

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES  
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de :

### Magister

En géologie

Spécialité : Géosciences & Environnement

Option : Géochimie de surface

Thème :

Evolution géochimique des eaux le long du bassin  
versant de Oued Zegrir (région du Mزاب)

Présenté par :  
SAHRAOUI Hichem

Soutenu publiquement le : 29/01/2014

Devant le jury composé de :

M. HACINI Messaoud	M.C.A	Université de Ouargla	Président
M. HAMDI-AISSA Belhadj	Professeur	Université de Ouargla	Encadreur
M. BOUTOUTAOU Djamel	M.C.A	Université de Ouargla	Examineur
Mme ZEDDOURI Samia	M.C.A	Université de Ouargla	Examineur

Promotion 2012/2013

## DEDICACE

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

À la mémoire de mon grand-père qui a souhaité vivre pour longtemps juste pour nous voir  
qu'est-ce que nous allons devenir.

À ma chère femme MOUFIDA, pour la patience et le soutien dont elle a fait preuve pendant  
toute la durée de ce travail et à qui je voudrais exprimer mes affections et mes gratitude.

À mon fils CHIHEB.

À ma fille IBTIHEL.

À mes parents et mes frères

À mes beaux-parents et mes beaux-frères

À tous ceux qui, de près ou de loin, se sont sacrifiés pour moi

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Merci infiniment.

## ***Remerciements***

*Merci Dieu le tout puissant qui ma éclairé le chemin de la réussite et du savoir.*

*Je tiens à remercier tout d'abord mon encadreur Mr Belhadj HAMDI AISSA d'avoir accepté de diriger ce mémoire de magister, sa méthode de travail et sa grande expérience m'ont été d'un grand apport pour l'accomplir. Je lui suis très reconnaissant et redevable.*

*Mes sincères remerciements et mes profonds respects s'adressent également au membre de jury*

*À M. HACINI Messaoud, de l'université de Ouargla, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.*

*À M. BOUTOUTAOU Djamel, à Mme ZEDDOURI Samia, qui ont examiné ce travail et ont accepté de faire partie du jury.*

*Je remercie tous les enseignants de graduation et de post graduation pour leurs orientations, leurs conseils tout au long de mon parcours universitaire.*

*Mes remerciements s'adressent aussi au personnel de l'Université Kasdi Merbah, des services de Documentation, de Cartographie, et du Département de Géologie pour toute l'aide qu'ils m'ont apporté au cours de mes travaux.*

*Je remercie vivement les deux guides de Guerrara Mr Saleh et Mr Mohamed pour les sorties de terrain, qui nous ont permis d'atteindre à des zones habituellement inaccessibles.*

*Que tous veuillent bien trouver ici le témoignage de mes plus vifs remerciements.*

## Evolution géochimique des eaux le long du bassin versant de oued Zegrir (région du Mزاب)

### RESUME :

Cette étude concerne l'évolution géochimique des eaux du bassin versant de oued Zegrir. Selon la disponibilité et la répartition des points d'eaux dans le bassin, 25 prélèvements d'eaux ont été effectués et différents paramètres ont été analysés sur le plan physico chimique.

Les résultats analytiques obtenus révèlent l'existence de deux types de familles chimiques :

- 88% des points d'eaux sont bicarbonatés calciques et magnésiens.
- 12% seulement sont chlorurés calciques et magnésiens.

La majorité des points sont de la même famille ; à savoir bicarbonaté calcique. Ces eaux semblent être de même origine mais plus ou moins concentrées en fonction de leurs formations environnantes.

Après avoir calé les 25 points échantillonnés sur la carte des états de surface des sols sous le logiciel ArcGIS, il s'est avéré que l'abondance des eaux bicarbonatées calciques, est liée au lessivage des terrains carbonatés du Mio-pliocène qui couvrent pratiquement la totalité du bassin, Cependant les eaux chlorurées se trouvent près des formations évaporitiques du Quaternaire qui ont attribué à ces eaux une forte minéralisation exprimée par des teneurs plus ou moins élevées en calcium, magnésium, chlorures, sulfates et en sodium.

La plupart des points d'eaux analysés sont propre à la consommation, mais cela n'évince en aucun cas que cette étude doit être compléter par une analyse bactériologique.

Le SAR et la CE ont montré que la majorité des points d'eaux appartiennent à la classe C1S1 c'est-à dire une eau à faible salinité, excellente à faible danger d'alcalinisation, excepté le point P2 qui présente une qualité médiocre.

L'étude géochimique des eaux du bassin versant de oued Zegrir a montré à travers les 25 échantillons prélevés, une certaine homogénéité dans les faciès chimiques en rapport avec la géologie de la région. Ainsi, l'origine du chimisme est due à la dissolution des roches carbonatées, du Mio-pliocène, en présence des formations évaporitiques du Quaternaire.

Dans la région de Guerrara, l'utilisation sans trêve des eaux des nappes souterraines à l'irrigation a causé une accumulation des sels, entraînant ainsi une sodisation pour les terrains agricole dont le résultat final sera une dégradation physique.

Ce mémoire n'est donc plus seulement un sujet pour comprendre l'évolution géochimique du bassin versant de oued Zegrir mais franchit également une étape primordiale pour mettre fin à l'utilisation dévastatrice des eaux du complexe terminal en irrigation dans la région de Guerrara et d'en profiter pleinement de cette bénédiction ; qu'est l'excellente eau superficielle, dont les résultats d'analyses le justifient amplement.

Ces conditions favoriseront un recours accru des agriculteurs à la revalorisation des eaux de crues de oued Zegrir initialement destiné à l'irrigation pour une gestion plus harmonieuse

**Mots-clés:** *Oued Zegrir, Bassin versant, évolution géochimique, nappe superficielle, indice de saturation*

## Geochemical waters evolution along the watershed of the river Zegrir (region Mزاب)

### **ABSTRACT:**

This study concerns the geochemical water evolution of watershed oued Zegrir. Depending on the availability and distribution of water points in the basin, 25 water samples were made and different parameters were analyzed on the physico-chemical level.

The analytical results revealed the existence of two kinds of chemical families:

- ➡ 88% of water points are calcic and magnesium bicarbonates.
- ➡ Only 12% chlorinated calcium and magnesium.

The majority of points are of the same family; that is the calcium bicarbonate. These waters appear to be of the same origin, but more or less concentrated in accordance with their surrounding formations.

After rigged the 25 sampled points on the map of surface soil under the ArcGIS software, it has proved that the abundance of calcic bicarbonate water, is related to the leaching of carbonate land Mio-Pliocene covering practically the entire watershed, However chlorinated waters are found near the Quaternary evaporitic formations that have assigned to such water high mineralization expressed by higher or lower levels of calcium, magnesium, chlorides, sulfates and sodium.

Most of the waters points analyzed are safe for consumption, but it ousts in any way that study should be completed by bacteriological analysis.

SAR and EC have shown the majority of water points belong to the class C1S1 that is to say low salinity water, excellent low risk alkalization except the point P2 which has poor quality.

The geochemical study of the water Watershed Oued Zegrir showed through the 25 samples, a certain homogeneity in the chemical facies in relation to the geology of the region. Thus, the origin of chemistry is caused by the dissolution of carbonate rocks, Mio-Pliocene in the presence of evaporitic formations of the Quaternary.

In the region of Guerrara, use ceaselessly groundwater for irrigation has caused an accumulation of salts, thus leading to a sodification of agricultural land, the final result will be a physical degradation.

This memory is no longer just subject for understanding geochemical evolution of the watershed of Oued Zegrir but also is taking a critical step to end the devastating of the waters of the terminal complex using for irrigation in the region of Guerrara and to fully benefit from this blessing, which is the great superficial water, including the results of the analyzes amply justified.

These conditions will foster greater recourse of farmers to the revaluation of flood waters of Oued Zegrir initially for irrigation for more harmonious management.

**Keywords:** *Oued Zegrir, Watershed, geochemical evolution, shallow water table, saturation index*

## التطور الجيوكيميائي للمياه على طول حوض الصرف لواد زغريير (منطقة مزاب)

### ملخص:

تتعلق هذه الدراسة بالتطور الجيوكيميائي للمياه على طول حوض الصرف لواد زغريير . اعتمادا على مدى توافر وتوزيع نقاط المياه في حوض الصرف، تم اخذ عينات المياه من 25 موقع حيث تم تحليلها على الصعيدين الفيزيائي والكيميائي .

النتائج التحليلية تظهر وجود نوعين من السحن الكيميائية :

← 88% من نقاط المياه هي من صنف بيكربونات الكالسيوم و المغنيسيوم .

← فقط 12% من صنف كلوريدات الكالسيوم والمغنيسيوم .

تنتمي غالبية النقاط إلى نفس الصنف، وتحديدًا بيكربونات الكلس . وتبين أنها ذات نفس المصدر ، ولكن بتركيز متفاوتة وهذا على علاقة وطيدة بالتركيب الجيولوجية المحيطة .

بعد إسقاط إحداثيات العينات 25 على خريطة حالات التربة في نظام البرمجيات ArcGIS ، ثبت أن الطبيعة الجيوكيميائية للمياه (بيكربونات الكالسيوم)، ناتجة عن نوبان العناصر المكونة للأراضي الكلسية من العصر الميو-بليوسيني التي تغطي إجمالاً مساحة حوض الصرف، وان تواجد المياه الكلوريدية له علاقة بمدى قربها من تشكيلات صخور المتبخرات التي لديها القدرة لمده المياه بنسب عالية من الأملاح على غرار الكالسيوم، المغنيسيوم، الكلوريدات، الكبريتات والصوديوم.

تعتبر نقاط المياه التي تم تحليلها آمنة عموماً للاستهلاك، ولكن من المستحسن أن تستكمل هذه الدراسة بالتحليل البكتيرية . أظهر كل من معامل امتصاص الصوديوم وخاصة النقل الكهربائي ان الغالبية العظمى من نقاط المياه تنتمي إلى فئة C1S1 وهذا يدل على انخفاض ملوحة المياه، وإنها ممتاز وذات مخاطر منخفضة باستثناء النقطة P2 التي لديها نوعية رديئة.

من خلال 25 عينة أظهرت الدراسة الجيوكيميائية لمياه وادي زغريير تجانس السحنات الكيميائية مع جيولوجيا المنطقة . وهكذا، فإن المنشأ الكيميائي للمياه يرجع إلى تحلل الصخور الكربونية من العصر الميو - بليوسيني مع وجود تشكيلات المتبخرات من العصر الحديث .

في منطقة القرارة، الاستخدام المتواصل للمياه الجوفية لأغراض الري يؤدي إلى تراكم الأملاح في الأراضي الزراعية مما ينتج عنه التدهور للبنى التركيبية للتربة الزراعية .

هذه المذكرة ليست مجرد دراسة لفهم التطور الجيوكيميائي لمياه حوض الصرف لواد زغريير ولكن هي خطوة هامة لوضع حد للاستخدامات المدمرة للمياه الباطنية في الري والعودة للاستغلال الرشيد لنعمة المياه السطحية التي ليست لها إي اضرار

على البيئة وبما أن التحاليل المخبرية تؤكد ذلك

ولذلك فإن الوقائع المدروسة تشجع على حث الفلاحين على رفع مستوى استغلال مياه حوض الصرف لواد زغريير لتنمية مستدامة وتطور أكثر انسجاماً.

الكلمات الرئيسية: واد زغريير، مستجمعات المياه، التطور الجيوكيميائي، المياه الجوفية سطحية، مؤشر التشبع.

**RESUME**

**ABSTRACT**

**ملخص :**

<b>INTRODUCTION GENERALE :</b> .....	<b>1</b>
<b>CADRE PHYSIQUE</b> .....	<b>4</b>
Introduction.....	4
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :	5
2. CLIMAT :	6
2.1. Les précipitations :	7
2.2. La température :	9
2.3. Les vents :	10
2.4. L'évaporation :	10
2.5. L'humidité de l'air :	10
2.6. L'insolation :	11
3. COUVERT VEGETAL :	11
4. GEOMORPHOLOGIE :	13
4.1 Les Garas :	13
4.2 Les Dayas :	13
4.3 Les Cuestas :	13
4.4 Les accumulations sableuses :	13
4.5 Les Glacis :	14
4.6 Le Plateau :	14
4.7 Le réseau hydrographique :	14
4.8 Le cratère météoritique de Talemzane :	15
5. CONCLUSION :	16
<b>CONTEXTE GEOLOGIQUE</b> .....	<b>17</b>
INTRODUCTION.....	17
1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL :	18
1.1. LE PALEOZOIQUE (PRIMAIRE) :	18
1.2. LE MESOZOIQUE (SECONDAIRE) :	20
1.3. LE CENOZOIQUE (TERTIAIRE) :	22
1.4. TECTONIQUE :	23
1.5. PALEOGEGRAPHIE :	24
2. CADRE GEOLOGIQUE LOCAL :	25
3. CONCLUSION :	28
<b>HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT</b> .....	<b>29</b>
INTRODUCTION.....	29
1. L'AQUIFERE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE (CI) :	30
1.1. Apports :	30
1.2. Exutoires :	30
2. L'AQUIFERE DU COMPLEXE TERMINAL (CT) :	31
2.1 Apports :	32
2.2 Exutoires :	33
3. CONCLUSION.....	33
<b>HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT</b> .....	<b>34</b>

INTRODUCTION .....	34
1. DEFINITION D'UN BASSIN VERSANT :.....	35
2. DELIMITATION DU BASSIN VERSANT DE OUED ZEGRIR :.....	35
3. CONSIDERATIONS GENERALES :.....	37
3.1 Les paramètres hydrologiques du bassin : .....	39
3.2 Le réseau hydrographique :.....	40
3.3 La pente :.....	40
3.4 Les crues de oued Zegrir :.....	42
4. CONCLUSION :.....	43
<b>MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>44</b>
INTRODUCTION .....	44
1. Méthodologie d'échantillonnage : .....	45
2. Méthode utilisée pour l'étude physico-chimique : .....	47
2.1 Les mesures physiques : .....	47
2.2 Les analyses chimiques :.....	48
3. CONCLUSION :.....	50
<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</b>	<b>51</b>
INTRODUCTION .....	51
1. LES PARAMETRES PHYSIQUES :.....	52
1.1. La température (T °C) :.....	52
1.2. Le potentiel Hydrogène (pH) :.....	52
1.3. La conductivité électrique CE $\mu\text{s.cm}^{-1}$ :.....	53
2. LES PARAMETRES CHIMIQUES :.....	55
2.1 Les cations :.....	55
2.2 Les anions : .....	62
2.3 Dureté totale : (Degré Hydrotimétrique Totale) (DHT) : .....	69
2.4 La minéralisation totale (TSD en mg/l).....	69
3. LES FACIES CHIMIQUES DES EAUX DU BASIN VERSANT DE OUED ZEGRIR:.....	71
3.1 Classification de Piper :.....	71
3.2 Classification de Stabler : .....	72
4. INTERPRETAION CARTOGRAPHIQUE ET ORIGINE DES ELEMENTS CHIMIQUES : 74	
5. ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES PHYSIQUES ET ELEMENTS CHIMIQUES :.....	77
5.2 Mise en évidence des liens existants entre les éléments chimiques :.....	78
5.3 Les rapports caractéristiques :.....	87
5.4 Etat des minéraux dissout dans l'eau : .....	89
5.5 Evolution du chimisme :.....	91
6. POTABILITE DES EAUX (NORME ET QUALITE) :.....	100
2.3 Normes de potabilité selon le degré hydrométrique.....	101
7. APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION : .....	102
8. CONCLUSION :.....	105
<b>CONCLUSION GENERALE :.....</b>	<b>107</b>



**LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1</b>	<i>Localisation géographique du bassin versant de oued Zegrir.....</i>	6
<b>Figure 2</b>	<i>Moyenne des précipitations mensuelles de la station de Ghardaïa.....</i>	8
<b>Figure 3</b>	<i>Moyenne des précipitations annuelles de la station de Ghardaïa.....</i>	8
<b>Figure 4</b>	<i>Carte pluviométrique du Bassin versant de Oued Zegrir.....</i>	9
<b>Figure 5</b>	<i>Carte de la végétation du B.V de oued Zegrir (d'après Barry et al, 1974) .....</i>	12
<b>Figure 6</b>	<i>Modèle numérique de terrain « MNT » représentant les grandes unités morphologiques du bassin versant de Oued Zegrir.....</i>	15
<b>Figure 7</b>	<i>MNT représentant le cratère météoritique de Talemzane.....</i>	16
<b>Figure 8</b>	<i>Carte géologique du SASS (OSS, 2003) .....</i>	18
<b>Figure 9</b>	<i>Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Septentrional.....</i>	16
<b>Figure 10</b>	<i>Carte géologique locale du bassin versant de oued Zegrir.....</i>	26
<b>Figure 11</b>	<i>Coupe géologique de la région de Guerrara (d'après S.C.G, 1952 ; Gautier et Gauskov, 1951 et P.D.E.U, 1994).....</i>	26
<b>Figure 12</b>	<i>Coupe hydrogéologique du SASS (UNESCO, 1972).....</i>	32
<b>Figure 13</b>	<i>Réseau hydrographique et limites du bassin versant de oued Zegrir (d'après M. Bendada , 2010).....</i>	36
<b>Figure 14</b>	<i>Carte montrant la surface omise par J. Dubief .....</i>	37
<b>Figure 15</b>	<i>Les bassins du Melrhir.....</i>	38
<b>Figure 16</b>	<i>Situation du bassin versant de oued Zegrir vis-à-vis des autres bassins (carte établie par synthèse personnelle).....</i>	39
<b>Figure 17</b>	<i>Profil en long du bassin versant de oued Zegrir.....</i>	40
<b>Figure 18</b>	<i>Carte hypsométrique du bassin versant de oued Zegrir.....</i>	41
<b>Figure 19</b>	<i>Modèle en 3D du bassin versant de oued Zegrir.....</i>	41
<b>Figure 20</b>	<i>Fréquence mensuelle des crues de oued Zegrir d'après Dubief, 1953.....</i>	42
<b>Figure 21</b>	<i>localisation des points d'eaux échantillonnés dans le bassin versant.....</i>	47
<b>Figure 22</b>	<i>Variation spatiale de la température.....</i>	52
<b>Figure 23</b>	<i>Variation spatiale des valeurs de pH.....</i>	53
<b>Figure 24</b>	<i>Variation spatiale de la conductivité électrique (µs/cm).....</i>	54
<b>Figure 25</b>	<i>Carte d'iso-conductivité électrique des eaux du bassin versant de oued Zegrir...</i>	54

<b>Figure 26</b>	<i>variation spatiale des teneurs du calcium.....</i>	55
<b>Figure 27</b>	<i>Carte d'iso-concentration du calcium des eaux du bassin versant de oued Zegrir .....</i>	56
<b>Figure 28</b>	<i>Evolution spatiale du magnésium.....</i>	57
<b>Figure 29</b>	<i>Carte d'iso-concentration du magnésium.....</i>	58
<b>Figure 30</b>	<i>Evolution spatiale du Sodium.....</i>	59
<b>Figure 31</b>	<i>Carte d'iso-concentration du sodium.....</i>	60
<b>Figure 32</b>	<i>Evolution spatiale du potassium .....</i>	61
<b>Figure 33</b>	<i>Carte d'iso-concentration du potassium.....</i>	61
<b>Figure 34</b>	<i>Evolution spatiale des Bicarbonates.....</i>	62
<b>Figure 35</b>	<i>Carte d'iso-concentration des bicarbonates.....</i>	63
<b>Figure 36</b>	<i>Evolution spatiale des sulfates.....</i>	64
<b>Figure 37</b>	<i>Carte d'iso-concentration des sulfates.....</i>	65
<b>Figure 38</b>	<i>Evolution spatiale du Chlore.....</i>	66
<b>Figure 39</b>	<i>Carte d'iso-concentration du Chlore.....</i>	66
<b>Figure 40</b>	<i>Evolution spatiale des Nitrates.....</i>	67
<b>Figure 41</b>	<i>Carte d'iso-concentration des Nitrates.....</i>	68
<b>Figure 42</b>	<i>Evolution spatiale des Nitrites.....</i>	69
<b>Figure 43</b>	<i>Evolution spatiale TSD.....</i>	70
<b>Figure 44</b>	<i>Diagramme triangulaire de Piper pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir.....</i>	72
<b>Figure 45</b>	<i>Carte des états de surface des sols du bassin versant de oued Zegrir.....</i>	76
<b>Figure 46</b>	<i>Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-chimiques dans l'eau en selon le plan F1 x F2 .....</i>	78
<b>Figure 47</b>	<i>Le couple Ca – SO4.....</i>	79
<b>Figure 48</b>	<i>Le couple Mg–SO4.....</i>	80
<b>Figure 49</b>	<i>Le Couple HCO3-Ca2+.....</i>	81
<b>Figure 50</b>	<i>Le couple Ca – Mg .....</i>	82
<b>Figure 51</b>	<i>Le couple HCO3<sup>3-</sup>/Ca+Mg.....</i>	82
<b>Figure 52</b>	<i>Le Couple Cl –SO4.....</i>	83

<b>Figure 53</b>	<i>Le Couple Ca – Cl</i> .....	84
<b>Figure 54</b>	<i>Le Couple Mg – Cl</i> .....	84
<b>Figure 55</b>	<i>Relation Conductivité – Ca<sup>2+</sup></i> .....	85
<b>Figure 56</b>	<i>Relation Conductivité – Mg<sup>2+</sup></i> .....	85
<b>Figure 57</b>	<i>Relation Conductivité – Cl<sup>-</sup></i> .....	86
<b>Figure 58</b>	<i>Relation Conductivité – SO<sub>4</sub><sup>-</sup></i> .....	87
<b>Figure 59</b>	<i>Rapport caractéristique <math>rCa^{2+}+rNa^{+}</math> vs <math>rHCO_3^{-}/rCl^{-}</math></i> .....	88
<b>Figure 60</b>	<i>Rapport caractéristique <math>rCa^{2+}+rMg^{2+}</math> vs <math>rHCO_3^{-}/rCl^{-}</math></i> .....	88
<b>Figure 61</b>	<i>Evolution de l'indice de saturation des eaux du bassin versant</i> .....	90
<b>Figure 62</b>	<i>Relation entre le facteur de concentration (Fc) et la conductivité (CE)</i> .....	92
<b>Figure 63</b>	<i>Evolution du calcium par rapport au facteur de concentration</i> .....	93
<b>Figure 64</b>	<i>Evolution des sulfates par rapport au facteur de concentration</i> .....	94
<b>Figure 65</b>	<i>Evolution du sodium par rapport au facteur de concentration</i> .....	95
<b>Figure 66</b>	<i>Evolution des bicarbonates par rapport au facteur de concentration</i> .....	96
<b>Figure 67</b>	<i>Evolution du magnésium par rapport au facteur de concentration</i> .....	97
<b>Figure 68</b>	<i>Evolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux carbonatés en fonction du facteur de concentration</i> .....	98
<b>Figure 69</b>	<i>Evolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux sulfatés en fonction du facteur de concentration</i> .....	99
<b>Figure 70</b>	<i>Evolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis de l'halite en fonction du facteur de concentration</i> .....	99
<b>Figure 71</b>	<i>Diagramme de Wilcox pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir</i> .....	104
<b>Figure 72</b>	<i>Diagramme de Richard pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir</i> .....	105

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1</b>	Valeurs des précipitations mensuelles et annuelles de la station de Ghardaïa (1990-2008).....	7
<b>Tableau 2</b>	Valeurs mensuelles et annuelles des températures moyennes exprimées en degrés Celsius de la station de Ghardaïa (1998-2008).....	9
<b>Tableau 3</b>	Vitesse moyenne mensuelle des vents exprimée en m/s (1998-2008) – station de Ghardaïa.....	10
<b>Tableau 4</b>	Valeurs de l'évaporation exprimées en mm (1998-2008) -station de Ghardaïa.....	10
<b>Tableau 5</b>	Humidité moyenne mensuelle de l'air exprimées en % (1998-2008) – station de Ghardaïa.....	11
<b>Tableau 6</b>	Durée d'insolation moyenne mensuelle exprimée en heure (1998-2008) - station de Ghardaïa.....	11
<b>Tableau 7</b>	caractéristique générale du SASS (Source ANRH) .....	33
<b>Tableau 8</b>	Paramètres hydrologiques du bassin versant de oued Zegrir.....	40
<b>Tableau 9</b>	Fréquence des mois de crues à hauteur de Guerrara- entre Avril 1938 et Mars 1951 (13 ans).....	42
<b>Tableau 10</b>	Fréquence des mois de crues importantes à hauteur de Guerrara entre 1921 et 1950 (30 ans).....	42
<b>Tableau 11</b>	Coordonnées géographiques des différents points échantillonnés.....	46
<b>Tableau 12</b>	Récapitulatif de différentes méthodes utilisées pour les paramètres physico-chimiques.....	50
<b>Tableau 13</b>	Classification de Stabler des eaux du bassin versant de oued Zegrir.....	73
<b>Tableau 14</b>	Matrice de corrélation des éléments chimiques.....	77
<b>Tableau 15</b>	Indice de saturation des eaux du bassin versant de oued Zegrir.....	90
<b>Tableau 16</b>	Classification des eaux (Schoëller 1977).....	100
<b>Tableau 17</b>	Dureté des eaux dans le bassin versant de oued Zegrir.....	101
<b>Tableau 18</b>	Classification des eaux du bassin versant de oued Zegrir selon la potabilité.....	102
<b>Tableau 19</b>	Valeurs du SAR pour les eaux d'irrigation.....	104

### **INTRODUCTION GENERALE :**

Le climat saharien est connu par son aridité caractérisée par une pluviométrie très faible, accentuée par une très grande irrégularité temporelle intra et inter annuelle (Dubief, 1953 ; Thierriot et Matari, 1998). Par suite les écoulements y sont particuliers.

Les eaux superficielles sont intimement liées à la pluviométrie notamment dans les bassins versants.

Le Sahara est caractérisé par de très grands bassins hydrologiques, J. Dubief, 1953 a pu apprécier l'appartenance des différents écoulements et diviser le Sahara en grands ensembles.

Le bassin de Melrhir qui s'étend sur une superficie de 685000 Km<sup>2</sup> est l'un de ces grands ensembles à qui appartient le bassin versant de oued Zegrir. Ce dernier et comme la majorité des oueds sahariens n'a pas un régime de crue régulier mais plutôt de caractère occasionnel ; quand les pluies s'abattent l'oued coule quelques jours et débordent même, ces eaux se perdent généralement dans la nature, et ce par manque d'infrastructures destinées à la mobilisation de ces ressources (barrages, retenues collinaires).

D'après l'ABH, l'eau au Sahara Septentrional est généralement disponible et ce, grâce aux deux grands aquifères qui sont la nappe du Continentale Intercalaire (CI) et celle du Complexe Terminal (CT), mais la qualité physico-chimique de cette eau dans certains régions est le plus souvent médiocre, tel est le cas de la région de Guerrara ;

Dans le cadre du développement durable, les politiques prennent de plus en plus conscience de l'importance d'une bonne gestion des ressources en eaux.

A ce titre le développement socioéconomique de la région de Guerrara a engendré une augmentation importante de la demande en eaux des différents secteurs.

Les études antérieures réalisées dans la région de Guerrara montrent que les eaux du CI et du CT, en plus de la nappe superficielle tendent vers la famille des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes (S. Hadj-Said, B. Hamdi Aissa et Y Touil, 2008).

L'utilisation des eaux salées dans un système endoréique a entraîné la remontée de la nappe superficielle, la salinisation et l'hydromorphie, mettant en péril la qualité des sols et de l'environnement (B. Hamdi Aissa et M.C. Girard, 2007).

La salinité de la nappe superficielle de Guerrara est provoquée entre autre par la mauvaise gestion ; pompage de l'eau des aquifères profondes destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et aux besoins de l'activité industrielle.

C'est à partir de cette approche que nous envisageons de faire une étude du comportement géochimique de la seule source qui alimente la nappe superficielle de Guerrara et son évolution spatiale le long du bassin versant de oued Zegrir.

L'étude que nous avons menée porte donc sur l'évolution géochimique des eaux du bassin versant de oued Zegrir. De ce fait, notre étude s'est appuyée sur la démarche suivante :

Echantillonnage et analyse physico-chimique des eaux du bassin versant.

Traitement statistique et représentation graphique des résultats d'analyses, afin d'aboutir à une approche globale des processus d'acquisition de la composition chimique des eaux. Cette partie constitue donc le plus important volet de ce travail car elle permet de définir les différents faciès géochimiques rencontrés dans le bassin versant de oued Zegrir.

Recherche des relations mutuelles entre la composition chimique des eaux et la nature lithologique des faciès traversés.

### STRUCTURE DU MEMOIRE :

Ce mémoire est structuré en trois parties précédées par une introduction qui décrit l'origine du sujet, les objectifs visés et l'approche méthodologique utilisée pour atteindre les dits objectifs.

*La première partie* de ce mémoire s'articule autour de trois chapitres, *le premier* présente la zone d'étude dans son *contexte géographique* en le localisant dans son cadre régional, il décrit les *paramètres climatiques* régnant sur le bassin versant et brosse un portrait sur les grandes unités *géomorphologiques*. *Le second* aborde les grands traits de la *géologie régionale et locale* du bassin, *le troisième chapitre* présente une *synthèse hydrogéologique* sur les réserves d'eaux souterraines de la région d'étude; **Le quatrième chapitre** traite *l'hydrologie du bassin* pour choisir les critères adaptés à l'établissement des limites du bassin.

*La deuxième partie* expose *le matériel et les méthodes* utilisées pour accéder aux nombreux paramètres et données étudiées.

*La troisième partie* présente l'ensemble des *résultats* fournis par les différentes techniques de traitements des données et une *discussion* qui synthétise les principaux résultats obtenus.

Enfin une *conclusion générale* avec quelques recommandations jugées utiles clôturent notre travail.

# Partie I

## ***CADRE PHYSIQUE***

---

### ***Introduction***

Ce chapitre présente les traits majeurs du milieu d'étude notamment la localisation géographique, la répartition dans le temps et dans l'espace des paramètres climatiques (précipitation, température, vents, évaporation, insolation, humidité de l'air).

Ce chapitre décrit également le couvert végétal et brosse un portrait sur les grandes unités géomorphologiques.

Ces éléments vont contribuer à situer le bassin versant de oued Zegrir dans son contexte régional et à identifier les éléments utiles à la compréhension des problématiques abordées au cours de l'étude.



**1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :**

Le bassin versant de oued Zegrir se trouve au Nord du Sahara Septentrional, de direction générale Nord Ouest – Sud Est. La partie haute du bassin se situe dans la Commune de Hassi Delaa (Wilaya de Laghouat), la partie basse occupe la Commune de Guerrara (Wilaya de Ghardaïa). (*Fig. 1*)

D'amont en aval, on rencontre successivement Bled Bechouch, Bordj Ajerma, Bled El Achach, Bled Nouamis, Bled Er Remaneur, Rous El Menndjel, Bordj Talemzane, Daiet El Maadina, Djeder El Touil, Bled Bou Aïcha, Guerrara, Daiet Hadjou, Daiet Ben Feilah, Daiet Djerma et enfin Hassi Hadj Ahmed qui est la limite inférieure du bassin versant.

Ce bassin s'étend entre les coordonnées géographiques suivantes :

- $X_{1-2}$  (Longitude) : 2,999130° Est à 5,032234° Est
- $Y_{1-2}$  (Latitude) : 32,610308° Nord à 33,632625° Nord

Le bassin versant de oued Zegrir recouvre une superficie de 5200 Km<sup>2</sup>, il s'étale sur une plage d'altitude de 860m au Nord-Ouest jusqu'à 230m au Sud-Est, la dénivelée est de 630m. Il est limité :

- Au Nord par les Communes de Mekhareg, Ksar El Hirane (Wilaya de Laghouat) et les Communes de Sed Rahal, Guettara (Wilaya de Djelfa) ;
- Au Sud par la Commune de Hassi R'mel (Wilaya de Laghouat) et les Communes de Berriane et Zelfana (Wilaya de Ghardaïa)
- A l'Est par la Commune El Alia (Wilaya de Ouargla) ;
- A l'Ouest par la Commune Kheneg (Wilaya de Laghouat).

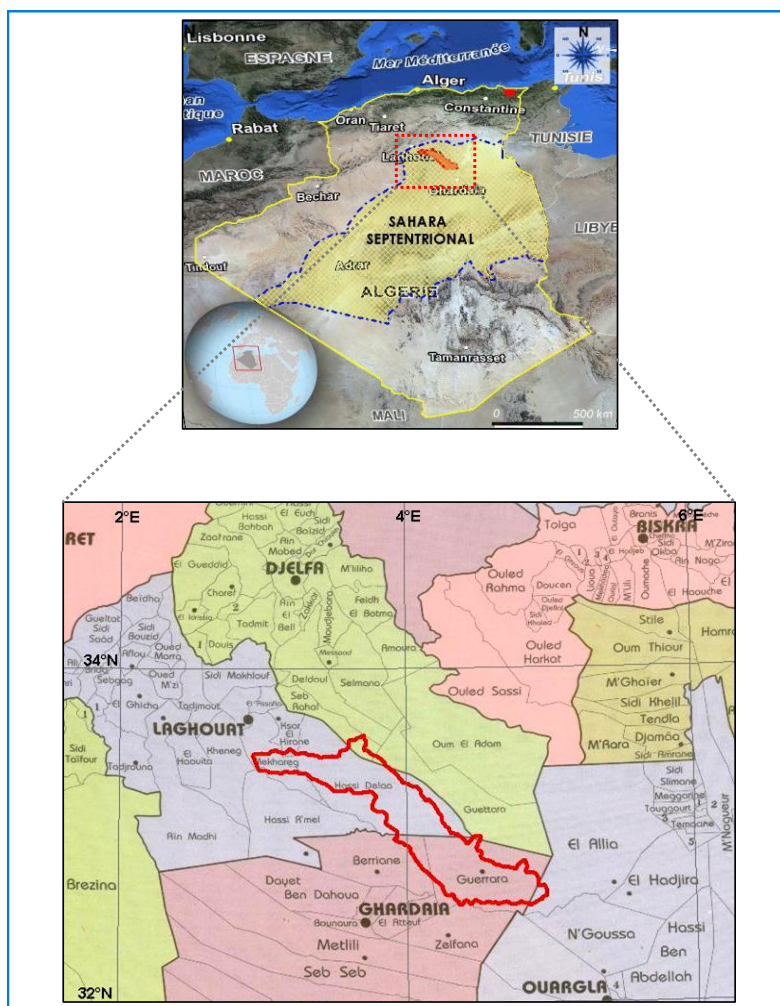


Figure 1 : Localisation géographique du bassin versant de oued Zegrir

## 2. CLIMAT :

Il aurait été préférable afin d'étayer les caractéristiques climatiques de notre bassin de faire une synthèse des données des deux stations : Hassi Delaa et Guerrara, malheureusement ces deux dernières ont été abandonnées depuis quelques années, c'est pourquoi nous avons été contrarié à utiliser les données disponibles de la station de Ghardaïa considérée comme représentative.

Station	Numéro	Altitude en (m)	Coordonnées	
Ghardaïa	13.04.27	527	X : 03°41'14''	Y : 32°29'30''

2.1. Les précipitations :

Selon Dubief (1953), les précipitations ont pratiquement toujours lieu sous forme de pluies. Ces dernières sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares

Cette insuffisance de pluie Sahariennes est accompagnée d'une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d'une variabilité inter annuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse. L'analyse des données de la station de Ghardaïa couvrant une période de 18 ans (de 1990 jusqu'à 2008) met en évidence deux périodes distinctives, l'une sèche et l'autre pluvieuse (Tableau 1)

Tableau 1 : Valeurs des précipitations mensuelles et annuelles de la station de Ghardaïa (1990-2008)

ANNEE	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total année	Moyenne
1990 / 1991	0	0	16,2	2,5	2,6	3,7	5,8	1,4	11,7	0	0	0	43,9	3,66
1991 / 1992	4,1	0,5	3,8	5,5	8	0	22,5	3,5	9,9	0	0	0	57,8	4,82
1992 / 1993	0	0	17,6	0	0	21,4	0,5	0	0,8	0	0	0	40,3	3,36
1993 / 1994	0,7	11,5	3,4	0	5,3	0,4	62,2	1,1	0	8,9	0	0	93,5	7,79
1994 / 1995	75,8	23,7	9	1,3	0	0	6,3	0	0	0	0	0	116,1	9,68
1995 / 1996	33,9	8,4	5,5	7,2	13,6	24,9	21	0,2	0	0	0	0	114,7	9,56
1996 / 1997	0	0,8	0	2,35	0,2	2,4	0	60,6	1,1	0	0	0	67,45	5,62
1997 / 1998	44,1	0	10,4	33,2	0	0	2,5	0,6	0	5,6	0	0	96,4	8,03
1998 / 1999	10,3	2,2	0	0,3	55,4	0,8	4,4	0	1,2	0	8,7	0	80,9	6,94
1999 / 2000	0,9	0	24,7	27,7	0	0	3,6	0	6,1	1,8	0	0	64,8	5,4
2000 / 2001	5,2	13,1	0	0	0	1,3	0,3	2,6	0	0	0	0	22,5	1,88
2001 / 2002	12,8	0,5	5,7	23,6	0,7	0	2,7	0,8	1,6	0,1	0	3,7	52,2	4,35
2002 / 2003	10,1	26,6	16,9	0	19,6	2,5	23,5	0,2	0	0,1	0	6,8	106,3	8,86
2003 / 2004	7,1	22,2	0	3,7	49	0,4	7,2	44,8	1	34,5	0	12,2	182	16,55
2004 / 2005	0	0	21,2	3,5	6,4	1,1	0	0	0	3,9	1,7	9,1	47	3,91
2005 / 2006	62,8	10,2	2,2	0	57,5	0	0,2	6,3	4,1	0	4,3	2,6	150	12,52
2006 / 2007	7,7	5,8	4,4	13,6	0,1	0	4,1	12,3	3,4	0	0	16,5	68	5,66
2007 / 2008	2,6	0	0	3,5	5,4	10,3	0	0	0,6	1,2	1,1	0	25	2,06
Total- mois	278,1	125,5	141	128	224	69,2	166,8	134,4	41,5	56,1	15,8	50,9	Source : ONM, 2009	
Moy mensuelle	15,45	6,97	7,83	7,11	12,4	3,84	9,27	7,47	2,3	3,12	0,88	2,83		

La répartition mensuelle fait ressortir un maximum de précipitation en Septembre et Janvier, avec un minimum se produisant en Mai à Août (Fig. 2). Toutefois, il faut noter que ces valeurs mensuelles peuvent fortement varier d'une année à l'autre (Dubief, 1953 ; Thierriot et Matari, 1998).

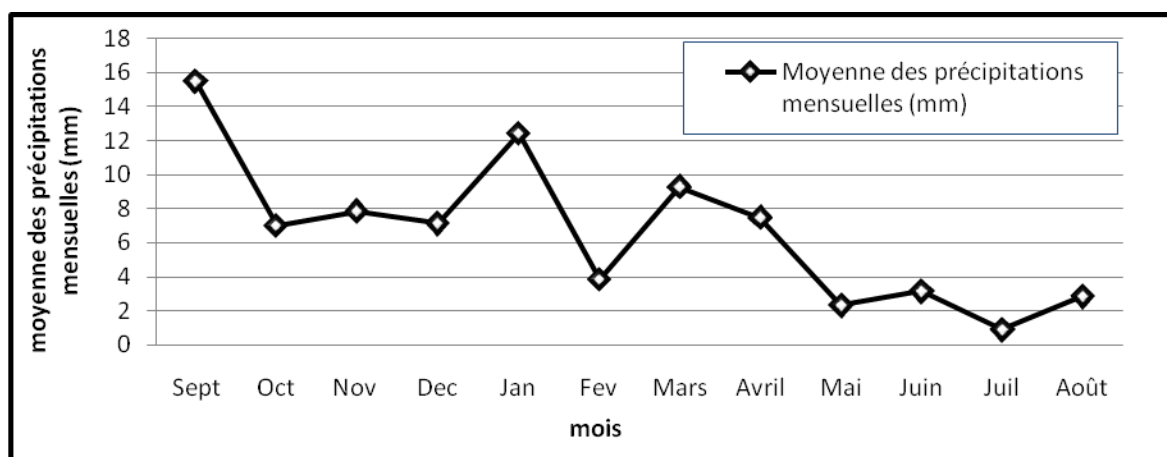


Figure 2 : précipitations moyenne mensuelles à la station de Ghardaïa

Du point de vue temporel, les précipitations annuelles à Ghardaïa montrent une grande variation; des précipitations annuelles maximales durant 2003/2004 et des précipitations minimales en 2007/2008, ce qui explique l'irrégularité des précipitations d'une année à une autre (Fig. 3).

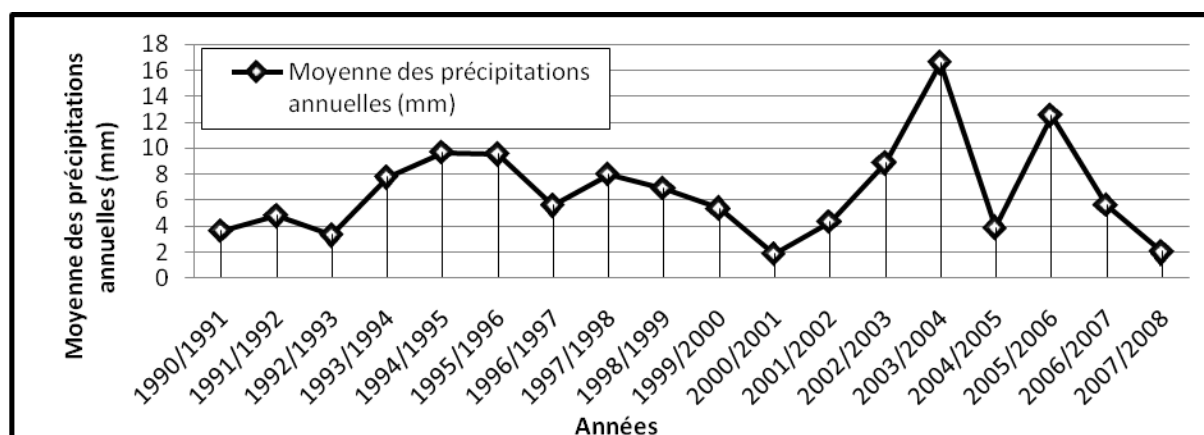


Figure 3 : précipitations moyenne annuelles à la station de Ghardaïa (1990-2008)

Du point de vue spatial, et d'après la carte de l'IGN établie par J.P. Barry et al (1974), le bassin versant de oued Zegrir montre une irrégularité des précipitations ; elle varie de 100 à 200 mm au Nord-Ouest du bassin (côté Hassi Delâa), cependant au Sud-Est du bassin (côté Guerrara) elle est au dessous de 100 mm (Fig. 4).

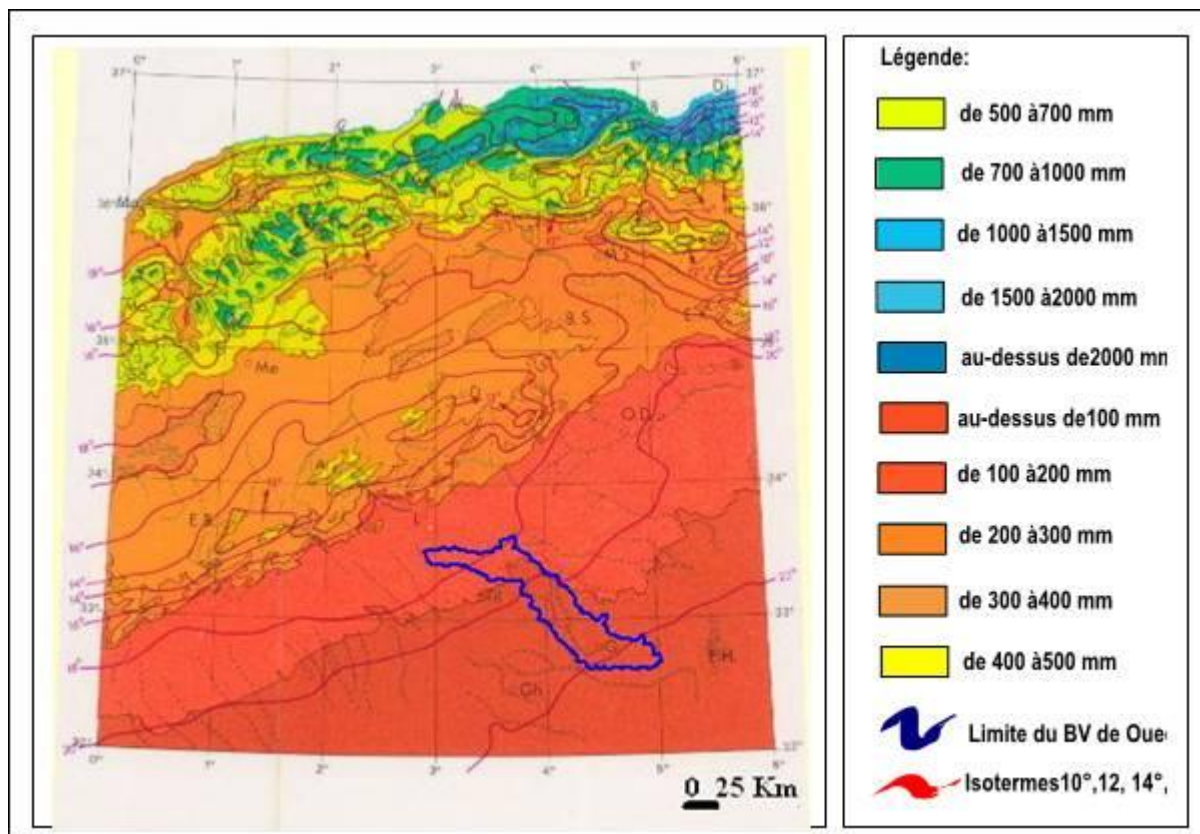


Figure 4 : Carte pluviométrique du Bassin versant de Oued Zegrir

## 2.2. La température :

Les valeurs mensuelles et annuelles des températures moyennes de la station de Ghardaïa sont mentionnées au *tableau 2*

L'analyse de ces valeurs nous permet de remarquer que les températures moyennes ont leurs plus fortes valeurs de Juin à Août avec un maximum en Juillet, tandis que les plus faibles valeurs se produisent de Septembre à Février.

