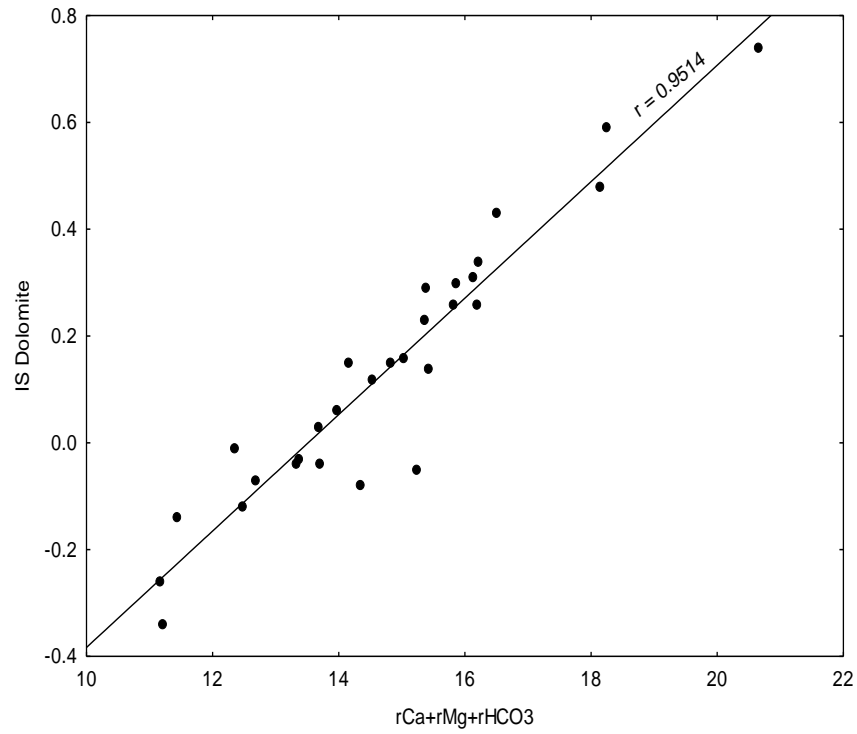


Figure 36 : La relation  $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}+\text{HCO}_3^-$  vs IS Dolomite.