Tableau 2 : Valeurs mensuelles et annuelles des températures moyennes exprimées en degrés Celsius de la station de Ghardaïa (1998-2008)

	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>1998</b>	11,2	13,5	16,4	21,7	24,2	30,1	33,8	33,4	30,2	20,9	16	10,3
<b>1999</b>	11	12,1	16,7	21,9	24,1	34	34,8	35,8	30,7	25,3	15,1	11,1
<b>2000</b>	9	13,7	17,8	22,1	27,2	30,1	34	31,9	22,2	20,3	16,9	14,1
<b>2001</b>	12,4	13,3	21,1	20,7	25,5	32	36,3	34,4	30,2	26,6	16,4	11,7
<b>2002</b>	10,4	14,8	18,2	20,6	25,9	31	34,8	33,8	28,5	22,7	17	13,8
<b>2003</b>	12,1	11,7	15,8	21,3	26,3	31	35,5	27,5	28,9	25,1	16,1	11,5
<b>2004</b>	12,2	17,5	17,8	20,3	22,6	30,5	33,4	35	31,8	25	14,3	11,4
<b>2005</b>	9,2	10,4	17,9	21,4	27,8	31,1	36,4	33,7	28,3	23,8	17	11
<b>2006</b>	8,7	8,8	18,7	23,7	27,5	30,7	33,8	33,6	26,8	24,8	17,2	12
<b>2007</b>	12,4	15,3	15,9	19,7	26	32,1	33,3	33,6	30,1	23,9	15,7	10,9
<b>2008</b>	11,8	14,5	15,6	20	22,4	30,1	32,8	33,4	28,2	22,9	16	12,5

**2.3. Les vents :**

D’après le tableau ci-dessous (*Tableau 3*), on remarque que les vents sont fréquents durant toute l’année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant de Mars jusqu’au Juin, avec un maximum de 4,60 m/s durant le mois d’Avril.

D’après le SELTZER (1946), les vents dominants sont de direction Nord Ouest.

**Tableau 3 : Vitesse moyenne mensuelle des vents exprimée en m/s (1998-2008) – station de Ghardaïa - Source :ONM, 2009**

1998-2008	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
V (m/s)	3,4	3,74	4,2	4,6	4,18	3,75	3,4	3,26	3,5	3,08	3,08	3,37

**2.4. L’évaporation :**

C’est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l’air et l’agitation de cet air (Ozenda, 1991).

Le tableau suivant résume les valeurs de l’évaporation dans la station de Ghardaïa pendant la période comprise entre 1998 et 2008 (*Tableau 4*).

**Tableau 4 : Valeurs de l’évaporation exprimées en mm (1998-2008) -station de Ghardaïa**

1998-2008	Jan	Fev	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Evap (mm)	101	128	197	258	315	370	403	390	280	191	125	99,8

On peut dire que la région de Ghardaïa connaît une importante évaporation pendant toute l’année, le maximum est atteint en période de Juin, Juillet et Août. Les minima sont enregistrés durant les mois de Décembre et Janvier.

**2.5. L’humidité de l’air :**

L’humidité de l’air dépend dans une large mesure de la température qui elle aussi dépend de la quantité du rayonnement reçue sur le sol, il demeure que celle-ci n’est pas la seule, car d’autres facteurs y interviennent aussi, notamment les vents, les nuages et l’ensoleillement.

En effet, pendant une période de dix ans allant de 1998 à 2008, la station de Ghardaïa enregistre un maximum d’humidité en hiver elle atteint une moyenne maximale de

56,9 % au mois de Janvier, alors qu'en été elle chute jusqu'au 21,3 % au mois de Juillet (*tableau 5*).

**Tableau 5: Humidité moyenne mensuelle de l'air exprimées en % (1998-2008) –station de Ghardaïa-**

1998-2008	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>H %</b>	56,9	46,1	38,5	33,6	29,4	24,7	21,3	25,3	35,1	40	50,8	56,7

## 2.6. L'insolation :

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température.

La durée d'insolation enregistrée à la station de Ghardaïa durant 1998-2008 peut atteindre 339,2 heures durant le mois de Juillet (*Tableau 6*).

**Tableau 6: Durée d'insolation moyenne mensuelle exprimée en heure (1998-2008) -station de Ghardaïa-**

1998-2008	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Insolation</b>	246	241	281	295	311	332	339	310	300	254	243	236

## 3. COUVERT VEGETAL :

Au Sahara, comme partout ailleurs, la végétation est le plus fidèle témoin du climat, elle est en fonction directe avec la quantité d'eau disponible.

Le tapis végétal est discontinu et très irrégulier, les plantes utilisent surtout les emplacements où le ravitaillement en eau se trouve un peu moins défavorable qu'ailleurs (Ozenda, 1991). Ce sont souvent des plantes de petite taille, à système racinaire puissant, munies de dispositifs permettant de limiter l'évapotranspiration (feuilles réduites, aciculaires, vernissées ou grasses) (Faye, 1997).

D'après les travaux menés par J.P. Barry et al (1974), les principaux groupements végétaux observés au bassin versant de oued Zegrir d'amont en aval sont (*Fig. 5*):

- Steppe buissonneuse à *Arthrophytum scoparium*, couvrant la partie septentrionale du bassin.
- Steppe buissonneuse à *Arthrophytum scoparium* et *Farsetia occidentalis*, occupant la partie centrale du bassin
- Steppe buissonneuse à *Arthrophytum scoparium* et *Helianthemum lippii* s.l

- Steppe buissonneuse claire à *Rhanterium suaveolens* ssp. *intermedium* et *Arthrophytum scoparium*
- Steppe buissonneuse claire à *Rhanterium suaveolens* ssp. *intermedium* et *Farsetia occidentalis*
- Steppe buissonneuse à faciès dégradé (anthropique) à *Euphorbia guyoniana* et *Oudneya africana*
- Palmeraie à *Phœnix dactylifera*, située à la partie inférieure du bassin, représentée essentiellement par la palmeraie de Guerrara.
- Steppe buissonneuse claire à *Rhanterium suaveolens* ssp. *intermedium* et *Stipagrostis*

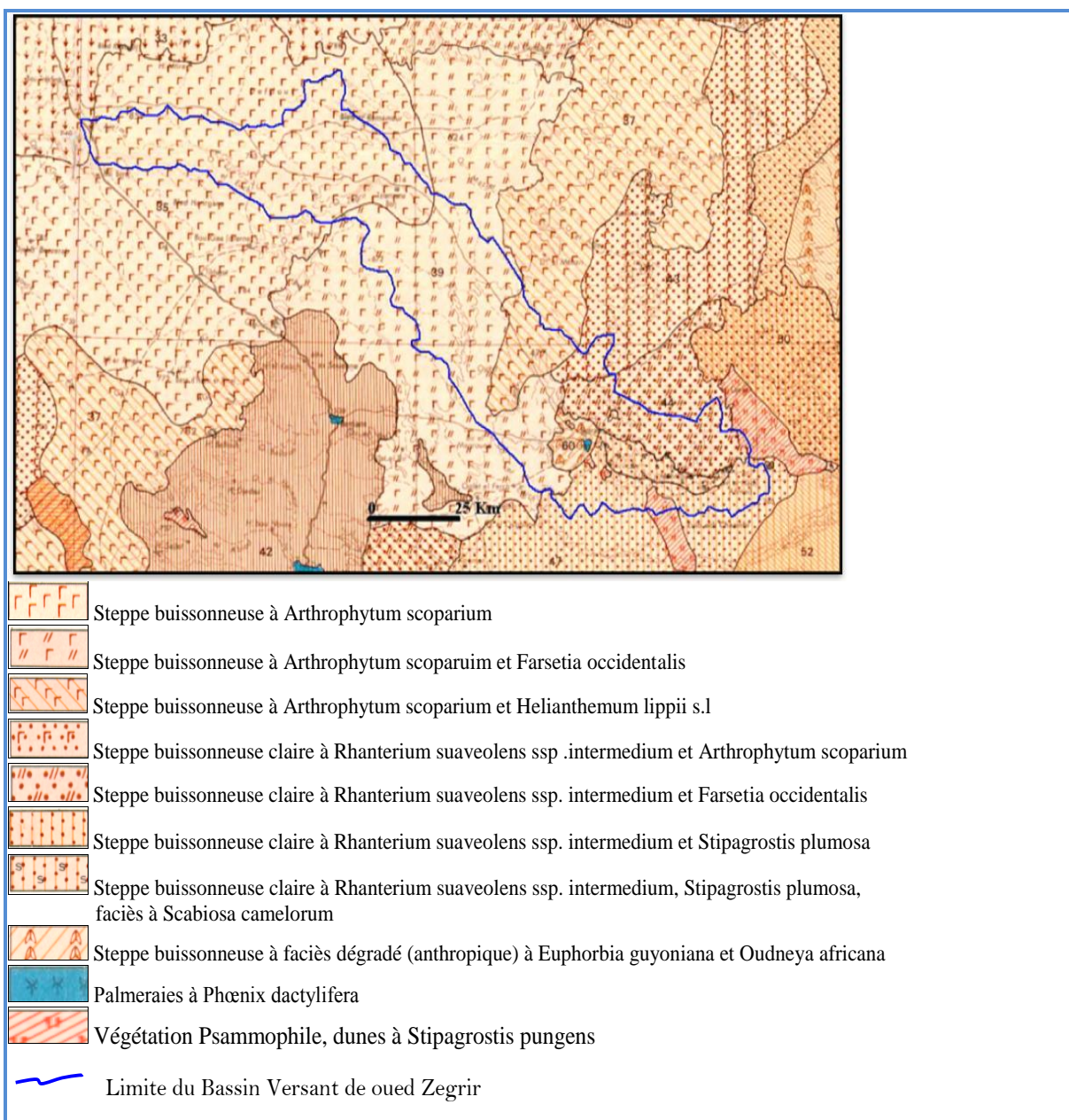


Figure 5 : Carte de la végétation du B.V de oued Zegrir (d'après Barry et al, 1974.)



## **4. GEOMORPHOLOGIE :**

Les unités morphologiques du bassin versant de oued Zegrir peuvent être groupées en plusieurs ensembles paysagiques, on note :

### **4.1 Les Garas :**

Les garas sont des buttes témoins en forme de champignon ; des plateaux tabulaires isolés par l'érosion et couronnés par une table de roche dure (Capot – Rey et al, 1969).

Nous citons à titre d'exemple les garas de l'Amied qui présentent une altitude moyenne de 340m. Ces gours sont encore un théâtre des jeux d'érosion hydroéolienne. (Fig. 6)

### **4.2 Les Dayas :**

Les dayas sont des dépressions fermées circulaires de faibles dimensions pouvant varier de un à quelques dizaines d'hectares, le plus souvent colonisées par une végétation dense.

Le Bassin versant de oued Zegrir est parsemé de nombreuses dayas profondes d'une dizaine de mètres et larges de quelques centaines de mètres, parfois même de plusieurs kilomètres.

Leur fond est tapissé de limon sablonneux qui conserve l'humidité et porte une végétation de jujubiers et de pistachiers (bétoums), exemple : Daïet Hadjou (16,3Km), daïet Ben Feïlah (20,3Km)...etc. (Fig.6). D'après R. Capot – Rey, 1938 – 1939 ; G. Conrad, B. Geze et Y. Paloc, 1967 ; G. Conrad, 1968 ces dayas relèvent d'un phénomène de dissolution de type karstique et leur développement reste lié au substrat et aux conditions climatiques qui l'ont affecté.

### **4.3 Les Cuestas :**

Se sont des formes dues à l'érosion. La cuesta comprend un front, plus ou moins abrupt, dû à l'interruption de la couche résistante, une dépression longeant le pied de l'abrupt et creusée dans les couches tendres et un revers qui correspond à peu près au dos de la couche résistante incliné. Des cuestas à front disséqué et sinueux forment une ceinture tout au tour de l'ensemble de la palmeraie de Guerrara. (Fig. 6)

### **4.4 Les accumulations sableuses :**

Les dunes se localisent généralement dans de vastes régions ensablées appelées les ergs.

D'après Gardi, 1973, les dunes peuvent avoir des formes différentes en fonction de la direction du vent.

L'une des caractéristiques du bassin versant de oued Zegrir est la présence des accumulations sableuse de type Nebka accrochée à une végétation typiquement Saharienne au Sud de la palmeraie de Guerrara et à l'Est de la région Drin. (Fig. 6)

#### **4.5 Les Glacis :**

Les glacis sont des formes de relief non structural consistant en une surface plane et peu inclinée (quelques degrés) (Fig. 6). Suivant son origine, on distingue :

- **Le glacis d'érosion**, sur lequel la roche est à nu comme le cas du versant Nord de la grande dépression de Guerrara (affleurement du substrat gréseux du Mio – pliocène).
- **Le glacis alluvial**, où la roche en place est masquée par des alluvions, comme le cas des glacis de Ras Echaab. La dénivelée entre l'amont du glacis et son aval est de 50m sur une distance qui varie entre 2 à 3Km, ce qui donne une pente très douce. La surface de ces glacis constitue un véritable reg.

#### **4.6 Le Plateau :**

C'est une surface de terrain à peu près plane, entaillée ou délimitée par des vallées assez encaissées (*Fig. 6*).

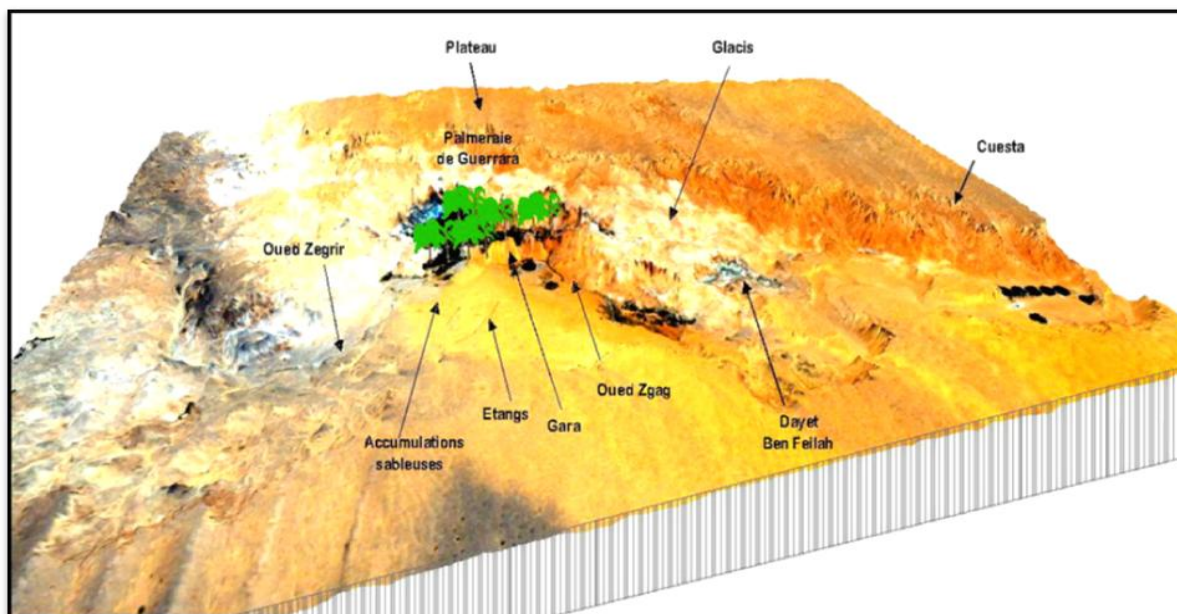
C'est le plateau du Pliocène, de 380 à 450m d'altitude qui occupe quelques parties au Nord et au Sud du Bassin versant de oued Zegrir. Il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Dans la partie Nord les terrains s'étendent sur une région appelée communément « plateau des dayas », alors que dans le Sud le plateau est appelé localement « plateau des Gantras ».

#### **4.7 Le réseau hydrographique :**

Représenté principalement par oued Zegrir et son prolongement oued Zgag (Fig. 6).

La surface du sol peut être unie par une grande partie du lit d'oued ou alternativement d'un côté à l'autre du lit en fonction des méandres, ou bien, entaillée par de petites incisions linéaires lorsque le ruissellement se concentre avec une pente plus forte et des débits plus importants (Pouget, 1980).

Grâce à l'image vraie couleur couplée avec le MNT, nous avons pu observer la présence de plusieurs étangs (anciens chenaux fossiles) juste au Sud de la palmeraie de Guerrara (Fig. 6), ce qui nous a emmené impérativement à penser que le trajectoire de oued Zegrir dans un temps passé était au Sud de la palmeraie et n'est plus le cours que l'on aperçoit actuellement



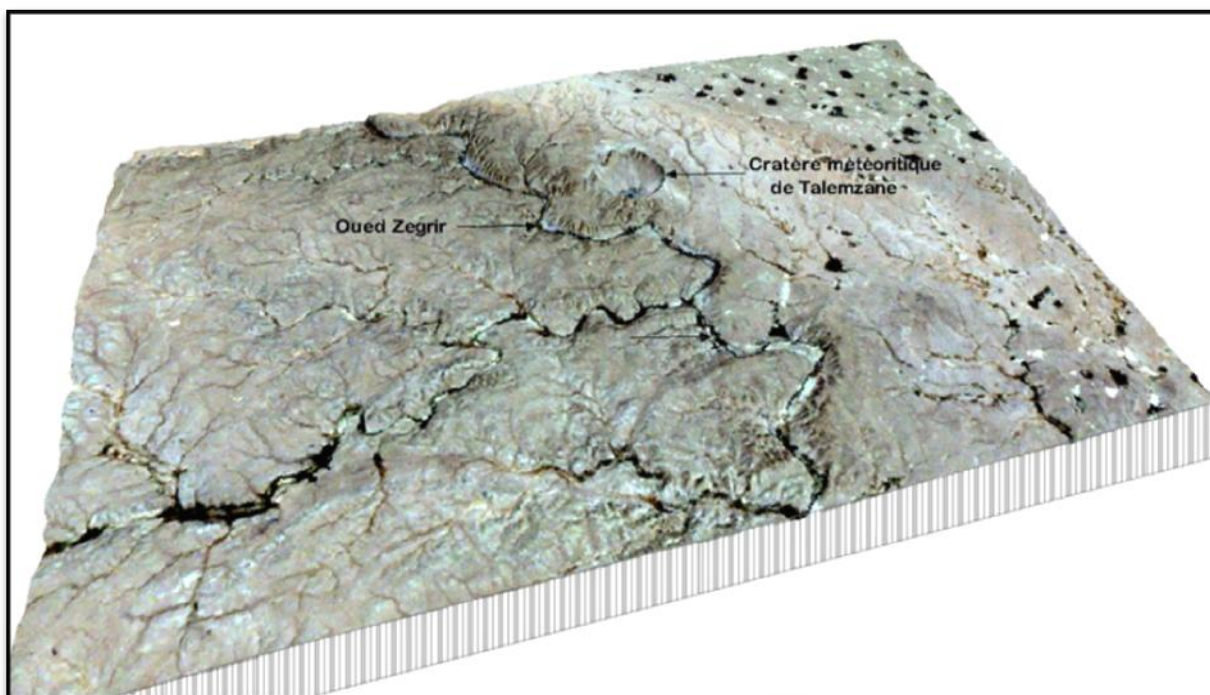
**Figure 6 : Modèle numérique de terrain « MNT » représentant les grandes unités morphologiques du bassin versant de Oued Zegrir**

#### **4.8 Le cratère météoritique de Talemzane :**

Le bassin versant de oued Zegrir est marqué par un des plus beaux cratères d'impact météoritique en Algérie ; il s'agit du cratère de Talemzane connu aussi sous le nom de cratère de Madna (Fig. 7).

Ce dernier, se situe à 40 Km au Sud – Est de la commune de Hassi Delaa (Wilaya de Laghouat) près de la petite dépression qui lui a donné son nom (Talemzane). Il se présente sous la forme d'une excavation circulaire de 1,75 Km diamètre et son âge est estimé à moins de 3 millions d'années, datant probablement du Pliocène.

Notons que les zones d'impact peuvent avoir un intérêt minier ; d'importants gisements de pétrole et de gaz seraient liés à des structures d'impact en terrains sédimentaires, c'est pourquoi, à notre avis le cratère de Talemzane nécessite une étude géophysique détaillée.



*Figure 7 : MNT représentant le cratère météoritique de Talemzane*

## 5. CONCLUSION :

Le bassin versant de oued Zegrir est situé entre  $2.999130^{\circ}$  et  $5.032234^{\circ}$  Est de longitude et entre  $32.610308^{\circ}$  et  $33.632625^{\circ}$  Nord de latitude.

Le climat de la zone d'étude est particulièrement contrasté malgré sa latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été, par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

La pluviométrie est très faible et irrégulière et les pluies torrentielles sont rares. Ces conditions climatiques imposent le développement d'une végétation typique du bassin versant représentée essentiellement par les steppes et les dattiers.

Les grandes unités géomorphologiques du bassin versant discernables à partir du modèle numérique du terrain « MNT » sont principalement : les garas, les dayas, les cuestas, les accumulations sableuses, les glacis, le plateau, le réseau hydrographique et le cratère météoritique de Talemzane.

---

**CONTEXTE GEOLOGIQUE**

---

**INTRODUCTION**

Le soubassement saharien, qui porte l'empreinte de nombreuses orogénèses antécambriennes dont les directions structurales les plus apparentes sont orientées nord-sud était figé avant le Paléozoïque, puisque les dépôts primaires reposent sur une pénéplaine presque parfaite, réalisée avant le Cambrien. Ce Paléozoïque, doucement incliné vers le Nord, s'appuie au Sud sur le massif du Hoggar et au Sud-Ouest sur la « dorsale Reguibat ». Il est surmonté par les dépôts du « Continental intercalaire » (Trias à Crétacé inférieur), de l'épisode marin du Crétacé supérieur et, enfin, du « Continental terminal » (Cénozoïque). L'ensemble de ces formations, du Paléozoïque au Cénozoïque, remplit une large gouttière synclinale allant du bassin de Tindouf, à l'ouest, jusqu'à la Djeffara tripolitaine, à l'Est, en passant par le bassin du Mزاب.

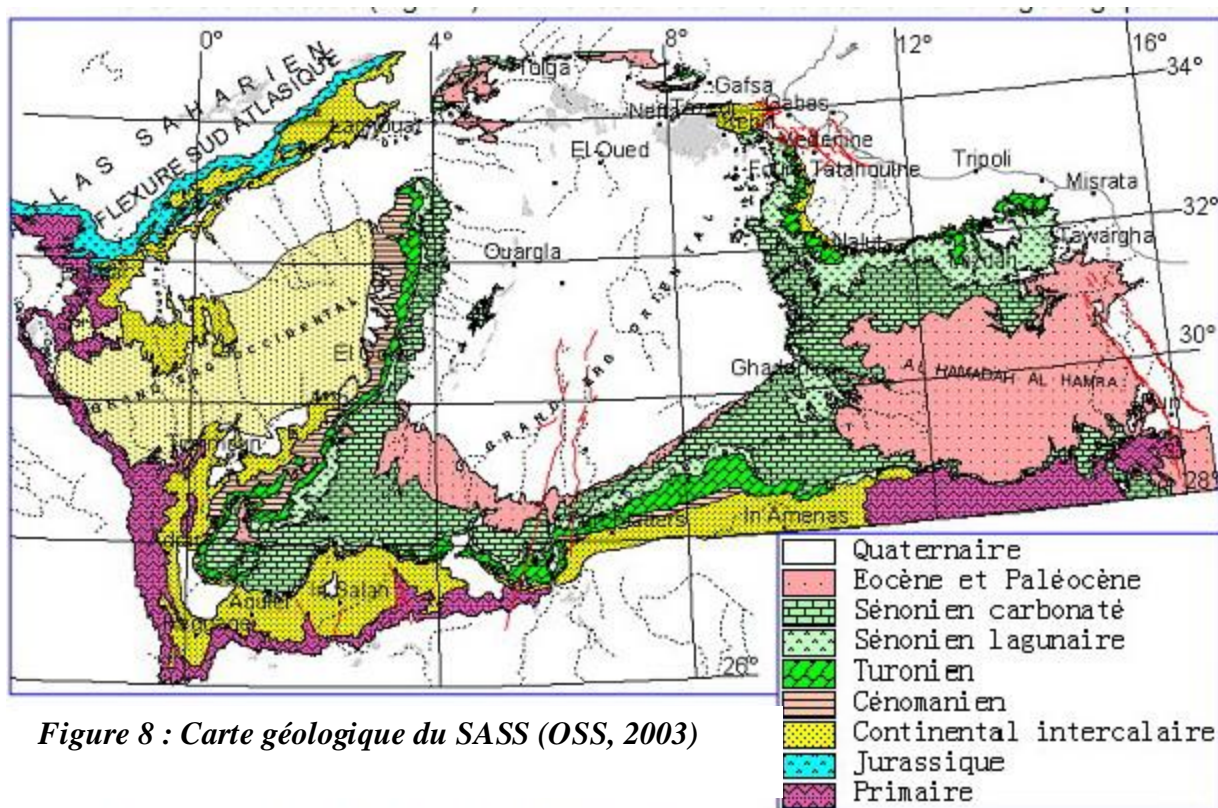
L'accident Sud Atlasique qui passe en Algérie aux environs de Biskra, Laghouat sépare le Nord (l'ensemble Atlasique) du Sud (la plate forme Saharienne). Ce dernier, est relativement stable; la tectonique est moins prononcée.

De nombreux auteurs et chercheurs ont publié des articles et des ouvrages sur la géologie du Sahara, parmi eux nous citons : Bel et Dermagne (1966), Bel et Cuche (1969), G. Busson (1967-70), J. Fabre (1976), sans oublier les travaux des compagnies pétrolières.

Les eaux des puits sont marquées par les terrains qu'elles traversent et dans lesquels elles séjournent. Afin de déterminer le cheminement suivi par les eaux, ainsi que la nature des terrains traversés, il nous a paru judicieux de s'intéresser à la géologie locale du bassin qui fera par la suite la base des interprétations.

## 1. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL :

Le bassin versant de oued Zegrir se situe au Sahara Septentrional (*Fig. 8*), dont les grands traits de la géologie sont représentés essentiellement dans la colonne stratigraphique (*Fig. 9*):



### 1.1. LE PALEOZOIQUE (PRIMAIRE) :

- a) **Cambrien** : Les dépôts cambrien reposent sur le socle cristallin et sont représentés par des grès et des quartzites à passées conglomératiques.
- b) **Ordovicien** : Les coupes les plus complètes se situent dans les dépressions de l'oued Mya et de Timimoun. Les dépôts proximaux (fluviaux) s'agencent autour des régions émergées et forment les falaises du Tassili interne. Les dépôts marins se rencontrent au Nord en sub-surface et dans ce qui est devenu les chaînes de l'Ougarta. Des traces de glaciation ont été décelées dans l'Ordovicien terminal.

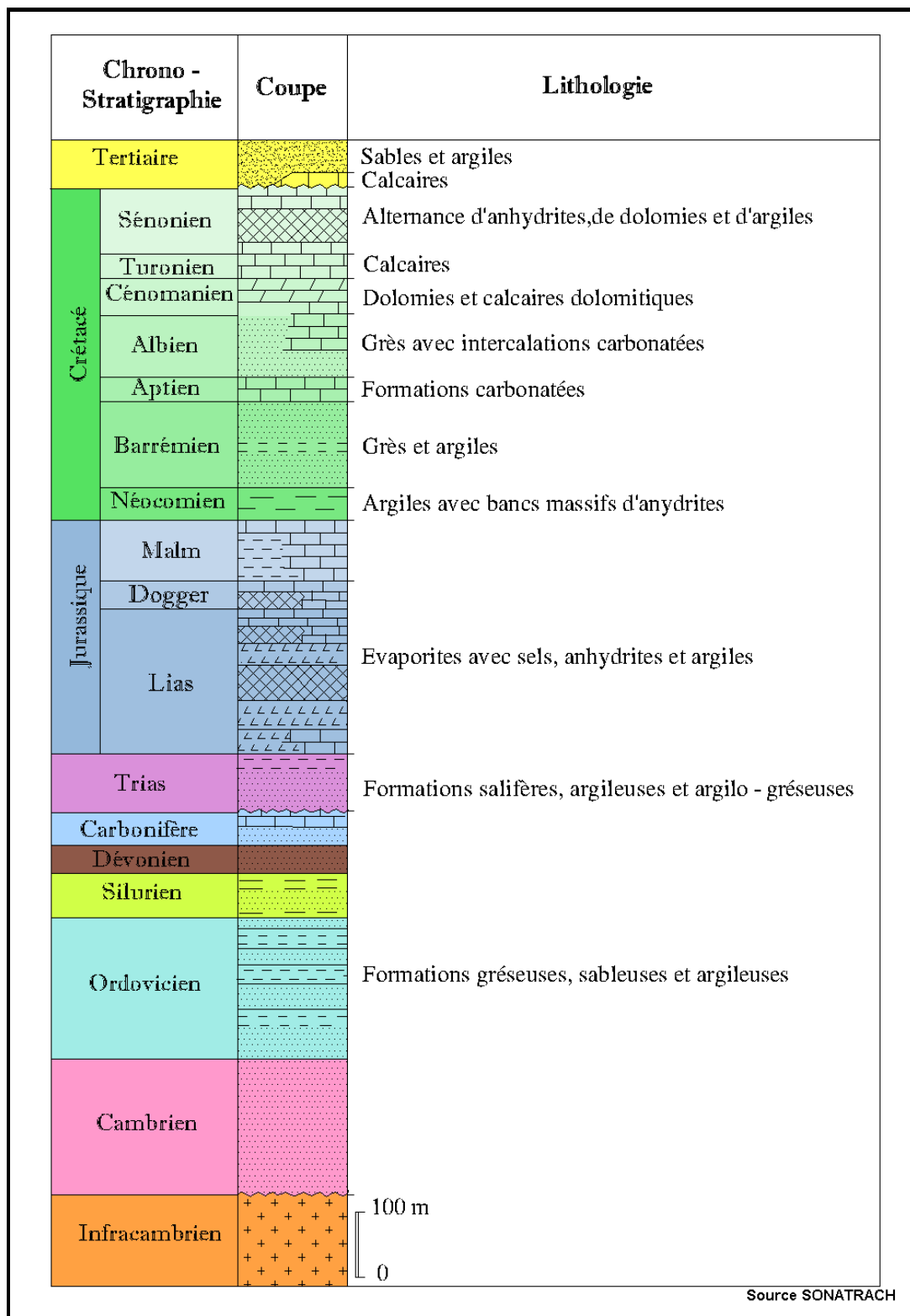


Figure 9 : Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Septentrional

- c) **Silurien** : Cette période est caractérisée par une sédimentation terrigène fine, argileuse en milieu marin. Cette série d'apparence homogène est représentée par des argiles noires à Graptolites et des argiles à passés gréseux et rares bancs carbonatés.
- d) **Dévonien** : Le Dévonien inférieur est essentiellement argilo-gréseux présentant des faciès très variés. Le Dévonien moyen et supérieur est caractérisé par des lacunes de sédimentation.

## 1.2. LE MESOZOIQUE (SECONDAIRE) :

- a) **Trias** : Busson (1970) souligne la grande variabilité de faciès et d'épaisseur du Trias. Il est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être : salifères, argileuses, argilo-gréseuses ou carbonatées.

L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180m). Elle diminue dans les zones de hauts-fonds (Hassi Messaoud et R. El Bague).

Le Trias salifère présente une grande épaisseur 700m au N-E de Ghadamès, il atteint 1300m à Hassi Messaoud (Busson, 1970).

### b) **Jurassique:**

- **Le jurassique inférieur et moyen (Lias):** comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argile auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et d'argiles avec des bancs d'anhydrites.
- Le jurassique moyen (Dogger) : Le jurassique moyen est caractérisé par une transgression couvrant tout le bassin du grand erg Oriental et les dépôts y sont épais.
- Le jurassique supérieur (Malm) : est caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés (Busson, 1970). Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'Ouest et vers le Sud.



Le passage du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes ayant pour origine les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Busson, 1970).

**c) Crétacé:**

- **Le Crétacé inférieur** : l'étude des données de sondage (Busson, 1967-1970) a permis de préciser la succession des paléogéographies au cours du Crétacé inférieur. Il est constitué par des couches terrigènes fluvio-deltaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur.

Il comprend, en partant des formations les plus anciennes :

- **Le Néocomien** : comprenant dans le bas-Sahara des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bancs massifs plus fréquents à la base. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles ;

- **Le Barrémien** : est caractérisé par un épandage généralisé des formations détritiques du crétacé inférieur jusque dans le bas- Sahara.

Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar).

Les intercalations carbonatées sont peu nombreuses et cantonnées au Nord-Est du Sahara algérien ;

- **L'Aptien** : est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du bas-Sahara, par 20 à 30m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrites, d'argiles et de lignites (sédimentation lagunaire).

- **L'Albien** : est caractérisé par un remarquable retour de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre Aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens. On remarque que le changement du régime sédimentaire et l'arrivée en masse de sédiments détritiques s'est produit entre le Néocomien et le Barrémien et au cours de l'Albien (Fabre, 1976).

- **Le Crétacé supérieur** : Il comprend, en partant des formations les plus anciennes :

- **Le Cénomaniens** : est constitué par une alternance de bancs de dolomies, de calcaires dolomitiques, d'argiles et d'évaporites (Bel et Cuche, 1969).

Son faciès varie :

- Au Sud de Ghardaïa, les argiles et les évaporites dominent.
- Au Nord, au contraire, les bancs de calcaire et de dolomie sont majoritaires ;
- De plus, l'épaisseur augmente du Sud vers le Nord (de 50m dans le Tademaït à 350m dans le bas-Sahara).

La présence de nombreux bancs d'évaporites et d'argiles rendent le Cénomaniens imperméable (Bel et Cuche, 1969).

Le Cénomaniens inférieur à moyen est argileux dans le Tinrhert et le bas-Sahara, le Cénomaniens supérieur y est calcaire (Busson, 1970).

- **Le Turonien** : Il se présente sous trois faciès différents, du Sud au Nord :

- Au Sud du parallèle d'El Goléa, il est calcaro-marneux ;
- Entre El Goléa et Djamâa, il est essentiellement calcaire ;
- Au Nord de Djamâa, il est à nouveau calcaro-marneux.

Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse 300m (Bel et Cuche, 1969).

- **Le Sénonien** : Il s'individualise en deux faciès :

- Le Sénonien inférieur à sédimentation lagunaire caractérisé par des formations argileuses et salifères à anhydrite, il est très peu perméable (Busson, 1970) ;
- Le Sénonien supérieur à formation carbonatée perméable,

### **1.3. LE CENOZOIQUE (TERTIAIRE) :**

a) **L'Eocène** : On distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique :

- **à la base :** l'Eocène carbonaté est formé essentiellement par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec quelques intercalations de marnes, d'argiles et même d'anhydrites.

La puissance de cette formation varie entre 100 et 500m, l'épaisseur maximum se situe dans la zone du bas-Sahara.

- **au sommet :** l'Eocène évaporitique est formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marne. Son épaisseur atteint une centaine de mètres sous les chotts (Bel et Cuhe, 1969),

L'Eocène constitue le dernier épisode marin du Sahara Algérien (Busson, 1970),

### **b) Le Mio-Plio Quaternaire :**

Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse.

Dans le bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio- Pliocène) dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts Algéro-Tunisien, quelques centaines de mètres.

On y identifie, dans la région de Oued Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe de Oued Rhir).

L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes et des chotts (Busson, 1970).

## **1.4. TECTONIQUE :**

Durant le Secondaire, la partie centrale du Sahara septentrionale a subi des mouvements verticaux d'ensemble qui se sont traduits par un effondrement progressif.

Au début du Crétacé, cet affaissement est comblé par un dépôt lagunaire accusant au centre de la cuvette des épaisseurs considérables. Le mouvement de descente se poursuit très lentement pendant le Turonien et une partie du Sénonien. Les deux étages présentent des épaisseurs et des faciès peu variables sur toute l'étendue de la cuvette saharienne (Boudjema, 1987).

A l'Eocène moyen, réapparaît un dépôt lagunaire qui correspond au comblement définitif de la cuvette saharienne. Par la suite, les mouvements dans cette dernière se sont traduits par un exhaussement d'ensemble suivi d'un mouvement de descente qui a débuté au Miocène et qui dure encore actuellement. Ce mouvement de descente correspond à la sédimentation continentale du Mio-pliocène et du Quaternaire (Boudjema, 1987).

Une phase orogénique plus récente datant de la fin du Pliocène engendre des plissements dans la région saharienne qui se sont traduits par le bombement qui plonge dans sa partie orientale sous les chotts (Busson, 1970).

D'après les travaux géologiques menés en 1972 dans la région, ils semblent que les mouvements tectoniques dans le Sahara septentrionale soient assez anciens. Puisqu'ils sont datés du Secondaire et du Tertiaire. Ces mouvements sont traduits par la mise en place de grandes ondulations.

Durant l'aire Quaternaire des oscillations importantes se sont produites expliquant ainsi la présence des chotts et des reliefs du bas du Sahara (Fabre, 1969).

### **1.5. PALEOGEGRAPHIE :**

Deux formations marines séparées par un épisode lagunaire ou continental : c'est ce que l'on trouve au Sahara septentrional.

Au dessus des argiles et grès du continental intercalaire (Crétacé inférieur) se présentent des couches marines : la grande transgression Cénomanienne installe ce régime marin permettant ainsi les dépôts de calcaires dolomitiques et d'argiles plus ou moins gypseuses ; les argiles salines indiquent les hésitations de cette mer Crétacé, le véritable régime marin étant représenté au Nord du Mzab par le Cénomaniens et le Turonien. Animaux sédentaires ou nageurs y ont proliféré jusqu'à ce que, de nouveau, la mer se retire vers la fin du Turonien.

C'est dans des lagunes d'abord, puis des lacs d'eau douce, enfin sur des plaines inondables qu'ont dû s'accumuler les argiles et sables fins. Quel laps de temps représentent-ils? Une indication indirecte donnée par la faune des calcaires et dolomies qui les surmontent, témoins d'un nouvel étalement de la mer sur le continent (J. Fabre, 1976). Ces calcaires et dolomies sont datés Campanien- Maestrichtien. Les couches sous- jacentes correspondent donc au Sénonien inférieur. La mer revient ensuite progressivement, comme la première fois. Elle va

demeurer jusqu'à l'Eocène inférieur. Ensuite elle se retire et à l'Eocène moyen, le Mzab était déjà émergé.

A la fin de l'Eocène, la mer s'est définitivement retirée de la plateforme Saharienne et, dès lors, le régime continental installé a façonné progressivement l'aspect général actuel, fortement aidé cependant par la tectonique.

En effet, le grand accident Sud Atlasique apparaît à ce moment ; il se traduit par un mouvement de bascule faisant naître l'Atlas Saharien et provoquant l'enfoncement des sédiments de la plateforme Saharienne. Parallèlement, des déformations ont également affecté cette plateforme et c'est comme ça que la « dorsale du M'Zab » s'est mis en place.

## **2. CADRE GEOLOGIQUE LOCAL :**

L'absence de carte géologique détaillée de la région de Ghardaïa nous a emmené à se contenter d'utiliser comme source de données :

- La carte géologique de l'Algérie au 1/500.000 (carte éditée en 1951-1952) ;
- La coupe géologique établie dans le secteur d'étude (région de Guerrara) ;
- Et enfin le log stratigraphique d'un forage réalisé à la région de Guerrara.

La lecture de la carte géologique d'Alger Sud ainsi que la coupe et le log stratigraphique (**Fig.10, 11,12**) permettent de mettre en évidence les formations sédimentaires d'âge Secondaire et Tertiaire ; du plus ancien au plus récent on a :

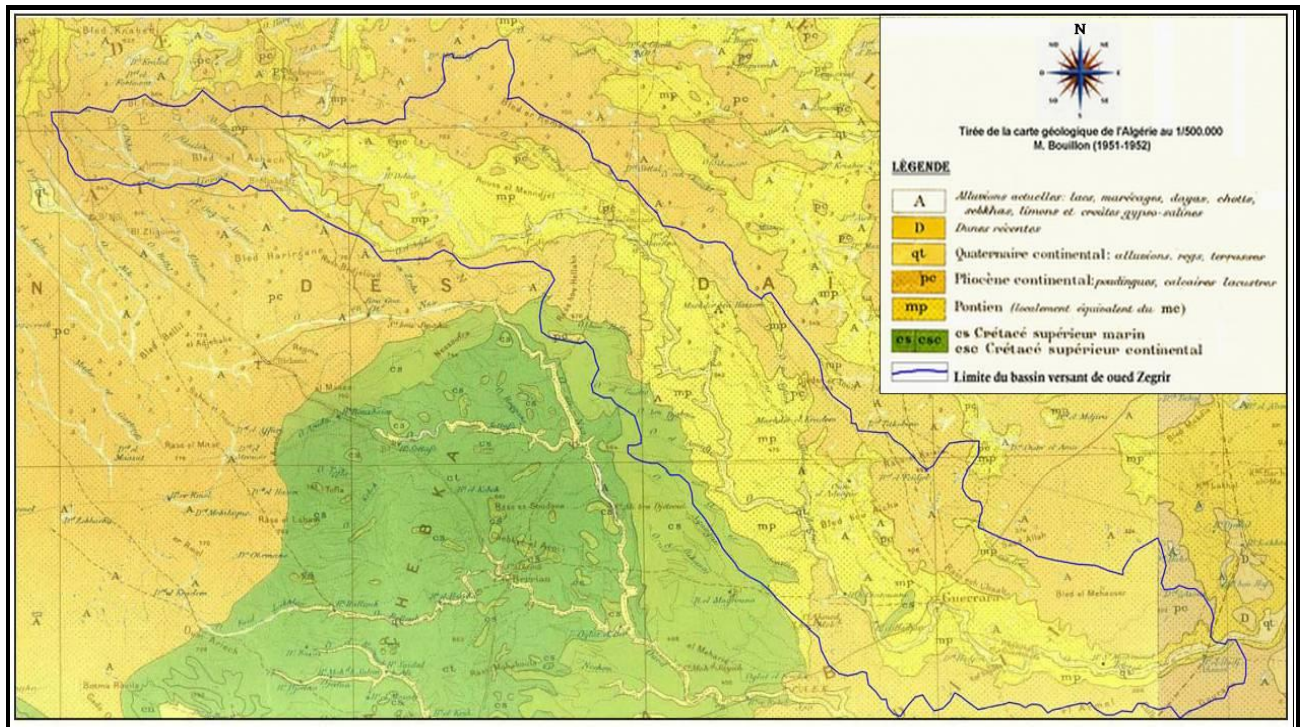


Figure 10: Carte géologique locale du bassin versant de oued Zegrir.

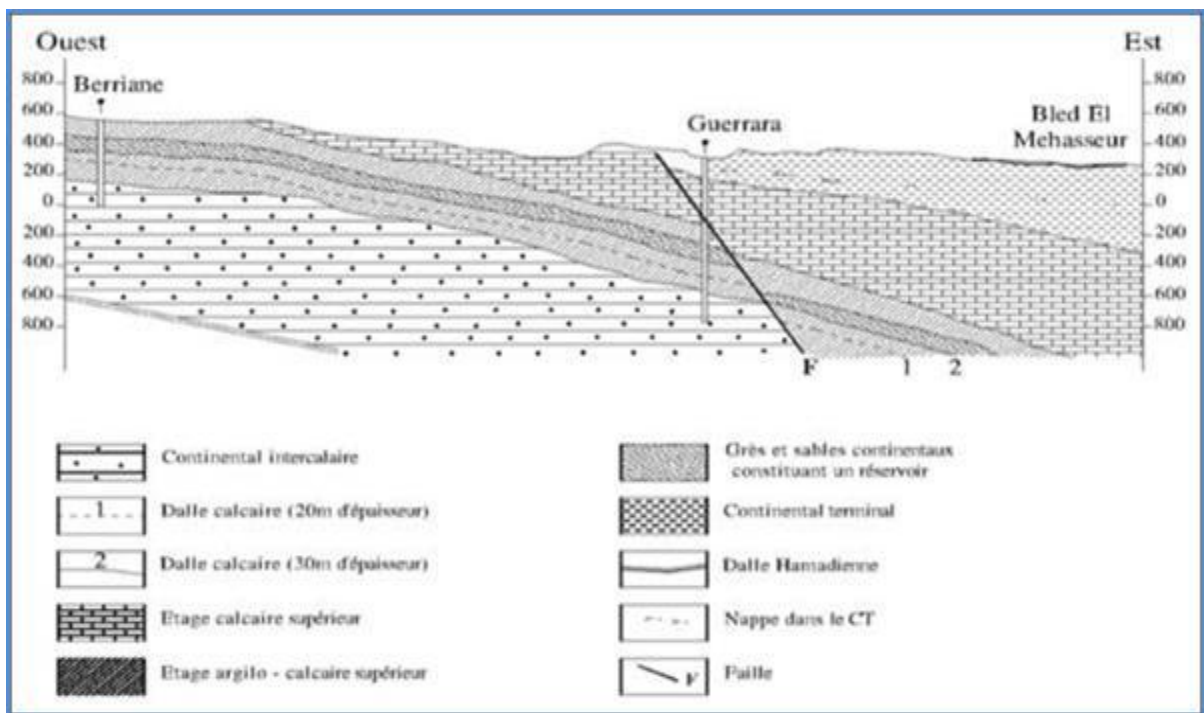


Figure 11 : Coupe géologique de la région de Guerrara (d'après S.C.G, 1952 ; Gautier et Gauskov, 1951 et P.D.E.U, 1994).

**2.1 Crétacé supérieur (Cs) :** il occupe la partie occidentale du bassin versant et affleure aussi sous forme de fenêtres à quelques kilomètres à l'Ouest de Guerrara.

Le Crétacé supérieur est représenté en grande partie par des calcaires, marnes, dolomie, grès. On rencontre des passées isolées de gypses, d'anhydrites, d'argile et de grès. Parfois dans la partie inférieure reposent des grès blancs fins dolomitiques. On note des restes de bivalves, d'oursins, de foraminifères.

Selon Jean Fabre, 1976 ces argiles et grès rouges sont couronnés par une double dalle claire, dure, de calcaires plus ou moins dolomitiques, parfois pétris de coquilles marines est le témoin de l'invasion par la mer d'une grande partie du Sahara.

**2.2 Néogène :** représenté essentiellement par :

**a) Miocène :** La majorité du bassin versant de oued Zegrir est représenté par le Pontien (mp) localement équivalent au miocène continental antépointien. Ce dernier occupe la partie centrale du bassin, il s'étend ainsi le long du lit majeur de oued Zegrir depuis Rous El Mendjel au Nord Ouest jusqu'à la région de Guerrara au Sud Est.

**b) Pliocène (Pc) :** Il est clairement visible sur les limites du bassin versant de oued Zegrir :- Au Bled Er Remaneur au Nord

- Bled El Achach au Nord Est

- Bled El Mehasser au Sud Est

Le Pliocène apparaît aussi sous forme de lambeau surmontant le Pontien. Les dépôts du Néogène sont connus sous le nom du Mio-pliocène du fait que leur discrimination s'avère difficile et n'a pas fait l'objet d'une étude systématique, elle est basée seulement sur quelques observations faites à l'occasion de la recherche d'eau.

Ce sont, en majeure partie, des produits d'altérations superficielles, rubéfiés (argiles et argilo-sableuses plus ou moins mêlées de fragments anguleux que l'on saurait assimiler à des galets fluviaux).

Le pliocène continental correspond à des dépôts lacustres formés de calcaire blanchâtre, vers Bled El Mehasser. Il couvre les formations Miocène du continental terminal connu sous le nom de « Dalle Hammadienne ».

D'une manière générale cette formation calcaire avec phénomènes superficiels de corrosion et de décalcification s'étend principalement dans la région des Dayas (S.GG, 1939).

**2.3 Quaternaire Continental (Qt) :** Le Quaternaire apparaît surtout sous forme de dépôts alluvionnaires au niveau du lit de oued Zegrir et des dépressions fermées (Dayas)

### **3. CONCLUSION :**

L'étude géologique du bassin versant de oued Zegrir, nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques suivantes :

- ✓ à l'échelle régionale, le bassin fait partie du Sahara Septentrional, il appartient au domaine de la plate forme saharienne.
- ✓ à l'échelle locale, le bassin montre une série de formations sédimentaires qui se succèdent de façon monotone du Cénozoïque jusqu'au Quaternaire. Cette série est quelque fois lacuneuse, elle comporte des alternances argileuses et argilo-gréseuses surmontées par des formations marno- calcaires sous une couverture sableuse.



---

**HYDROGEOLOGIE DU BASSIN VERSANT**

---

**INTRODUCTION**

Les eaux souterraines constituent une des ressources en eau les plus importantes en Algérie, surtout dans les régions arides.

Au Sahara septentrional, le bassin sédimentaire constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780 000Km<sup>2</sup>, avec un maximum d'épaisseur de 4000 à 5000m (Castany, 1982).

Selon LATRACH (1997), ce grand bassin comporte deux vastes aquifères profond et superposés, relativement indépendant en Algérie, qui sont :

- Le continental intercalaire, surtout gréseux, situé à la base. Il constitue la formation la plus étendue.
- Le complexe terminal, au sommet, est plus hétérogène.

## **1. L'AQUIFERE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE (CI) :**

Le Continental Intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique qui désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins :

- À la base, le cycle de Paléozoïque qui achève l'orogénèse Hercynienne.
- Au sommet le cycle du Crétacé supérieur, résultant de la transgression Cénomaniennne (Busson, 1970 ; Fabre, 1976).

Ce réservoir a un volume considérable du à la fois à son extension sur tout le Sahara septentrional (700 000Km<sup>2</sup>) et à son épaisseur, Qui peut atteindre 1000m à l'Ouest de Ghardaïa et à l'Ouest de la dorsale primaire d'Amguide (**Fig. 12**).

### **1.1.Apports :**

La nappe du Continental Intercalaire est un réservoir d'eau douce, alimenté pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire ; il s'agit donc de ressource ancienne.

Cependant, une recharge actuelle s'effectue par deux façons :

- De façon directe par infiltration des eaux de ruissellements qui se produisent sur les zones périphériques d'affleurements, notamment dans les piémonts de l'atlas saharien au Nord-Ouest ; dans les massif du Dahar (Tunisie) à l'Est ; sur les rebords de Touat-Gourara à l'Ouest et sur le rebord du plateau du Tinrhert et sa prolongation en Lybie au Sud.
- De façon indirecte dans le grand Erg Occidental à travers des sables dunaires et du Complexe Terminal ; dans les régions où n'existent pas de séparation imperméable entre les deux réservoirs.

### **1.2.Exutoires :**

En Algérie, les bordures occidentales et méridionales du Tadmaït constituent une zone d'exutoire naturelle importante. La seconde se situe en Tunisie (chott Fedjaj).

Par ailleurs, les failles de la dorsale d'Amguid sont à l'origine des transfères verticaux des eaux du Continental Intercalaire vers la nappe du Complexe Terminal (Guendouz, 1985 ; Edmunds et al, 2003 ; Moulla et al, 2002 ; Guendouz et al, 2003).

L'exploitation du Continental Intercalaire s'est effectuée par le système traditionnel des Foggaras, introduit sur la bordure du plateau du Tademaït depuis le X<sup>ème</sup> siècle.

## **2. L'AQUIFERE DU COMPLEXE TERMINAL (CT) :**

On regroupe sous le Complexe Terminal (CT) les formations continentales, sableuses et argileuses du Mio-Pliocène (OSS, 2003 ; Killian, 1931). Cependant, d'après Bell et Dermagne (1966) la nappe du Continental Terminal contenue dans les sables du Mio-Pliocène est plus ou moins en relation avec les nappes de l'Eocène, du Sénonien et du Turonien, de sorte qu'à l'échelle de l'ensemble du Sahara, on peut considérer que ces différents niveaux forment une seule et même nappe, la nappe du Continental Terminal, par opposition au Continental Intercalaire (*Fig. 13*).

C'est avec le projet ERSS que l'on verra apparaître la notion de «Complexe Terminal » appellation publiée pour la première fois par Bell et Cuch (1969) : ce terme de « nappe du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique. Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Mio-Pliocène sont évidentes sur l'ensemble du bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe Turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien lagunaire. Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-Pliocène sur la bordure du bassin.

Le complexe terminal affleure aux endroits suivants :

- Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens ;
- A l'Est, le long du flanc oriental du Dahar et du jebel Nafusa ;
- Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït ;
- A l'Ouest, sur la dorsale du M'zab.

Le système aquifère du « Complexe Terminal » couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350 000 Km<sup>2</sup> (*tableau 6*), sa profondeur est comprise entre 100m et 600m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300m, il comprend :

- La nappe phréatique : il s'agit d'une nappe d'oued, l'alimentation se fait suivant les cycles des crues des oueds.

- La nappe du Mio-Pliocène : cet aquifère circule dans les sables et les grès à passage argileux ayant une puissance de 125m.
- La nappe du Sénono-Eocène : de 100m d'épaisseur et logée dans des calcaires blancs fissurés
- La nappe du Turonien : cet aquifère est constitué de dolomite beige compacte avec intercalation de calcaire tendre, avec une puissance de 74m d'épaisseur.

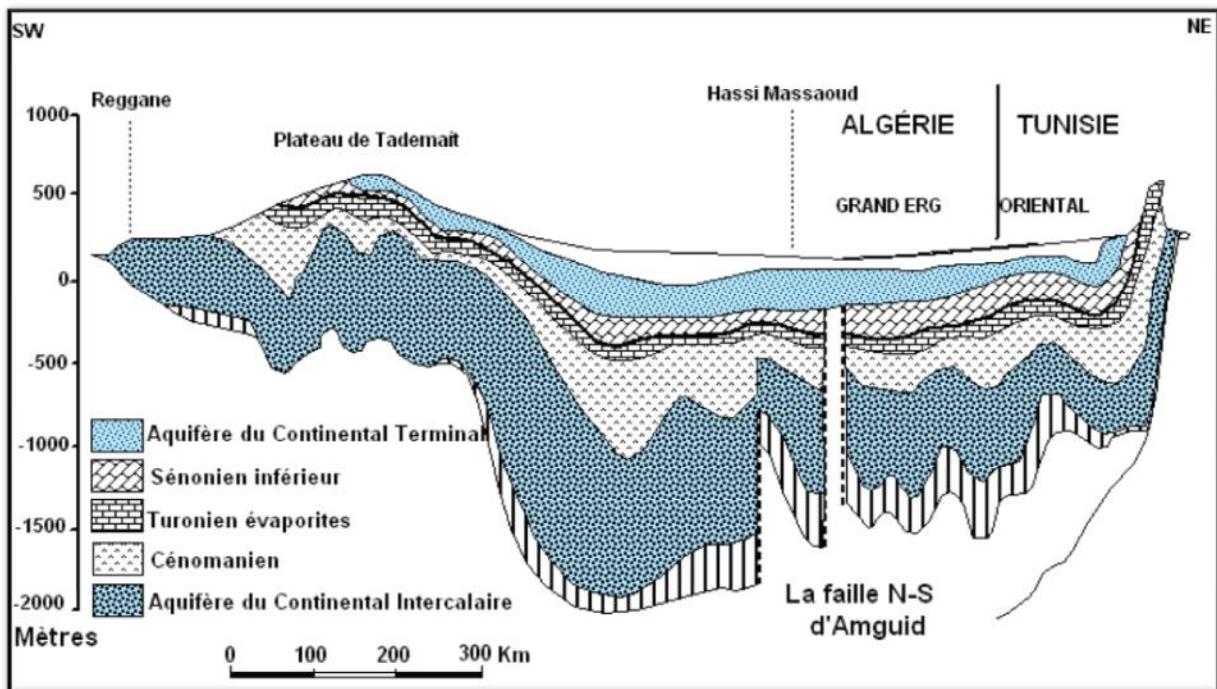


Figure 12: Coupe hydrogéologique du SASS (UNESCO, 1972)

### 2.1 Apports :

Comme pour le Continental Intercalaire, l'essentiel du remplissage du réservoir s'est effectué pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Cependant, la permanence d'une certaine alimentation actuelle est vraisemblable en plusieurs régions :

- Sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires (Sénonien, Eocène inférieur, Turonien), ou à travers des

nappes d'inféro-flux des oueds (bordure Sud atlasique, M'zab, djebel Tebaga, Dahar, djebel Nefusa) ;

- Dans les deux grands Ergs, par infiltration des eaux de pluies exceptionnelles à travers des formations dunaires imperméables.

**2.2 Exutoires :**

Les premiers exutoires naturels de la nappe étaient constitués par des sources, en particulier celles qui ont permis l'implantation humaine dans la vallée de oued Righ et sur le pourtour des chotts en Tunisie.

Il reste également des sources, à débit beaucoup plus modeste, sur les bordures occidentales (Vallée de Saoura) et septentrionales (Ziban).

D'autres exutoires s'effectuent de façon diffuse par percolation directe dans les chotts.

*Tableau N° 7 : caractéristique générale du SASS (Source ANRH).*

	<b>Continental Intercalaire</b>	<b>Complexe Terminal</b>
<b>Étendue</b>	700 000Km <sup>2</sup>	350 000Km <sup>2</sup>
<b>Épaisseur Utile</b>	120 à 1000m	30 à 450m
<b>Profondeur du toit</b>	50 à 2000m	100 à 400m
<b>Alimentation moyenne</b>	270Hm <sup>3</sup> / an	580Hm <sup>3</sup> / an
<b>Réserve théorique</b>	40 000Km <sup>3</sup>	20 000Km <sup>3</sup>
<b>Salinité des eaux</b>	0.5 à 6 g/l	1 à 8 g/l

**3. CONCLUSION**

Les études hydrogéologiques menées au Sahara, montrent que cette dernière renferme d'énormes réserves d'eaux souterraines, représentées par le Système Aquifère du Sahara Septentrionale (SASS).

Ce système renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). En Algérie le domaine du SASS s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guir-Saoura jusqu'au graben de Hun en Lybie (Oueid Baba Sy, 2005). Couvre une superficie de 700 000 Km<sup>2</sup> avec une épaisseur moyenne de 4000m (Cornt, 1964).

---

**HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT**

---

**INTRODUCTION**

L'arrivée dans les années 1980-1990 des techniques spatiales ; télédétection, MNT et leur support informatique SIG a paru une remarquable opportunité pour changer de regard et promouvoir une hydrologie renouvelée (C. Peuch, 2000).

Concernant l'hydrologie du bassin versant de oued Zegrir, très peu de travaux ont été réalisés. La totalité des études faites, se limitaient sur une étude hydrologique et climatologique générale sur l'ensemble Saharien établie par J. Dubief (1953), qui après plus d'un demi-siècle de son édition reste un document précieux dans ce domaine.

Une autre étude porte sur la cartographie des états de surface des sols par télédétection du bassin versant de oued Zegrir réalisée par M. Bendada (2010) ; dont une partie de cette étude a été consacrée à la délimitation du bassin.

Afin de fixer les limites du bassin et choisir les critères adaptés à l'établissement de ces limites nous avons fait appel à ces deux études précitées.

**1. DEFINITION D'UN BASSIN VERSANT :**

Terme utilisé généralement pour désigner une zone géographique correspondant à l'aire de réception des précipitations et d'écoulement des eaux de surfaces et souterraines vers un cours d'eau. Ses limites sont constituées par la ligne de partage des eaux superficielles. Autrement exprimé, c'est un ensemble de reliefs inclinés vers un même cours d'eau qui collecte les eaux de ruissellement qui, à son tour, se jette dans un autre et ainsi de suite. Les différents bassins hydrographiques sont séparés les uns des autres par une ligne appelée ligne de partage des eaux.

**2. DELIMITATION DU BASSIN VERSANT DE OUED ZEGRIR :**

La superficie calculée par M. Bendada (2010) à partir de la méthode traditionnelle (assemblage de trois cartes topographiques au 1/200 000 de la feuille de Guerrara, Oued Attar et la feuille de Ksar El Hirane) est de 5200 Km<sup>2</sup>, or la superficie mentionnée par J. Dubief (1953) de ce même bassin est de 4100 Km<sup>2</sup>. Cette différence l'a amené impérativement à faire appel à une autre méthode plus performante et plus opérationnelle utilisant le logiciel « River Tools » pour pouvoir confirmer ou infirmer cette superficie, sous prétexte qu'avec la méthode classique des erreurs peuvent avoir lieu en traçant la limite, vu que la région est plate et les lignes de partage des eaux se distinguent mal des crêtes.

Le logiciel River Tools donne la possibilité de gérer certains aspects de la morphologie hydrologique, tel que les limites du bassin, détermination des directions d'écoulements et du réseau hydrographique à partir des images satellites ou à partir des Modèles Numériques de Terrain « MNT ». La superficie calculée par ce logiciel est conforme à celle donnée par la méthode traditionnelle (5200 km<sup>2</sup>) (*Fig. 13*).

Grâce à l'utilisation d'un système d'information géographique « SIG » M. Bendada s'est rendu compte que la différence de superficie réside seulement dans la partie inférieure du bassin, là où Dubief n'a pas pris en considération dans ses limites Oued Zgag qui est le prolongement de oued Zegrir, cependant le reste des limites coïncide





«Grosso modo» bien avec celles tracées par la méthode traditionnelle et par le logiciel (*Fig. 14*).

Nous avons revérifié la limite du bassin par comparaison avec celui tracée par le logiciel River Tools, grâce aux fonctionnalités spécifiques du logiciel ArcGIS. Ce dernier a fait ressortir la même limite avec une superficie de 5200Km<sup>2</sup>.

C'est ainsi que nous proposons de délimiter le bassin versant de oued Zegrir comme sur la figure 14 ; c'est-à-dire en y englobant son prolongement oued Zgag.

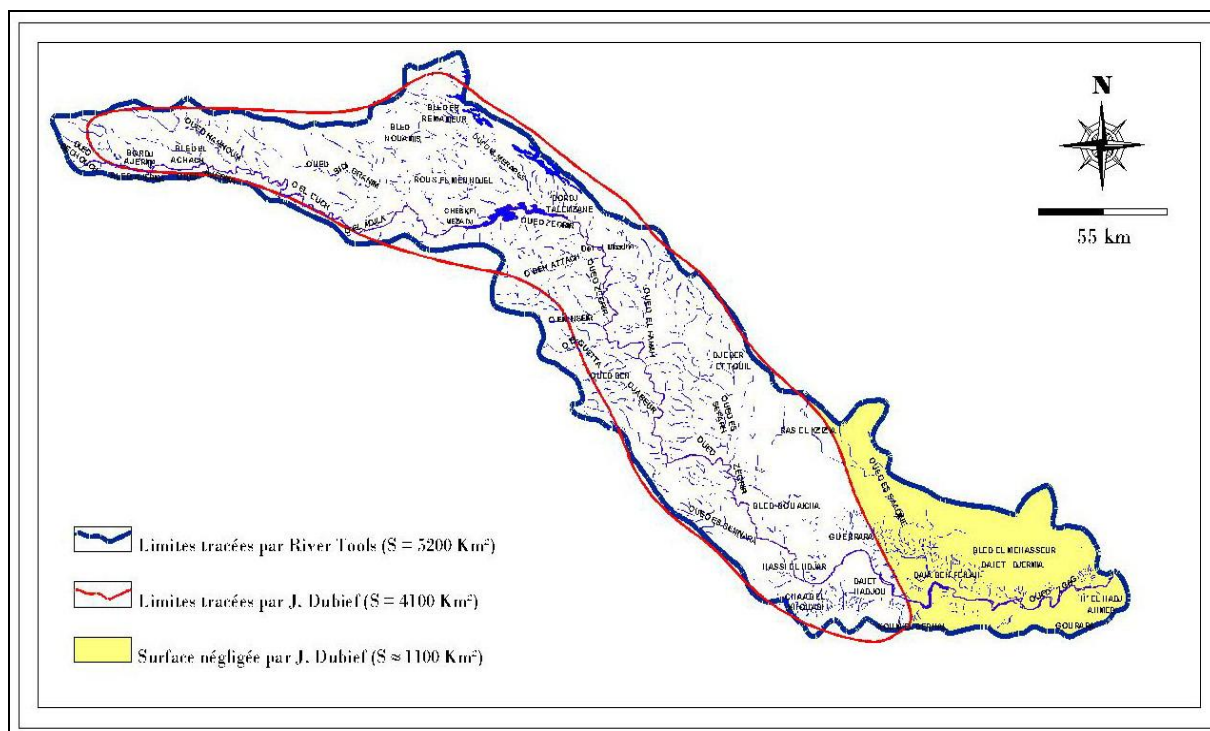


Figure 14 : Carte montrant la surface omise par J. Dubief

### 3. CONSIDERATIONS GENERALES :

Le bassin versant de oued Zegrir est un des bassins du M'Zab (bassin du versant oriental de la dorsale Mozabite). Ces derniers font partie du grand bassin de Melhrir qui couvre une superficie de 685000 Km<sup>2</sup> (*Fig. 15*)

Le bassin versant de oued Zegrir est un bassin endoréique. Ces caractères, sont comme le reste des cours d'eaux des zones Sahariennes, parfois anarchiques.

Ce bassin est limité au Nord par le bassin versant de Oued Djeddi, à l'Est par le bassin versant de oued Rtem, oued Attar et oued Adjéri, à l'Ouest par le bassin versant de oued N'sa et au Sud par celui de oued N'sa, M'zab et Metlili (*Fig. 16*)

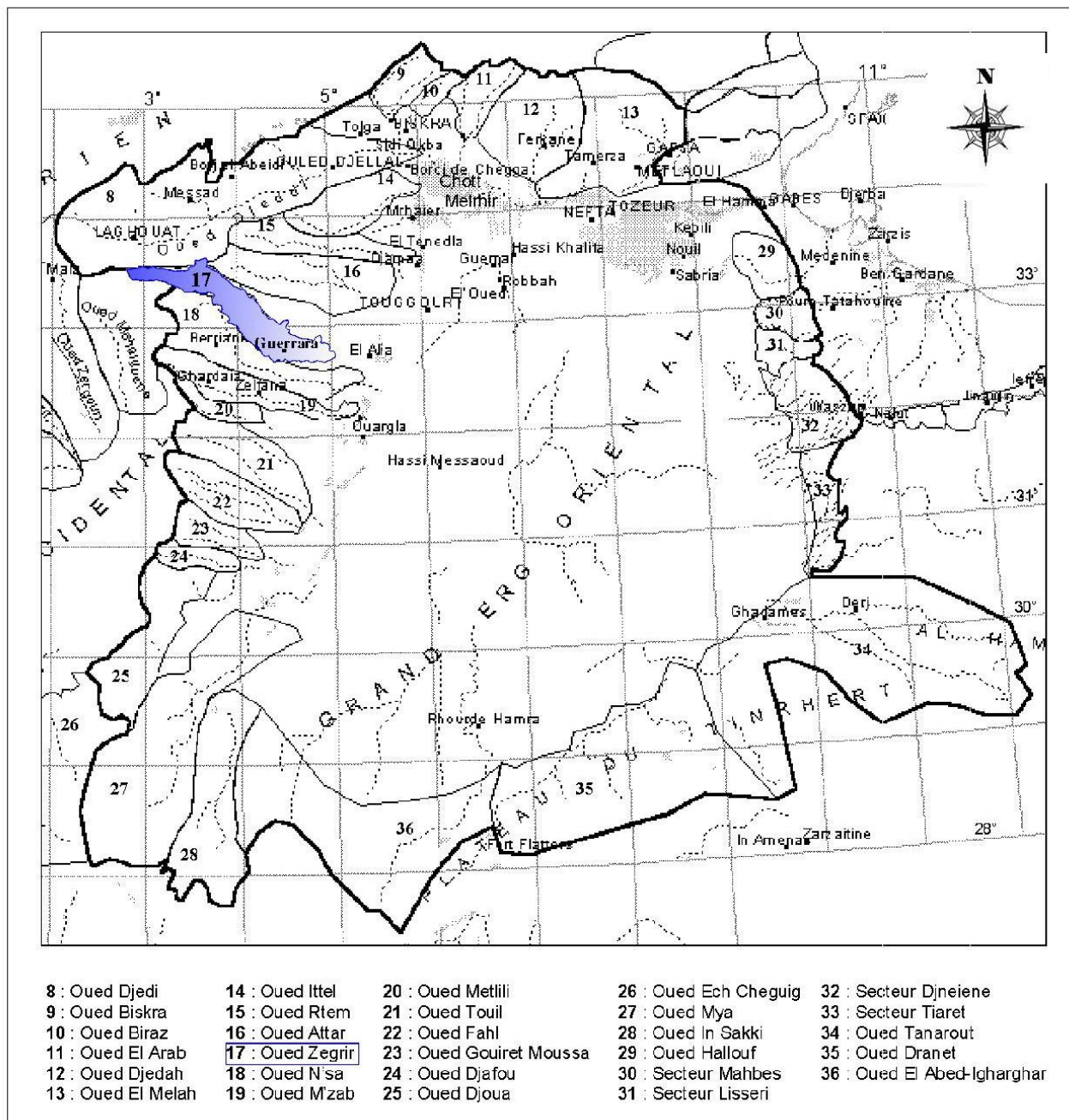


Figure 15 : Les bassins du Melhir

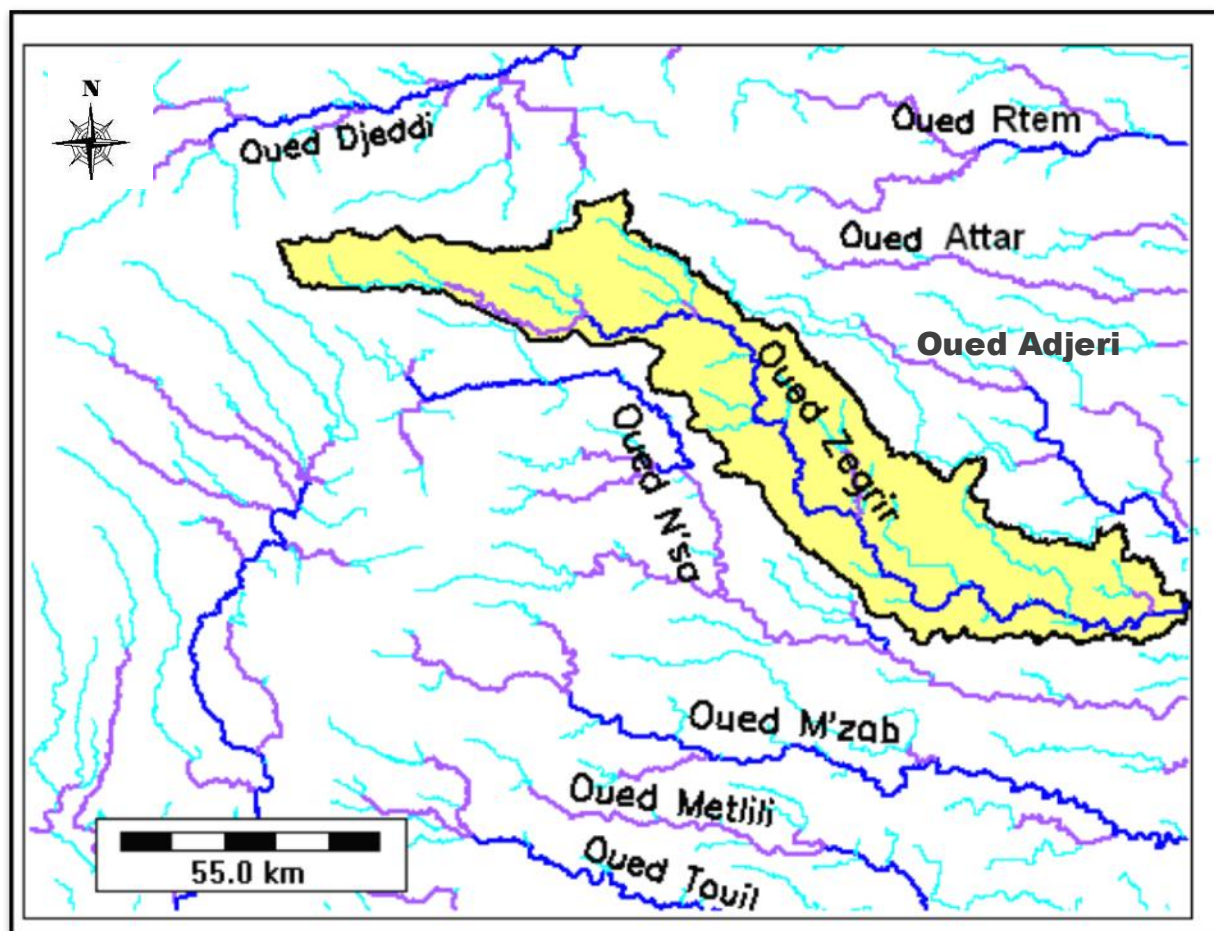


Figure 16 : Situation du bassin versant de oued Zegrir vis-à-vis des autres bassins.

Ainsi et sur la base d'analyses des images satellites, des cartes topographiques et des modèles numériques de terrain « MNT », on a pu mettre en évidence plusieurs points :

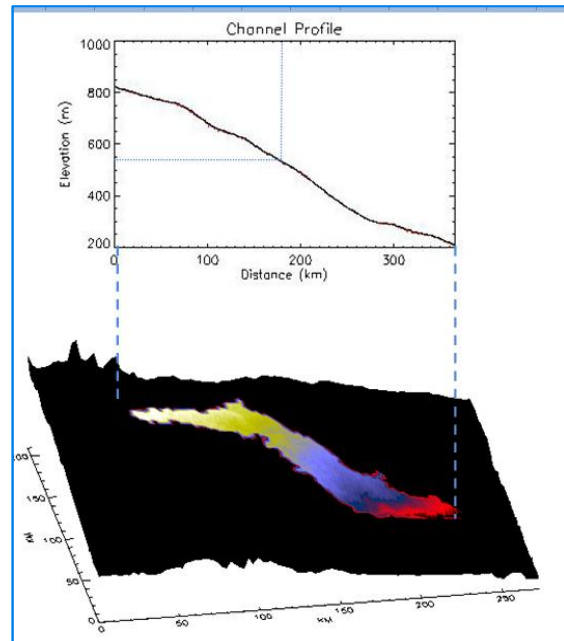
### 3.1 Les paramètres hydrologiques du bassin :

Oued Zegrir prend son origine au lieu dit Bordj Ajerma à une altitude de 860m sous le nom de oued Ajerma. Par la suite il prend le nom de oued El Euch à la confluence avec l'affluent oued Hemhoum, puis oued El Adjla jusqu'à la confluence avec l'oued El Merarès où il prendra le nom de *oued Zegrir* au niveau de Bordj Talemzane jusqu'à la hauteur de Guerrara pour atteindre ensuite son prolongement le Zgag et fini au lieu dit Hassi Hadj Ahmed à la côte 230m où il fait un crochet à angle droit vers le Nord Est.

En prenant donc comme amont du bassin le lieu Bordj Ajerma et comme aval Hassi Hadj Ahmed, les paramètres du bassin sont comme suit (*Tableau 8, Fig. 17*) :

Caractéristiques	Valeurs
Surface du bassin	$S = 5200\text{Km}^2$
Périmètre	$P = 540\text{Km}$
Altitude moyenne	$H_{\text{moy}} = 539\text{m}$
Altitude médiane	$H_{50\%} = 550\text{m}$
Altitude maximale	$H_{\text{max}} = 860\text{m}$
Altitude minimale	$H_{\text{min}} = 230\text{m}$
Dénivelé	$D = 630\text{m}$
Longueur total de l'oued principal	$L = 369\text{Km}$
Longueur total des affluents	$L_t = 1647\text{ Km}$
Indice de compacité	$K_c = 2,096$
Temps de concentration	$T_c = 58,80\text{h}$
Vitesse d'écoulement	$V_c = 1,74\text{m/s}$

**Tableau 8: paramètres hydrologiques du bassin versant de oued Zegrir**



**Figure 17: Profil en long du bassin versant de oued Zegrir**

### 3.2 Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est de type dendritique : d'après Peulvast et Vanney (2001), ce type de réseau est constitué des tributaires irrégulièrement ramifiés autour d'un tronc principal et raccordés selon des angles variés généralement très inférieur à  $90^\circ$ . Ils traduisent les contrôles structuraux les moins contraignants.

Selon C. Strandberg (1967) la présence de ce type de réseau peut indiquer l'existence d'un sol et d'une roche homogène.

### 3.3 La pente :

La carte hypsométrique ainsi que la représentation du bassin en 3D que nous avons réalisées, fournissent une vue synthétique sur la pente (**Fig. 18 et 19**). Nous remarquons ainsi trois tranches de pentes :

- **Une pente faible (de 0,52 %) :** depuis l'origine de l'Ajerma avec 860m d'altitude, jusqu'à la hauteur de Bordj Talemzane (610m), sur environ 123,35 Km de long. L'oued aux berges peu marquées serpente à la surface du plateau des dayas tout en se dirigeant vers l'Est.

- Une pente moyenne (de 3,97 %) : de Talemzane (610m) à Guerrara (330m), sur environ 128,35 Km. L'oued prend la direction Nord Oust – Sud Est.
- Une pente très faible (de 0,15 %) : depuis Guerrara avec 330m d'altitude, jusqu'à Hassi Hadj Ahmed 230m d'altitude, sur environ 107,10 Km de long, l'artère reprend la direction de l'Est, au fond d'une large vallée à pente très faible, parfois interrompue par des replats comme celui de la Daïet Hadjou.

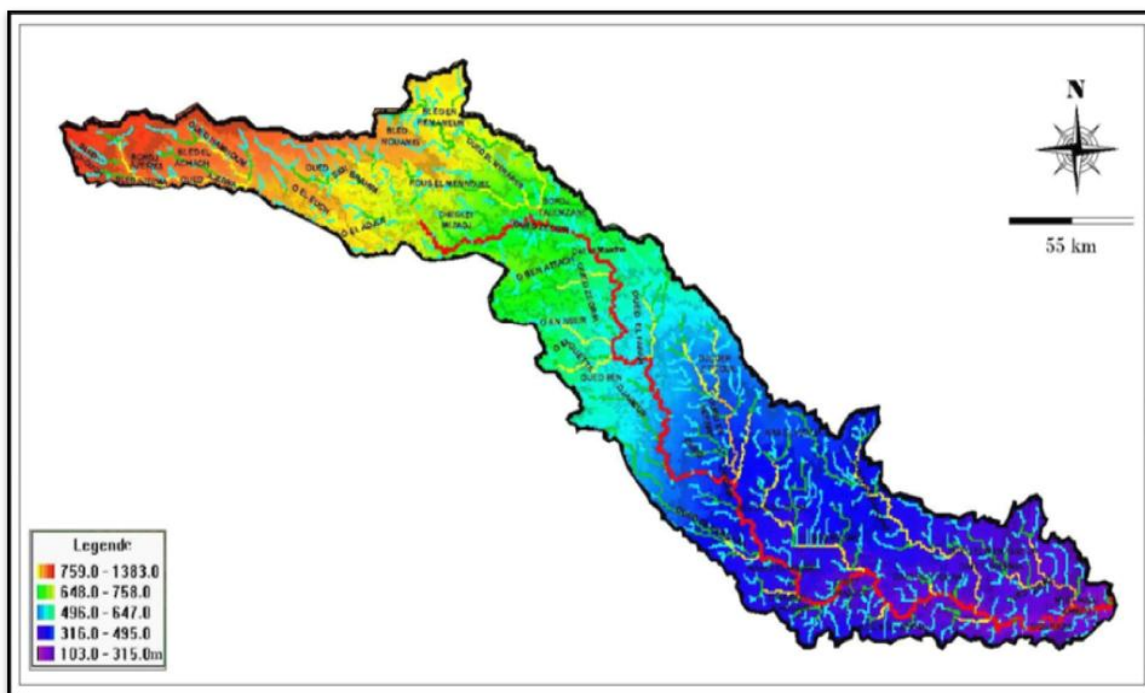


Figure 18 : Carte hypsométrique du bassin versant de oued Zegrir(d'après M. Bendada).

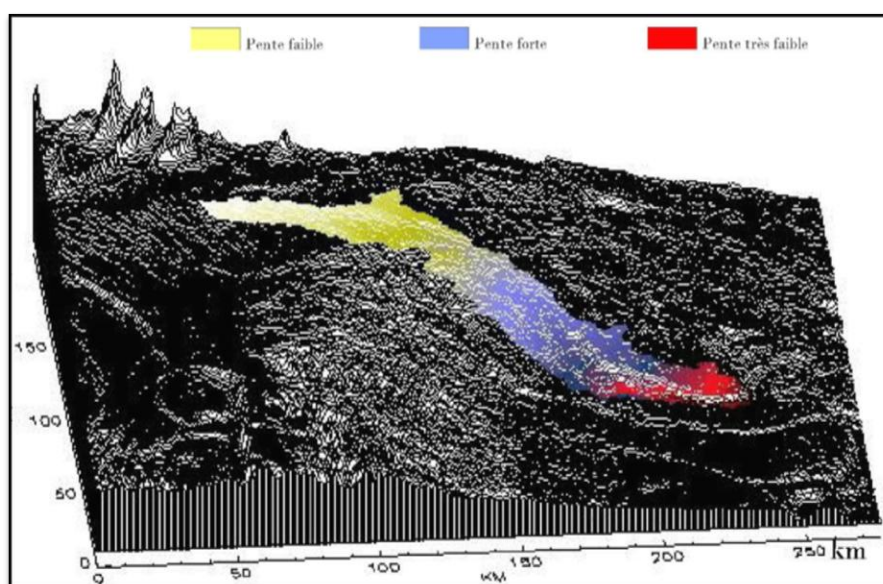


Figure 19 : Modèle en 3D du bassin versant de oued Zegrir

3.4 Les crues de oued Zegrir :

Nous procédons ci-dessous à une étude sommaire des crues du bassin versant de Oued Zegrir. Le contenu de cette partie est essentiellement tiré de l'étude de J. Dubief (1953) qui, plus d'un demi-siècle après son édition, reste la seule référence qui a évoqué les crues de oued Zegrir.

J. Dubief mentionne que 26 mois de crues ont atteint la région de Guerrara durant la période s'étendant d'Avril 1938 à Mars 1951 et 33 mois de crues allant de 1921 à 1950, soit sensiblement un mois de crue par an (Tableau 9 et 10).

Tableau 9 : Fréquence des mois de crues à hauteur de Guerrara - entre Avril 1938 et Mars 1951 (13 ans) –

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Nombre de mois	1	2	3	5	2	2	1	1	4	2	0	3	26
Pour 100 années	8	15	23	38	15	15	8	8	31	15	0	23	219

Tableau 10 : Fréquence des mois de crues importantes à hauteur de Guerrara - entre 1921 et 1950 (30 ans) –

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Nombre de mois	1	1	3	5	5	2	2	2	3	5	2	2	33
Pour 100 années	3	3	10	17	17	7	7	7	13	17	7	7	115

Il a interprété ceci, de fait que, les mois de crues pouvant se produire à des intervalles très variables, allant de quelques mois (parfois 5 mois de crues en un an) à quelques années (28 mois sans crue entre Mai 1946 et Août 1948). Les écoulements donc d'une manière générale se regroupent au rythme des périodes sèches et humides. L'étude de la fréquence mensuelle des crues à la hauteur de Guerrara montre que celles-ci sont, certaines années, très fréquentes en mois d'Avril, Mai, Septembre et Octobre, et en d'autres années le sont moins fréquentes (Fig. 20).

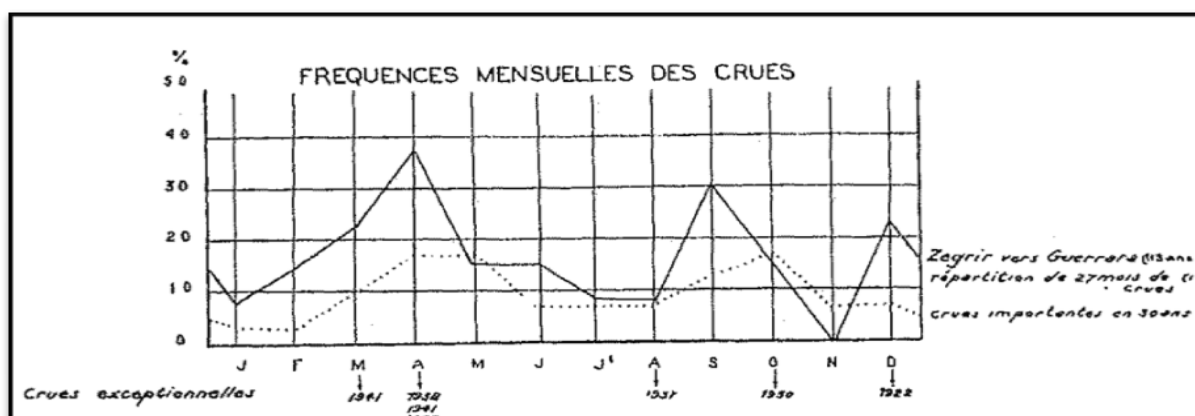


Figure 20: Fréquence mensuelle des crues de oued Zegrir d'après Dubief, 1953

En moyenne on peut compter deux jours de crue par an et les débits peuvent atteindre  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  pour de fortes crues.

Pour utiliser l'eau de ces crues les Guerrariens ont réalisé un système complexe de barrages de dérivation pour diriger les crues vers de petits barrages de retenue pour obliger les eaux à s'infiltrer dans les alluvions de la vallée. L'eau est ensuite pompée dans des puits d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus. Cette eau permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des palmiers.

#### **4. CONCLUSION :**

Le bassin versant de oued Zegrir s'étend sur une superficie de  $5200 \text{ Km}^2$ , c'est un bassin endoréique appartenant aux bassins du M'Zab, montrant un réseau hydrographique de type dendritique.

L'indice de compacité est de l'ordre de 2,096 ( $Kc > 1,12$ ) indiquant ainsi une forme allongée du bassin, ce qui va influencer certainement sur le régime d'écoulement.

Le temps de concentration est très grand ( $Tc = 58,80$  heures), les eaux ont tendance donc à s'infiltrer qu'à ruisseler

Ce bassin peut être divisé en trois tranches de pentes :

- Une pente faible (0,52%) depuis l'Ajerma Jusqu'à Bordj Talemzane.
- Une pente moyenne (3,97%) de Talemzane à Guerrara.
- Une pente très faible (0,15%) depuis Guerrara jusqu'à Hassi Hadj Ahmed.

Oued Zegrir coule au moins une fois par an, ses écoulements se font sous forme de crues, parfois très importantes à tel point qu'elles peuvent inonder la palmeraie de la région.

# Partie II

## *MATERIELS ET METHODES*

---

### **INTRODUCTION**

L'eau des puits possède des caractéristiques physico-chimiques qui lui sont propre, ce sont la température, le pH, la conductivité et la teneur en éléments chimiques dissous (Tron, 1982).

Afin de connaître les caractéristiques physico-chimiques et d'évaluer la qualité des eaux du bassin versant de oued Zegrir, nous avons échantillonné tout au long du bassin, mis à part la région de Guerrara qui a préalablement fait l'objet de plusieurs études et que les eaux de la nappe superficielle de Guerrara ne reflètent pas les caractéristiques réelles des eaux de surface du bassin versant de oued Zegrir étant donné que cette dernière a subi une forte contamination causée par l'exploitation excessive des eaux de forte salinité des nappes du CI et CT.

Lors des prélèvements, un grand soin a été apporté aux échantillons car ils conditionnent les résultats analytiques et l'interprétation que nous allons aborder dans le chapitre suivant.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (Rodier et al. 2005).



## **1. Méthodologie d'échantillonnage :**

Pour pouvoir échantillonner le long du bassin versant de oued Zegrir, nous avons été contrariés d'attendre à ce que les points d'eaux se remplissent. Cela s'est produit qu'après les averses du mois d'Octobre 2012 où une campagne de mesure et de prélèvement a été programmée juste après.

Après avoir surmonté le problème de la sécheresse, un autre problème s'est imposé il s'agit de la faible densité de la population et la rareté des points d'eaux par rapport à la grande superficie du bassin versant de oued Zegrir.

Afin d'atteindre tous les points d'eaux nous avons fait appel à un guide qui connaît pratiquement tous les puits de la région d'étude.

Dans les quarante points d'eaux visités seulement vingt cinq ont été échantillonnés, le reste a été exposé à la sécheresse et l'ensablement.

Les prélèvements ont été effectués dans des flacons en polyéthylène haute densité(PEHD), matériaux ne libérant que très peu d'éléments solubles et n'altérant donc pas la composition chimique des échantillons stockés, en respectant les méthodes officielles en vigueur spécifique à la norme NF EN ISO 5667-3.

L'étiquetage a été réalisé à l'aide d'une étiquette stables et ineffaçable sur laquelle on a porté le numéro de l'échantillon pour pouvoir l'identifier facilement

Durant l'ensemble de ces opérations d'échantillonnage, nous avons limité les matériels intermédiaires afin de diminuer les contaminations.

Afin de garantir la pérennité du lieu d'échantillonnage et d'assurer la représentativité des résultats, nous avons pris des photos de chaque point échantillonné dans son environnement ainsi que ses coordonnées grâce à un système de positionnement géographique (GPS).

Les échantillons ont été placés à l'obscurité, dans une enceinte isotherme propre et équipée d'un système permettant de caler les flacons afin d'éviter qu'ils se cassent.