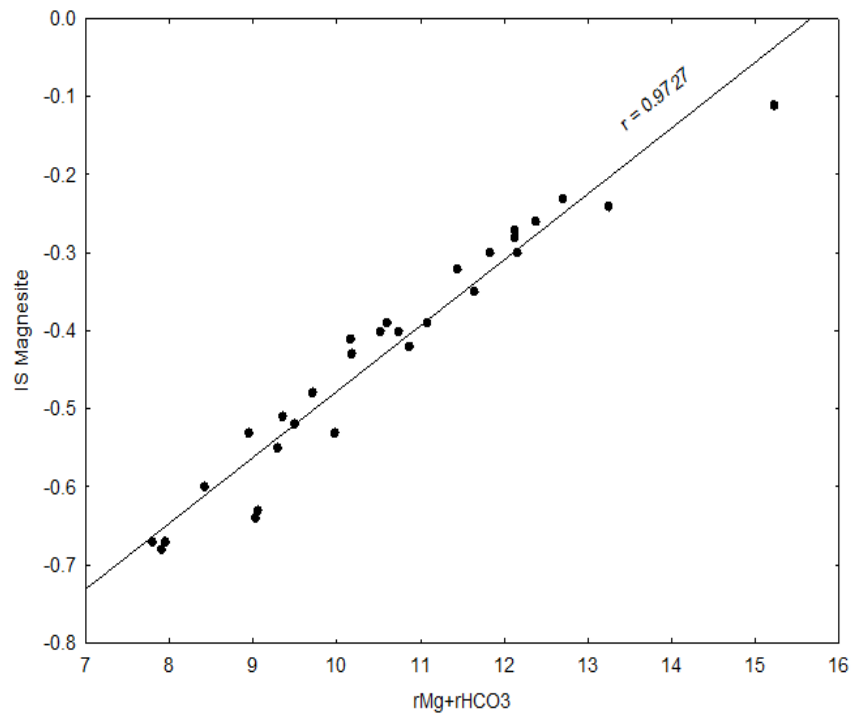
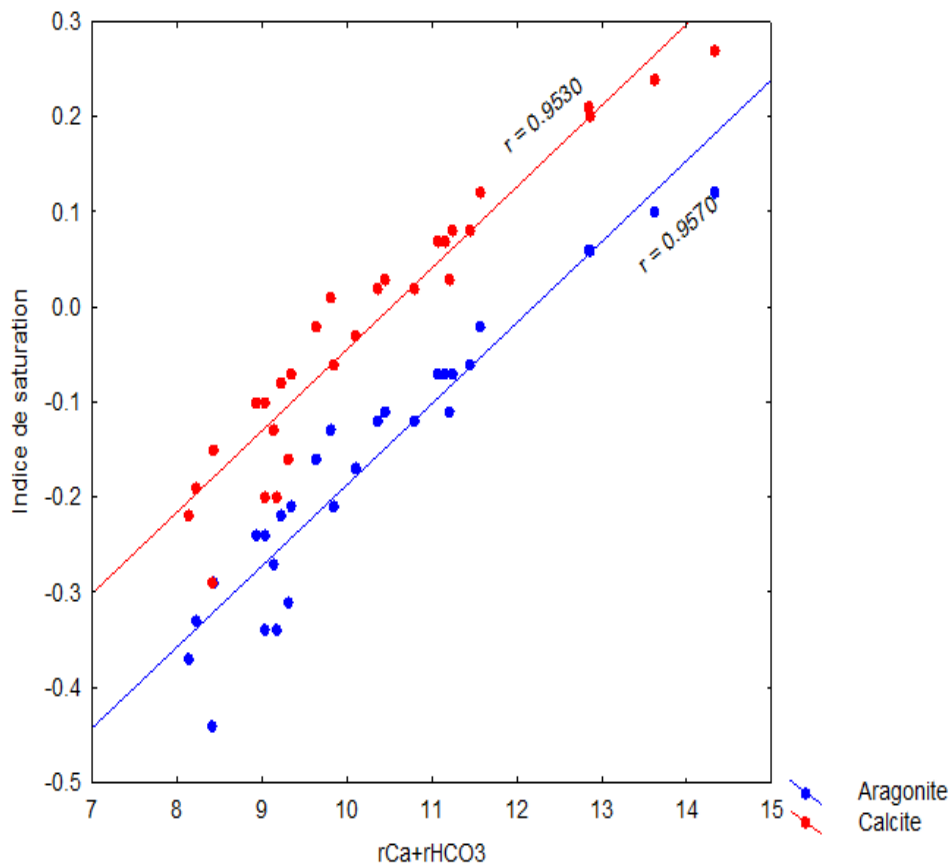


Figure 37 : La relation  $\text{Mg}^{2+}+\text{HCO}_3^-$  vs IS Magnesite.



**Figure 38 :** La relation  $\text{Ca}^{2+}+\text{HCO}_3^-$  vs IS Aragonite et IS Calcite

#### IV.5.4- La relation ISD vs ISC :

Nous savons que le diagramme de saturation calcite-dolomite est un outil géochimique efficace pour évaluer le bilan des eaux souterraines avec des minéraux carbonatés. En fait, ce diagramme nous renseigne sur d'autres informations telles que le temps de séjour des eaux dans l'aquifère, l'aspect confiné ou non de la nappe, et le long écoulement des eaux. Nous utilisons la calcite et la dolomite car ce sont les principaux minéraux des couches carbonatées. Il est représenté comme suit :

- L'axe horizontal (X) représente l'indice de calcite.
- L'axe vertical (Y) représente l'indice de saturation de la dolomite.

Sur la base de deux zones, nous pouvons déterminer le temps de résidence de l'eau, et nous les mentionnons comme suit :

Si l'eau est dans le champ  $[-0.5+0.5]$  alors nous la considérons comme de l'eau ancienne en plus de savoir que son mouvement est lent, Si ce n'est pas dans ce domaine, nous considérons que c'est de l'eau nouvelle.

Après l'analyse du graphique, on constate que la majorité des points se situent dans le domaine d'équilibre des deux minéraux  $[-0.5+0.5]$ , ce qui indique un :

- Le temps de séjour de cette eau à l'intérieur de l'aquifère est long.
- Un écoulement lent des eaux.
- Un aquifère à aspect confiné.