La prise en charge des échantillons par le laboratoire d'analyse est intervenue le lendemain de l'opération d'échantillonnage.

Les 25 points d'eaux sont répartis le long du bassin versant de oued Zegrir, leur localisation et leur numérotation sont signalées dans la *figure 21*, quant à leur dénomination, leurs coordonnées sont mentionnées dans le *tableau 11*.

**Tableau 11 : Coordonnées géographiques des différents points échantillonnés**

N° Echantillon	Coordonnées géographiques		Précision (m)	Nom de l'oued / l'affluent
	X	Y		
P1	501400	3707890	5	Oued Fraa Elndja
P2	563005	3692340	5	Oued El Adja
P3	565430	3689266	5	Oued Zegrir
P4	568728	3687505	5	Oued Zegrir
P5	572718	3688446	5	Oued Zegrir
P6	574867	3691285	5	Oued Zegrir
P7	578350	3690439	5	Oued Zegrir
P8	579082	3693171	4	Oued Zegrir
P9	581658	3693140	4	Oued Zegrir
P10	584631	3691672	4	Oued Zegrir
P11	588167	3691324	4	Oued Zegrir
P12	591401	3689660	4	Oued Zegrir
P13	596480	3681983	4	Oued Ben attach
P14	598668	3683012	4	Oued Zegrir
P15	597445	3668852	4	Oued Zegrir
P16	598804	3672881	4	Oued Djoumaa
P17	599892	3673821	4	Oued En Nseir
P18	604962	3660835	4	Oued Bouaza
P19	605820	3658651	4	El-Rahouia
P20	607057	3655264	4	Puits Bouhanja
P21	612506	3645555	4	Oued El-Djerf
P22	619484	3643413	4	Oued El-Sdar
P23	620514	3636044	4	Foulia
P24	624107	3630125	4	Boukhachba
P25	631109	3621988	4	Smarat

**NB :** Les coordonnées de nos points ont été déterminées à l'aide d'un GPS Garmin Etrex, dont on a utilisé la projection UTM Nord Sahara

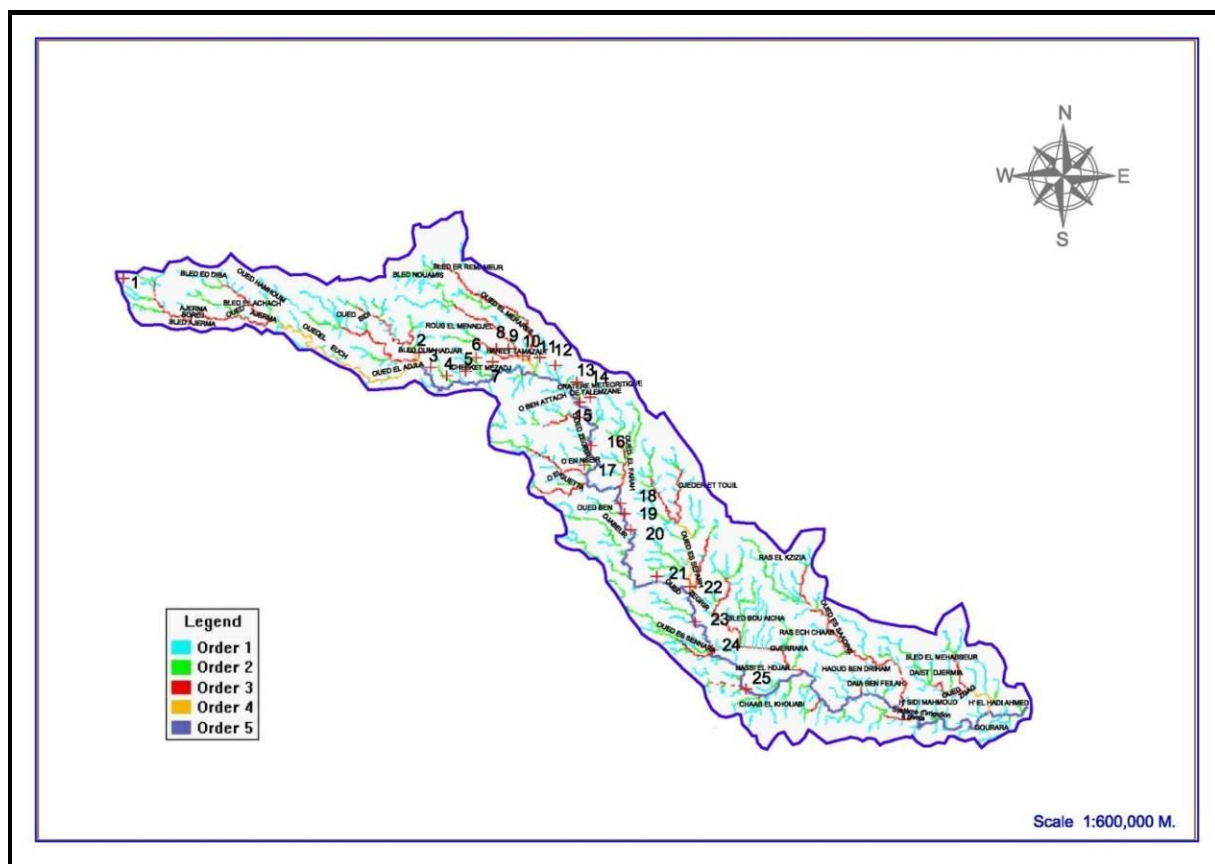


Figure 21 : localisation des points d'eaux échantillonnés dans le bassin versant

## 2. Méthode utilisée pour l'étude physico-chimique :

### 2.1 Les mesures physiques :

Les mesures de la température, de la conductivité électrique et du PH ont été réalisées in situ lors des prélèvements des échantillons non filtrés. Les sondes ont été directement plongées dans l'eau, sous plusieurs centimètres de la surface. Les incertitudes sur les mesures de la température sont de 0.5°C, sur la conductivité électrique de 10  $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$  et sur le PH de 0.1 unité (tableau 12).

- a) **La température (T°C) :** Ce paramètre a l'avantage d'être facilement mesurable et d'être de plus très précis, il a été mesuré à l'aide d'un thermomètre digitale de type WTW.
- b) **La conductivité électrique (CE):** Ce paramètre a été déterminé grâce à un conductivimètre digitale de marque WTW, après avoir rincé l'électrode d'abord avec de l'eau distillé puis en la plongeant dans l'eau à examiner de façon à ce que l'électrode soit complètement immergée. Le résultat de la conductivité est donné directement en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

- c) **Le potentiel hydrogène (pH) :** Le pH est le cologarithme de la concentration en ions  $H^+$ . La mesure a été effectuée sur terrain et confirmée au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre à électrode combinée

## 2.2 Les analyses chimiques :

L'habitude s'est répandue d'exprimer les résultats en milligrammes par litre, cette façon de faire est incontestablement celle qui est la plus à la portée de tous et la plus significative (J.Rodier, 2009). Les analyses chimiques effectuées en laboratoire à partir des échantillons prélevés sur le bassin versant de oued Zegrir portent sur les teneurs en anions et cations suivant différentes méthodes (*tableau 11*) :

### a) Dosage des sulfates, nitrates et les nitrites par spectrophotométrie :

La méthode adoptée est celle de la spectrophotométrie d'absorption moléculaire.

- **Les sulfates :** sont précipités en milieu acide à l'état de sulfate de baryum. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre d'absorption moléculaire.
- **Les nitrates :** réagissent avec l'acide sulfosalicylique (formé par addition à l'échantillon de salicylate de sodium et de l'acide sulfurique). Le dérivé obtenu donne en présence d'ammonium, une coloration jaune stable. Cette coloration est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm
- **les nitrites :** Diazotation de l' amino-4-benzène sulfonamide par les nitrites à pH 1,9 en présence de dichlorure de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane. L'absorbance du complexe rose est mesurée à la longueur d'onde de 540 nm

Elément	Longueur d'onde	Réactif
Les sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	<b>450 nm</b>	SulfaVer 4
es nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<b>415 nm</b>	NitraVer 5
Les nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<b>540 nm</b>	NitriVer 3

### Dosage du sodium et du potassium par spectrométrie d'émission de flamme (ou photométrie de flamme) :

Lorsque les atomes d'un élément ont été excités leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission de photons, de fréquence F bien définie et propre à cet élément.

L'utilisation de ce phénomène constitue la base de la spectrophotométrie d'émission. Le même élément, dispersé à l'état atomique dans la flamme possède également la propriété d'absorber tout rayonnement de la même fréquence  $F$ . Il en résulte une absorption du rayonnement incident liée à la concentration de l'élément considéré. La concentration initiale du cation à doser est déduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée.

### b) Dosage des bicarbonates, du calcium et du chlorure par titrimétrie :

- **Les bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$**  : par ajustement de pH à 4,4 par l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en maintenant la température de l'eau à analyser à  $25^\circ\text{C}$ . Il est à noter que  $\text{CO}_3^{2-}$  n'existe pas car le pH est toujours compris entre 4,4 à 8,3 dans tous les échantillons.
- **Le calcium  $\text{Ca}^{2+}$**  : par ajout d'un volume de solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ ) avec une pincée de calcone carboxylique comme indicateur, puis titrage avec une solution d'EDTA jusqu'au virage de la coloration vers le bleu.
- **Le chlore  $\text{Cl}^-$**  : selon la méthode de MOHR (Rodier, 2009), le chlore est dosé en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

### c) Détermination des titres hydrotimétriques :

Le titre hydrotimétrique ou dureté total exprime la somme des concentrations des cations calciques et magnésiens. Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di-sodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation de magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

Tableau 12 : Récapitulatif des différents méthodes utilisées pour les paramètres physico-chimiques

Paramètres		Unités	Mesures/ analyses	Méthodes
<b>PHYSICO-CHIMIQUE</b>				
<b>T</b>	Température	°C	In-situ	Thermomètre digitale de type WTW
<b>CE</b>	Conductivité électrique	µs/cm	"	Conductivimètre digitale de type WTW
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène	/	"	pH-mètre digitale de type WTW
<b>DHT</b>	Dureté, Titre hydrométrique	°f	Laboratoire	Complexométrie
<b>ANIONS</b>				
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Concentration en bicarbonates	mg/l	Laboratoire	Titrimétrie
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Concentration en sulfates	mg/l	Laboratoire	Spectrophotométrie
<b>Cl<sup>-</sup></b>	Concentration en chlores	mg/l	Laboratoire	Titrimétrie
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Concentration en nitrates	mg/l	Laboratoire	Spectrophotométrie
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Concentration en nitrites	mg/l	Laboratoire	Spectrophotométrie
<b>CATIONS</b>				
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Concentration en calcium	mg/l	Laboratoire	Titrimétrie
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Concentration en magnésium	mg/l	Laboratoire	Complexométrie
<b>Na<sup>+</sup></b>	Concentration en sodium	mg/l	Laboratoire	Photométrie de flamme
<b>K<sup>+</sup></b>	Concentration en potassium	mg/l	Laboratoire	Photométrie de flamme

### 3. CONCLUSION :

A partir des prélèvements des 25 échantillons effectués le long du bassin versant de oued Zegrir, un certain nombre de paramètres ont fait l'objet de mesures in situ et d'analyse au laboratoire.

Les différentes méthodes utilisées portent sur deux types de paramètres :

- Les paramètres physiques mesurés généralement sur terrain, il s'agit de la température, de la conductivité et du pH ;
- les paramètres chimiques, ce sont les ions : les cations (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) et les anions (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>).

Les résultats obtenus seront la base de nos interprétations dans le chapitre suivant.

# Partie III

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

### INTRODUCTION

Dans cette partie nous allons d'abord présenter les résultats analytiques des 25 échantillons prélevés au bassin versant de oued Zegrir.

Par la suite l'interprétation des résultats obtenus par les analyses physico-chimique des différents échantillons permet de :

- Déterminer les faciès chimiques des eaux du bassin ;
- Dégager les zonalités regroupant les faciès hydrochimiques ;
- Etablir les relations qui peuvent exister entre ces différents paramètres physicochimiques suite à un traitement statistique ;
- donner une idée sur la potabilité et l'aptitude de ces eaux à l'irrigation selon les normes ;
- Et enfin évoluer dans l'espace la qualité des eaux du bassin versant de oued Zegrir.

## 1. LES PARAMETRES PHYSIQUES :

### 1.1. La température (T °C) :

La température est un paramètre très important dans l'étude des eaux ; elle permet de distinguer les eaux qui circulent près de la surface à celles qui se trouvent en profondeur. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques (W.H.O, 1987).

Les températures enregistrées des eaux du bassin versant de oued Zegrir ne présentent pas de grandes variations d'un puits à l'autre ; les valeurs se calent dans la fourchette 8°C et 16°C et elles restent toutefois voisine à la température moyenne saisonnière de la région (**Fig.22**), cette faible variation thermique est assez proche à celles des températures moyennes de l'air.

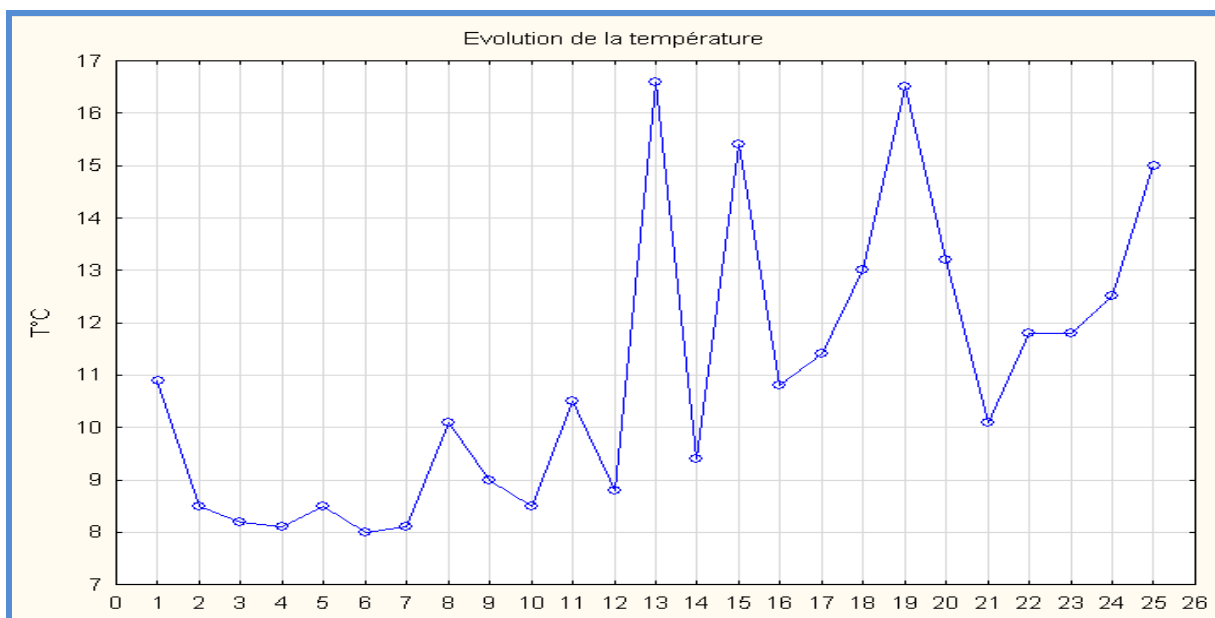


Figure 22: Variation spatiale de la température

### 1.2. Le potentiel Hydrogène (pH) :

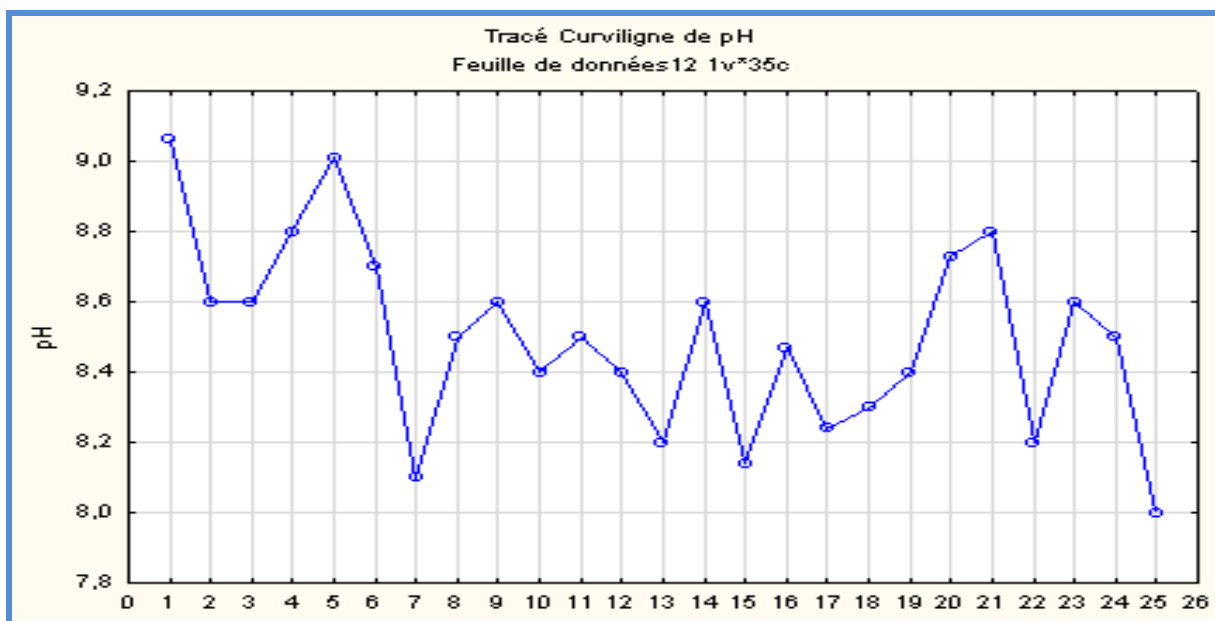
Le pH de l'eau mesure la concentration des protons  $H^+$  contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates (Ezzaouaq, 1991 ; El Blidi et al, 2003 ; Himmi et al, 2003)

Le pH des eaux du bassin versant de oued Zegrir sont tous dans une plage recommandée par l'UE (6,5-9) et qui ne montrent pas de variations notables, avec un minimum au point P25



(pH=8), et un maximum au point P1 et P5 (pH  $\geq 9$ ). Dont une apparente homogénéité du pH peut être relevée sur la *figure 23* qui montre la répartition spatiale de ce dernier.

Les valeurs observées révèlent que 92% des eaux des points échantillonnés présentent un pH voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin, exception faite à l'échantillon P1 et P5 (pH  $\geq 9$ ).



*Figure 23: Variation spatiale des valeurs de pH*

Cette alcalinité est due au lessivage du substratum carbonaté qui a permis de tamponner les eaux de ruissellement de oued Zegrir, ces dernières s'infiltrèrent par la suite dans la nappe alluviale en remplissant les puits rencontrés lors de son parcours.

### 1.3. La conductivité électrique CE $\mu\text{s.cm}^{-1}$ :

Elle est l'expression de la charge dissoute et rend compte de la minéralisation des eaux par la quantité d'ions en solutions (J. Nicod, 1973), où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. Elle est exprimée en  $\mu\text{s.cm}^{-1}$  et elle change en fonction de la température.

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans les eaux du bassin versant de oued Zegrir présentent des variations assez fortes (*Fig. 24*), avec une moyenne de 376,4  $\mu\text{s/cm}$ .

D'après la carte d'iso-conductivité les valeurs fluctuent entre 150  $\mu\text{s/cm}$  au point P17 comme valeur minimale et 2120  $\mu\text{s/cm}$  au puits P2 comme valeur maximale unique (*Fig. 25*). En

effet, la forte conductivité des eaux de ce point résulte des taux élevés des sels dissous (TDS=972,5 mg/l)

La conductivité des eaux du bassin versant de oued Zegrir indique une minéralisation assez faible, dont la totalité des eaux présentent des valeurs inférieures à 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . Ces petites valeurs témoignent le faible temps de contact lors de ruissellement avec les faciès rencontrés.

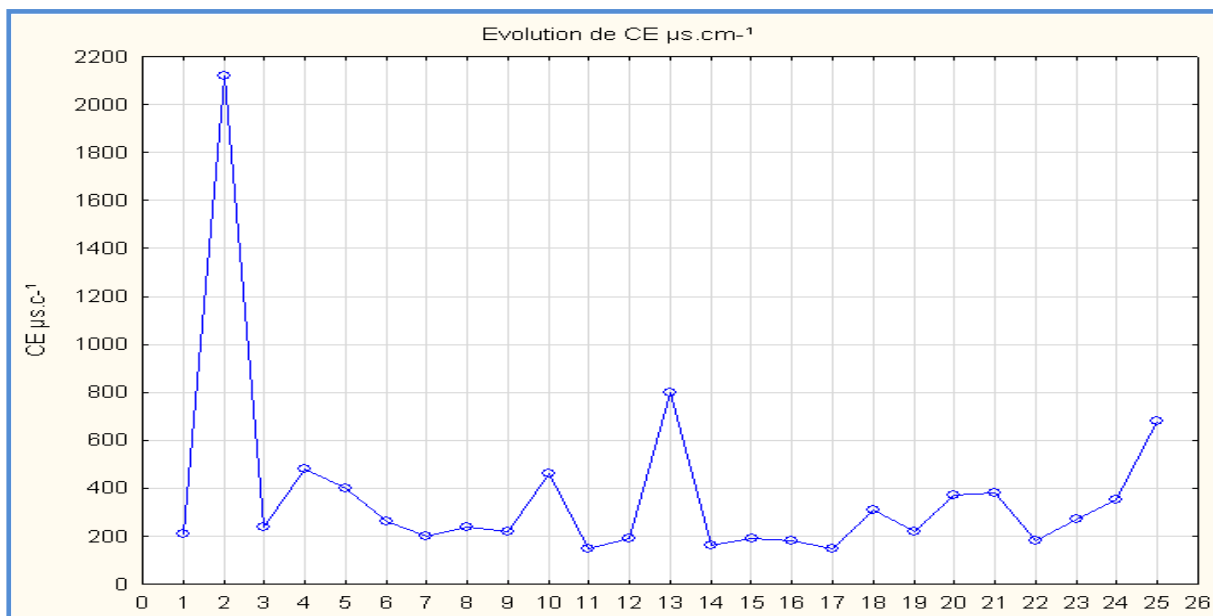


Figure 24: Variation spatiale de la conductivité électrique ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

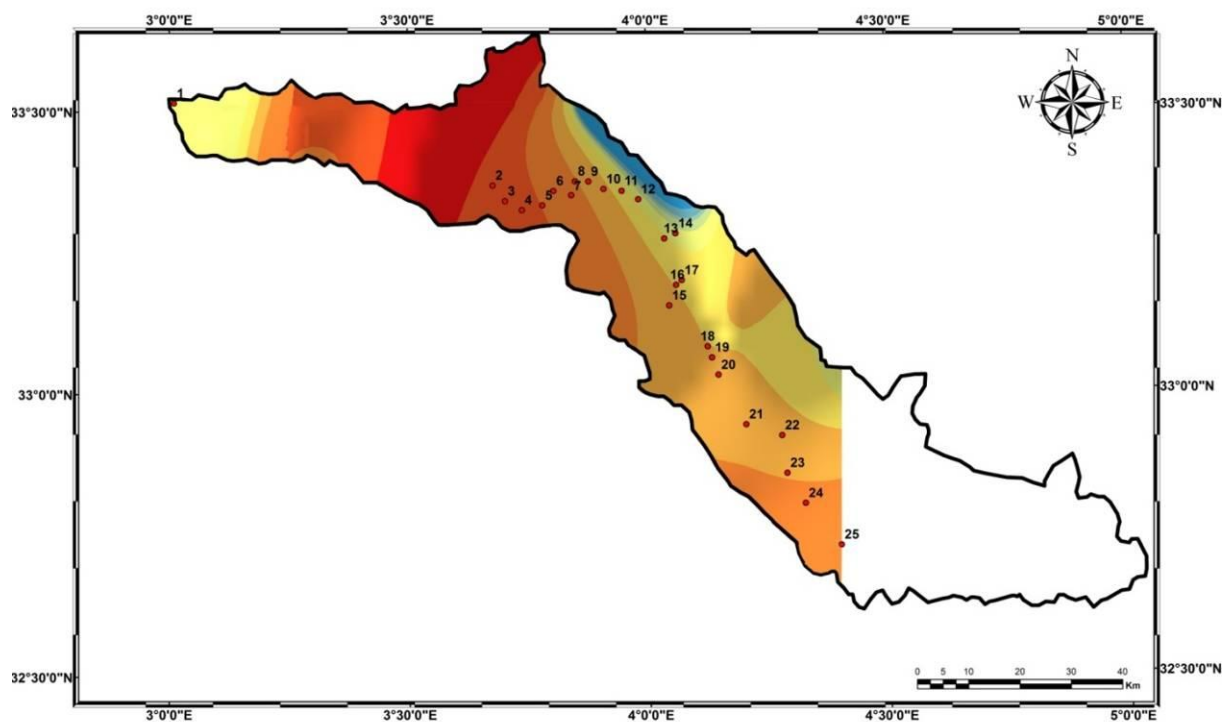


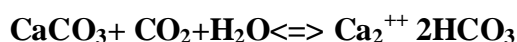
Figure 25: Carte d'iso-conductivité électrique des eaux du bassin versant de oued Zegrir

## 2. LES PARAMETRES CHIMIQUES :

### 2.1 Les cations :

#### a) Le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Le calcium est l'élément présent en quantité appréciable dans la quasi-totalité des eaux superficielles, c'est un élément alcalino-terreux, un composant majeur de la dureté des eaux, sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carbonique, selon l'équation suivante :



Il provient également des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ ) qui sont facilement soluble (Dib, 2009). Parfois les eaux arrivent à avoir des hautes teneurs en  $\text{CaSO}_4$  et l'augmentation du  $\text{SO}_4$  entraîne une augmentation de Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ).

Les concentrations du  $\text{Ca}^{++}$  dans les eaux du bassin versant de oued Zegrir varient de 24,05 mg/l à 152,3mg/l (**Fig. 26**). Ces teneurs sont inférieures aux valeurs maximales admises par l'OMS et UE (100 mg/l) excepté le point P2 et le point P25. De ce fait, les eaux échantillonnées du bassin versant de oued Zegrir sont toutes pauvres en calcium, en raison de leurs faibles duretés.

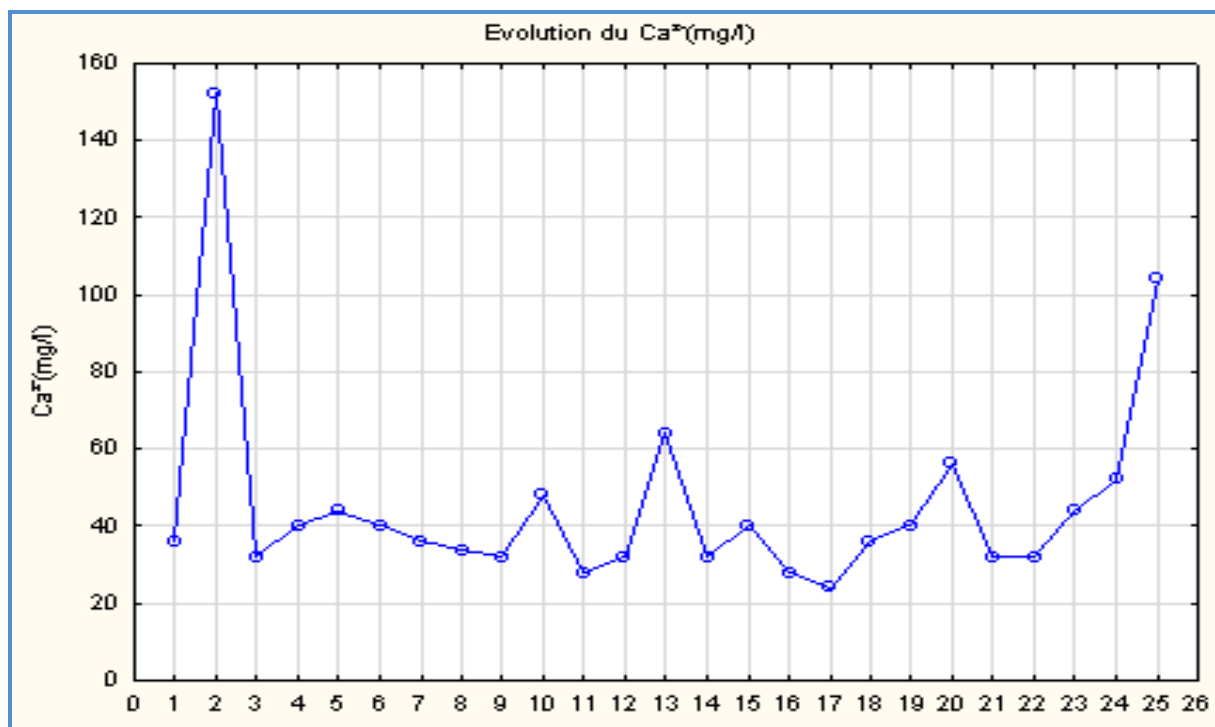


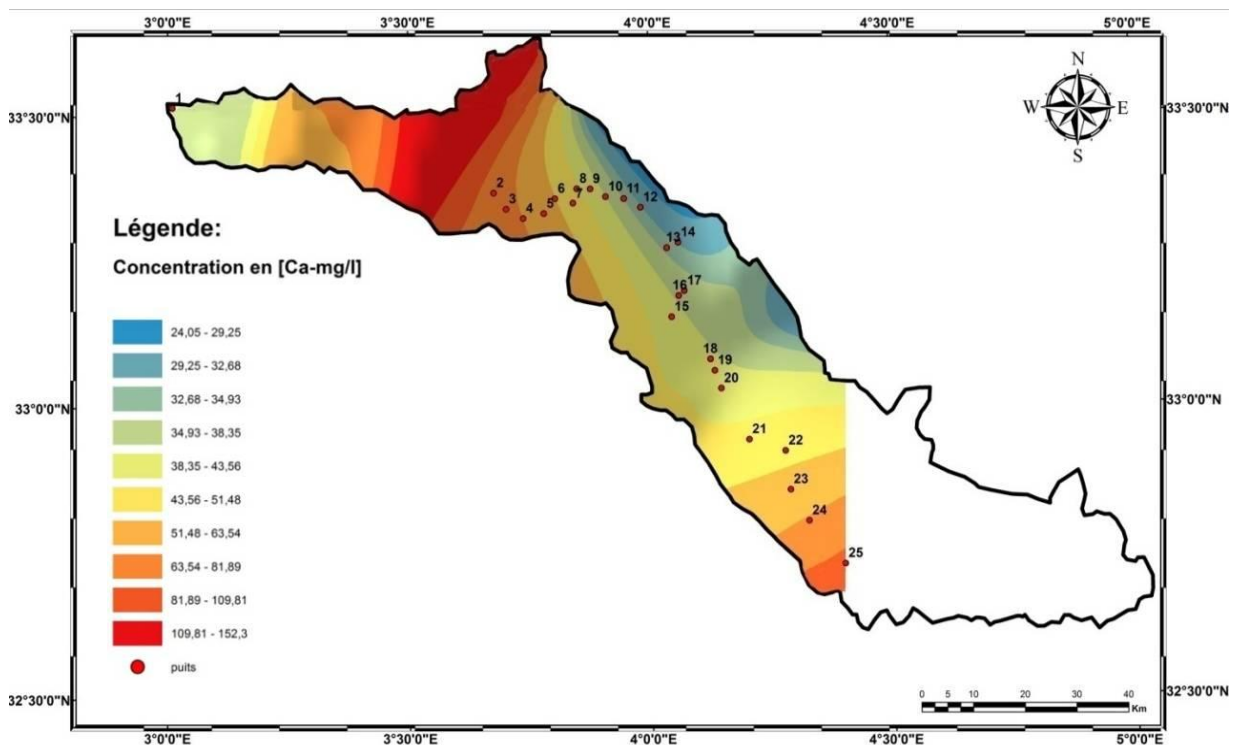
Figure 26: variation spatiale des teneurs du calcium

La courbe de concentration de cet élément exprime de fortes variations d'un point à l'autre et fait ressortir un groupe de 22 échantillons avec des teneurs en calcium inférieures à 60mg/l. quant aux concentrations extrêmes en calcium, trois points seulement présentent des valeurs supérieures à 60mg/l, l'émergence la plus particulière est située en amont du bassin versant de oued Zegrir (P2) avec 152,3mg/l (*Fig. 27*).

L'origine des teneurs plus ou moins élevées de  $\text{Ca}^{++}$  (>60mg/l) du P2, P13 et P25, est liée au lessivage, lors des crues, des formations carbonatées et des formations salifères de grandes solubilités.

Les formations salifères sont situées à l'amont du bassin versant de oued Zegrir et qui s'absentent au centre puis elles apparaissent de nouveau en aval et aux alentours de la palmeraie de Guerrara.

Cette évolution ne suit aucune loi régulière ni le sens d'écoulement de oued Zegrir et ces affluents, elle est en relation directe avec le faciès gypsifère rencontré.



*Figure 27: Carte d'iso-concentration du calcium des eaux du bassin versant de oued Zegrir*

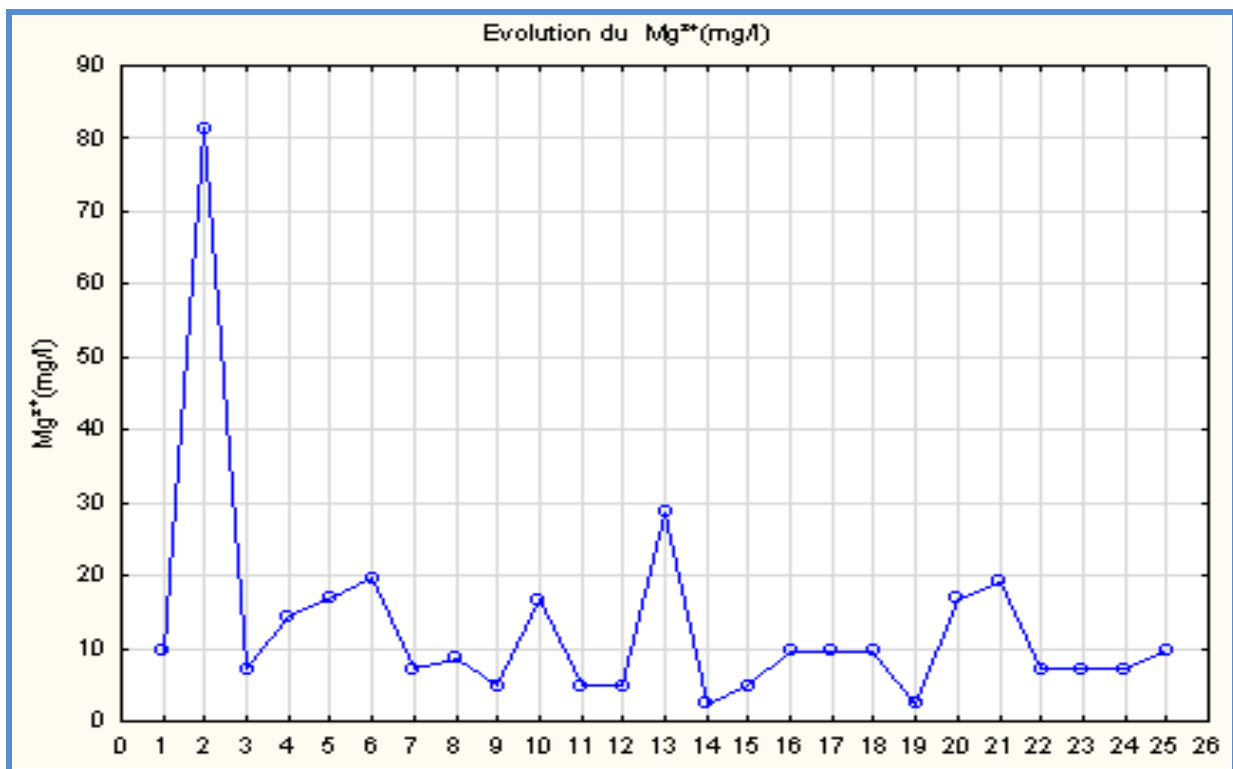
**b) Le Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)**

Le magnésium est un élément présent dans toutes les eaux naturelles, c'est un élément significatif de la dureté des eaux, la variation du magnésium dans les eaux est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations salifères d'autre part qui sont riche en Mg<sup>++</sup>.

Les teneurs en Mg<sup>2+</sup> enregistrées dans les puits du bassin versant de oued Zegrir oscillent autour de 2,4mg/l comme valeur minimale enregistrée au point P14 et 81,36mg/l comme valeur maximale enregistrée au point P2. Ces teneurs restent très faibles par rapport à la norme de potabilité des eaux recommandées par l'OMS (30mg/l) et l'UE (50mg/l).

Le diagramme de l'évolution spatiale fait ressortir (*Fig. 28*) :

- un groupe de 17 points, avec des concentrations très basses de 2,4 à 9,6 mg/l
- un deuxième groupe de 7 points entre 10 et 30 mg/l.
- Une anomalie observée au niveau du point P2 où on a enregistré des teneurs supérieures à 80 mg/l.



*Figure 28: Evolution spatiale du magnésium.*

Le titre magnésique des eaux du bassin versant de oued Zegrir montre que l'ensemble des points d'eaux échantillonnés ne sont pas riche en magnésium, excepté le point P2 qui montre une teneur plus ou moins élevée car le remplissage de ce puits s'effectue lors du drainage des eaux de ruissellement sur le massif gypseux, riche en sulfate de magnésium ( $MgSO_4$ ) situé en amont du bassin, qui impose ses caractéristiques minéralogiques sur es eaux de cette région (*Fig. 29*).

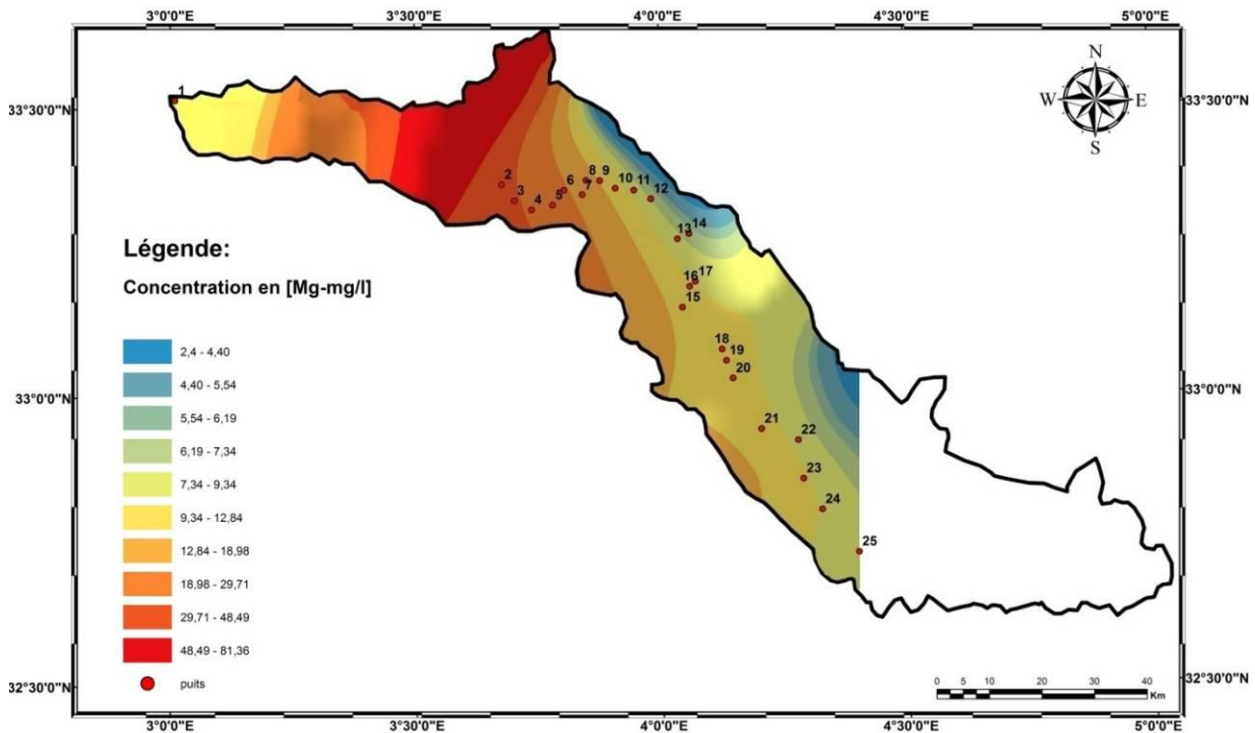


Figure 29: Carte d'iso-concentration du magnésium

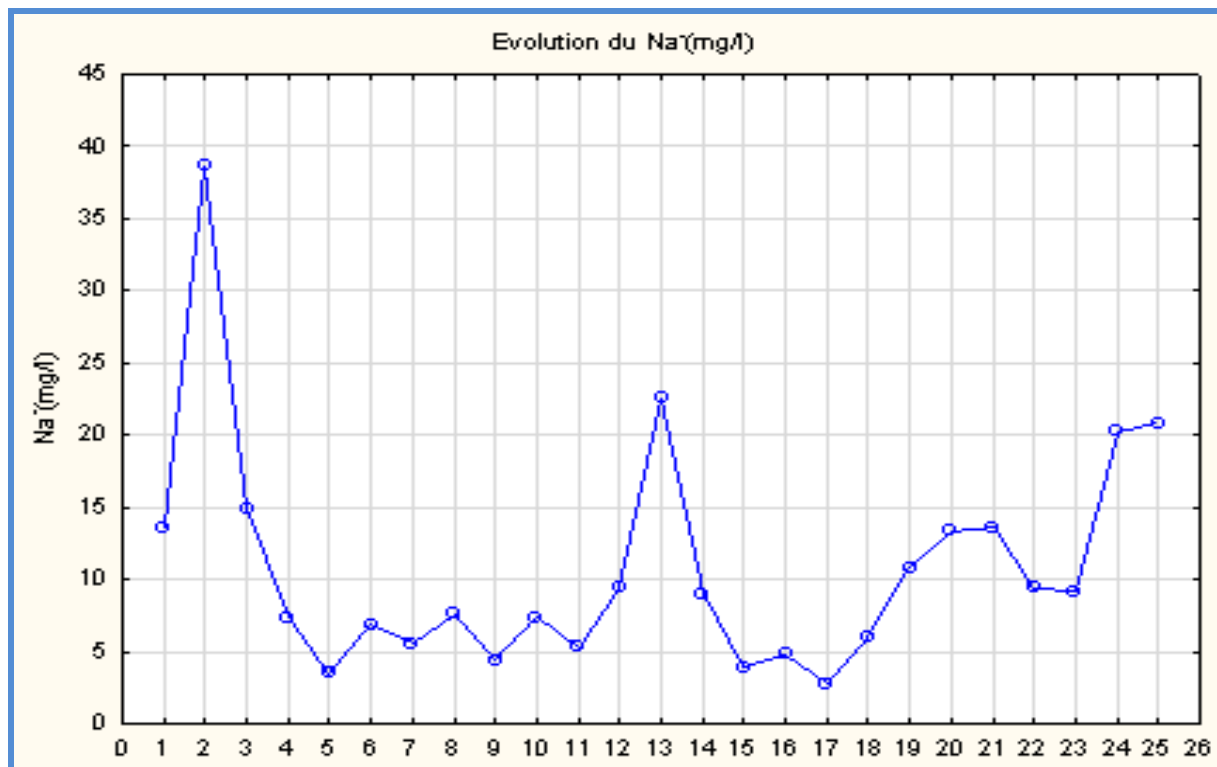
### c) Le Sodium ( $Na^+$ ) :

Le sodium toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, il provient essentiellement de lessivage des formations riche en  $NaCl$ .

Dans les eaux du bassin versant de oued Zegrir, Les concentrations du sodium ( $Na^+$ ) sont très hétérogènes, les concentrations sont variées d'un point à un autre, on marque 2,7mg/l comme valeur minimale mesurée au point P17 et 38,64mg/l comme valeur maximale avec un écart type de 7,96.

Les concentrations en sodium des eaux du bassin versant de oued Zegrir peuvent être résumées de la façon suivante (*Fig. 30*) :

- Un groupe de 16 points (64%) ont des valeurs inférieures à 10mg/l.
- 32% des points d'eaux ont des teneurs en sodium oscillant entre 10 et 30 mg/l.
- Un seul point marque une teneur plus ou moins élevée par rapport aux autres avec 38,64mg/l, montrant donc une anomalie extrême qui a une relation directe avec les formations salines situées au Nord du bassin versant de oued Zegrir.



*Figure 30: Evolution spatiale du Sodium*

D'après la carte iso-teneur du sodium, des teneurs plus ou moins élevées sont signalées en amont du bassin, liées à la dissolution des sels naturels par lessivage des terrains salifères, puis une diminution au centre en s'éloignant des faciès salifères, vers l'aval du bassin les teneurs réaugmentent de nouveau. (*Fig. 31*).

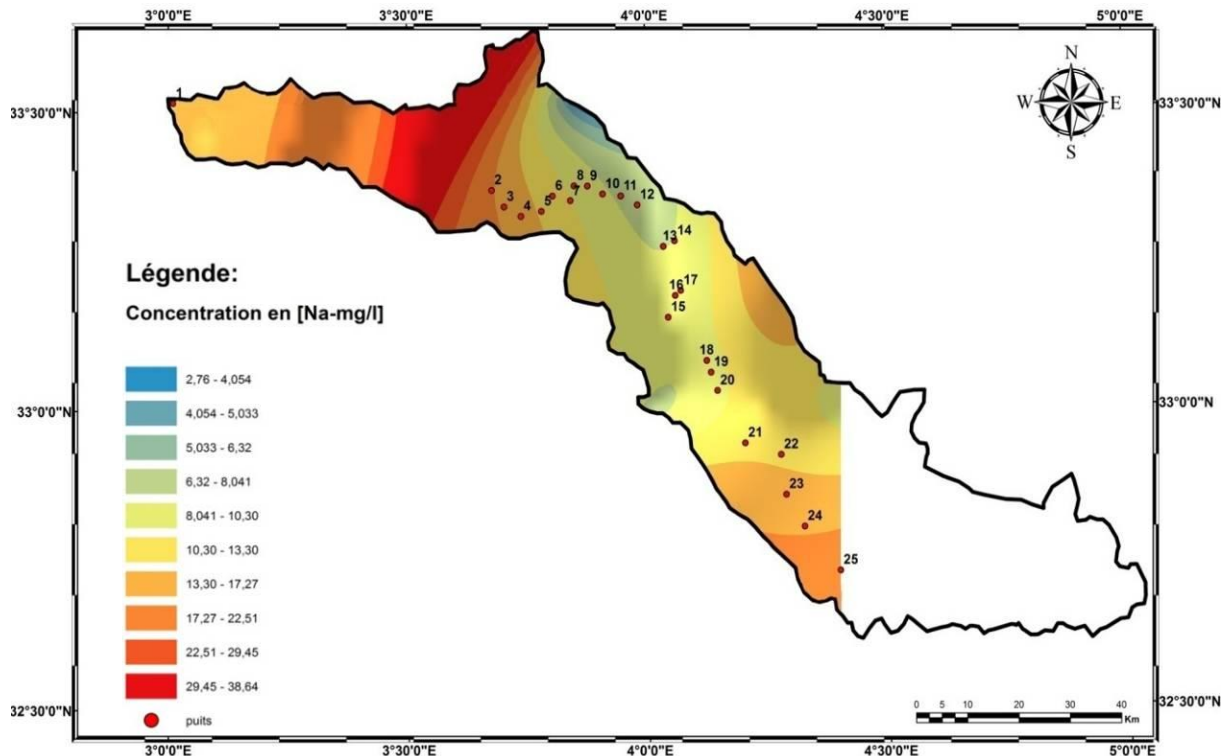


Figure 31: Carte d'iso-concentration du sodium

#### d) Le potassium (K<sup>+</sup>)

La présence du potassium dans les eaux est liée principalement à l'altération des argiles potassiques et au lessivage des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl).

Au niveau des eaux du bassin versant de oued Zegrir, la teneur en potassium varie de 0,004mg/l pour le point d'eau P14 à 0,122 pour le point P2 (*Tableau 19*) ; des teneurs très faibles à sensiblement nulles (*Fig. 32*). On peut déduire donc que le bassin versant de oued Zegrir ne renferme ni faciès riches en potassium, ni aucune source de pollution.

Ces valeurs sont elles aussi inférieures aux maximales admises par l'OMS et l'UE (12mg/l) et par l'AFNOR (10mg/l).

La carte iso-teneur du potassium, montre que la teneur élevée est celle enregistrée dans le point P2 qui se trouve près des formations salifères, en s'éloignant de ces formations vers l'aval du bassin on note une légère diminution des teneurs du potassium (*Fig. 33*).



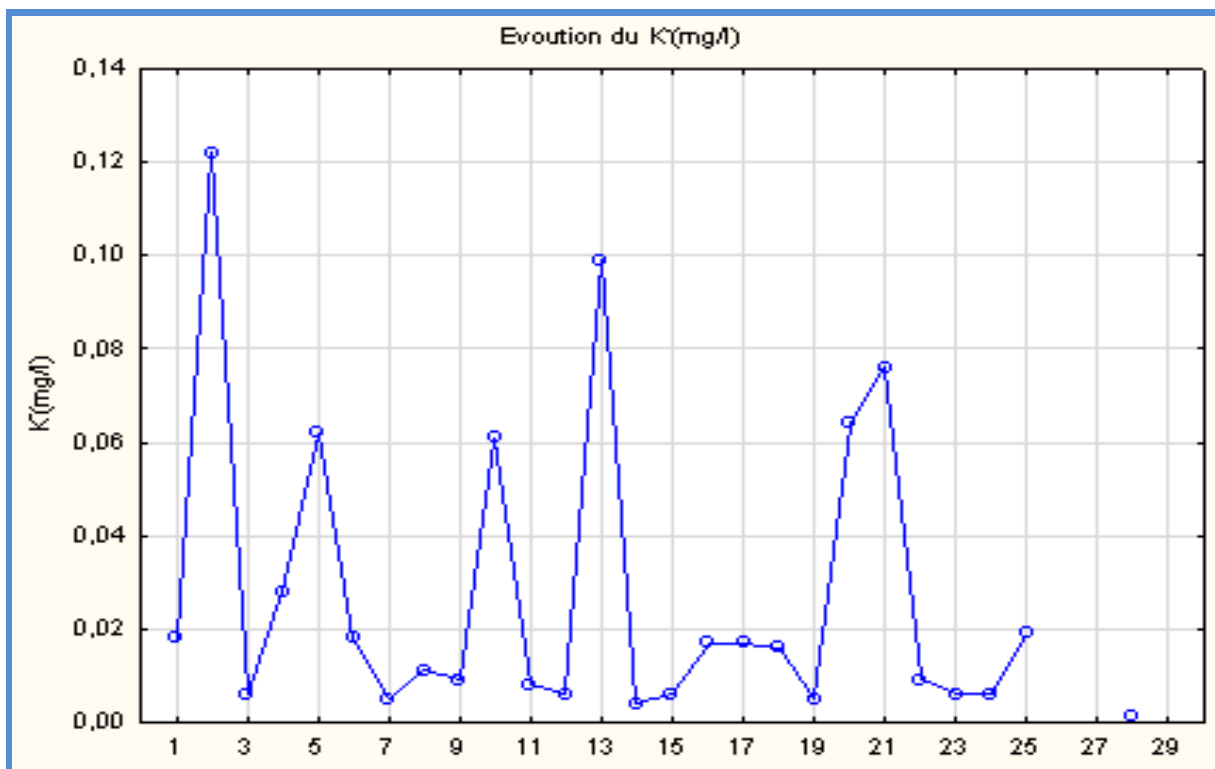


Figure 32: Evolution spatiale du potassium

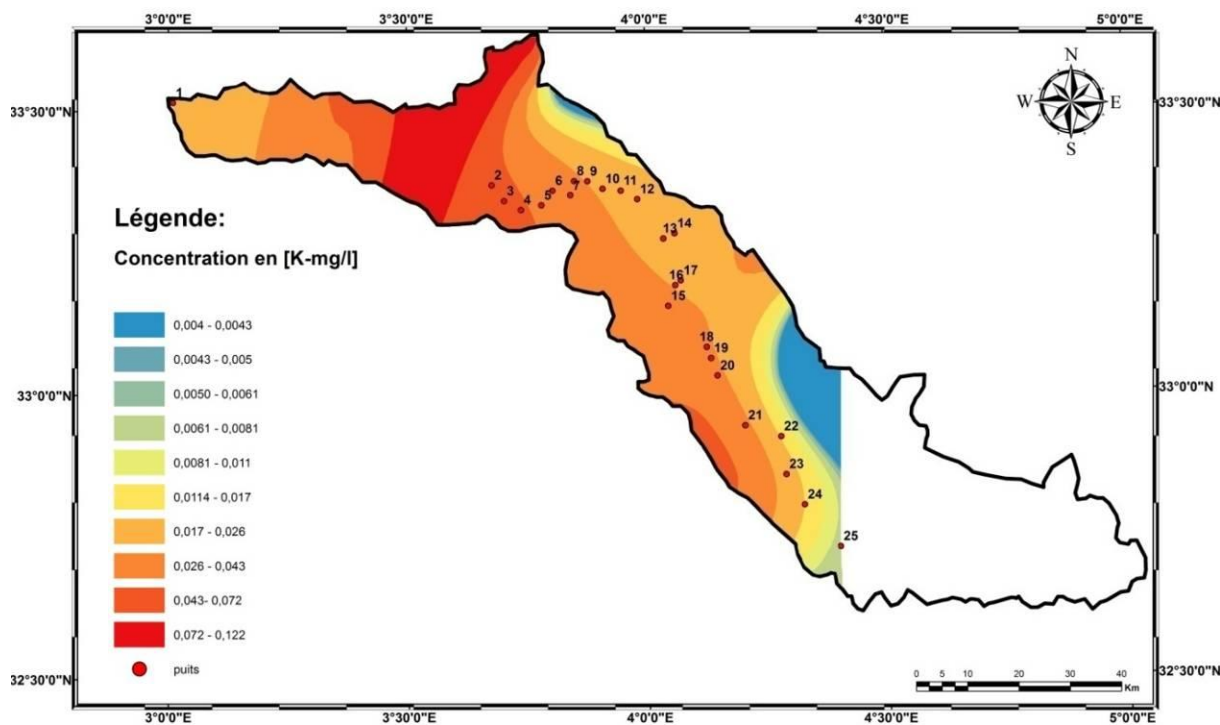


Figure 33: Carte d'iso-concentration du potassium

## 2.2 Les anions :

### a) Les Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ou hydrogénocarbonates) :

Ces origines sont liées à la dissolution des formations carbonatées (Calcaire, dolomite...etc.) les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation suivante :



La solubilité des carbonates est principalement influencée par  $p_{\text{CO}_2}$ , la température, la force ionique, la pression totale et le pH (Hoefs, 1969).

Les valeurs des bicarbonates obtenues des eaux du bassin versant varient de 85,4mg/l à 250 mg/l, elles sont supérieures aux seuils de 30mg/l fixé par les normes de potabilité des eaux. C'est l'élément le plus abondant dans tous les échantillons. La dispersion de ces valeurs est relativement faible avec un coefficient de variation de 30,85%).

La courbe des fréquences affichée par les bicarbonates, forme un grand ensemble qui peut être réparti en deux groupes (*Fig. 34*) :

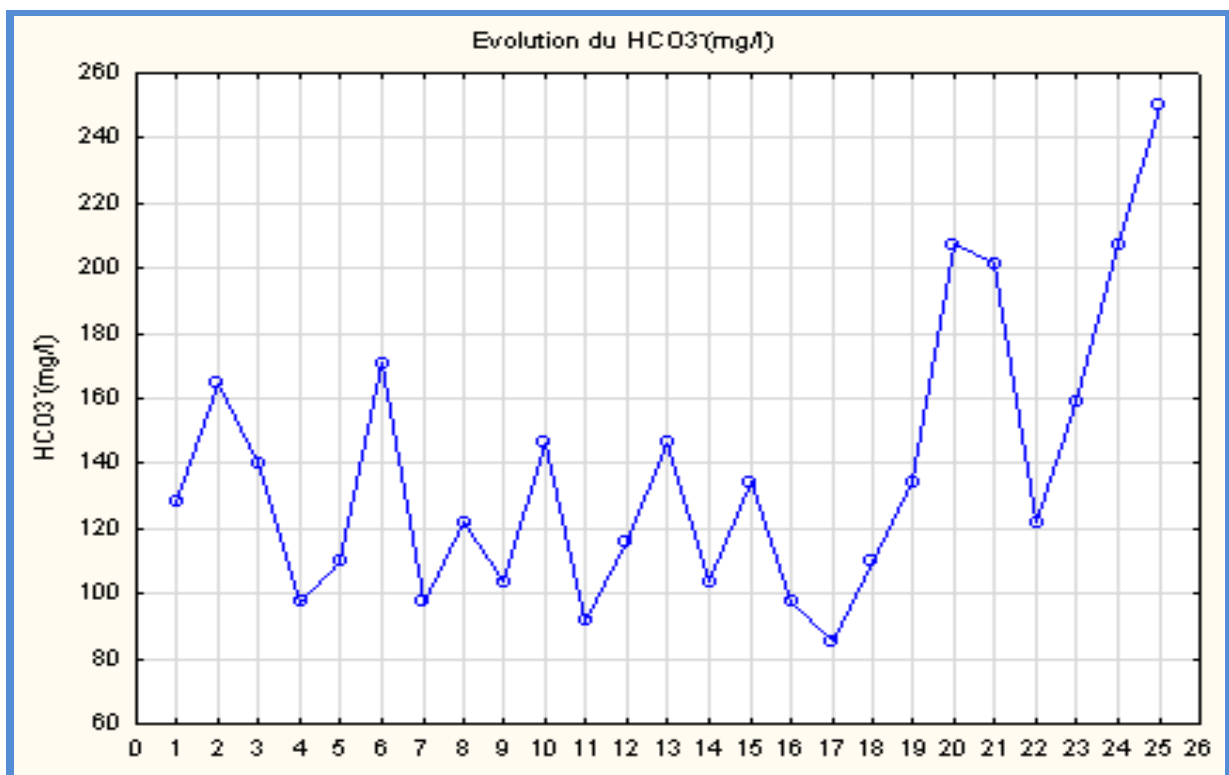


Figure 34: Evolution spatiale des Bicarbonates

- La plus grande concentration des points d'eaux (84% des puits) sont localisées entre 85,4mg/l et 170,8mg/l située à l'amont du bassin, depuis le point P1 jusqu'au point P17, des valeurs plus où moins rapprochés
- Des points ont tendance vers les hautes concentrations. Leurs valeurs oscillent entre 200,1mg/l et 250mg/l, il s'agit des points localisés près de la partie avale de oued Zegrir (*Fig. 35*).

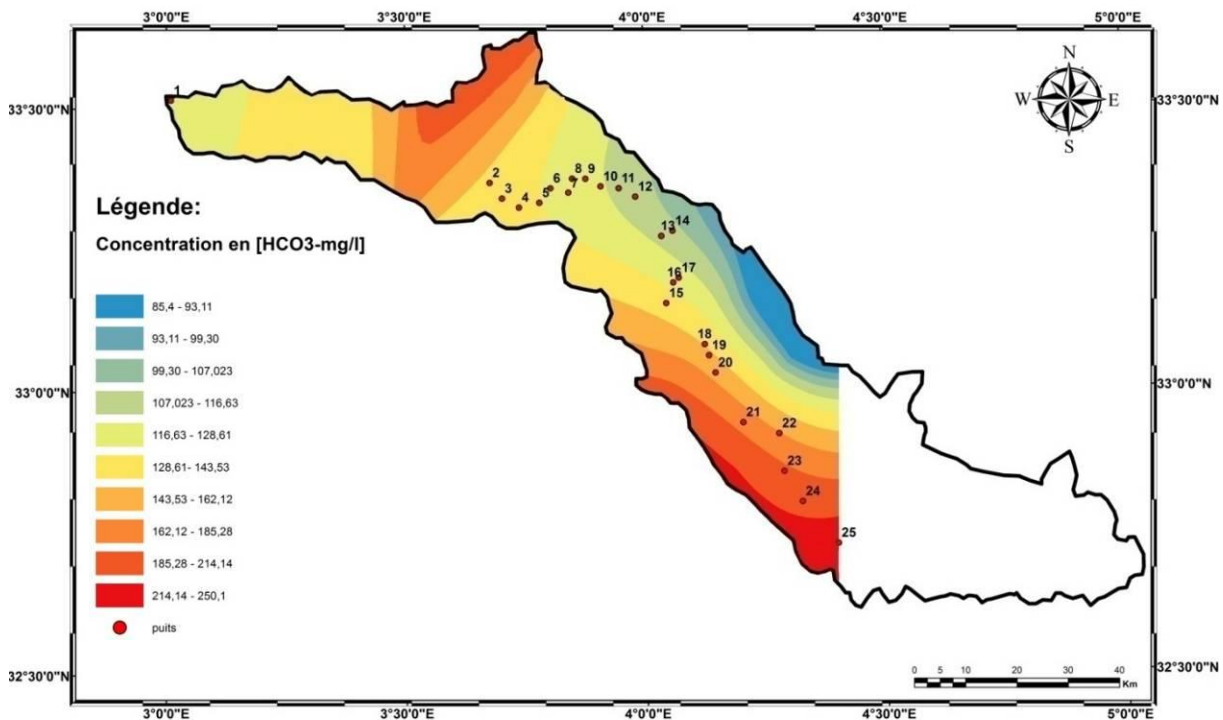


Figure 35: Carte d'iso-concentration des bicarbonates

### b) Les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Son origine est liée principalement à la dissolution des formations gypseuses, selon la relation suivante :

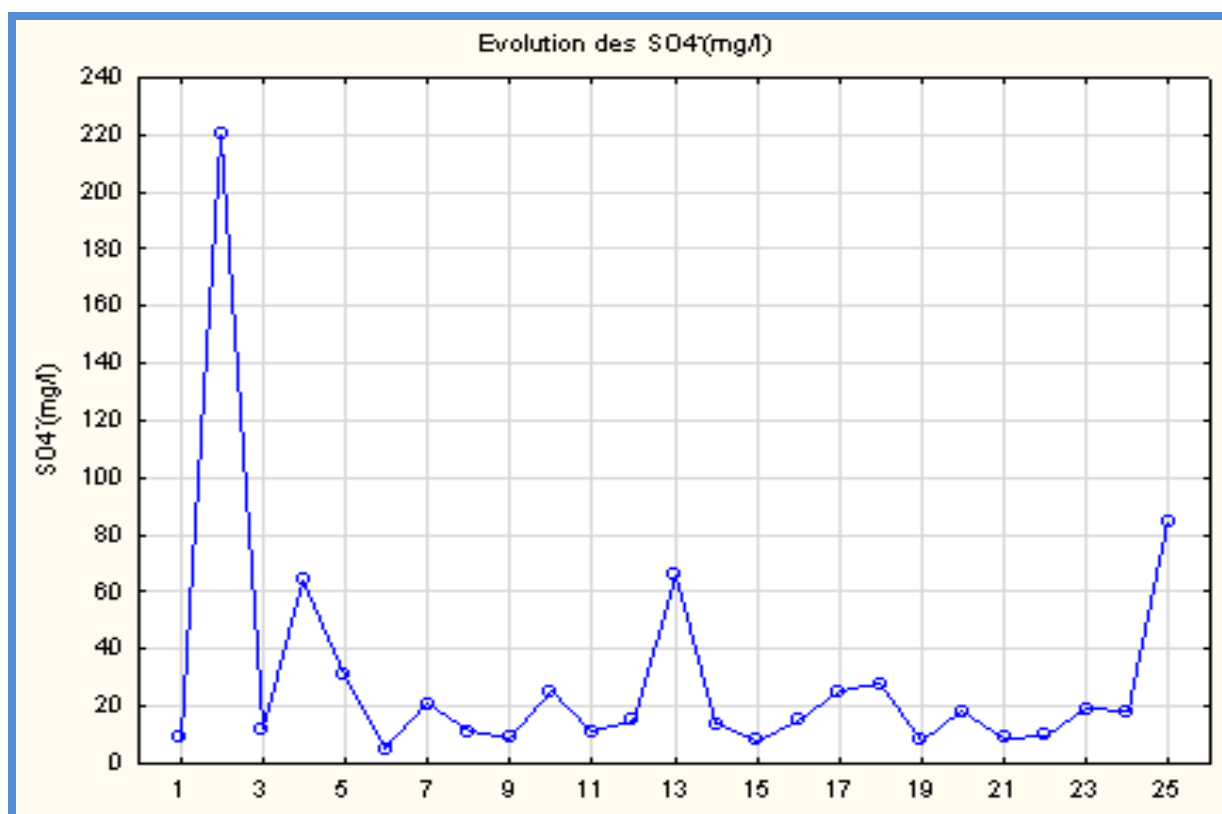


Selon les normes AFNOR ; celles de l’OMS et de l’UE, les concentrations maximales admissible en sulfates dans les eaux naturelles sont de 250mg/l.

Les concentrations des sulfates obtenues des eaux du bassin versant de oued Zegrir sont très faibles et oscillent autour de 5 et 220 mg/l.

La courbe de variation des concentrations des  $\text{SO}_4$  nous a permis de classer ces points en fonction de la présence de sulfate (**Fig. 36**):

- Un seul point d'eau P2 situé à l'amont du bassin versant de oued Zegrir qui a affiché une valeur extrême de 220 mg/l, ces concentrations indiquent un contrôle de ce point par le lessivage d'évaporites, bien que ces eaux soient relativement pauvres en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ .
- Des points d'eaux (P4, P13 et P25) à concentration moyenne en  $\text{SO}_4^-$  présentent des valeurs entre 64 et 85 mg/l.
- 75% des points d'eaux échantillonnés présentent des concentrations très faibles en sulfates entre 5 et 7,1 mg/l (**Fig. 37**).



**Figure 36: Evolution spatiale des sulfates**

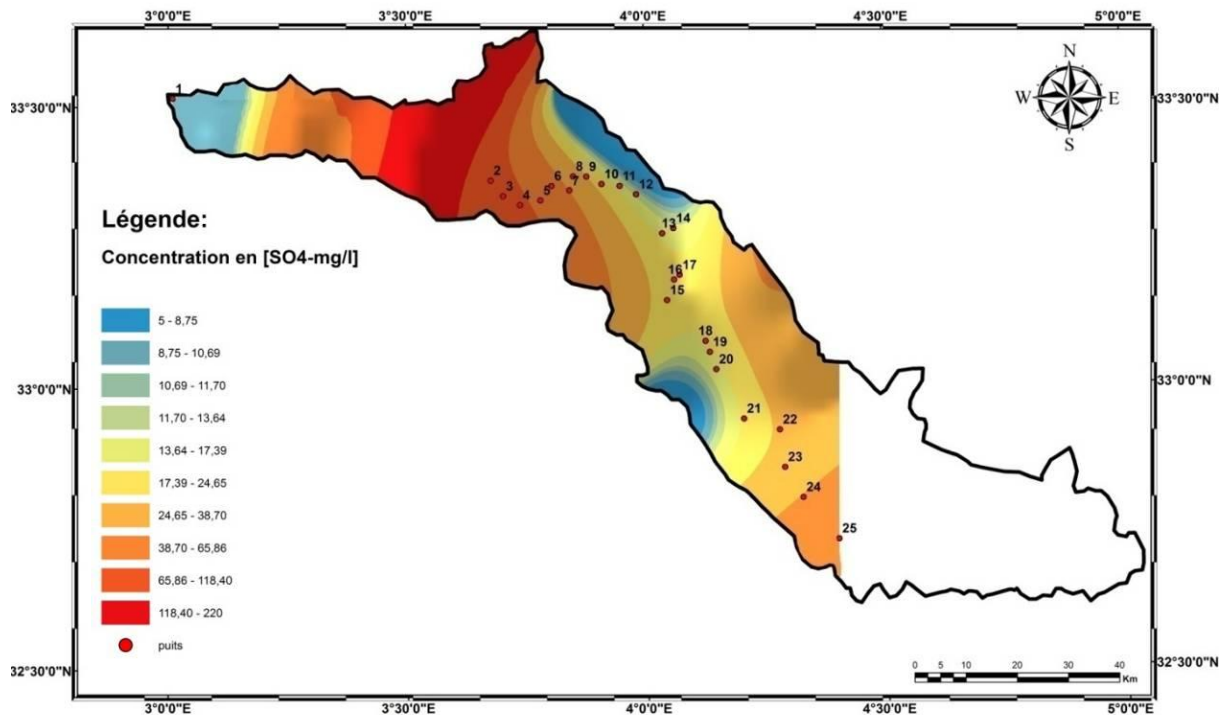
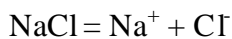


Figure 37: Carte d'iso-concentration des sulfates

### c) Le Chlore (Cl<sup>-</sup>)

L'eau contient presque toujours du chlore, mais à des proportions variables, son origine est liée principalement à la dissolution de l'halite (NaCl), suivant la relation suivante :



Les teneurs du Chlore enregistrées dans les eaux du bassin versant de oued Zegrir sont extrêmement variées et sont liées principalement à la nature des terrains traversés.

La teneur de Cl<sup>-</sup> au puits P2 atteint une valeur de 312,4 mg/l, les autres valeurs restent très largement dans les normes internationales des valeurs maximales admissible à savoir : 50mg/l pour l'AFNOR et 250 mg/l pour l'OMS et l'UE.

Dans les eaux du bassin versant d'oued Zegrir, une moyenne de 29,10 mg/l, le diagramme de répartition spatiale fait ressortir (*Fig. 38*):

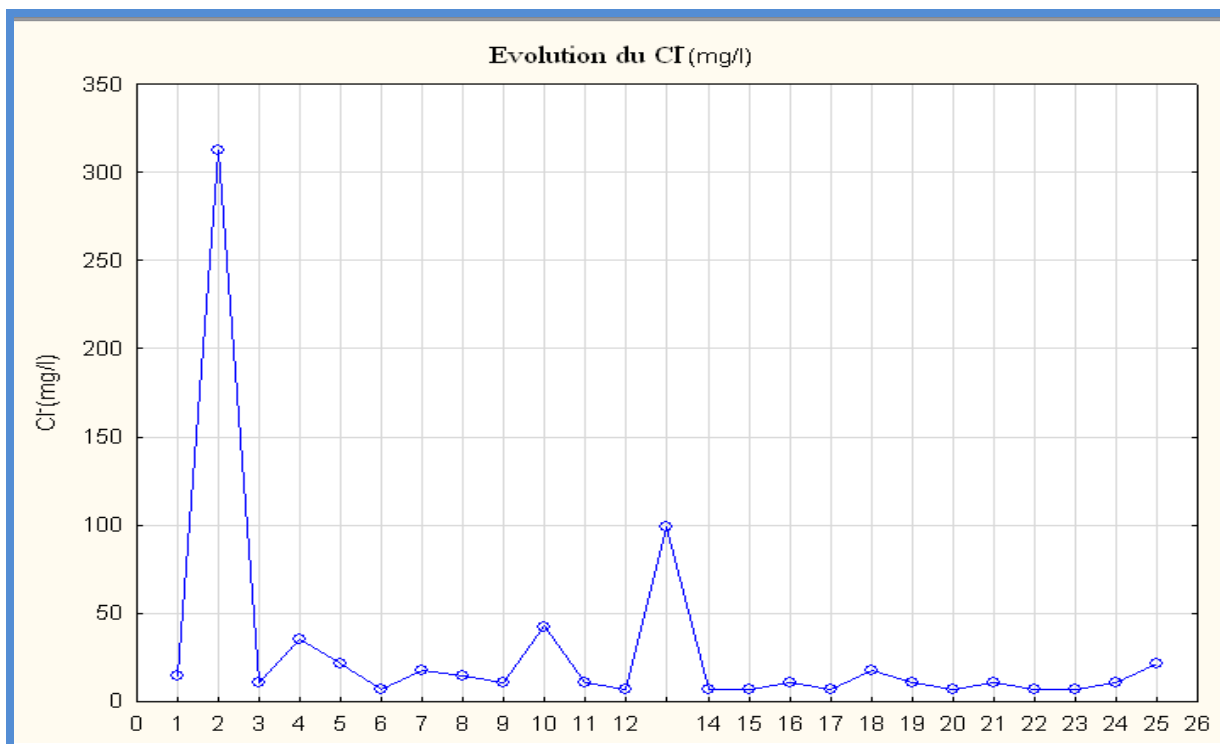


Figure 38: Evolution spatiale du Chlore

- 92% des points d’eau analysés montrent des valeurs inférieures à 50mg/l.
- Deux puits (P2et P13) affichent des concentrations supérieures à 50 mg/l, ces anomalies sont attribuées à l’influence des formations gypsifères (Fig. 39).

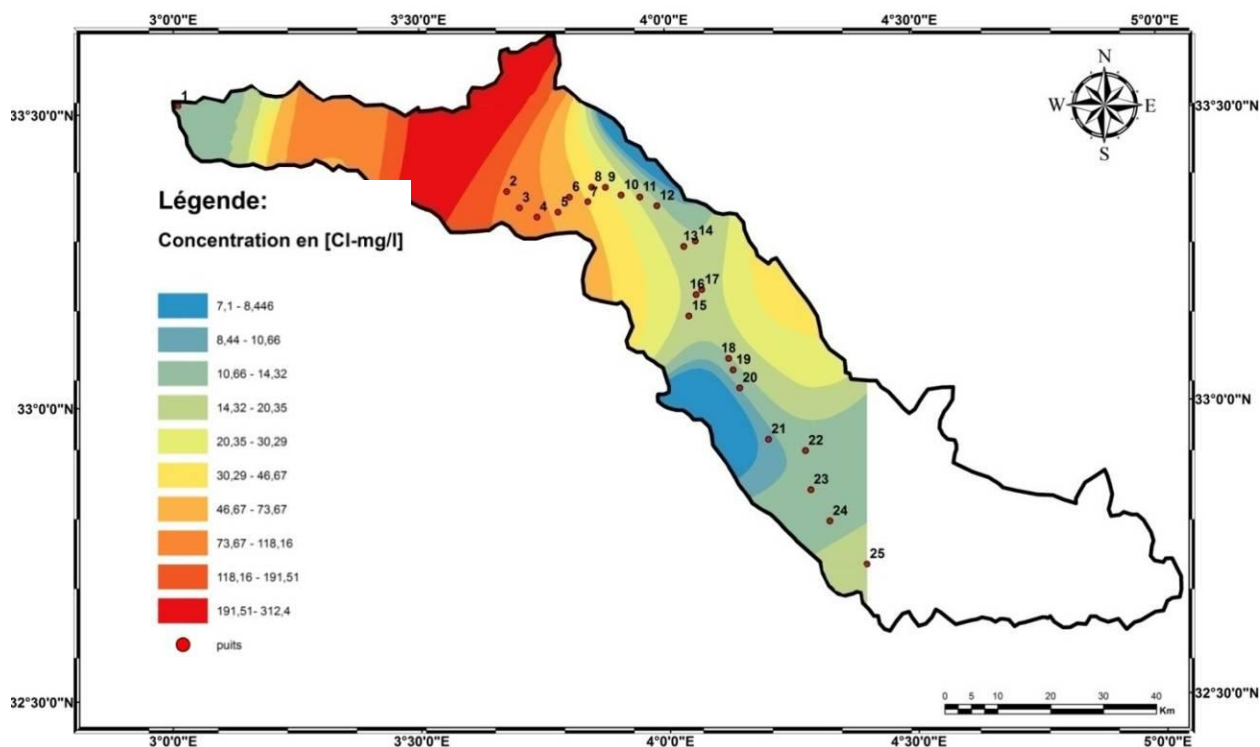


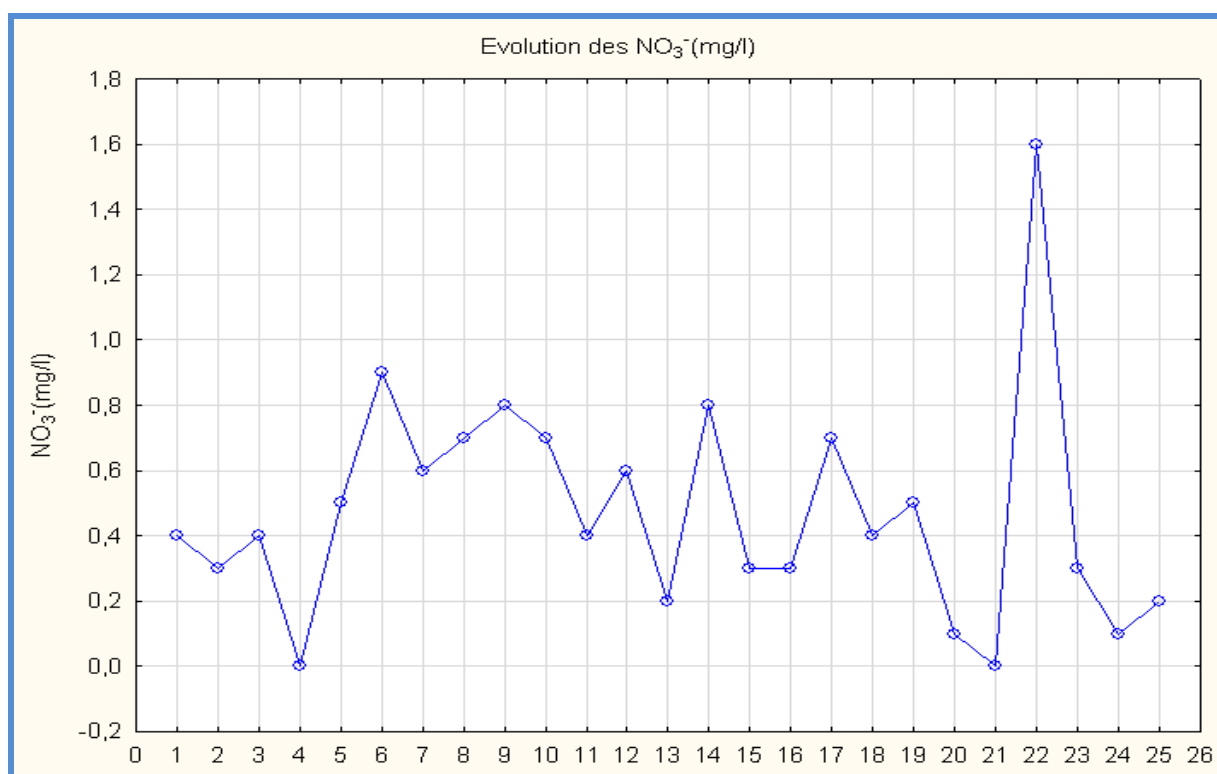
Figure 39: Carte d’iso-concentration du Chlore

### d) Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l (UNEP/ MAP/MEDPOL, 2004).

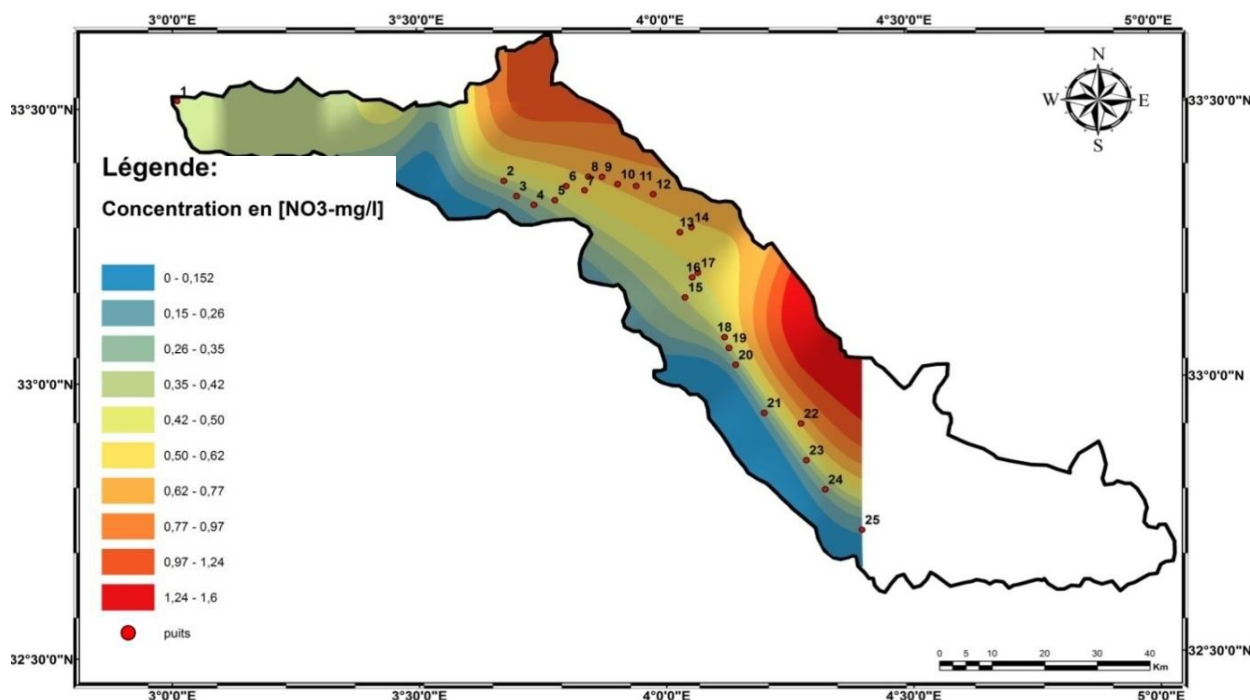
Pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir, une moyenne de 0,47 mg/l avec des extrêmes de 0 et 1,6 mg/l ont été enregistrés.

Le diagramme des teneurs des nitrates montre une émergence présentée par le point P22 avec une teneur de 1,6 mg/l (*Fig. 40*), cette teneur élevée est probablement due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles des daïas situés près de ce point (*Fig. 41*).



*Figure 40: Evolution spatiale des Nitrates*

On peut conclure que les teneurs en nitrates enregistrées dans les eaux de surface du bassin versant de oued Zegrir sont inférieures à la teneur suggérée par les normes AFNOR et internationales (50 mg/l). Ce qui indique que les eaux étudiées ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates.



*Figure 41: Carte d'iso-concentration des Nitrates.*

#### e) Les nitrites (NO<sub>2</sub>-):

Les nitrites sont considérées comme la forme la moins oxygénée et la moins stable de l'azote. Selon l'OMS et l'UE, les concentrations maximales admissibles en nitrite dans les eaux naturelles sont de 0,1 mg/l.

Pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir les nitrites ne sont présents qu'en traces avec une moyenne de 0,00112 mg/l et des extrêmes de 0 et 0,004mg/l.

Les teneurs en nitrites sont voisines de zéro, cela montre explicitement que l'influence de la matière organique sur les eaux de surface du bassin est très minime pour ne pas dire nulle (*Fig. 42*)



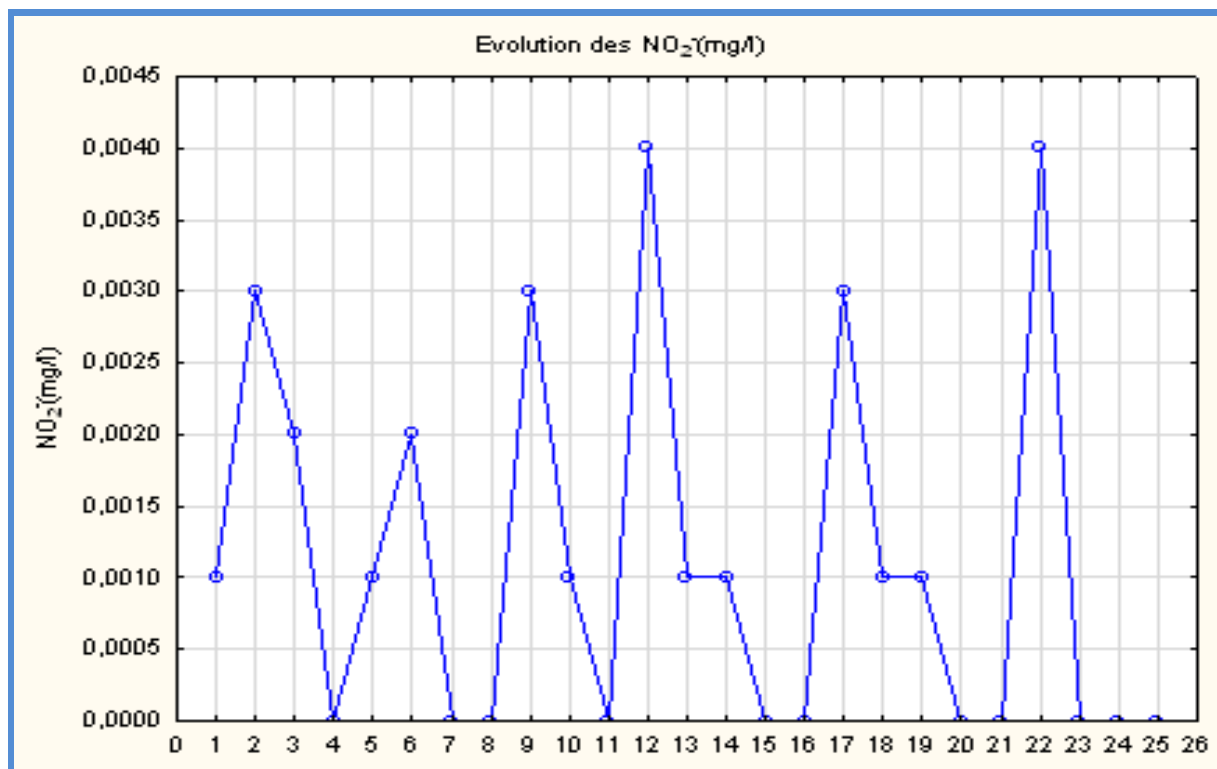


Figure 42: Evolution spatiale des Nitrites

### 2.3 Dureté totale : (Degré Hydrotimétrique Totale) (DHT) :

Elle indique la teneur totale de l'eau en sel de Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) et de Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ). Elle est exprimée en degré français ( $^{\circ}\text{F}$ ) et est calculée selon la formule suivante :

$$\text{DHT} = 5 (\text{rCa}^{++} + \text{rMg}^{++})^{\circ}\text{F}$$

Où :  $\text{rCa}^{++} + \text{rMg}^{++}$  : désigne respectivement les quantités en réaction de Calcium et de Magnésium en méq/l.

Selon l'OMS, les eaux potables de bonne qualité ont une dureté totale inférieure à  $15^{\circ}\text{F}$ , mais acceptable jusqu'à  $50^{\circ}\text{F}$ , si elle dépasse cette valeur leur utilisation devient extrêmement difficile et cause des problèmes pour la consommation et pour certains usages domestiques.

La DHT des eaux du bassin versant de oued Zegrir présente une moyenne de 0,66 avec des extrêmes de 0,36 et 2,88 mg/l.

### 2.4 La minéralisation totale (TSD en mg/l)

La minéralisation totale (TSD : totale des sels dissous) est la somme en mg/l des concentrations des composés majeurs et mineurs des eaux, ce paramètre est calculé et peut être contrôlé par la balance ioniques. Ainsi, il est plus fiable que les mesures de la

conductivité électrique prises sur le terrain et que les valeurs de la dureté totale obtenues en laboratoire, rappelons que la conductivité électrique ne fournit qu'une approximation de la minéralisation globale de l'eau (Rodier, 1978). La dureté totale, quant à elle, traduit la somme des ions alcalino-terreux, dont les plus abondants sont le calcium et le magnésium.

L'étude des caractéristiques descriptives de la minéralisation totale (TSD) des eaux du bassin versant de oued Zegrir indique une valeur moyenne de 269,5 mg/l, et des valeurs extrêmes de 153,2 et 972,5 mg/l. Ces valeurs sont inférieures aux normes ; soit 1500mg/l recommandées par l'OMS (*Fig. 43*).

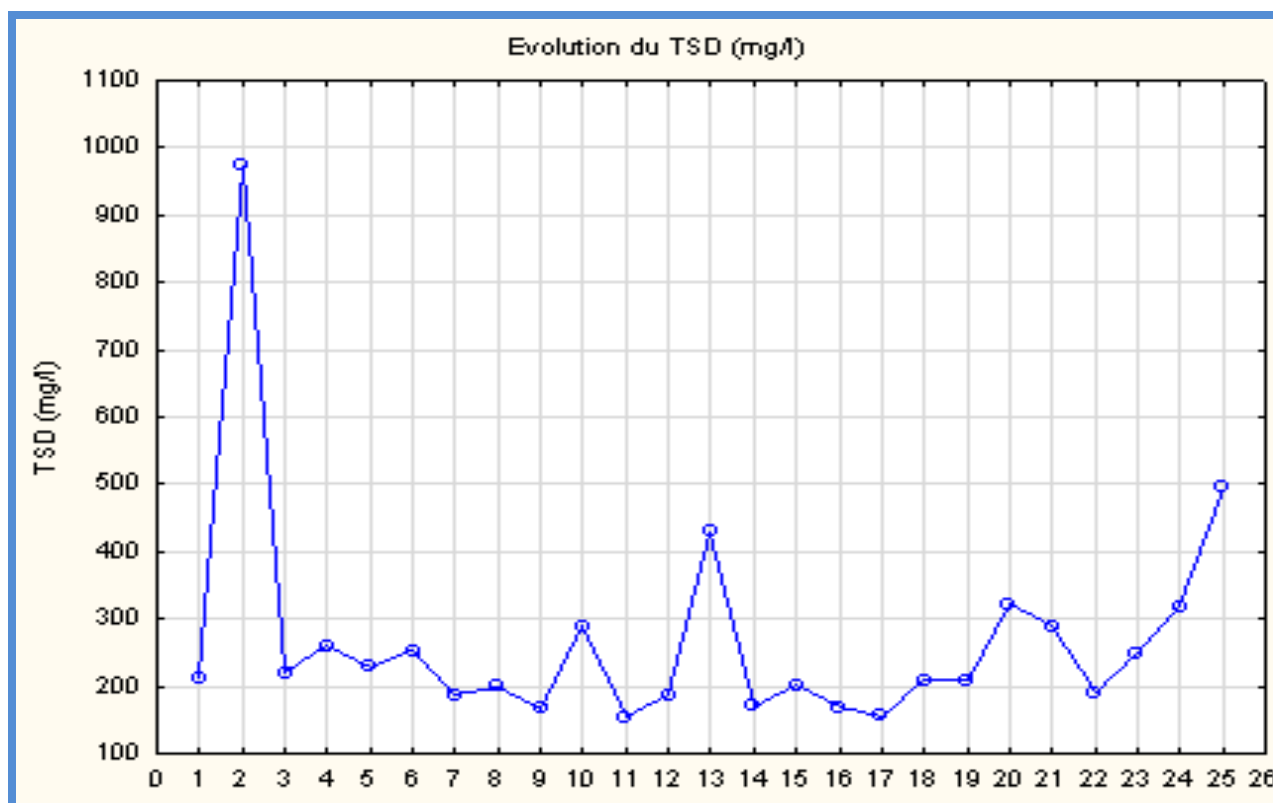


Figure 43: Evolution spatiale TSD (mg/l)

### 3. LES FACIES CHIMIQUES DES EAUX DU BASIN VERSANT DE OUED ZEGRIR:

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été proposées par divers auteurs. Dans le cadre de cette étude, seulement la classification de Stabler et la classification de Piper ont été prises en considération.