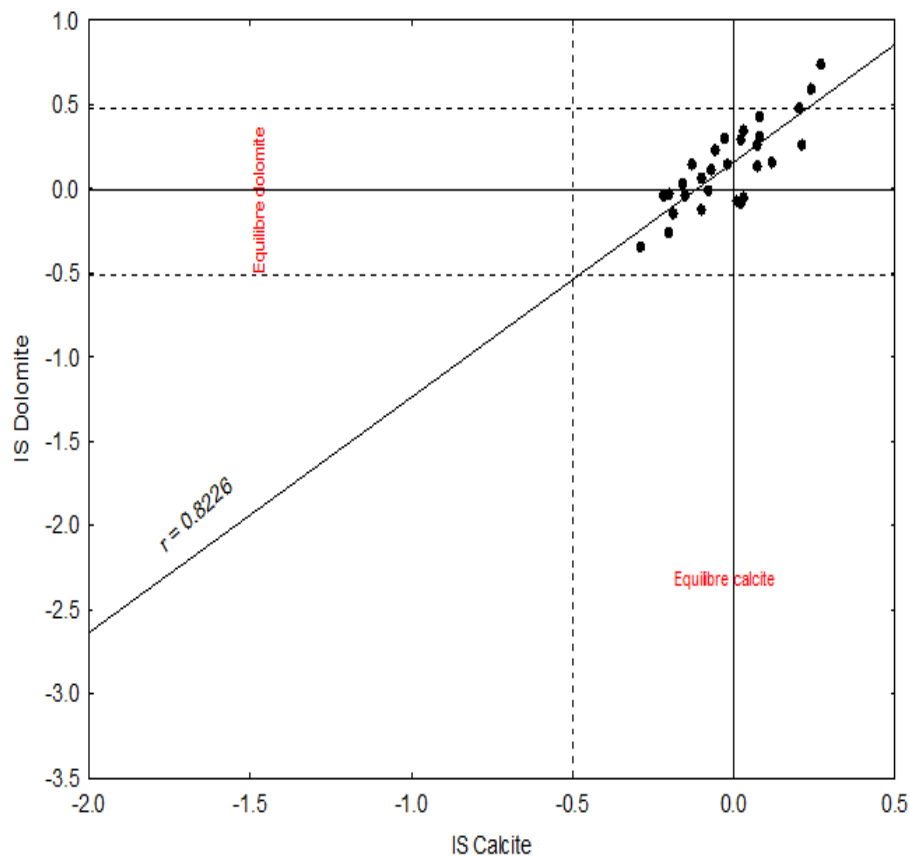


Figure 39 : Diagramme I.S.D = f (I.S.C) des eaux souterraines de la plaine de Ghriss

**IV.6- Indice d'échanges de base (i.e.b) :**

L'indice d'échange de bases représente le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature initialement présents dans la solution. Lors de son séjour souterrain, l'eau interagit avec diverses substances capables d'échanger des ions avec celles qu'elle contient. Parmi ces substances, on trouve les minéraux, les hydroxydes ferriques, etc. Selon Scheller (1943), cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{i.e.b} = \frac{r_{\text{Cl}^-} - r_{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}}{r_{\text{Cl}^-}}$$

**Si IEB > 0 :**

Cela signifie que les eaux souterraines échangent des ions de sodium ( $\text{Na}^+$ ) et de potassium ( $\text{K}^+$ ) contre des ions de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) provenant des roches environnantes.

→ □ L'eau absorbe le calcium et le magnésium des roches tout en perdant du sodium et du potassium.

**Si IEB = 0 :**

Cela indique un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches environnantes.

→ □ Il n'y a pas de changement notable dans la composition ionique entre l'eau et les roches.

**Si IEB < 0 :**

Cela signifie que les roches environnantes libèrent des ions de sodium ( $\text{Na}^+$ ) et de potassium ( $\text{K}^+$ ) tout en fixant des ions de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) provenant de l'eau.