#### 3.1 Classification de Piper :

Cette méthode est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les eaux entre elles. Ce diagramme comporte un losange ABCD et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent (100) parties égales correspondant à des quantités en réaction pour cent (calculé par rapport à des ions de même signe). Ainsi dans chaque triangle, un point représentatif est obtenu. Les deux parallèles supportant ces deux points s'entrecroisent en un seul point dans le losange ABCD, indiquant la nature du faciès chimique des eaux.

Le report des résultats des analyses des eaux de oued Zegrir sur le diagramme triangulaire de Piper (*Fig. 44*), met en évidence l'incidence du faciès lithologique sur la qualité des eaux et permet aussi d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification.

La représentation graphique de Piper montre que les eaux prélevées dans les différents points de oued Zegrir appartiennent aux familles des eaux :

- ➡ Bicarbonatée calcique et magnésienne (88%).
- ➡ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (12%).

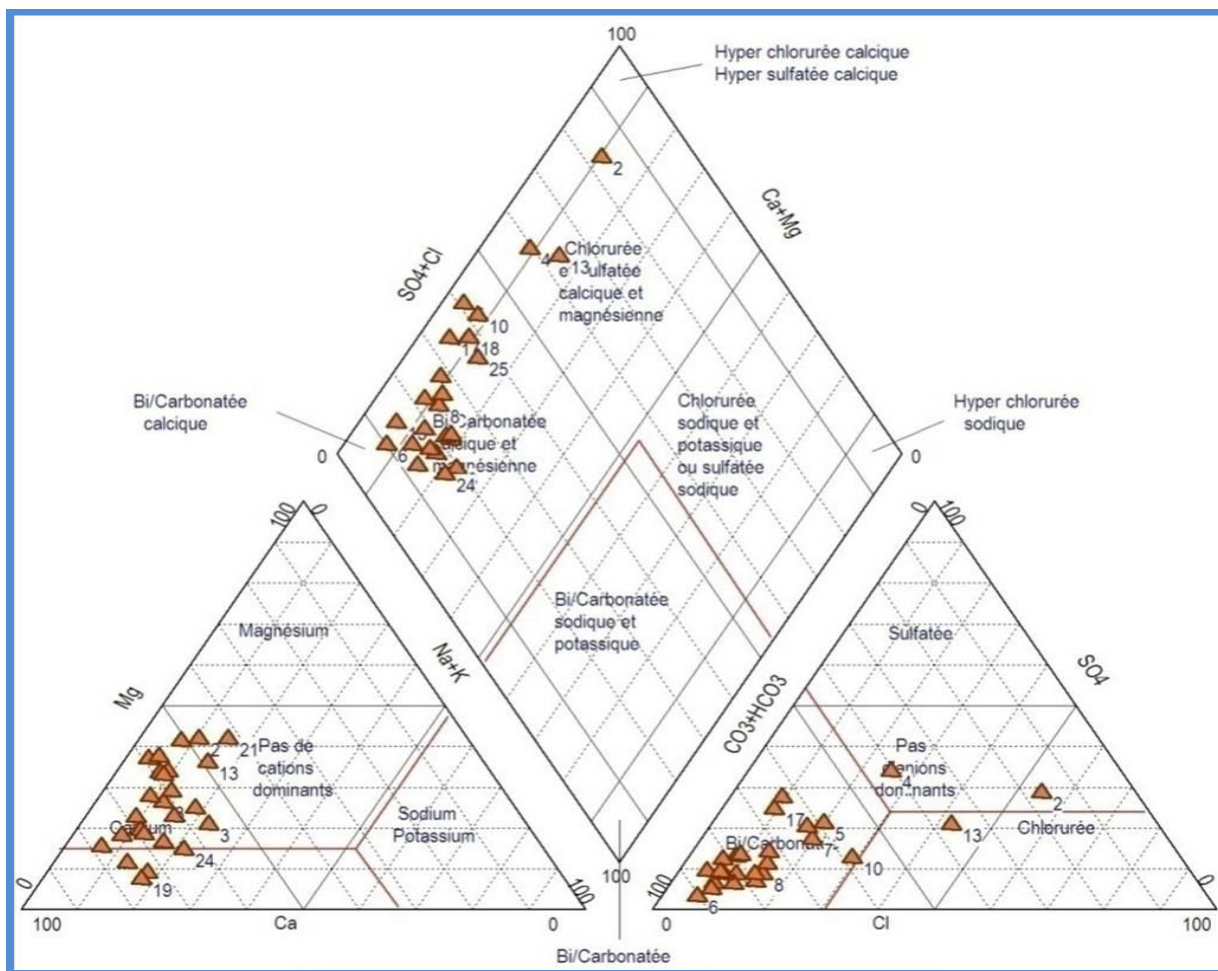


Figure 44: Diagramme triangulaire de Piper pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir

### 3.2 Classification de Stabler :

Dans cette classification, les concentrations exprimées en méq/l sont réduites en quantité en réaction pour cent (r%) par rapport à la concentration (T)

La formule ionique étant obtenue en classant de gauche à droite et par ordre décroissant, les quantités en réaction pour cent des ions ensuite celles des cations, en se basant sur la prédominance de tel ou tel ion.

Cette classification a mis en évidence deux familles de faciès (**Tableau 13**):

- Bicarbonaté calcique ;
- Chloruré calcique.

Tableau 13 : Classification de Stabler des eaux du bassin versant de oued Zegrir

Puits N°	cations	anions	faciès chimique
1	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
2	rCa > rMg > r Na+K	rCl > rSO <sub>4</sub> > rHCO <sub>3</sub>	chloruré calcique
3	rCa > r Na+K > rMg	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
4	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
5	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
6	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
7	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
8	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
9	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
10	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
11	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
12	rCa > r Na+K > rMg	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
13	rCa > rMg > r Na+K	rCl > rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub>	chloruré calcique
14	rCa > r Na+K > rMg	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
15	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
16	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
17	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
18	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
19	rCa > r Na+K > rMg	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
20	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
21	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rCl > rSO <sub>4</sub>	bicarbonaté calcique
22	rCa > r Na+K > rMg	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
23	rCa > rMg > r Na+K	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
24	rCa > r Na+K > rMg	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique
25	rCa > r Na+K > rMg	rHCO <sub>3</sub> > rSO <sub>4</sub> > rCl	bicarbonaté calcique

De ces deux classifications, il en ressort que la majorité des points sont de la même famille (bicarbonaté calcique) on peut penser que ce sont les même phénomènes qui ont donné aux eaux du bassin leurs caractéristique chimiques. Ces eaux semblent être de même origine mais plus ou moins concentré en fonction de leur formations environnantes.

#### 4. INTERPRETAION CARTOGRAPHIQUE ET ORIGINE DES ELEMENTS CHIMIQUES :

En vue d'une interprétation cartographique de nos résultats, la description lithologique des roches affleurantes s'est avérée nécessaire.

Malheureusement, la seule carte géologique qui existe et qui couvre la totalité du bassin est celle d'Alger Sud au 1/500.000 (éditée en 1951-1952); carte synthétique ne donne qu'une vue générale du contexte géologique et ne représente pas réellement la nature des terrains superficiels.

En l'absence d'une carte détaillée sur la géologie du bassin versant de oued Zegrir et pour pallier ce manque, nous avons fait appel à la carte des états de surface du bassin versant de oued Zegrir établie par Bendada (2010), cette carte à l'avantage d'identifier les différents faciès lithologiques traversées par les eaux du bassin.

Lorsque les eaux de nappe imbibent les sols en contact, la composition de l'eau de nappe devient celle de la solution du sol (L. Barbiero et V. Valles, 1992)

A travers la carte des états de surface, les roches qui affleurent dans le bassin versant ont des caractéristiques litho-stratigraphiques variées. Ainsi on distingue d'une façon générale :

- La prédominance des formations carbonatées occupant la partie centrale du bassin versant de oued Zegrir, qui s'étalent le long du bassin depuis Rous El Menjel au Nord jusqu'à la région du Guerrara au Sud Est.
- Les formations gypsifères salines sont beaucoup plus prononcées en aval du bassin qu'en amont.
- Les alluvions occupent le lit de oued Zegrir.

Après avoir calé les 25 points échantillonnés sur la carte des ESS sous le logiciel ArcGIS (*Fig. 45*), il s'est avéré que :

- ➡ La majorité des points d'eaux échantillonnés se trouvent au **centre** du bassin, circulant en majeure partie dans les formations carbonatées du Mio- pliocène sont peu minéralisées, mis à part le point P2
- ➡ Seul le point P2 présente une minéralisation importante vis à vis les autres points du fait de la présence du gypse en **amont** du bassin.

- De nouveau, à l'aval la présence des formations gypsifères sur de grandes étendues, ont influencées certainement sur la minéralisation de la palmeraie de Guerrara et les régions limitrophes.

Au point P2 la valeur de la conductivité électrique est de 2120  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , cette valeur affirme la salinité de cette eau qui provient de la dissolution des formations salifères avoisinantes. En contact avec l'eau, ces formations entraînent un accroissement de la salinité des eaux du P2 rendant leur utilisation limitée.

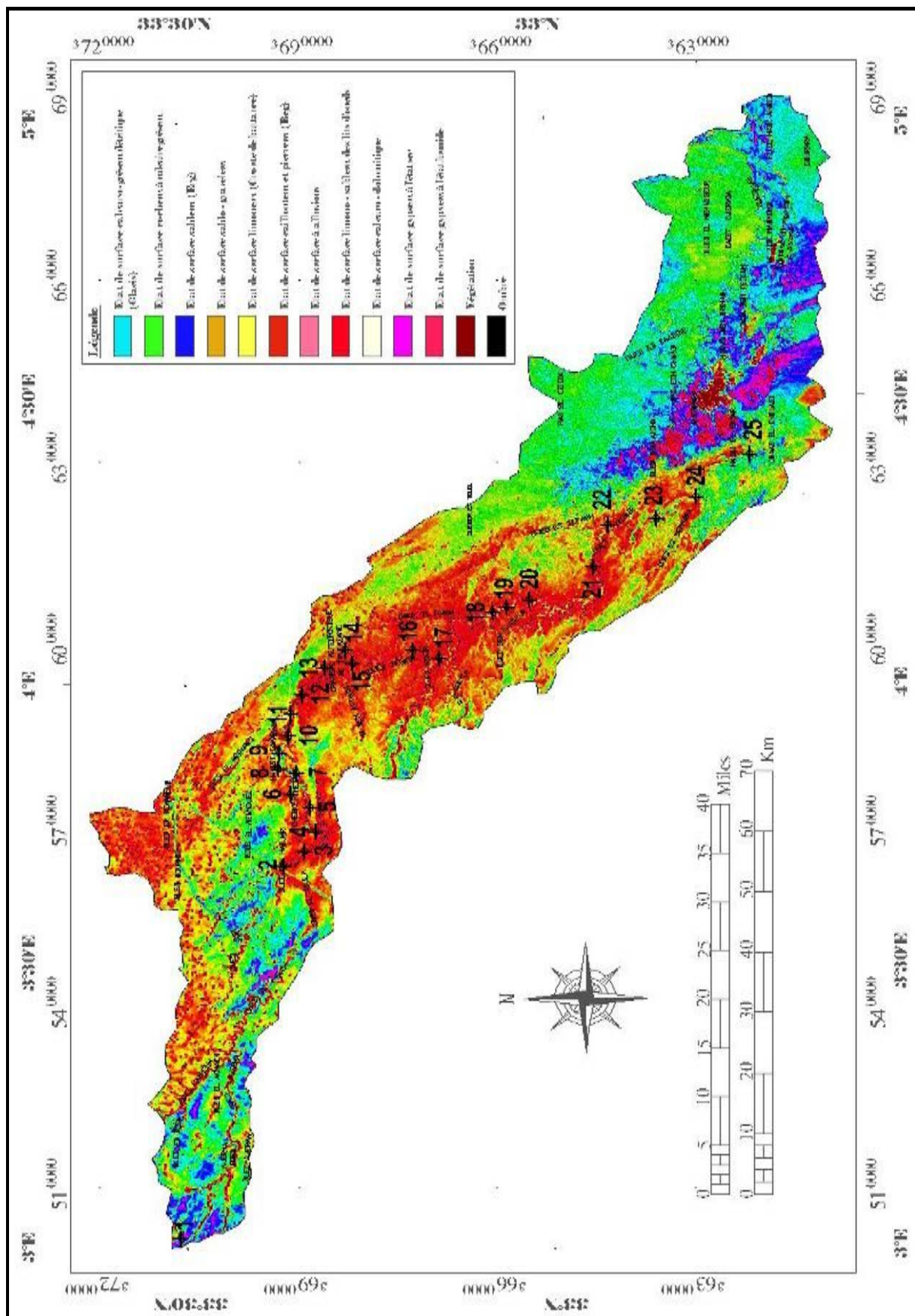


Figure 45: Carte des états de surface des sols du bassin versant de oued Zegrir (M. Bendada, 2010)



## 5. ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES PHYSIQUES ET ELEMENTS CHIMIQUES :

### 5.1 Analyse en Composantes principales « ACP » :

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et pour mieux évaluer l'effet des activités anthropiques sur la qualité des eaux du bassin versant de oued Zegrir, un traitement statistique **ACP** (analyse des composantes principales) a été appliqué à l'ensemble des paramètres. Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydrochimiques.

Cette méthode statistique permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales (Davis, 1984).

L'ACP a été effectué sur une matrice de donnée constituée de 25 prélèvements. Pour le traitement des données par l'analyse en composantes principales, nous avons utilisé une dizaine de variables : le pH, la conductivité électrique, les sulfates, les chlorures, les bicarbonates, les nitrates, le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium et comme individus les 25 échantillons d'eaux des puits du bassin versant de oued Zegrir.

L'analyse du plans factoriel F1 et F2 montre que plus de 67,34% sont exprimés (**Fig. 46**).

L'axe F1 possède une variance de 52,41%, il est exprimé par la conductivité électrique, les sulfates, les chlorures, le magnésium, le sodium, le potassium et le calcium, l'axe F2 a une variance égale à 14,93% et est constitué par le pH, les nitrates et les bicarbonates (**Tableau 14**).

**Tableau 14 : Matrice de corrélation des éléments chimiques.**

Variables	CE $\mu\text{s.cm}$	Ph	Ca <sup>2</sup>	Mg <sup>2</sup>	Na	K	HCO	Cl	SO	NO
CE $\mu\text{s.cm}$	1	0,024	<b>0,93</b>	<b>0,953</b>	<b>0,844</b>	<b>0,777</b>	0,335	<b>0,968</b>	<b>0,969</b>	-0,277
pH	0,024	1	-0,109	0,154	-0,003	0,216	-0,023	0,02	-0,06	-0,211
Ca <sup>2</sup>	<b>0,93</b>	-0,109	1	<b>0,817</b>	<b>0,855</b>	0,631	0,536	<b>0,842</b>	<b>0,922</b>	-0,288
Mg <sup>2</sup>	<b>0,953</b>	0,154	<b>0,817</b>	1	<b>0,752</b>	<b>0,836</b>	0,246	<b>0,956</b>	<b>0,891</b>	-0,204
Na	<b>0,844</b>	-0,003	<b>0,855</b>	<b>0,752</b>	1	0,612	0,589	<b>0,781</b>	<b>0,784</b>	-0,339
K	<b>0,777</b>	0,216	<b>0,631</b>	<b>0,836</b>	<b>0,612</b>	1	0,317	<b>0,736</b>	<b>0,668</b>	-0,334
HCO	0,335	-0,023	<b>0,536</b>	0,246	0,589	0,317	1	0,134	0,238	-0,393
Cl	<b>0,968</b>	0,02	<b>0,842</b>	<b>0,956</b>	<b>0,781</b>	<b>0,736</b>	0,134	1	<b>0,937</b>	-0,17
SO	<b>0,969</b>	-0,06	<b>0,922</b>	<b>0,891</b>	<b>0,784</b>	0,668	0,238	<b>0,937</b>	1	-0,266
NO	-0,277	-0,211	-0,288	-0,204	-0,339	-0,334	-0,393	-0,17	-0,266	1

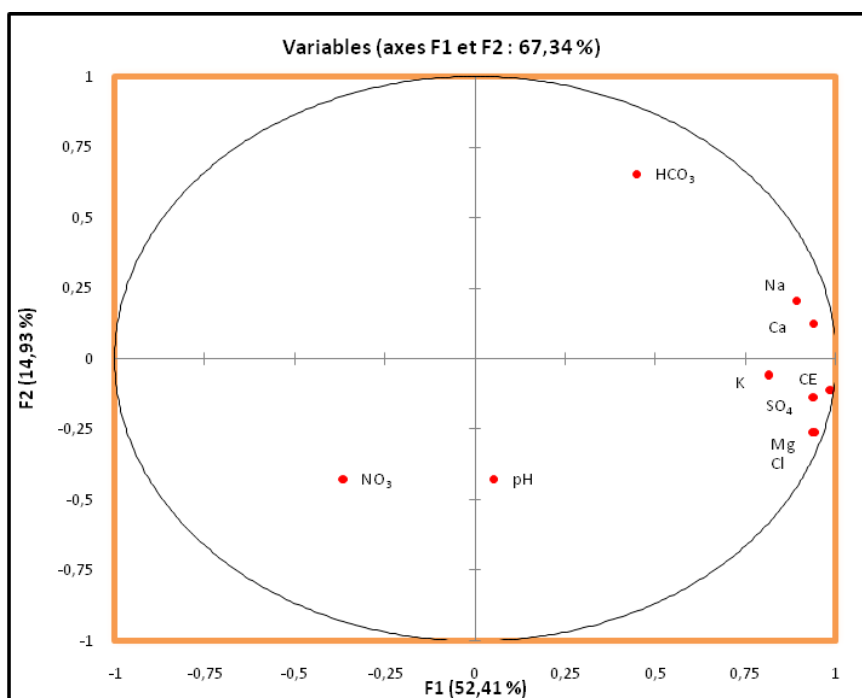


Figure 46 : Approche graphique de l'ACP des paramètres physico-Chimiques dans l'eau en selon le plan F1 x F2.

### 5.2 Mise en évidence des liens existants entre les éléments chimiques :

L'établissement des graphes couplant les éléments chimiques est fait sur la base de la matrice de corrélation des paramètres physico – chimiques (*Tableau 14*). Sur cette matrice, figurent des éléments qui présentent un coefficient de corrélation représentatif ( $0,80 \leq r \leq 0,99$ ) mettant en évidence les liens existants entre ces derniers. Ces liens montrent les éléments qui évoluent ensemble, ce qui indique ainsi une même origine. Il s'agit surtout des (Ca-SO<sub>4</sub>), (Mg- SO<sub>4</sub>), (Cl- SO<sub>4</sub>), (Mg-Cl), (Ca-Mg), (Ca-Cl)

#### a. Le Couple Ca–SO<sub>4</sub> :

Le diagramme sulfate versus calcium a été réalisé afin d'individualiser les points contrôlés par la dissolution du gypse ou d'anhydrite selon l'équation :



Cependant un point où tous les sulfates et une part du calcium proviennent de la dissolution du gypse, mais dont une autre part du calcium provient de la dissolution du carbonate verra son point éloigné de la droite 1:1 même si la dissolution du gypse qui explique tout le SO<sub>4</sub>.

La totalité des points sont éloigné de la droite 1:1ce qui nous laisse dire que les eaux ne sont pas contrôlées par la dissolution du gypse (*Fig. 47*).

Concernant les points P2 et P25, ils sont plus riches en Ca qu'en SO<sub>4</sub>, persistant deux hypothèses : soit leurs calcium ont une autre origine que le gypse, soit seulement une part de leur calcium provient d'une source autre.

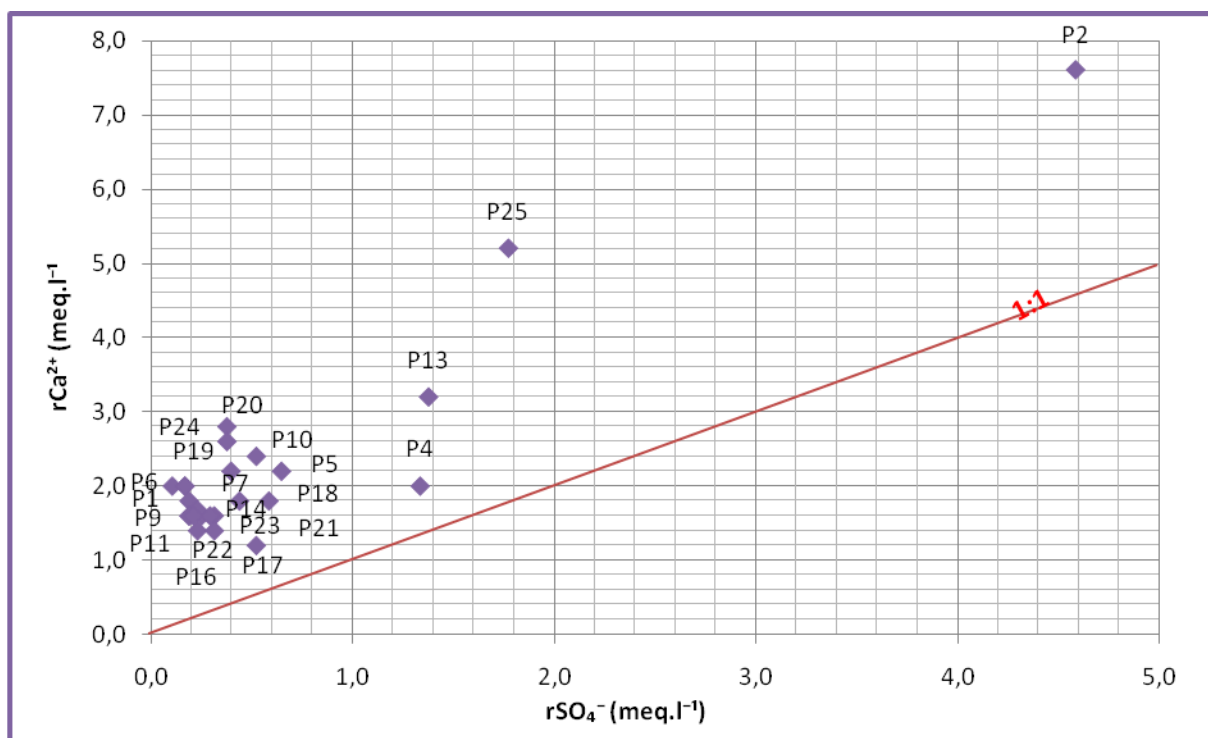


Figure 47: Le Couple Ca – SO<sub>4</sub>

**b. Le Couple Mg–SO<sub>4</sub> :**

Le graphique sulfates versus magnésium traduit la dissolution des sulfates magnésiens :

MgSO<sub>4</sub> = Mg + SO<sub>4</sub>. L'ensemble des points ne montrent pas un alignement indiquant la même origine des éléments Mg et SO<sub>4</sub>, probablement le gypse et l'anhydrite. Le gypse renferme toujours une proportion plus ou moins élevée en magnésium mais ce n'est pas la seule origine du magnésium. Les points situés le plus près de la ligne 1:1 sont les points P3,P4,P7,P8,P9,P12,P13,P14,P15,P18,P19,P22,P23,P24.

Pour les points P2, P25 et P13 qui sont globalement éloignés de la droite de dissolution des sulfates magnésiens ne sont pas contrôlé par la dissolution de la calcite ce qui conforte l'hypothèse de l'origine de son magnésium par dissolution des carbonates (*Fig. 48*).

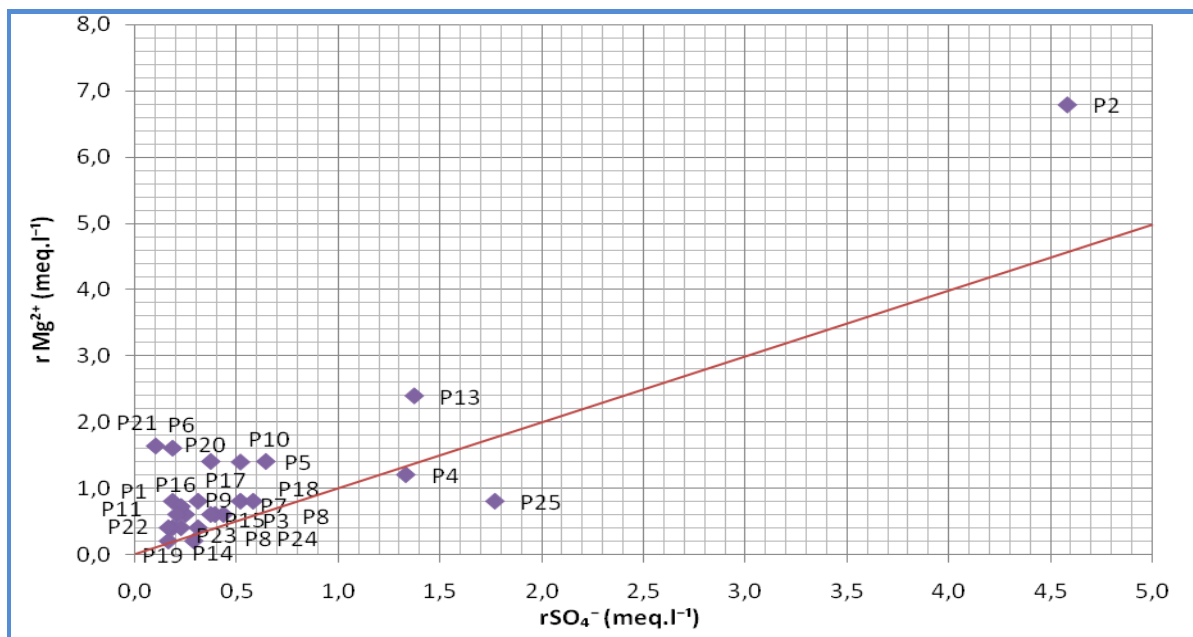


Figure 48: Le Couple Mg-SO<sub>4</sub>.

### c. Le Couple HCO<sub>3</sub>-Ca

Le graphe HCO<sub>3</sub> – Ca localise les points par rapport à la droite 1:2 qui correspond à l'équation :  $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$  de dissolution de la calcite. Il apparaît au vu de graphe que les points sont plus ou moins riches en calcium par rapport à cette droite. Pour les points P2, P25 et P13 qui sont globalement éloignés de cette droite ne sont pas contrôlés par la dissolution de la calcite, ce qui conforte l'hypothèse de l'origine de son calcium par le gypse.

Par contre, le point P21 notamment semble entièrement contrôlé par la dissolution de la calcite.

Pour les points qui sont assez proche de la droite de dissolution de la calcite, on ne peut vraiment juger pour chacun d'eux si la dissolution de la calcite joue beaucoup sur leur chimie, mais il semble que la dissolution de calcaires apparaît comme une source importante d'éléments dissous pour l'ensemble des eaux du bassin versant de oued Zegrir (*Fig. 49*).

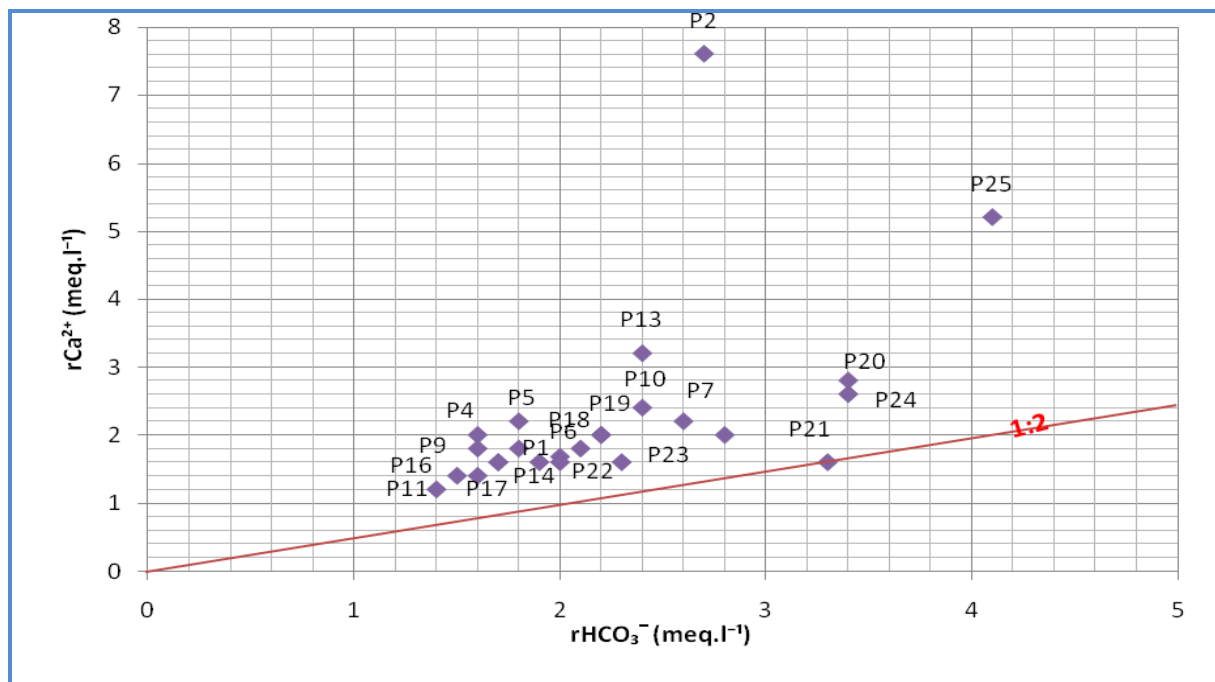


Figure 49 : Le Couple HCO<sub>3</sub>-Ca

#### d. Le Couple Ca – Mg :

Le graphe Mg versus Ca a pour but de déterminer les points éventuellement contrôlés par la dissolution de la dolomite, en effet la dissolution de la dolomie obéit à l'équation :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$  et aboutit donc à la mise en solution de Ca et Mg dans des proportions équivalentes.

Or nous pouvons noter qu'une majorité des points est proche de la ligne 1:1 sur le graphe Mg+Ca versus HCO<sub>3</sub>, la droite 1:2 correspond à la dissolution des carbonates plus ou moins magnésiens qui rassemble un grand nombre de points. Des points fortement influencés par la dissolution de la dolomite devront donc se trouver à proximité de ces deux droites (Fig. 50, 51).

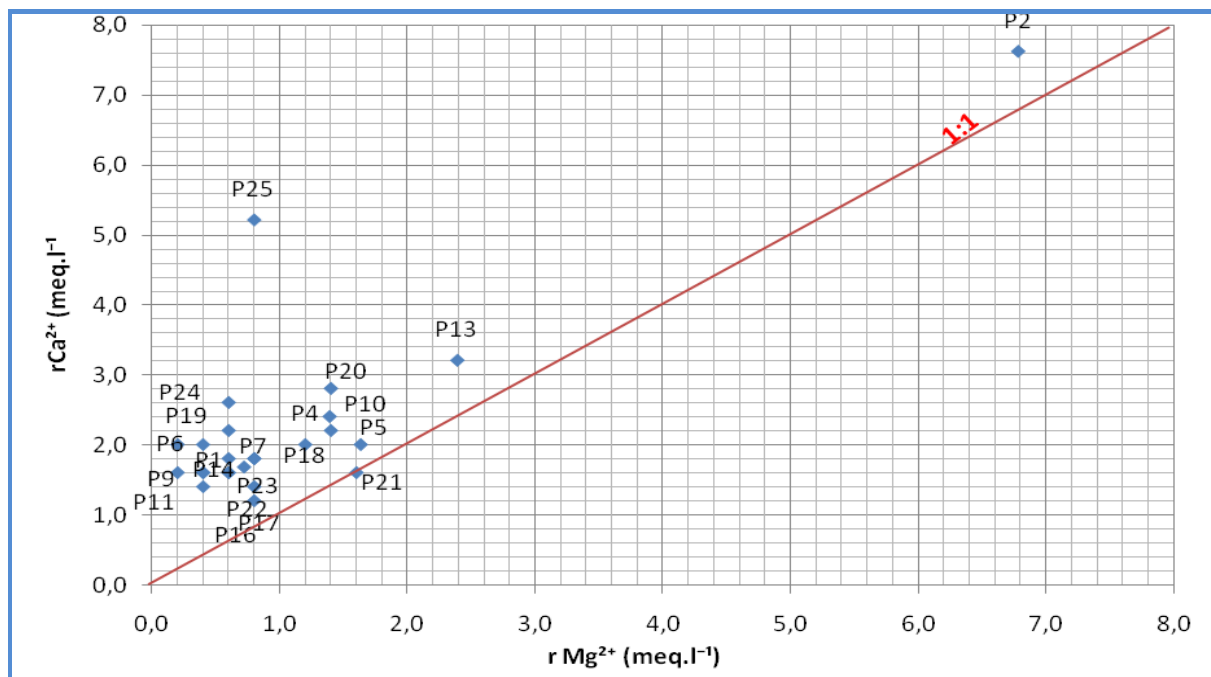


Figure 50 : Le Couple Ca – Mg

On remarquera que les points situés à proximité d’une des droites sont en général assez proche de l’autre. Il semble y avoir une influence prépondérante de la dolomite. Les points contrôlés par la dolomite sont P11, P12, P14, P15, P16, P17, P19, P20, P21, P22, P23, P24.

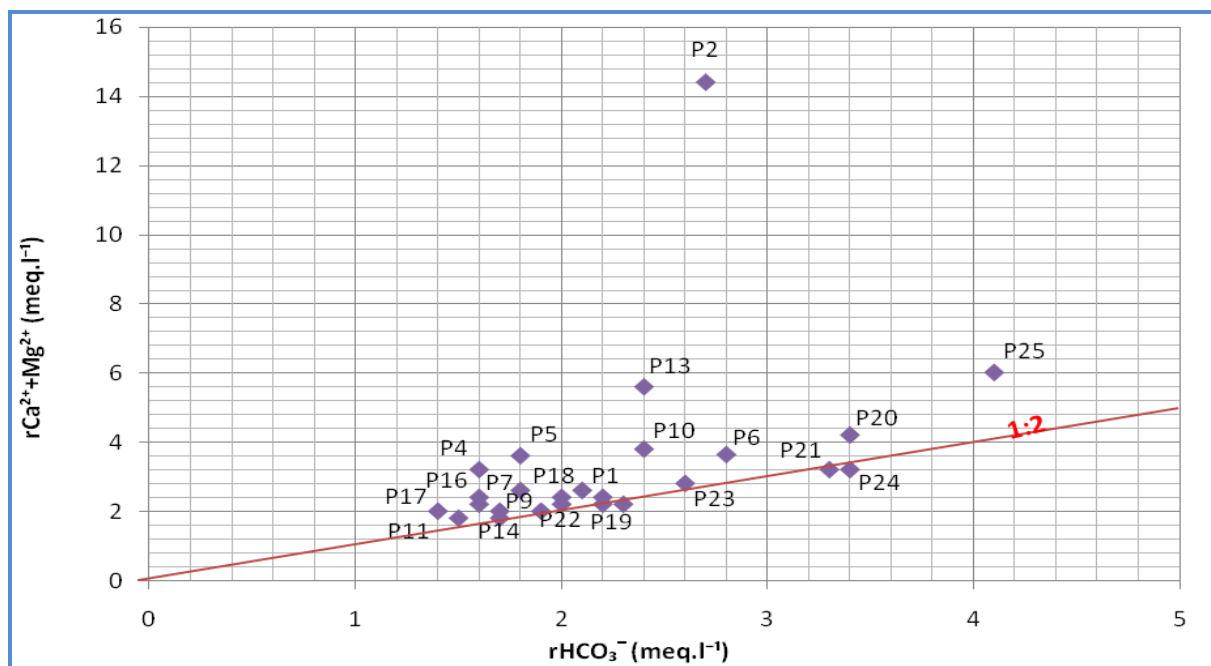


Figure 51 : Le Couple HCO3-Ca+Mg

### e. Le Couple Cl – SO<sub>4</sub>

Le graphique nous montre un alignement des points, traduisant que les deux éléments évoluent ensemble, donc ils ont la même origine (évaporites). On distingue sur le graphique, deux groupes d'eaux qui évoluent séparément. Les points d'eaux à gauche sont caractérisés par des concentrations élevées en sulfates (*Fig. 52*).

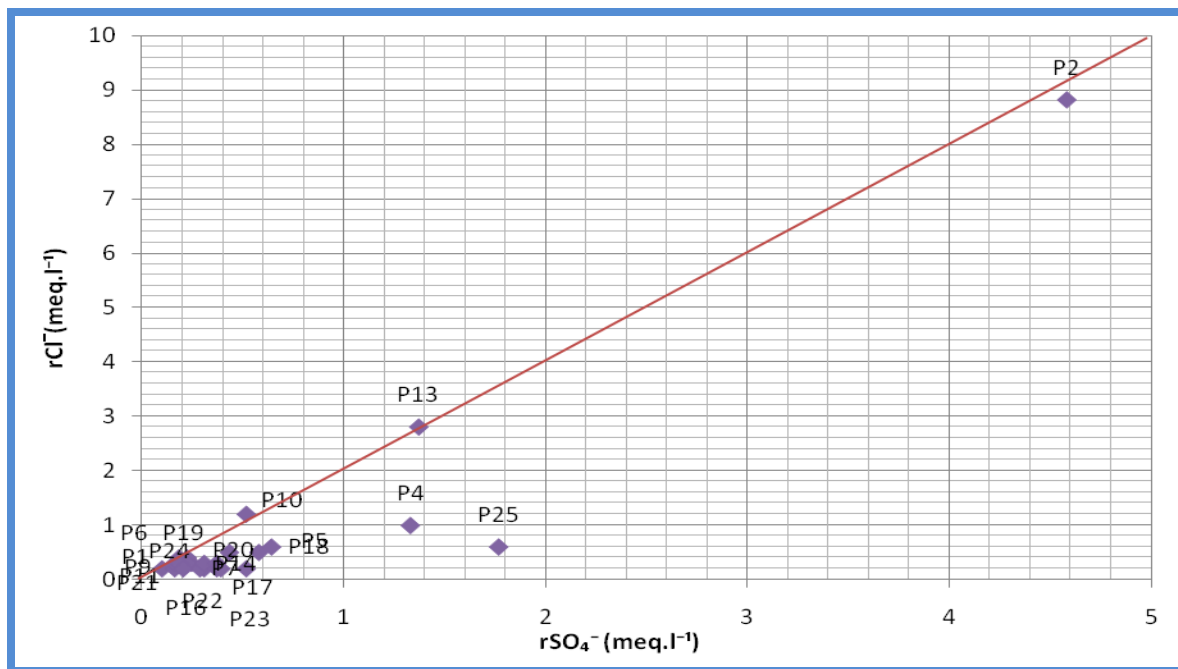


Figure 52 : Le Couple Cl – SO<sub>4</sub>

### f. Le Couple Ca – Cl

Sur le graphique Ca versus Cl on peut observer que presque tous les points sont bien localisés avec des concentrations en Ca plutôt élevées, tandis que le point P2 s'éloigne des autres points en s'enrichissant en Cl (*Fig. 53*).

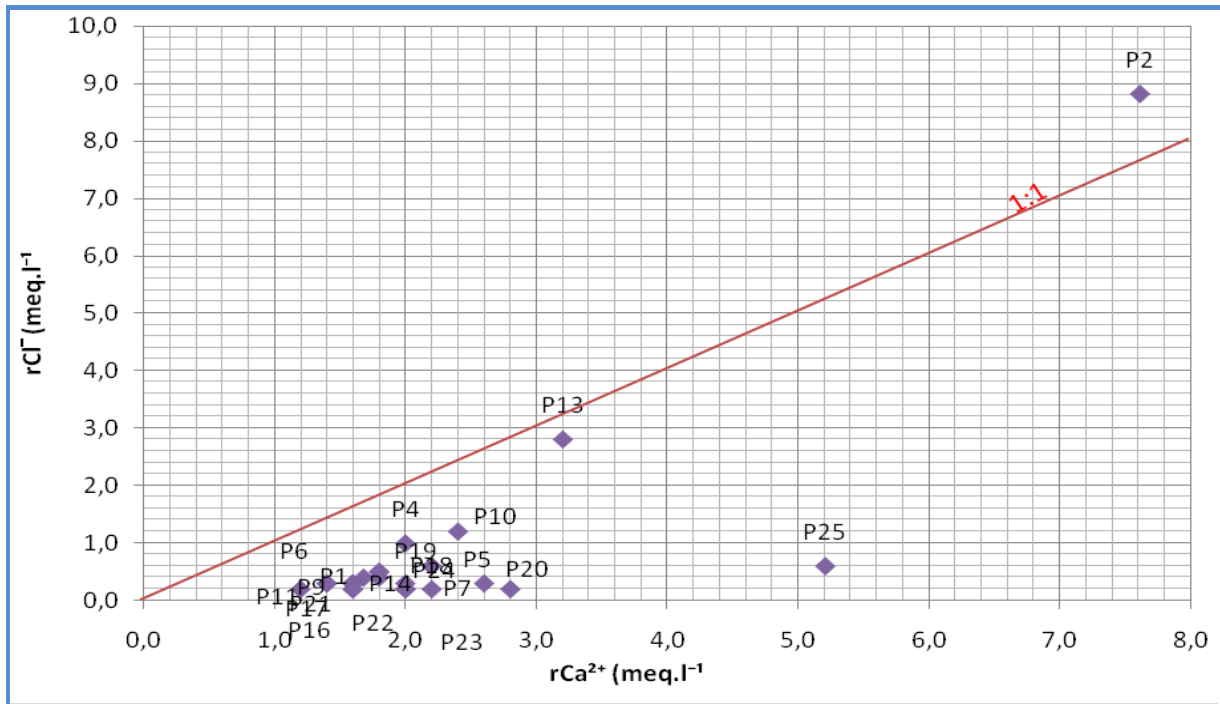


Figure 53 : Le Couple Ca – Cl

**g. Le Couple Mg – Cl :**

Sur le graphique Mg versus Cl on peut observer que presque tous les points sont bien localisés avec des concentrations en Mg plutôt élevées, traduisant que les deux éléments n'ont pas la même origine (Fig. 54)

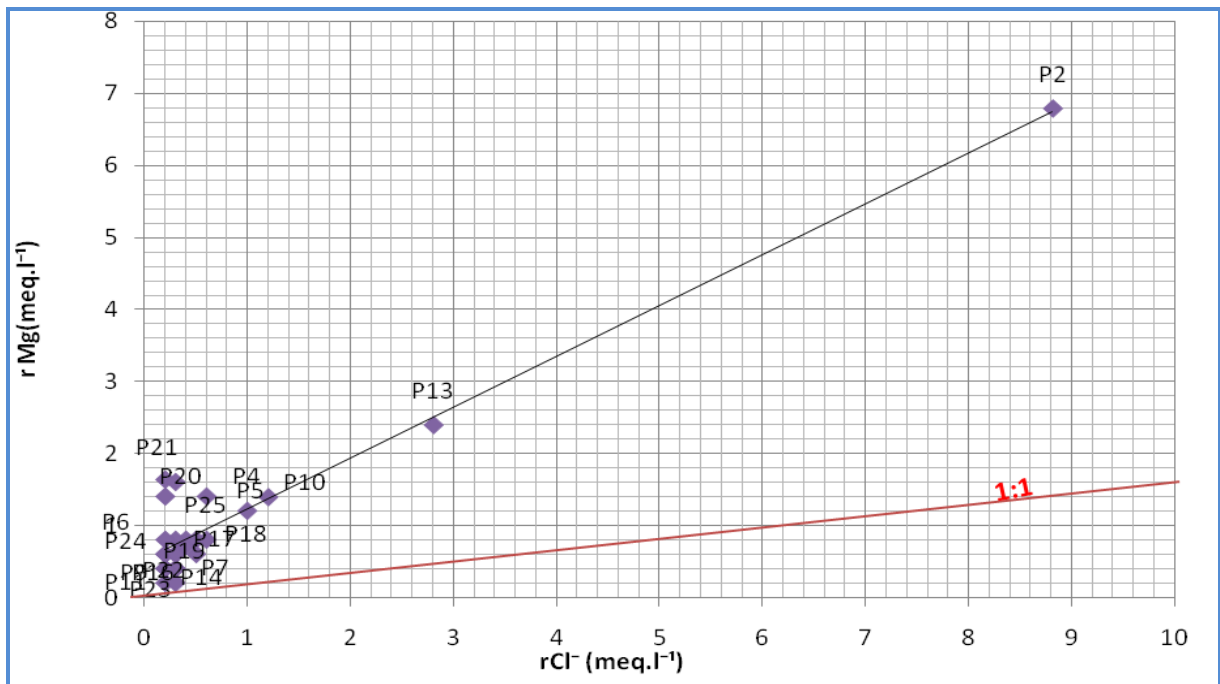


Figure 54 : Le Couple Mg – Cl



**h. Relation Conductivité – Ca et Relation Conductivité – Mg :**

La conductivité évolue en fonction des concentrations en Ca et en Mg comme le montre tous les échantillons où ils sont globalement autour de la droite de tendance, à part le P25 qui s'individualise de l'ensemble des points (*Fig. 55, 56*)

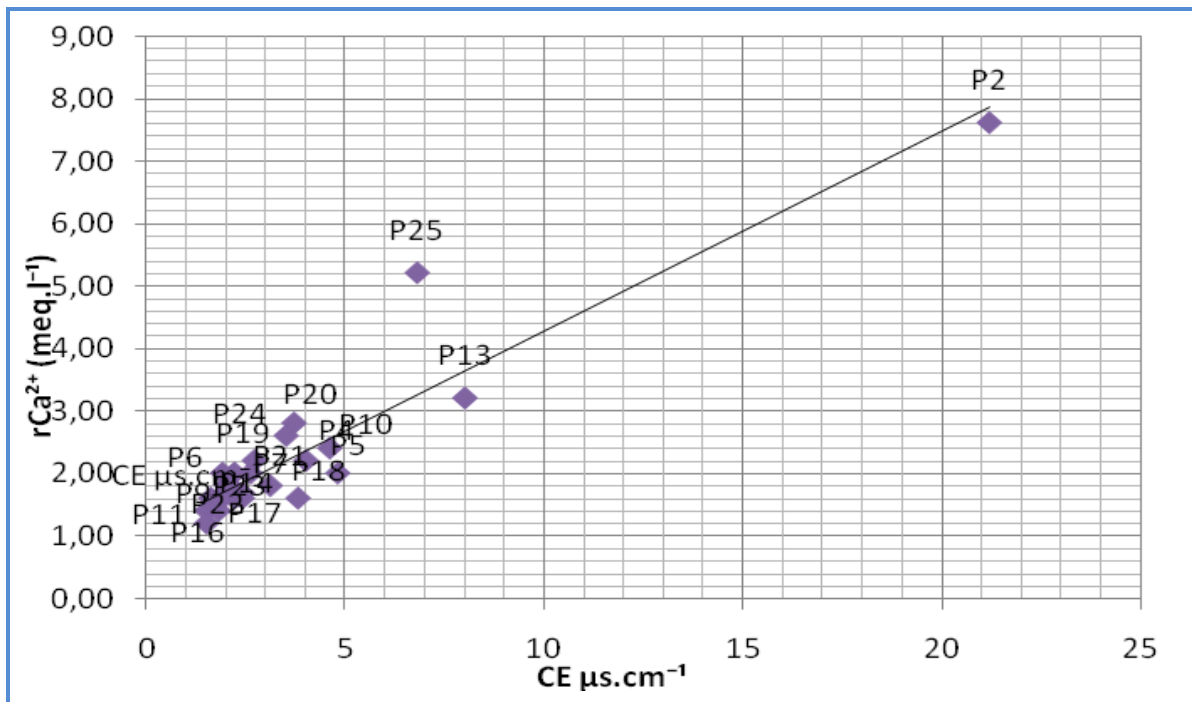


Figure 55: Relation Conductivité – Ca

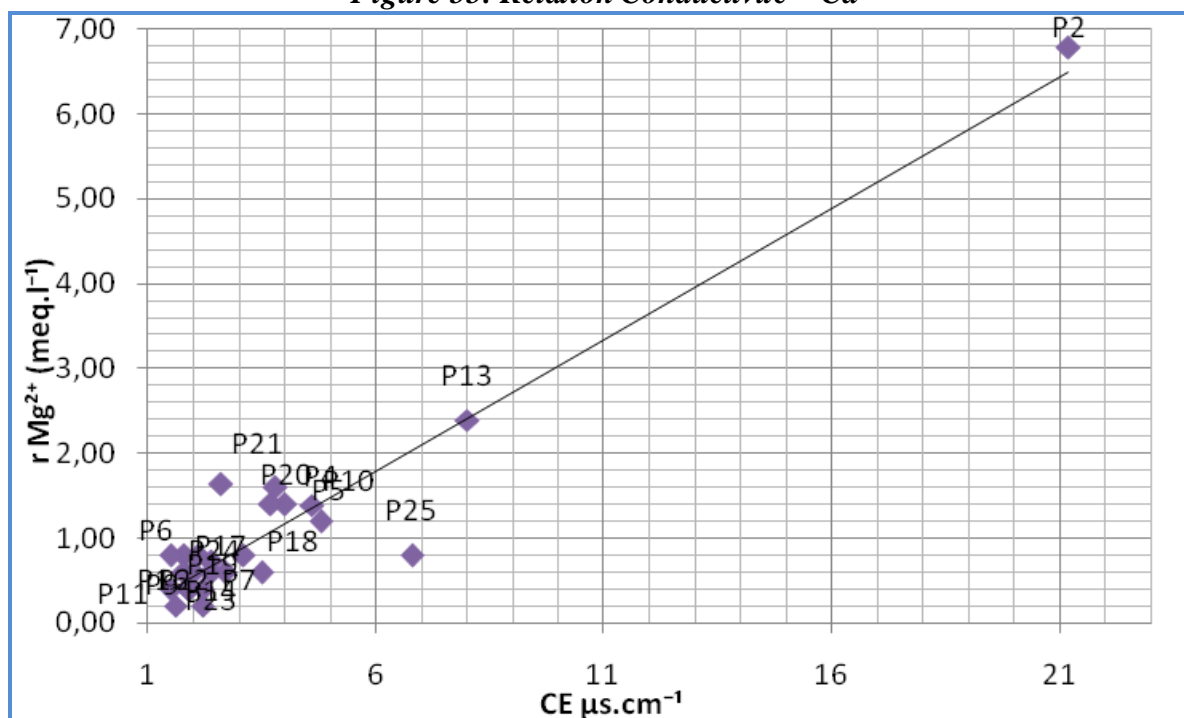


Figure 56: Relation Conductivité – Mg

**i. Relation Conductivité – Cl:**

La (Fig. : 57) montre que la conductivité augmente avec le chlore. Toutefois le point P25 qui s’individualise de l’ensemble des points dont la conductivité dépend d’autres Facteurs.

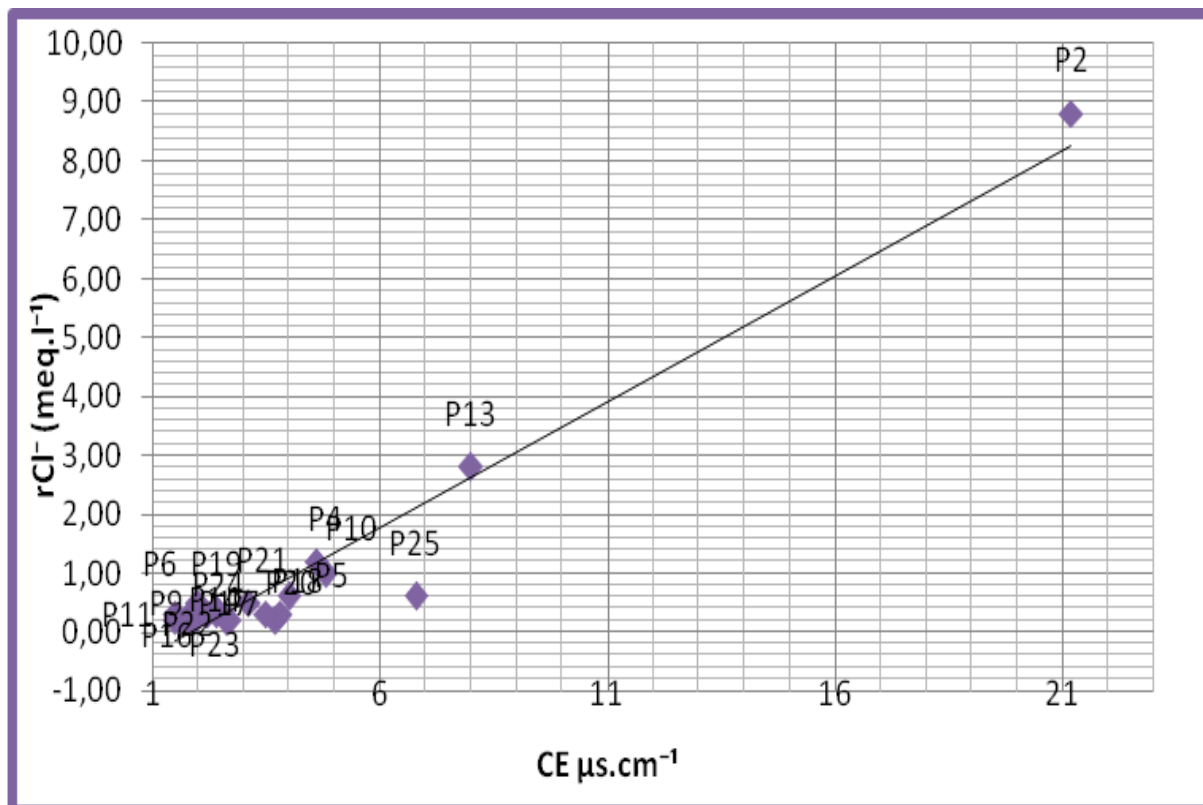


Figure 57 : Relation Conductivité – Cl

**j. Relation Conductivité – SO<sub>4</sub> :**

Pour tous les points, la conductivité évolue avec les sulfates. Il s’agit des eaux ou les concentrations des sulfates obtenues des eaux du bassin versant de oued Zegrir sont très faibles et oscillent autour de 5 et 220 mg/l (Fig. : 58).

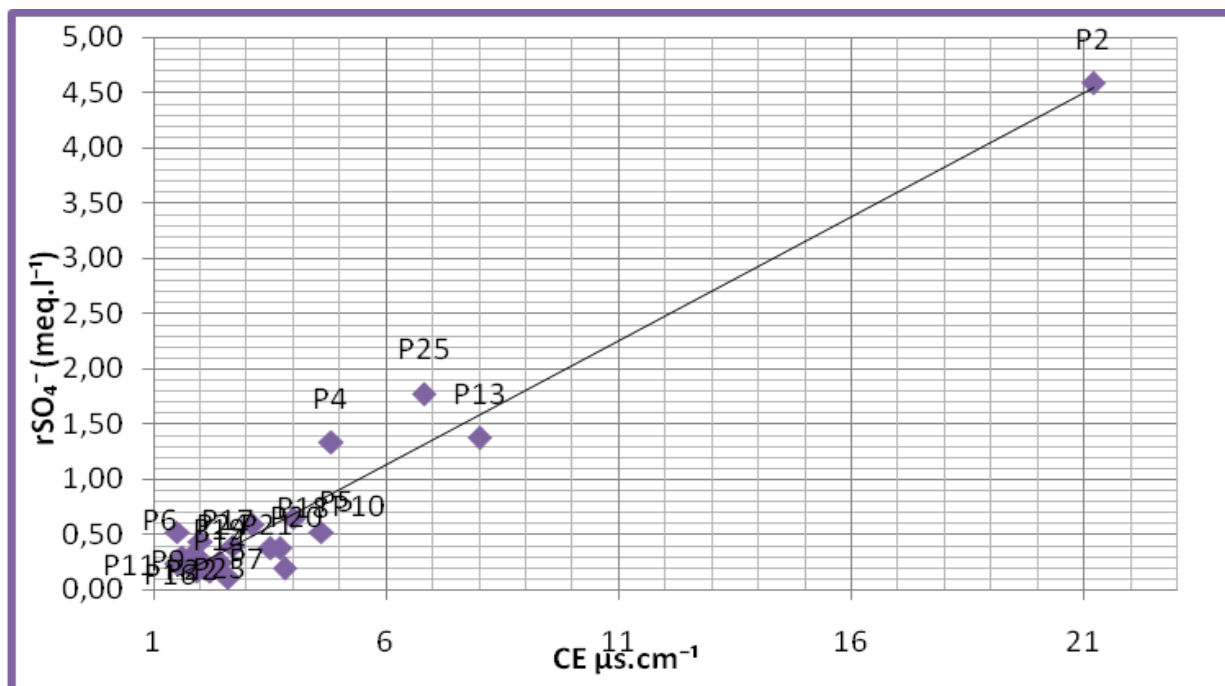


Figure 58 : Relation Conductivité – SO4

### 5.3 Les rapports caractéristiques :

Les eaux du bassin versant de oued Zegrir, Bien que très majoritairement bicarbonaté-calcique, présentent deux points de faciès différents (Chloruré calcique), pour expliquer cette répartition nous avons établi des diagrammes binaires par les rapports caractéristiques de ces faciès, afin de trouver des explications à l'évolution de ces faciès (enrichissement, appauvrissement) indiquée dans le diagramme de Piper et la classification de Stabler.

#### a. Le graphique $Ca^{2+}/Na+HCO_3^-/Cl^-$ :

Les points sont bien localisés dans la plage des faciès bicarbonaté calcique, on note cependant que 92% des points d'eaux de oued Zegrir sont riche en Ca ce qui peut laisser penser une influence des carbonates sur ces points.

Le rapport  $r Ca^{++}/r Na^{++}$  est supérieur à 1 au niveau de tous les points, Cela indique la prédominance de calcium au niveau de ces puits, et également un indice de circulation des eaux à travers les calcaires du mio-pliocène dont ils sont une source d'enrichissement en Ca.

Le rapport  $rHCO_3/r Cl$  est supérieur à un 1 pour la majorité des points d'eau. Cela traduit la prédominance des bicarbonates, quelques points présentent cependant un enrichissement en chlore par rapport aux bicarbonates, qui s'accord avec les connaissances lithologiques qui

indiquent une augmentation de la proportion des formations calcaire sur l'ensemble du bassin (Fig. 59).

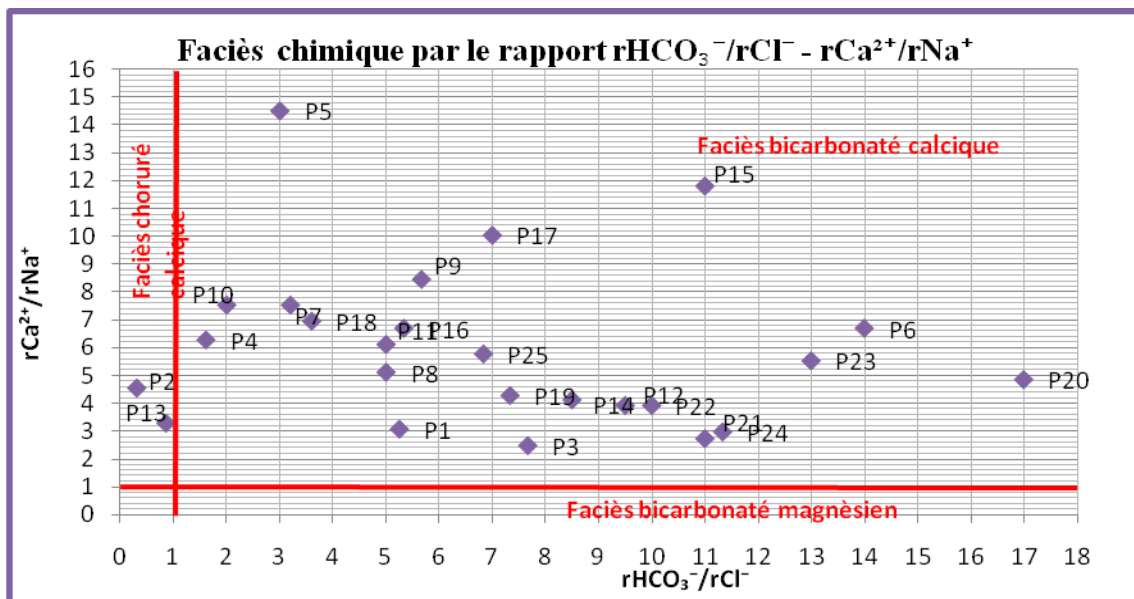


Figure 59 : Rapport caractéristique  $rCa^{2+}/rNa^+$  vs  $rHCO_3^-/rCl^-$

**b. Le graphique  $Ca^{2+}/Mg^{2+} - HCO_3^-/Cl^-$  :**

Les bicarbonates et le calcium marquent le chimisme des eaux de 94% des échantillons. Le reste sont représentés par un faciès chloruré calcique. Ceci est dû principalement à la nature des terrains qui sont à dominance carbonatés (Fig. 60).

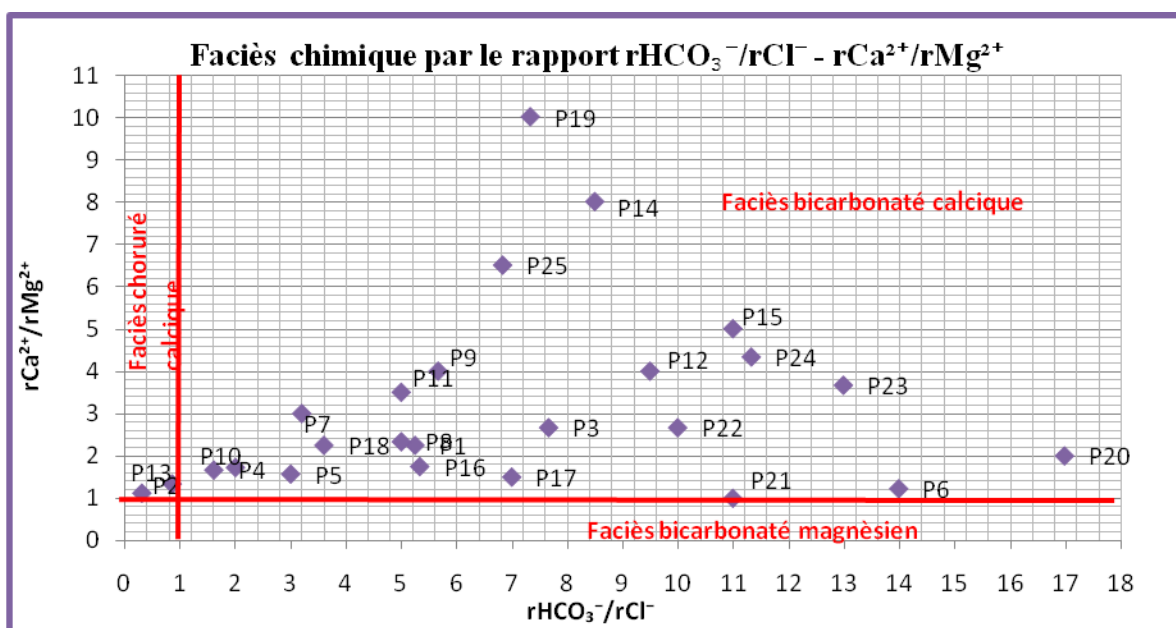


Figure 60 : Rapport caractéristique  $rCa^{2+}/rMg^{2+}$  vs  $rHCO_3^-/rCl^-$

L'étude géochimique des eaux du bassin versant de oued Zegrir a montré à travers les 25 échantillons prélevés, une certaine homogénéité dans les faciès chimiques en rapport avec la géologie de la région. Ainsi, l'origine du chimisme est due à la dissolution des roches carbonatées, du Mio-pliocène, en présence des formations évaporitiques du Quaternaire.

Globalement les eaux de ce bassin versant sont moins chargées, en amont et au centre les eaux sont généralement bicarbonatées calcique, traduisant l'emprunt des faciès lithologiques sur le chimisme du bassin dans une région soumise à un climat aride.

#### 5.4 Etat des minéraux dissout dans l'eau :

Sur la base des équilibres thermodynamiques, il est possible de définir une évolution chimique des eaux du bassin versant de oued Zegrir, pour cela la tendance des formes chimiques entre la phase dissoute et la phase minérale a été examinée. L'indice de saturation calculé exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minérale dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche.

La formule de calcul de l'indice de saturation des différents minéraux dans l'eau est :

$$IS = \log (IAP/K)$$

Où IAP est le produit de l'activité ionique, et K la constante d'équilibre.

L'utilisation du logiciel « phreeqc2.8 » nous a permis de calculer les indices de saturation de la calcite (ISc), de l'aragonite (ISarg), de la dolomite (ISd), du gypse (ISgy), de l'anhydrite (ISanhy) et de la halite (ISle hal).

Les résultats significatifs de tous les échantillons d'eaux du bassin versant analysés dans le *tableau 15* montre que la calcite (Ca CO<sub>3</sub>), l'aragonite (Ca CO<sub>3</sub>) et la dolomite (Ca Mg CO<sub>3</sub>) sont en saturation, alors que le gypse (Ca SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O), l'anhydrite (Ca SO<sub>4</sub>) et l'halite (NaCl) sont en sous- saturation, sur tous les points d'eaux du bassin versant de l'oued.

Tableau 15 : Indice de saturation des eaux du bassin versant de oued Zegrir

Points N°	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypse	Halite
P1	-3,06	0,91	1,06	1,75	-2,81	-8,24
P2	-1,4	1,16	1,3	2,68	-1,18	-6,54
P3	-2,96	0,65	0,8	1,3	-2,74	-8,35
P4	-2,2	0,73	0,87	1,65	-1,98	-8,15
P5	-2,47	0,99	1,14	2,21	-2,25	-8,69
P6	-3,3	0,89	1,04	2,12	-3,08	-8,87
P7	-2,65	0,09	0,23	0,11	-2,43	-8,56
P8	-2,97	0,53	0,67	1,11	-2,75	-8,52
P9	-3,05	0,54	0,69	0,91	-2,83	-8,88
P10	-2,53	0,63	0,77	1,44	-2,31	-8,07
P11	-3,01	0,35	0,49	0,57	-2,79	-8,79
P12	-2,83	0,4	0,54	0,62	-2,61	-8,72
P13	-2,07	0,51	0,66	1,32	-1,85	-7,23
P14	-2,85	0,54	0,69	0,6	-2,63	-8,74
P15	-3,02	0,31	0,45	0,34	-2,8	-9,11
P16	-2,9	0,34	0,48	0,85	-2,68	-8,84
P17	-2,73	0	0,14	0,23	-2,51	-9,26
P18	-2,55	0,32	0,46	0,69	-2,33	-8,53
P19	-3,02	0,56	0,7	0,53	-2,8	-8,49
P20	-2,64	1,12	1,26	2,36	-2,42	-8,59
P21	-3,15	0,95	1,09	2,32	-2,93	-8,4
P22	-3,01	0,23	0,38	0,46	-2,79	-8,72
P23	-2,65	0,83	0,97	1,51	-2,43	-8,74
P24	-2,63	0,9	1,05	1,59	-2,41	-8,23
P25	-1,76	0,75	0,89	1,1	-1,54	-7,94

Seuls les minéraux carbonatés tendant à se précipiter surtout sous la forme de dolomite et calcite. Par contre les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous-saturation (Fig. 61).

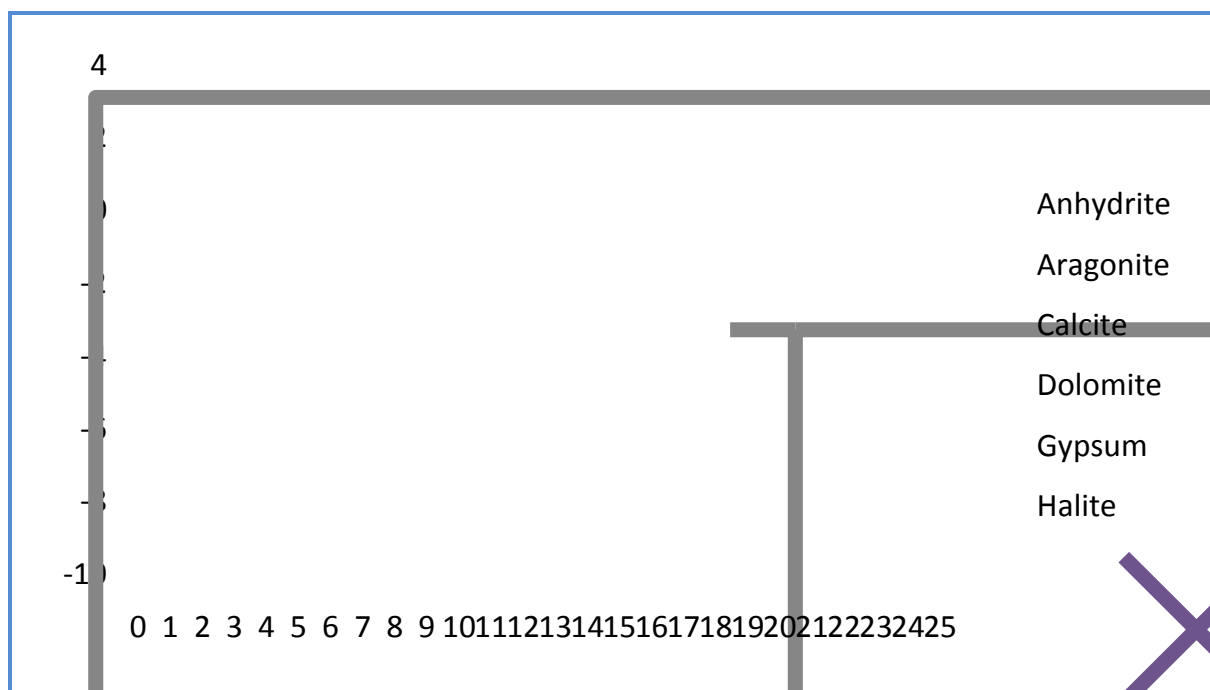


Figure 61 : Evolution de l'indice de saturation des eaux du bassin versant de oued Zegrir

## 5.5 Evolution du chimisme :

### a. Détermination du facteur de concentration (Fc) :

L'estimation de la concentration des eaux se fait à l'aide d'un traceur chimique, le chlore étant l'élément le plus conservatif et il est utilisé comme traceur chimique pour déterminer le facteur de concentration (Hamdi-Aïssa, 2001).

Cette méthode a été utilisée par Valles (1987) dans la vallée de l'oued de Medjerdah en Tunisie, Gueddari (1984) pour l'étude de la géochimie du lac Natron en Tanzanie et Chott Djerid en Tunisie, et Barbiero (1992) dans la vallée du fleuve Niger, Hamdi-Aïssa (2001) sur les sols de la cuvette de Ouargla, et Nezli et al (2007) sur les eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued M'ya.

On fait donc intervenir le concept du facteur de concentration (Fc) pour éprouver que la salinité provienne de la concentration des eaux, qui est estimé à partir du rapport entre la teneur en chlore d'une eau et la plus petite teneur en chlore observée dans l'ensemble des 25 échantillons.

Pour suivre l'évolution de chaque élément depuis les solutions les plus diluées aux solutions les plus concentrées, des diagrammes de logarithme de concentration des différents ions en fonction du logarithme du facteur de concentration ont été élaborés.

### b. La conductivité électrique :

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans les eaux du bassin versant de oued Zegrir présentent des variations assez fortes. Il apparaît que les points s'alignent globalement suivant la droite de l'évolution de la conductivité électrique qui est parfaitement parallèle à celle du facteur de concentration et le suit selon la même pente (*Fig. 62*), ce qui rend l'utilisation des chlorures pour l'estimation du facteur de concentration très efficace.

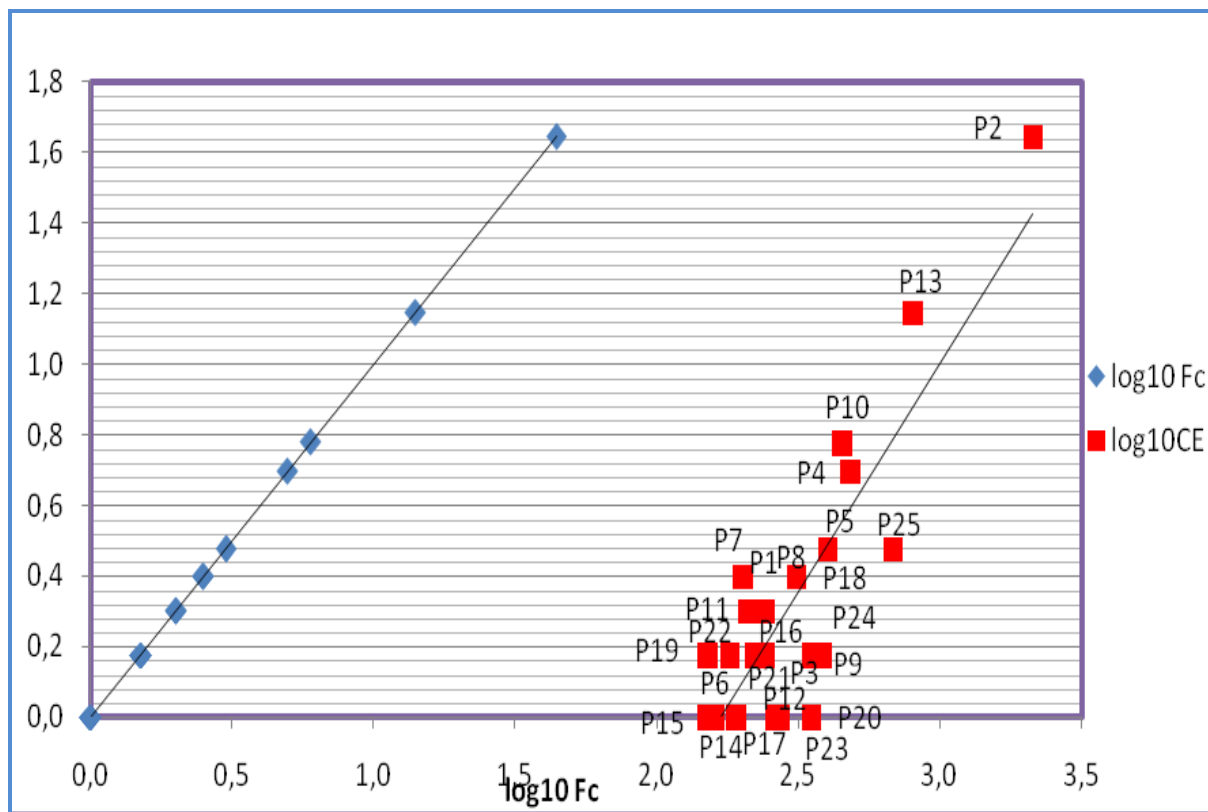


Figure 62 : Relation entre le facteur de concentration (Fc) et la conductivité (CE)

### c. Évolution du calcium par rapport au facteur de concentration :

Il apparaît au vu du graphique que le calcium suit une certaine évolution avec le facteur de concentration, en fonction de la vitesse de l'évolution de cet élément, deux groupes d'eaux se distinguent :

Le premier groupe est représenté par les points P2, P4, P10 et P13 où le calcium évolue parallèlement avec le facteur de concentration, cette augmentation de concentration en calcium témoigne que le phénomène de précipitation n'a pas encore lieu.

Cependant le deuxième groupe est représenté par les points P1, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P12, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, et P25 dont le calcium évolue à une vitesse plus faible que celle du facteur de concentration, ce qui peut être expliqué par leur participation à la précipitation de quelque minéraux sous forme de gypse ou anhydrite (**Fig. 63**).



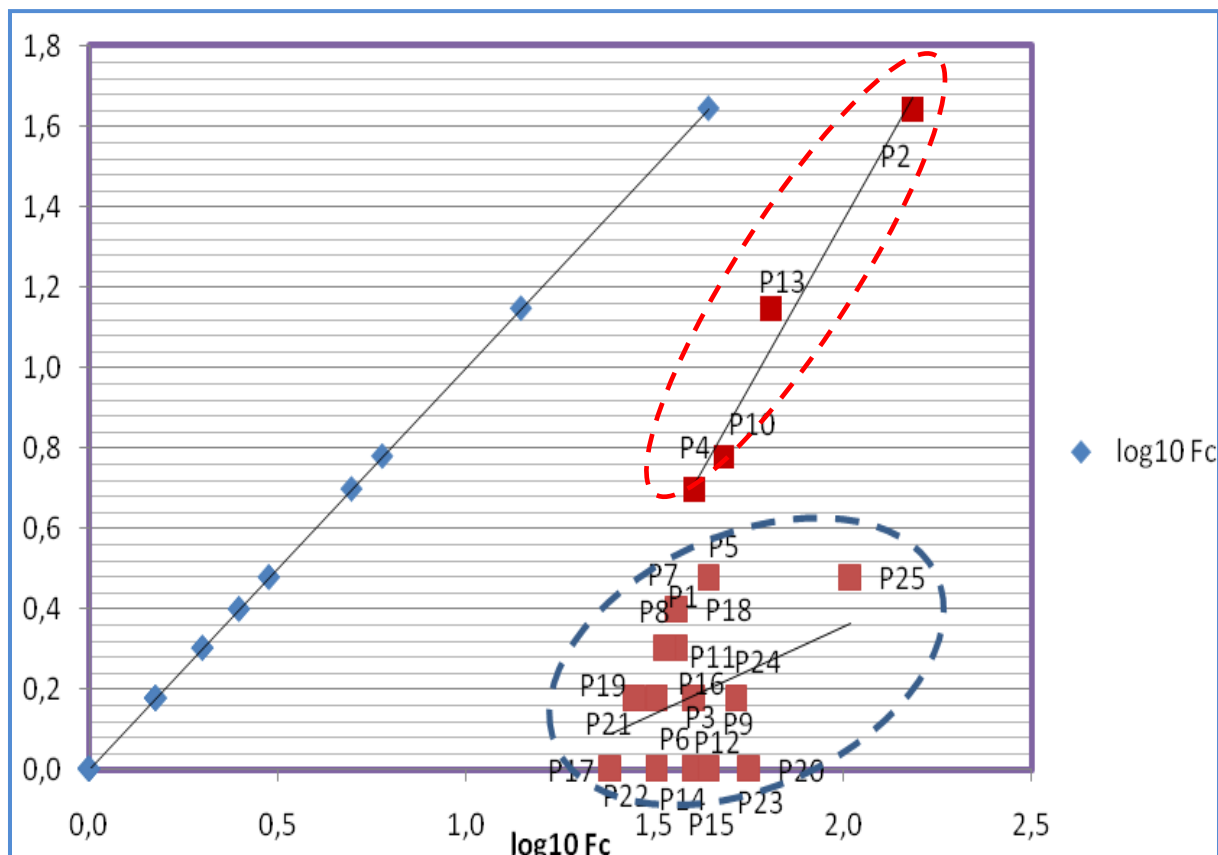


Figure 63 : Evolution du calcium par rapport au facteur de concentration

**d. Évolution des sulfates par rapport au facteur de concentration :**

Le diagramme montre que les sulfates suit le rythme de l'évolution du facteur de concentration, en fonction de la vitesse de cette évolution ont peut distinguer l'existence de deux groupes :

Le premier groupe évolue parfaitement avec le facteur de concentration et est représenté par les points P2, P10 et P13, ce qui traduit que ces eaux n'ont pas encore arrivé au stade de saturation en sulfate donc il n'y a pas encore précipitation de cet élément.

Le deuxième groupe est représenté par les points P1, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P12, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, et P25 où l'évolution des sulfates suit le rythme du facteur de concentration mais à faible vitesse, ce qui eut être expliquer par sa participation à la précipitation des minéraux évaporitiques (Fig. 64).

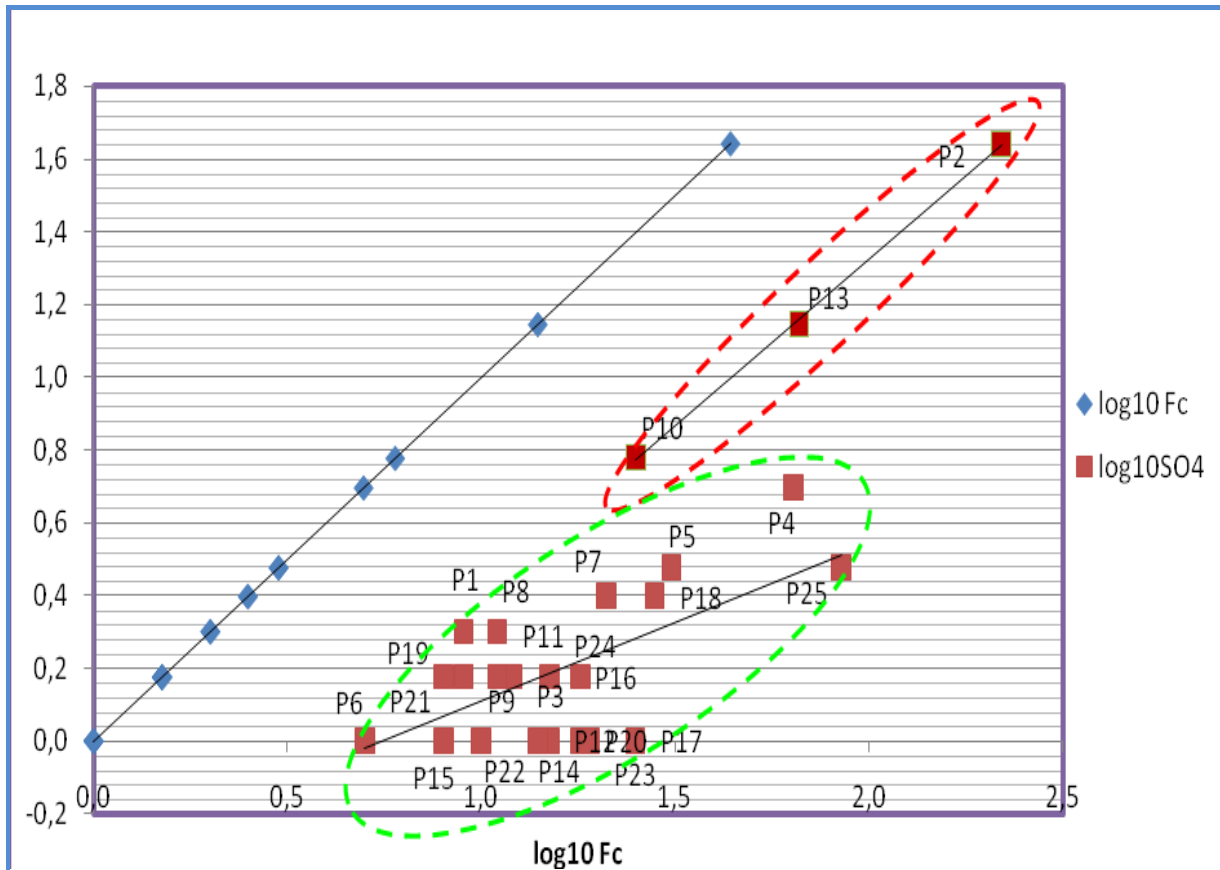


Figure 64: Evolution des sulfates par rapport au facteur de concentration

**e. Evolution du sodium par rapport au facteur de concentration :**

Il apparait au vu de graphe que l'évolution du sodium présente deux comportements distincts par rapport au facteur de concentration.

Le premier groupe suit parfaitement l'évolution du facteur de concentration et est représenté par les points P2, P4, P5, P10 et P13. Le second évolue à vitesse faible par rapport au facteur de concentration, il est représenté par les points P1, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P12, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23 et P24 (Fig. 65).

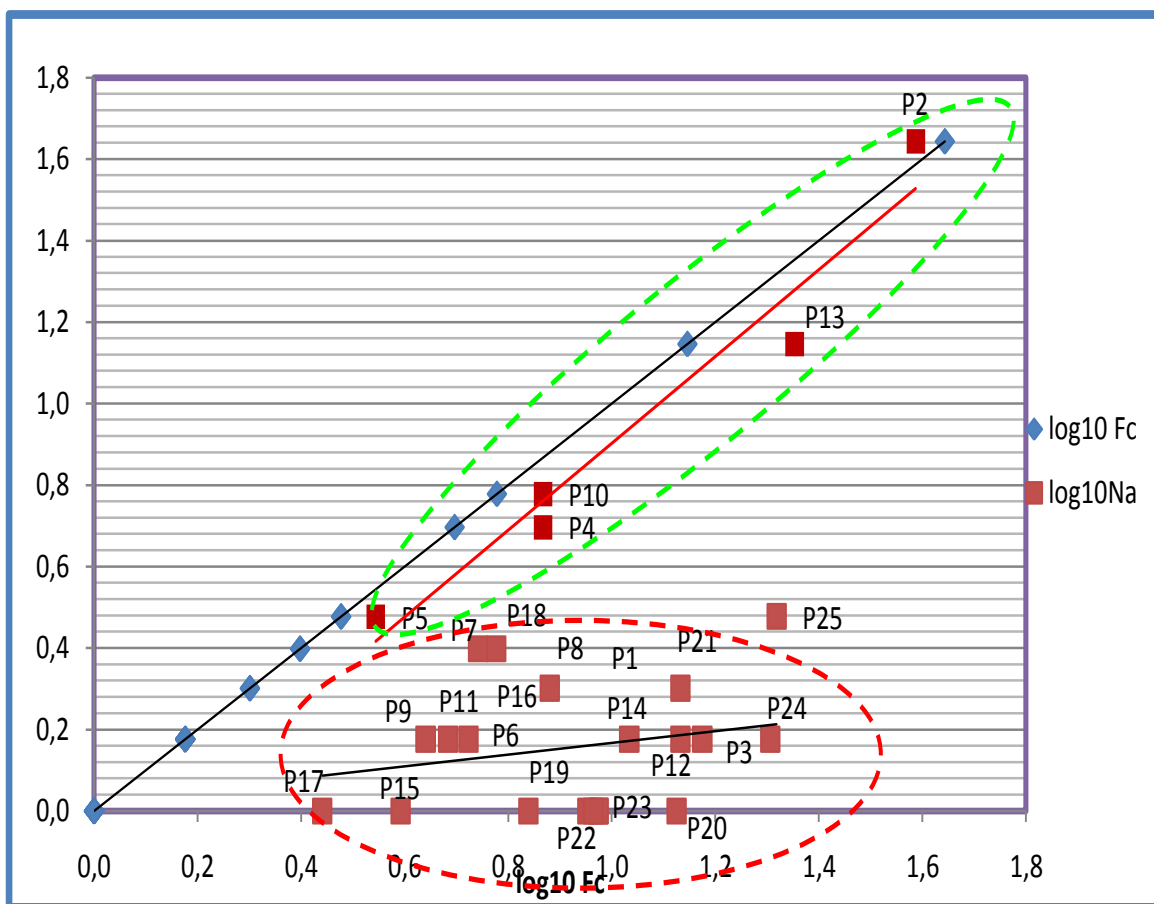


Figure 65 : Evolution du sodium par rapport au facteur de concentration

**f. Évolution des bicarbonates par rapport au facteur de concentration**

Le graphique montre une dispersion remarquable des points, indiquant ainsi que les bicarbonates n'évoluent pas de la même façon avec le facteur de concentration. Plusieurs groupes ont été distingués.

Le premier groupe comporte les points P3, P6, p9, P15, P17, p19, P20, P21, P22, P23 et P24, un phénomène de précipitation des bicarbonates contrôle donc cette situation (*Fig. 66*).

Par contre le deuxième groupe comprend les points P2, P4, P10 et P13 où il y a un enrichissement des eaux par les bicarbonates (calcite et dolomite).