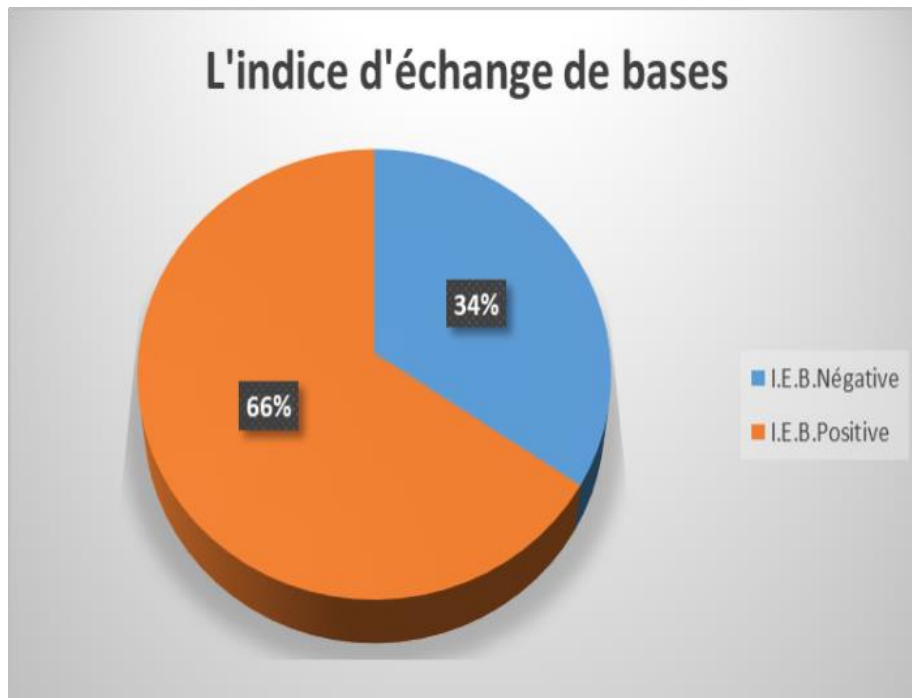
→ □ L'eau perd du calcium et du magnésium tout en s'enrichissant en sodium et en potassium issus des roches.

D'après les résultats obtenus et présentés dans le tableau ci-dessous, nous constatons que :

10 forages présentent un indice d'échange basique négatif (i.e.b), soit un pourcentage de 34,5 %. Cela signifie que les roches environnantes libèrent des ions sodium ( $\text{Na}^+$ ) et potassium ( $\text{K}^+$ ) dans l'eau, tout en fixant le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) de cette même eau.

D'un autre côté, 19 forages présentent un indice d'échange basique positif (i.e.b), soit un pourcentage de 65,5 %. Cela indique que les eaux souterraines échangent des ions sodium et potassium contre des ions calcium et magnésium issus des roches environnantes.

Ces résultats révèlent une prédominance des eaux à comportement d'échange positif dans la plaine de Ghriss, située dans la wilaya de Mascara, ce qui met en évidence une interaction active entre les eaux souterraines et les minéraux des formations géologiques traversées.



**Figure 40 :** Un cercle relatif représentant l'indice de change de base

Symboles	Nom du forage	i.e.b
P1	SD5	0.417382499
P2	SD7	-0.063660536
P3	E45	-0.368769552
P4	E44	-1.118367971
P5	E48	-0.448892335
P6	E08	0.347931985
P7	E40	0.30304799
P8	E04	0.328369248
P9	E54	0.260349059
P10	E41	-0.018365651
P11	E32	0.35358707
P12	E50	0.527364557
P13	E61	-0.092622523
P14	S4	0.304965931
P15	E51	0.290886252
P16	E58	0.269020679
P17	E68	0.0572248
P18	E56	0.318030135
P19	E69	0.437691475
P20	E57	0.463159541
P21	E64	0.492255158
P22	SK7	0.550079595
P23	SK5	-0.167021277
P24	E47	0.307610475
P25	E19	0.541243919
P26	E55	0.305723781
P27	A5	-0.56523798
P28	A6	-0.703521626
P29	A8	-0.313316893

**Tableau 16** : Les valeurs de l'indice d'échange de bases des points eaux dans la plaine de Ghriss

**IV.7- Conclusion :**

Les analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de Ghriss révèlent un pH neutre à légèrement basique, traduisant l'absence d'acidité. La conductivité électrique élevée indique une forte interaction géochimique avec les formations géologiques, complétée par une possible influence anthropique.

Les concentrations marquées en  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  reflètent les caractéristiques chimiques dominantes de la nappe et les classifications de STABLER et PIPER montrent une dominance des faciès carbonatés et chlorurés, notamment :

- Faciès carbonaté calcique.
- Faciès chloruré calcique et magnésienne.

La composition ionique met en évidence une hiérarchie des anions :  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$  ou  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ , et des cations :  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ , traduisant l'influence majeure des roches carbonatées locale. Par la suite les analyses de quelques diagrammes binaire a permis d'identifier que les relations entre éléments chimiques et minéraux sont faibles ou inverses, suggérant l'influence de sources autres que les sulfates et carbonates, probablement liées à la lithologie variée de la plaine (argiles, marnes), ainsi que les phénomènes modificateurs de chimismes tels que les échanges de base.

L'analyse des indices de saturation a montré que la plupart des échantillons présentent des indices de saturations inférieures à 0, ce qui indique une sous-saturation vis-à-vis des minéraux prépondérants soit évaporitiques soit carbonatés.

En outre, l'analyse du diagramme de saturation en calcite et en dolomite révèle que les eaux sont anciennes, en équilibre ou en sursaturation, ce qui suggère une nappe confinée et un temps de séjour long, associé à une circulation lente des eaux souterraines.

L'indice d'échanges de base Les résultats révèlent un échange positif de 65 % entre l'eau et les roches environnantes, ce qui signifie qu'elle prend du calcium et du magnésium aux roches et perd du potassium et du sodium.

# **Conclusion général**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

La plaine de Ghriss est située dans la wilaya de Mascara. Elle est considérée comme l'une des plaines intérieures de l'ouest algérien, cette région est caractérisée par un climat semi-aride avec de fortes fluctuations saisonnières de précipitations, ce qui affecte directement les mécanismes de recharge des eaux souterraines.

Notre étude s'est concentrée sur la couche des calcaires dolomitiques, qui remonte à la période du Jurassique. Ce dernier est latéralement délimité par des roches calcaro-dolomitiques compactes et peu fissurées, et recouvert par des marnes du Miocène ou des argiles détritiques rouges du Pliocène.

D'un point de vue géomorphologique et tectonique, la plaine de Mascara est considérée comme le résultat de failles linéaires d'origine tectonique récente, Cette structure complexe favorise le développement des systèmes d'eaux souterraines, qui représentent la principale source d'eau destinée à l'alimentation de la population par rapport aux eaux de surface.

L'étude géochimique a révélé que l'acidité des eaux de la zone est considérée comme neutre à légèrement basique avec une conductivité élevée indiquant eau moyennement salée. Les diagrammes de PIPER et de STABLER montrent la dominance du Faciès Carbonaté Calcique et Chloruré Calcique et magnésienne, et quant à la relation entre les éléments chimiques et les minéraux, la plupart des relations sont faibles et parfois inverses, ce qui peut indiquer l'existence de multiples sources de ces éléments à cause d'une lithologie très variée. Autrement, Les eaux de cette nappe sont en état de sous-saturation vis-à-vis des minéraux prépondérants (carbonates et évaporites). Par ailleurs, l'analyse du diagramme de saturation  $ISD = f(ISC)$  suggère que les eaux de cette nappe sont anciennes, avec un long écoulement et temps de séjour dans l'aquifère, ce dernier qui doit être confiné selon ce diagramme.

Le calcul des indices d'échanges de base a indiqué la possibilité d'y avoir des processus de substitution cationiques entre les eaux et les terrains encaissants avoisinants (argiles et marnes), ce qui peut modifier le chimisme de l'eau en l'enrichissant par des cations de Ca et Mg ou par Na et K ou vice ver

# **Bibliographique**

## **Bibliographique**

---

**Souriceau B. 1972 :**

Etudes hydrogéologiques de la plaine de Ghriss (DEMRH. D'Oran)

**Benfetta .H. 1997 :**

Caractérisation Hydro chimique des eaux des nappes de la plaine de Ghriss (Thèse de Magistère. (C.U Mascara)

**Hattabe. S. 1993 :**

Etablissement d'une carte de vulnérabilité a la pollution de la région de Mascara (Thèse ding. C.U de Mascara)

**Sourisseau.B. 1974):**

Etude hydrogéologique de la plaine de Ghriss .Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) ; Oran.

**Hichour .B & Hadadji.A :**

L'état de la surexploitation des nappes de la plaine de Ghriss, 36 -46P.

**Bendelal, Bekkoussa.B.2009 :**

Application des méthodes d'analyses statistique multi -variées à l'étude de la minéralisation des eaux du système aquifère de la plaine du Ghriss (Nord-ouest Algérien)

**H. Benfetta, B. Achour, B. Remini(2014) :**

Problématique de surexploitation des eaux souterraines dans les zones arides : cas du la plaine de Ghriss Mascara –Algérie

**Bekkoussa.B. 2013 :**

Origine de la salinité et des principaux éléments majeurs des eaux de la nappe phréatique de la plaine de Ghriss, Nord-Ouest algérien

**K. Semari. 2012**

État des ressources hydriques de la wilaya de Mascara (Algérie)

## **Bibliographique**

---

**Bekkoussa .B. (2008) :**

Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : cas de la plaine de Ghriss, nord-ouest algérien, 173-184 P.

**Bekkoussa B. (2009) :**

Modélisation du transfert et de la propagation des nitrates dans les eaux souterraines de la plaine de Ghriss. Thèse de doctorat, Université des sciences et de technologie d'Oran, 179 P.