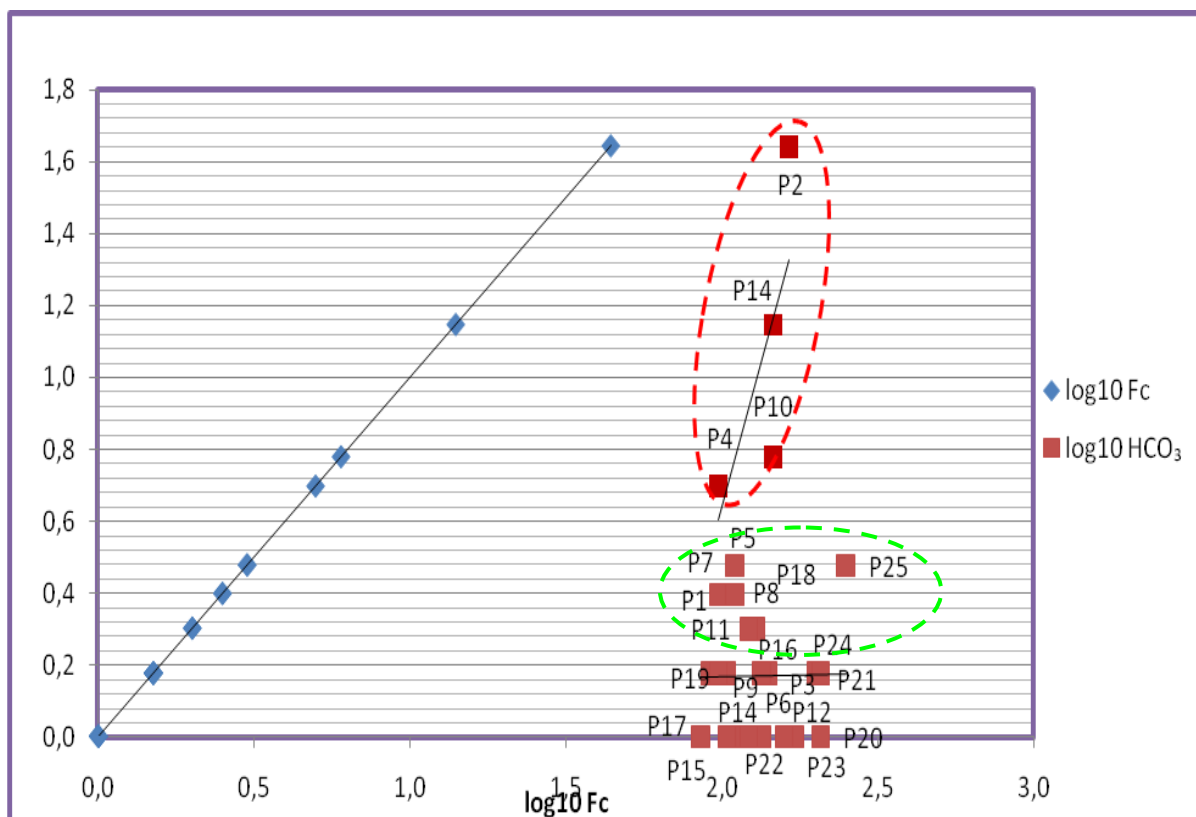


Figure 66 : Evolution des bicarbonates par rapport au facteur de concentration

**g. Évolution du magnésium par rapport au facteur de concentration :**

Le diagramme montre que le **magnésium** suit le rythme de l'évolution du facteur de concentration, en fonction de la vitesse de cette évolution on peut distinguer l'existence de deux groupes :

Le premier groupe évolue parfaitement avec le facteur de concentration et est représenté par les points P2, P4, P10 et P13, ce qui traduit que ces eaux n'ont pas encore arrivé au stade de saturation en magnésium, donc il n'y a pas encore précipitation de cet élément.

Le deuxième groupe est représenté par les points P1, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P11, P12, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, et P25 où l'évolution des magnésiums suit le rythme du facteur de concentration mais à faible vitesse (*Fig. 67*).

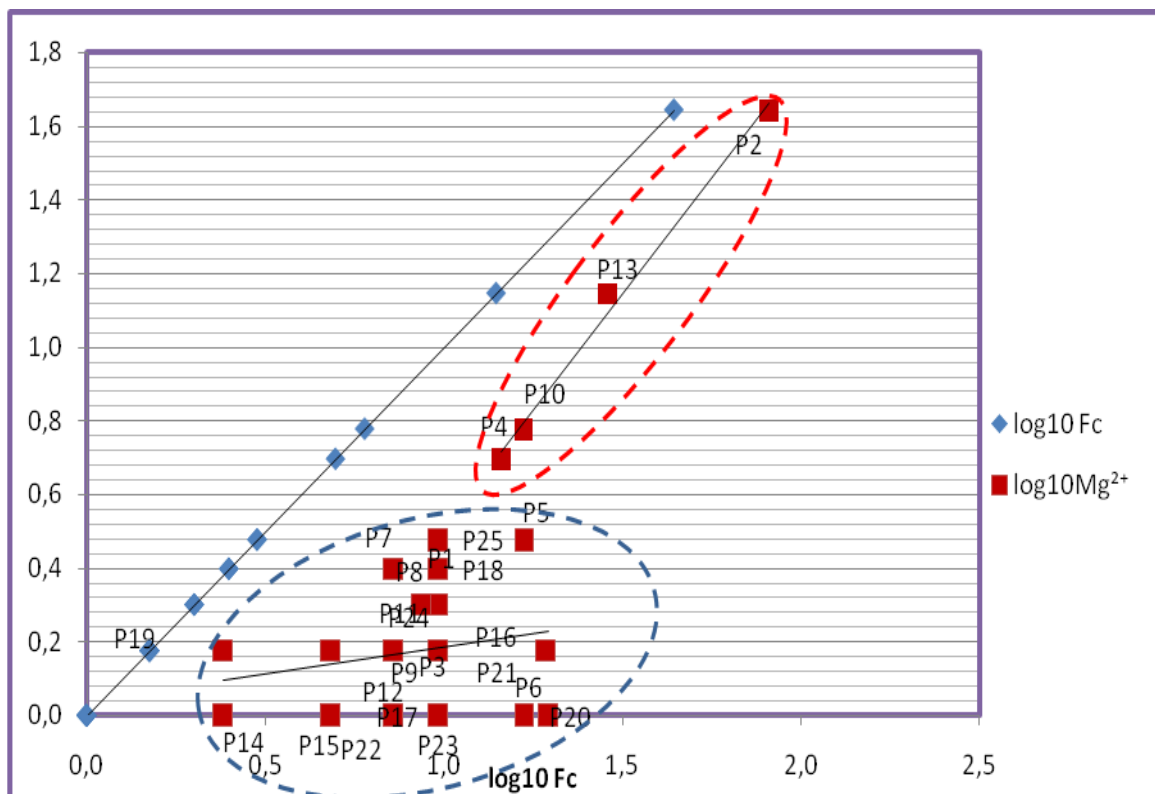


Figure 67 : Evolution du magnésium par rapport au facteur de concentration

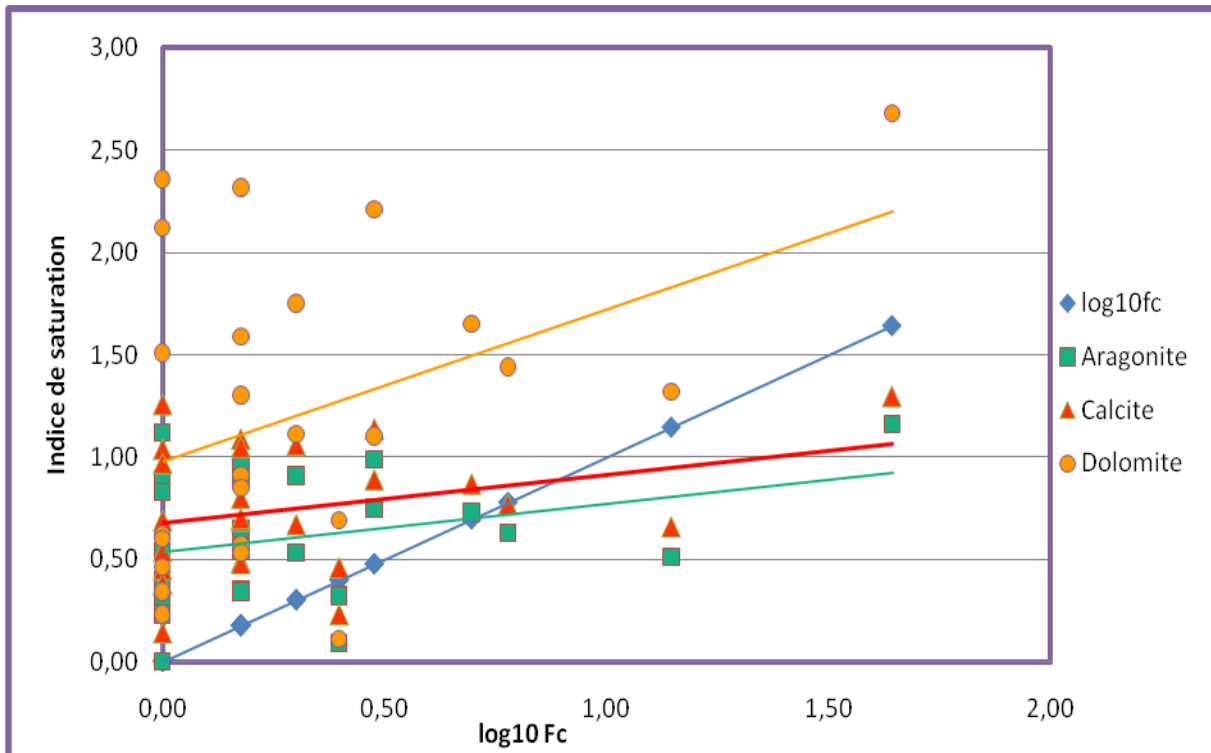
**h. Évolution de la saturation vis-à-vis des minéraux carbonatés :**

L'analyse du graphique de la figure indique que l'évolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis les minéraux carbonatés (calcite, aragonite et dolomite) suit le rythme de l'évolution du facteur de concentration.

Les molalités de calcite et de l'aragonite augmentent mais à un rythme inférieur à celui du facteur de concentration.

Par contre l'évolution de l'indice de saturation de la dolomite est plus élevée par rapport à celui de la calcite et de l'aragonite, et à une vitesse d'évolution un peu plus forte (Fig. 68).

Les indices de saturation des carbonates sont toujours en augmentation, traduisant leur antérieure précipitation. Leur ordre de précipitation est : dolomite > calcite > aragonite



*Figure 68: Evolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux carbonatés en fonction du facteur de concentration*

### **i. Évolution de la saturation vis-à-vis des minéraux sulfatés :**

Le diagramme ci-dessous (*Fig. 69*) montre que l'évolution des indices de saturation des eaux du bassin versant de oued Zegrir vis-à-vis des minéraux sulfatés, représenté par le gypse et l'anhydrite suit parfaitement la droite de l'évolution du facteur de concentration, et ont distingué que le degré de saturation en anhydrite est plus ou moins élevé par rapport à celui du gypse.

### **j. Évolution de la saturation vis-à-vis des minéraux sulfatés :**

Le graphe montre que l'indice de saturation des eaux du bassin versant de oued Zegrir vis-à-vis la halite suit le même rythme de l'évolution du facteur de concentration (*Fig. 70*).

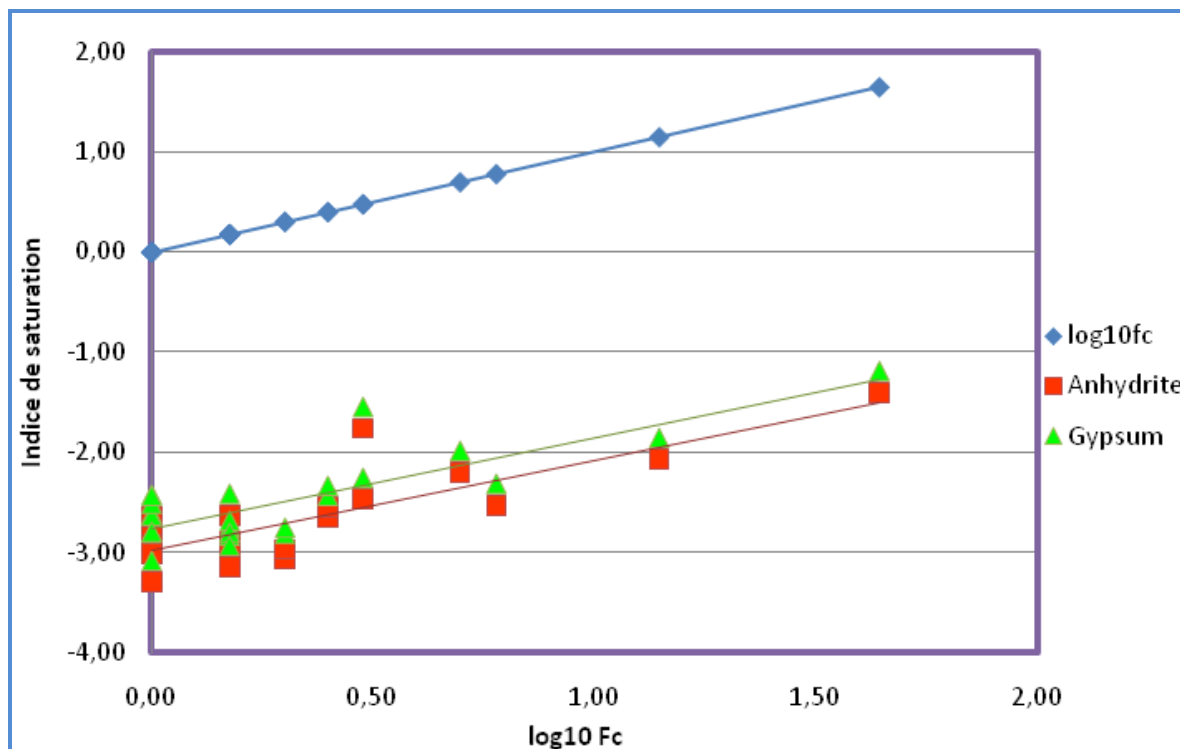


Figure 70 : Evolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux sulfatés en fonction du facteur de concentration

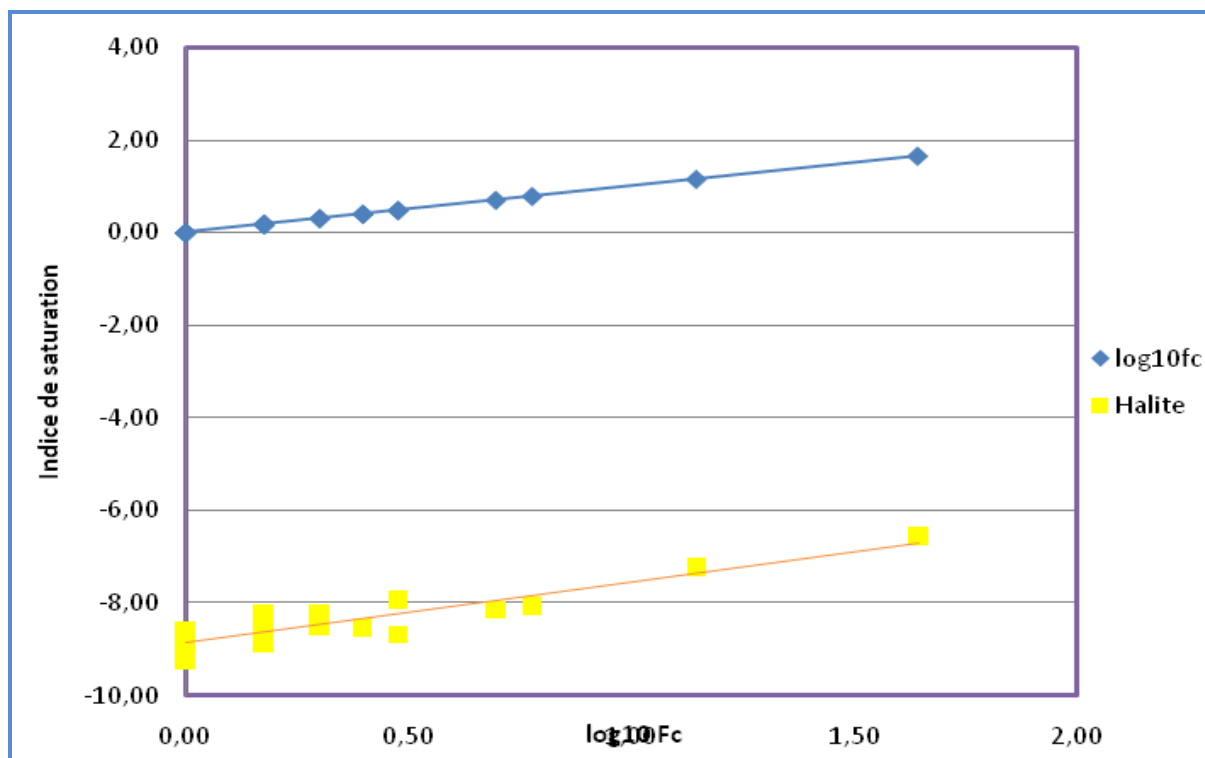


Figure 71 : Evolution des indices de saturation des eaux vis-à-vis de l'halite en fonction du facteur de concentration

## 6. POTABILITE DES EAUX (NORME ET QUALITE) :

Les eaux destinées à la consommation humaine doivent être dépourvues de tout agent polluant et d'impureté.

Le stockage des eaux de ruissellement présentent toujours une certaine concentration des différents éléments chimiques élevée, recueillie lors de lessivage des terrains traversés. Ces concentrations ne doivent pas dépasser un certain seuil défini par les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les services de la santé publique.

Les normes de potabilités les plus utilisées par les pays du Maghreb sont celles proposées par Schoëller (1937) et spécialement adaptées aux zones arides et semi--arides.

On signale que ces normes ont été adoptées par l'O.M.S en 1958 et comprennent six classes (*Tableau 16*).

*Tableau 16 : Classification des eaux (Schoëller 1977)*

N°	Classes de potabilité absolue	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	So4 (mg/l)	TH (°F)	Mg) még/l
1	<b>Potabilité permanente</b> , eau bonne sans saveur particulière	115	177,5	144	25	5
2	<b>Potabilité permanente</b> , eau passable à saveur faiblement	230	355	188	50	10
3	<b>Potabilité permanente</b> , eau mauvaise à saveur peu prononcée	450	710	576	100	20
4	<b>Potabilité permanente</b> eau mauvaise à peu désagréable	920	1420	1152	200	40
5	<b>Potabilité momentanée</b> eau mauvaise à peu désagréable	1840	2440	2340	400	80
6	<b>non potabilité permanente</b> (plan d'eau salée)	/	/	/	/	/

Le calcul du paramètre dureté de l'eau (déterminé par le titre hydrométrique (TH) exprimé en degré Français (°F) a relevé que la majorité des eaux analysées ont une eau de dureté très faible à 30°F, significative d'une eau modérément douce dans l'ensemble des eaux du bassin, à l'exception du point P2 qui présente une eau dure (DHT=72°F) .

A partir de la classification de Schoëller, on constate que :



- 88% des eaux du bassin versant de oued Zegrir ont une potabilité permanente avec une eau bonne sans saveur particulière.
- 8% des eaux du bassin présentent une potabilité permanente et eau passable à saveur faiblement perceptible.
- 4% situé en amont du bassin et plus précisément au point P2 montre une potabilité permanente, eau mauvaise à saveur peu prononcée.

### 2.3 Normes de potabilité selon le degré hydrométrique

Le degré hydrométrique ou dureté de l'eau, correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium :  $DHT = rCa^{++} + rMg^{++}$  (en méq/l) où  $5 \text{ méq/l} = 1^\circ F$ .

Les 25 échantillons d'eaux analysés se présentent comme suit sur le *tableau 17*. Ce qui fait que 88 % des échantillons présentent une eau modérément douce, 8% eau assez douce et seulement 4% très dure.

**Tableau 17 : Dureté des eaux dans le bassin versant de oued Zegrir**

DHT (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualification	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Points d'eaux	0	P1.P3.P4.P5.P6.P7.P8.P9.P10. P11.P12.P14.P15.P16.P17.P18 .P19.P20.P21.P22.P23.P24	P13.P25	0	P2

La classification des eaux de la zone d'étude selon leur potabilité a été mentionnée dans le *tableau 18*.

**Tableau 18 : Classification des eaux du bassin versant de oued Zegrir selon la potabilité**

Eléments chimiques	Ca <sup>2</sup> (mg/l)	Mg <sup>2</sup> (mg/l)	DHT °f	Cl(mg/l)	SO(mg/l)	Potabilité des eaux
Les teneurs extrêmes selon l'O.M.S	140	150	50	250	250	
P1	36,07	9,6	13	14,2	9	POTABLE
P2	152,3	81,36	72	312,4	220	MOYEN
P3	32,06	7,2	11	10,65	12	POTABLE
P4	40,08	14,4	16	35,3	64	POTABLE
P5	44,09	16,8	18	21,3	31	POTABLE
P6	40,08	19,6	14	7,1	5	POTABLE
P7	36,07	7,2	12	17,75	21	POTABLE
P8	33,67	8,64	12	14,2	11	POTABLE
P9	32,06	4,8	10	10,65	9	POTABLE
P10	48,1	16,68	19	42,6	25	POTABLE
P11	28,06	4,8	9	10,65	11	POTABLE
P12	32,06	4,8	14	7,1	15	POTABLE
P13	64,13	28,68	28	99,4	66	POTABLE
P14	32,06	2,4	9	7,1	14	POTABLE
P15	40,08	4,8	12	7,1	8	POTABLE
P16	28,06	9,6	11	10,65	15	POTABLE
P17	24,05	9,6	10	7,1	25	POTABLE
P18	36,07	9,6	13	17,75	28	POTABLE
P19	40,08	2,4	11	10,65	8	POTABLE
P20	56,11	16,8	17	7,1	18	POTABLE
P21	32,06	19,2	16	10,65	9	POTABLE
P22	32,06	7,2	11	7,1	10	POTABLE
P23	44,09	7,2	14	7,1	19	POTABLE
P24	52,1	7,2	16	10,65	18	POTABLE
P25	104,21	9,6	30	21,3	85	POTABLE

## 7. APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION :

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol ; L'eau qui doit être utilisée en irrigation doit avoir une concentration en sodium au dessous de 184 mg/l.

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole et est destinée essentiellement à la monoculture dattier, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que présente certains éléments chimiques pour les plantes et les sols du bassin versant de oued Zegrir.

La qualité de l'eau pour l'irrigation est déterminée par la méthode de Sodium Absorption Ratio (SAR).

Le SAR est défini comme étant une mesure du pouvoir de remplacement des ions  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  par  $Na^+$  dans les argiles et les colloïdes. Il peut être estimé par la relation de Richard (1954) :

$$SAR = Na^+ \sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}$$

$Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  et  $Mg^{2+}$  sont des concentrations exprimées en méq/l.

Le Rapport d'Absorption du Sodium enregistré au niveau des eaux du bassin versant de oued Zegrir est compris entre 0,15 et 5,57 avec une moyenne de 0,89 (*Tableau 19*).

La totalité des prélèvements ont un rapport d'adsorption de sodium inférieur à 10 donc l'absence de risque d'accumulation du sodium.

Pour contrôler les effets négatifs des eaux d'irrigation sur les sols et les plantes, l'US Salinity Laboratory a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur conductivité électrique et du SAR. Par rapport à la conductivité, les classes d'eaux sont : C<sub>1</sub> (Conductivité < 250  $\mu$ S/cm), C<sub>2</sub> (250  $\mu$ S/cm < Conductivité < 750  $\mu$ S/cm), C<sub>3</sub> (750  $\mu$ S/cm < Conductivité < 2250  $\mu$ S/cm) et C<sub>4</sub> (2250  $\mu$ S/cm < Conductivité < 5000  $\mu$ S/cm). Ainsi, les eaux sont respectivement à faible salinité, à salinité moyenne, à forte salinité et à très forte salinité. Par rapport au SAR, les classes d'eaux d'irrigation sont S<sub>1</sub> (SAR < 10), S<sub>2</sub> (10 < SAR < 18), S<sub>3</sub> (18 < SAR < 26) et S<sub>4</sub> (SAR > 26). Ces différents SAR indiquent que les eaux sont respectivement : excellents à faibles dangers alcalinisation, bonnes à dangers d'alcalinisation acceptables, qualités moyennes à danger d'alcalinisation importantes et qualités mauvaises à dangers d'alcalinisation très importantes. Le report des résultats d'analyses à l'échelle établie par l'US Salinity Laboratory montre que la majorité des eaux du bassin versant de oued Zegrir sont de **la classe C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>**; c'est-à-dire des eaux d'irrigation de faible salinité et excellente à faible danger d'alcalinisation (*Fig. 71 et 72*).

Tableau 19 : Valeurs du SAR pour les eaux d'irrigation

Point N°	r Ca (méq/l)	r Mg (méq/l)	rNa (méq/l)	SAR (méq/l)	CE $\mu\text{s.cm}^{-1}$
P1	1,80	0,80	0,59	0,88	210
P2	7,62	6,78	1,68	5,57	2120
P3	1,60	0,60	0,65	0,90	240
P4	2,00	1,20	0,32	0,52	480
P5	2,20	1,40	0,15	0,26	400
P6	2,00	1,63	0,30	0,50	260
P7	1,80	0,60	0,24	0,35	200
P8	1,68	0,72	0,33	0,47	240
P9	1,60	0,40	0,19	0,26	220
P10	2,41	1,39	0,32	0,56	460
P11	1,40	0,40	0,23	0,29	150
P12	1,60	0,40	0,41	0,55	190
P13	3,21	2,39	0,98	2,06	800
P14	1,60	0,20	0,39	0,51	160
P15	2,00	0,40	0,17	0,25	190
P16	1,40	0,80	0,21	0,28	180
P17	1,20	0,80	0,12	0,15	150
P18	1,80	0,80	0,26	0,39	310
P19	2,00	0,20	0,47	0,68	220
P20	2,81	1,40	0,58	1,09	370
P21	1,60	1,60	0,59	0,91	380
P22	1,60	0,60	0,41	0,57	180
P23	2,20	0,60	0,40	0,63	270
P24	2,61	0,60	0,88	1,50	350
P25	5,21	0,80	0,90	2,14	680

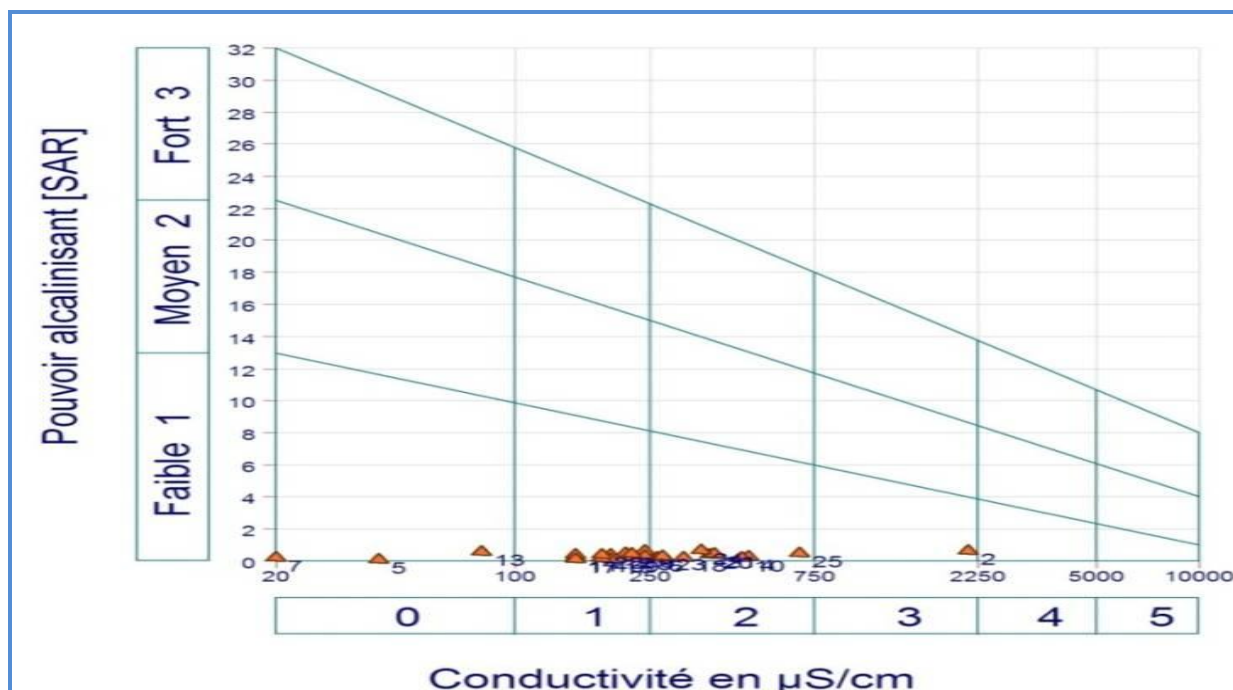


Figure 71 : Diagramme de Wilcox pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir

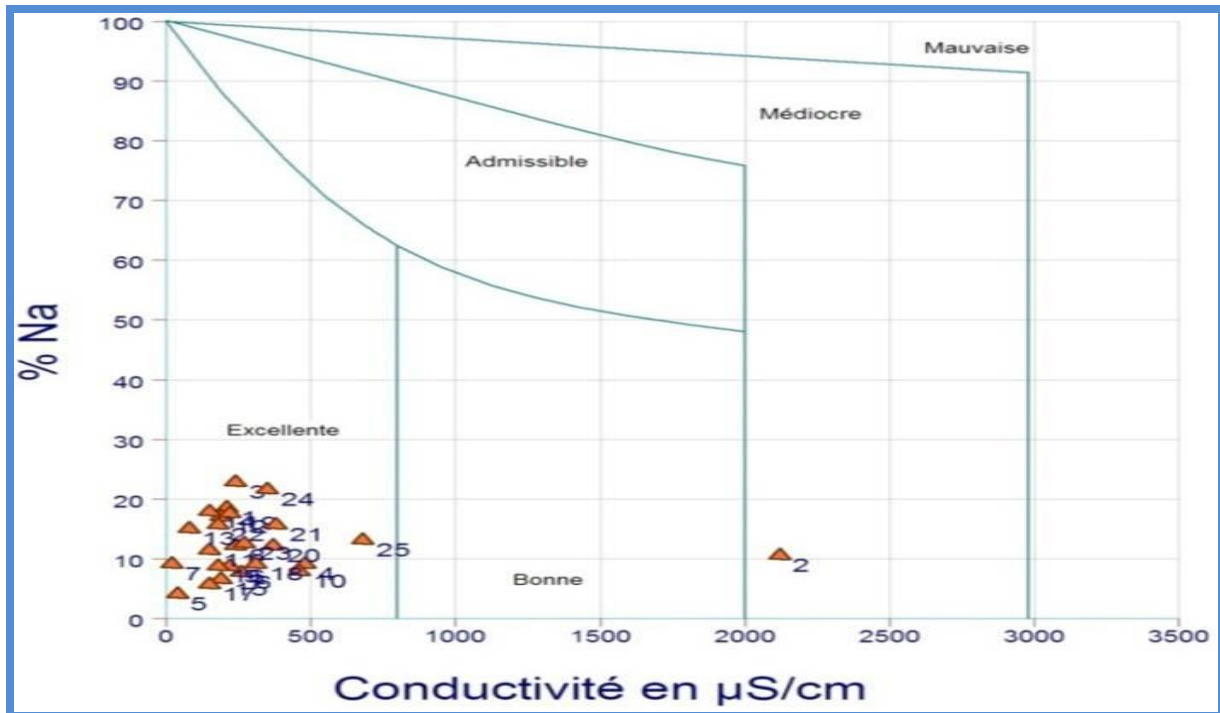


Figure 72 : Diagramme de Richard pour les eaux du bassin versant de oued Zegrir

L'étude de la qualité des eaux du bassin versant de oued Zegrir utilisée en irrigation montre une faible conductivité électrique impliquant une faible minéralisation.

Le Rapport d'Adsorption du Sodium et la Conductivité électrique ont montré que l'eau du bassin utilisée en irrigation appartiennent généralement à la classe  $C_1S_1$  c'est-à-dire une eau à faible salinité, excellente à faible danger d'alcalinisation.

## 8. CONCLUSION :

Dans le but d'interpréter aussi bien les résultats obtenus mais aussi établir les relations entre ces différents paramètres physicochimiques, un traitement statistique a été appliqué aux différents paramètres.

Au point P2 la valeur de la conductivité électrique est de  $2120 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , cette valeur affirme la salinité de cette eau qui provient de la dissolution du gypse.

La représentation graphique de Piper montre que les eaux prélevées dans les différents points d'eaux sont dans l'ensemble caractérisées par un faciès Bicarbonaté calcique mis à part les points P2 et P13 qui montrent une affinité vers un faciès chloruré calcique. Seul le point P2 présente une minéralisation importante vis à vis les autres points du fait de la présence du gypse en *amont* du bassin.

Cependant, tous les autres points qui se trouvent au *centre* du bassin, circulant en majeure partie dans les formations carbonatées du Mio- pliocène sont peu minéralisées.

En résumé, l'interprétation thermodynamique a permis de montrer l'influence des minéraux évaporitiques sur le chimisme de l'eau. La sous-saturation en gypse, anhydrite et halite provoque une continuité dans la dissolution et un enrichissement des eaux par ces éléments. Par ailleurs, les minéraux carbonatés se trouvent parfois proches de l'équilibre souvent en sursaturation et tendent vers la précipitation sous forme de calcite et dolomite.

Le Rapport d'Adsorption du Sodium « SAR » et la Conductivité électrique ont montré que la majorité des points d'eaux appartiennent à la classe C1S1 ; à savoir une eau à faible salinité, excellente à faible danger d'alcalinisation, excepté le point P2 qui montre une qualité médiocr

## **CONCLUSION GENERALE :**

Les différents chapitres de recherches : climatologie, géomorphologie, géologie, hydrologie, hydrochimie, ont été abordés afin d'établir **l'évolution spatiale des eaux du bassin versant de oued Zegrir.**

Le bassin versant de oued Zegrir est un bassin endoréique appartenant aux bassins du M'Zab, montrant un réseau hydrographique de type dendritique et couvrant une superficie de 5200 Km<sup>2</sup>, il est limité au Nord par le bassin versant de Oued Djeddi, à l'Est par le bassin versant de oued Rtem, oued Attar et oued Adjéri, à l'Ouest par le bassin versant de oued N'sa et au Sud par celui de oued N'sa, M'zab et Metlili.

Le bassin est orienté NO-SE, il se présente comme une surface plane s'étalant sur une plage d'altitude de 860m au Nord-Ouest jusqu'à 230m au Sud-Est. L'indice de compacité est de l'ordre de 2,096 ( $K_c > 1,12$ ) indiquant ainsi une forme allongée du bassin, ce qui a influé certainement sur le régime d'écoulement (Vitesse d'écoulement  $V_c = 1,74\text{m/s}$ ).

La carte hypsométrique ainsi que la représentation du bassin en 3D, fournissent une vue synthétique sur la pente. Nous remarquons ainsi trois tranches :

- Une pente faible (0,52%) depuis l'Ajerma Jusqu'à Bordj Talemzane.
- Une pente moyenne (3,97%) de Talemzane à Guerrara.
- Une pente très faible (0,15%) depuis Guerrara jusqu'à Hassi Hadj Ahmed.

Le climat du bassin versant est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations d'une part, et par les amplitudes thermiques et les températures très élevées d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque des pluies, mais également par une forte évaporation.

Ces conditions climatiques imposent le développement d'une végétation typique du bassin versant représentée essentiellement par les steppes et les dattiers. Ce faible couvert végétal, vient ajouter son influence à celle de la géologie et la topographie pour accentuer la rapidité du ruissellement des eaux, l'évapotranspiration et la capacité de rétention du bassin.

Cependant, Le temps de concentration calculé du bassin est très grand ( $T_c = 58,80$  heures), les eaux ont donc beaucoup plus tendance à s'infiltrer qu'à ruisseler.

La minéralisation des eaux de ruissellement du bassin versant de oued Zegrir se fait au travers des roches sédimentaires et en particulier dans les formations carbonatées du Mio-Pliocène et les alluvions du Quaternaire.

A partir des prélèvements effectués le long du bassin versant de oued Zegrir, un certain nombre de paramètres ont fait l'objet de mesures in situ et d'analyse au laboratoire. Les différentes méthodes utilisées portent sur deux types de paramètres :

- Les paramètres physiques mesurés généralement sur terrain, il s'agit de la température, de la conductivité et du pH ;
- les paramètres chimiques, ce sont les ions : les cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et les anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ).

Le diagramme de Piper met en évidence deux familles de faciès géochimiques :

- ➔ Bicarbonatée calcique et magnésienne (88%).
- ➔ Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne (12%).

La classification de Stabler présente également deux faciès géochimique semblable au diagramme de piper :

- ➔ un faciès bicarbonaté calcique dont l'ordre de concentration des anions est  $r\text{HCO}_3 > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$  et des cations  $r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{Na} + r\text{K}$  ;
- ➔ un faciès chloruré calcique dont l'ordre de concentration des anions est  $r\text{Cl} > r\text{SO}_4 > r\text{HCO}_3$  et des cations  $r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{Na} + r\text{K}$  ;

Toutes les eaux du bassin versant sont de la même famille chimique (faciès bicarbonaté calcique), plus ou moins concentrées en fonction de leurs terrains traversés. A l'exception des points P2 et P13 qui montre une affinité vers un faciès chloruré calcique.

D'une manière générale, les résultats obtenus montrent que l'eau de la plupart des points d'eaux analysés, excepté le point P2, sont propres à la consommation mais cela n'évince en aucun cas qu'il faudra compléter cette analyse par d'autres analyses bactériologiques.

La carte des états de surface des sols révèle que seul le point P2 se trouve près des formations évaporitiques qui confèrent aux eaux une forte minéralisation exprimée par des teneurs plus ou moins élevées en calcium, magnésium, chlorures, sulfates et en sodium.

L'étude de la qualité de l'eau du bassin versant de oued Zegrir utilisée en agriculture montre une faible conductivité électrique impliquant une faible minéralisation.



Le Rapport d'Adsorption du Sodium et la Conductivité électrique ont montré que la majorité des points d'eaux appartiennent à la classe C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> c'est-à-dire une eau à faible salinité, excellente à faible danger d'alcalinisation, mis à part le point P2 qui présente une qualité médiocre.

Enfin, les eaux de la nappe superficielle du bassin versant de oued Zegrir sont généralement excellentes et sont très sollicitées que ce soit pour l'alimentation en eau potable (AEP) ou pour une utilisation agricole.

A l'aval du bassin et plus précisément dans la région de Guerrara, la qualité des eaux de surface s'est détériorée davantage par la surexploitation de l'aquifère de la nappe souterraine utilisées en irrigation, pour éviter à long terme la saturation de l'ion sodium (Na<sup>+</sup>) issu de l'irrigation et la remontée capillaire par évaporation; il serait donc préférable de profiter de la bonne qualité des eaux de surface du bassin versant de oued Zegrir afin de réaliser un bon lessivage et drainage des sols plus particulièrement dans la région de Guerrara.

La mise en valeur des ressources en eaux superficielles exige un programme rigoureux d'études géophysiques et de recherches où la géologie et l'hydrologie tiennent une place de premier ordre. Pour dissimuler au problème de la mauvaise gestion des ressources hydriques nous avons cerné les recommandations suivantes :

- ✓ Limiter l'exploitation des eaux souterraines dans la région de Guerrara.
- ✓ Utiliser les eaux de surfaces seules ou en parallèles avec les eaux souterraines (exploitation mixte) pour diminuer le problème de la salinitisation.
- ✓ Elucider le danger sur la dégradation physique des sols irrigués pour mieux préserver les aptitudes agronomiques de ces derniers.
- ✓ Implanter une station hydrométrique qui contrôle les apports de oued Zegrir pour une estimation des crues.
- ✓ Prévoir des retenues collinaires en amont du bassin, et utiliser les structures hydrogéologiques comme réservoirs souterrains. Cette technique présente l'avantage de limiter les pollutions et les pertes par évaporation. Elle est très recommandée dans les régions arides, tel est le cas de notre zone d'étude.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

**BALLAIS J.L. (2010):** Des oueds mythiques aux rivières artificielles: l'hydrographie du bas Sahara Algérien. Géographie physique et environnement. Vol IV, 127 p.

**BARBIERO LAURENT. 1992 :**Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dallol Bosso (République du Niger). Cahiers ORSTOM.Série Pédologie, , 27 (2), p. 143-152. ISSN 0029-7259

**BARRY J.P. ET AL, 1974 :** Notice de la carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques - Feuille d'Alger au 1/1.000.000, Soc. Hist. Nat. Nord, Alger.

**BENDADA. M, 2010 :** Cartographie des états des surfaces des sols par télédétection, cas du bassin versant de OUED ZEGRIR.

**BOURRIE, G. (1976) :** Relations entre le pH, l'alcalinité, le pouvoir tampon et les équilibres de CO<sub>2</sub> dans les eaux naturelles. Science du Sol-bulletin de l'AFES. 3 : 140-159.

**BUSSON, G. (1967) :** Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien. Edit.,Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.

**BUSSON, G. (1970) :** Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

**BUSSON G. (1972) :** Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p.

**CASTANY G. (1982) :** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition: DUNOD, Paris. 233p.

**CORNET, A. & N. GOUSCOV. 1952.** Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien (nappe dite "albien"). In la géologie et les problèmes de l'eau en Algérie. 19ème . congrès géologique international. T. II, 30p

**CORNET A. (1964) :** Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. SNED, Alger Algérie, 572p.

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

---

**DROUBI et al (1976)** : Equilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calcul appliqués à la prédiction de la salure des sols et des doses optimales d'irrigation. Cah. ORSTOM, série Pédo.

**DUBIEF J. (1953)** : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 457p.

**DUBIEF J. (1963)** : Le climat du Sahara. Mém. Hors série. Ins. Rech. Sahar, 2275p.

**FABRE J. (1976)** : Introduction à la géologie du Sahara Algérien. SNED, Alger Algérie, 422p.

**FAYE B. (1997)**, « L'articulation de l'agriculture périurbaine aux marches urbains : l'exemple d'Abidjan », Revue d'Economie Régionale et Urbaine, n°2.

**FRITZ B. (1975)** : Etude thermodynamique et simulation des réactions entre minéraux et solutions. Application à la géochimie des altérations et des eaux continentales. Sci. Géol. Mém., Strasbourg, 152p.

**GOUSCOV N. (1952)** : Le problème hydrogéologique du bassin artésien de l'Oued Rhir. In « La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie ». XIXème congrès géologique international T.II, 16p.

**GUEDDARI M. (1984)** : Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du lac Natron en Tanzanie et du Chott El Jerid en Tunisie, Sci. Géol. Mém., 76, 143p

**GUENDOUZ A. (1985)** : Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-Est Septentrional (Algérie). Thèse 3ème cycle. Université de Paris-Sud, 243p.

**GUENDOUZ A. et al (2003)** : Hydrogeochemical and isotopic evolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara, Hydrogeology Journal (2003).

**HAMDI-AÏSSA B. (2001)**, Le fonctionnement actuel et passé de sol du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Thèse de Doctorat en pédologie. I.N.A Paris Grignon, 275p.

**KILIAN C. (1931)** : Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr.Paris.

**MARGAT J. (1990)** : Les gisements d'eau souterraine. La Recherche, 596 p.

**NESSON C. (1978)** : L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie, (ed. CNRS), pp 7-100, Paris.

**NEZLI I. (2004)** : Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya (Ouargla). Mémoire de Magister. Université Badji Mokhtar. Annaba. 152p.

**NEZLI I. et al (2007)** : Approche hydrogéochimique à l'étude de la fluoruration des eaux de la nappe du Complexe Terminal de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla). Courrier du Savoir Scientifique et Technique. Mars 2009, N°09.

**NEZLI I. (2009)** : Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Thèse de doctorat en sciences hydrauliques, université de Biskra, 117p.

**NEZLI I. et al (2009)** : Presence and Origin of Fluoride in the Complex Terminal Water of Ouargla Basin (Northern Sahara of Algeria), American Journal of Applied Sciences (2009).

**OMS (2006)** : Organisation Mondiale de la Santé. Directives de qualité de l'eau de boisson. Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève, 2è ed. Volume 2, pp 272-279.

**ONM (2010)** : Bulletin climatologique de la station de Ouargla. Service archives. Ouargla, Algérie.

**OSS (2002)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional : De la concertation à la gestion commune d'un bassin aquifère transfrontière. Projet SASS. Rapport interne. Tunis, Tunisie, 58p.

**OSS (2003 a et b)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie, 229p.

**OULD BABA SY M. (2005)** : Recharge et paléorecharge du Système Aquifère du Sahara Septentrional. Thèse de Doctorat, Université de Tunis El Manar, 261p.

**Ozenda P., 1991** : Flore et végétation du Sahara. 2ème édition. Ed. C.N.R.S. Paris. 662p.

**RODIER J. (2009)** : L'analyse de l'eau, 9ème édition, DUNOD, France, 1526p.

**SCHOELLER H. (1959)** : Hydrogéologie des régions arides, progrès récents. Etude UNESCO. Paris (1959). 126p.

**SCHOELLER H. (1963)** : Recherche sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. Thèse Doctorat Es-Sciences, Lyon.

**SONATRACH et SCHLUMBERGER (1990)** : Géologie de l'Algérie. Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement, 93p.

**TABOUCHE N. et al (2004)** : Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien, Larhyss Journal (2004).

**UNESCO (1972)** : Projet ERESS; Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional, et rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris (1972).

**VALLES V. & BOURGEAT F. (1988a)** : Geochemical determination of the gypsum requirement of cultivated sodic soils, I. Development of the thermodynamic model GYPSOL simulating the irrigation water-soil chemical interactions. Arid Soil Research and Rehabilitation (1988).

**VALLES V. & DE COCKBORNE A. M (1992)** : Elaboration d'un logiciel de géochimie appliquée à l'étude de la qualité des eaux. Colloque : Altération et restauration de la qualité des eaux continentales. Port Leucate (France).

**WEC (2007)** : La géologie pétrolière de l'Algérie. In Sonatrach – Schlumberger Well Evaluation Conference - Algérie 2007, p. 1.6 – 1.8, Édité par Schlumberger, 2007.

**DOCUMENTATION CARTOGRAPHIQUE :**

■ **Cartes topographiques :**

- Feuille de Guerrara au 1/200.000
- Feuille de Oued Attar au 1/200.000
- Feuille de Ksar El Hirane au 1/200.000
- Feuille de Ghardaïa au 1/ 500.000

■ **Cartes géologiques :**

- Carte géologique de l'Algérie au 1/500.000 (M. Bouillon, 1951-1952).
- Carte géologique du bassin Mésozoïque du Sahara Algéro-Tunisien au 1/2000.000 (J. Busson, 1957-1965).
- Carte géologique du Sahara Septentrional (Sonatrach, 1971)