



*République Algérienne Démocratique et Populaire*

*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*

**UNIVERSITE ABBES LAGHROUR –KHENCHELA**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT: Ecologie et Environnement**

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

**FILIERE: Ecologie et environnement**

**OPTION: Protection Des écosystèmes**

**Thème**

**Cartographie de la salinité des eaux souterraines de la région  
Sud Bassin Garaet El Taref (Khenchla)**

**Présenté par:**

*Laassab Abdennasser*

*Kaoua Moustapha*

**Encadré par:**

*M<sup>me</sup>.Dib Dounia*

*Soutenu le:20/06/2018*

**Jury de soutenance:**

*Président:M<sup>ler</sup>bouleabaiz Mahrez*

*( MCB) Univ. Khenchela*

*Promoteur: M<sup>me</sup>. Dib Dounia*

*(MAA )Univ. Khenchela*

*Examineur:M<sup>me</sup>.Dali Nawal*

*(MAA ) Univ. Khenchela*

**Année universitaire : 2017/2018**

## *Dédicace*

Au tout puissant Allâh A toi la louange, Ô la lumière des cieux ; de la terre et de ce qu'ils renferment. Gloire à toi de nous avoir assisté de ta lumière et en toute circonstance matin et soir.

Je tiens à dédier ce mémoire à

A **ma Mère**, source de tendresse et d'amour, pour tous leur sacrifice, leur soutien et leur prière tout au long de mes études,

A mon **père** et mon frère **Aymen** en même temps mon père qui ont toujours soutenus et qui ont fait tout possible pour nous aider,

A ma chère sœurs **Samia, Aicha Fatima Zohra, Hadjer et Sara** pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral.

A mes chers Frères **Zouhir, Moussa et Nadir** pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille **Laassab** pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A mes Amis notamment : **Abdelkaderz, Abdelhamid, Sofiane, Haythem, Maamar,, Oukba, Hossein et Islam et El Aid**

et toute l'équipe écologique My Land

A mon binôme **Moustapha** et toute la famille **Kaoua**.

A toutes la promotion de Protection des écosystèmes et Tout qu'on collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci d'être toujours là pour moi, Que dieu leur accorde santé et prospérité

**Nacer.**

## *Remerciement*

*Louange à "DIEU" "ALLAH" "GOD" le tout puissant et le maitre de l'univers, par sa grâce, sa bonté divine et sa miséricorde nous a permis d'avoir la force, le courage, la patience, de réaliser ce travail. Nos remerciements vont à :*

*Mme **Dib Dounia** pour avoir accepté de m'encadrer et diriger patiemment de façon exemplaire et pour le temps qu'il m'ait consacré. et mes remerciements également aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.*

*Mes très vifs remerciements vont aussi à **Boulaabaiz mahrez** doctorat  
A à la faculté des de la nature et de la vie,  
accepté de participer a ce Jury*

*Je vous voudrais Mme **Dali Nawal** Maitre d'assistant A, a la  
Faculté des sciences de la nature et de la vie, d'avoir accepté de  
Me faire l'honneur de présider ce jury*

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



## LISTE DES FIGURES

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 01</b>	Mécanismes naturels de salinisation des eaux de surface et souterraines	<b>05</b>
<b>Figure 02</b>	Représentation schématique des mécanismes anthropogéniques de salinisation	<b>07</b>
<b>Figure 03</b>	les composantes d'un système d'information géographique	<b>10</b>
<b>Figure 04</b>	Deux différents types de modèles géographiques	<b>12</b>
<b>Figure 05</b>	Situation géographique de la zone étudié et des points de prélèvement	<b>15</b>
<b>Figure 06</b>	Carte géologique modifiée depuis les cartes au 1.50000 d'Oum el Bouaghi, Ain Beida, Garaet Tarf, F'Kirina, Khenchela	<b>24</b>
<b>Figure 07</b>	Légende de la carte géologique	<b>25</b>
<b>Figure 08</b>	Diagramme Ombrothermique selon les données moyennes de la période 1995-2015	<b>28</b>
<b>Figure 09</b>	Bilan hydrique moyen de la période 1995-2015	<b>30</b>
<b>Figure 10</b>	les variations de pH des eaux	<b>34</b>
<b>Figure 11</b>	Les variations de CE des eaux	<b>35</b>
<b>Figure 12</b>	les variations de Ca <sup>2+</sup> des eaux	<b>36</b>
<b>Figure 13</b>	les variations de Mg <sup>2+</sup> des eaux	<b>37</b>
<b>Figure 14</b>	les variations de Na <sup>+</sup> des eaux	<b>38</b>
<b>Figure 15</b>	les variations de Cl <sup>-</sup> des eaux	<b>39</b>
<b>Figure 16</b>	variations de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> des eaux.	<b>40</b>
<b>Figure 17</b>	les variations de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> des eaux .	<b>40</b>
<b>Figure 18</b>	les variations de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> des eaux.	<b>41</b>
<b>Figure 19</b>	Représentation sur diagramme de Piper des compositions en ..éléments majeurs des eaux de la de la zone d'étude	<b>42</b>
<b>Figure 20</b>	diagramme de stable	<b>43</b>
<b>Figure 21</b>	Diagramme Wilcox /Riverside de de l'eau souterraine de la zone d'étude.	<b>46</b>
<b>Figure 22</b>	L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques	<b>48</b>
<b>Figure 23</b>	Analyse en Composantes Principales	<b>49</b>
<b>Figure 24</b>	Carte d'isovaleur de CE	<b>52</b>
<b>Figure 25</b>	Carte d'isovaleur de Cl <sup>-</sup>	<b>53</b>
<b>Figure 26</b>	Carte d'isovaleur de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<b>54</b>
<b>Figure 27</b>	Carte d'isovaleur de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>55</b>



## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 01</b>	classification des eaux salée	<b>04</b>
<b>Tableau02</b>	Distribution de la population au niveau du bassin de :Garaet El Taref	<b>17</b>
<b>Tableau 03</b>	Calcul des termes du bilan hydrique de la station d'El Hamma	<b>30</b>
<b>Tableau 04</b>	Les résultats d'analyses ph-chimique	<b>34</b>
<b>Tableau 05</b>	relation existant entre la minéralisation et la conductivité mesurée.	<b>35</b>
<b>Tableau 06</b>	Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation(méthode de SAR).	<b>45</b>
<b>Tableau 07</b>	Matrice de corrélation (Pearson)	<b>49</b>

## Liste des abréviations

<b>DPSB</b>	Direction de Programmation et de Suivi Budgétaire
<b>DRWK</b>	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Khenchela
<b>SIG</b>	Système d'Information Géographique
<b>SI</b>	Système d'Information
<b>EVP.</b>	Evapotranspiration potential
<b>ETR.</b>	Evapotranspiration real
<b>RFU.</b>	Réserve facilement utilisable
<b>TDS.</b>	Total des sels
<b>ETP.</b>	Evapotranspiration potentiel (mm);
<b>ETR.</b>	Evapotranspiration réelle (mm):
<b>Exc.</b>	Excédante (mm);
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé;
<b>PH .</b>	Potentiel d'Hydrogène;
<b>Pr</b>	Précipitation annuelle (mm);
<b>T</b>	Température annuelle en (C°):
<b>N</b>	Nord;
<b>E</b>	Est;
<b>EDTA</b>	Solution d'éthylène Diamine Tétra Acétique
<b>CE</b>	Conductivité électrique
<b>SAR</b>	Sodium Adsorption Ratio
<b>%</b>	pourcentages;
<b>C°</b>	Degré Celsius;
<b>us/cm</b>	micro semence /centimètre;
<b>g</b>	Gramme par litre ;
<b>mg/l</b>	milligramme par liter ;
<b>Kg</b>	kilo gramme :
<b>Km2</b>	kilomètre carré ;
<b>m</b>	Mètre;
<b>m3</b>	mètre cube;
<b>meq /l</b>	Milliéquivalent par liter ;
<b>mg</b>	milligramme;

## ***Table des matières :***

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1

### **CHAPITRE I : Etude bibliographique**

I.1.1 Définition de la salinité.	3
I.1.2 Définition de la salinisation.	3
I.1.3. Caractéristiques des eaux salées	4
I.1.4. Types de salinité	4
I.1.4.1. La salinité primaire	4
I.1.4.2. La salinité secondaire	5
I.2. la cartographie et les System d'information Géographique	7
I.2.1. Généralité	7
I.2.2. Définition de Système d'Information (SI)	8
I.2.3. Définition de Système d'information géographique (SIG).	8
I.2.4. La géoréférencement.	8
I.2.5. Historique sur le Système d'information géographique.	09
I.2.6. Composantes d'un SIG.	09
I.2.7. Les principales fonctions d'un SIG	11
I.2.8. Les modèles géographiques de SIG	12

### **CHAPITRE II : Matériels et Méthodes**

<b>II.1.Présentation de la région d'étude</b>	<b>14</b>
II.1.1.situation géographique	14
II.1.2.présentation des point de prélèvement	14
II.1.3 Réseau hydrographique.	16
II.1.4 .Le relief	16
II.1.5.Cadre démographique	16
II.1.6.Cadre géologique	17
II.1.6.1Lithostratigraphie du bassin de Gareat El Tarf	17
II.1.6.2. Trias	17
II.1.6.3. Crétacé	18

II.1.7. hydrographique.	26
II.1.8.La climatologie.	28
<b>II.2.travaux au laboratoire</b>	<b>31</b>
II.2.1. .Mesures électrochimiques.	31
II.2.2. Méthodes de dosage des anions et cations majeurs	32
<b>CHAPITRE III. Résultat et discussions</b>	
III.1. Evolution spatiale des différents paramètres	34
III.1.1. Potentiel hydrogène (pH).	34
III.1.2.. Conductivité électrique	35
III.2. Caractéristiques chimiques des eaux	36
III.2.1.Teneur des cations dans l'eau	36
a) Calcium Ca <sup>++</sup>	36
b) Le Magnésium Mg <sup>++</sup>	37
c) Le Sodium Na <sup>+</sup>	38
III.2.2.Teneur des anions dans l'eau	39
a) Les Chlorures Cl <sup>-</sup>	39
b) Les Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	40
c) Les Bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	40
d) Les Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	41
III.3.Caractérisation des eaux prélevés .	42
III.3.1.Faciès chimique des eaux	42
III. 3.1.1. Diagramme de Piper	43
III.3.1.2. Diagramme de répartition des éléments chimique (Stabler)	44
III.4. Classification des eaux d'irrigation	45
III.4.1 Méthode de sodium absorption ratio (SAR)	45
III.5. Classification de Wilcox	46
III.6.Etude des rapports caractéristiques et origine de la salinité	47
III.6.1. La relation HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(Cl <sup>-</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) – conductivité électrique	47
III.6.2.La relation Cl <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - conductivité électrique	48
III.7.Analyse de la matrice des corrélations	59
III.8. la cartographie de la salinité	50
III.7.1.1. la carte d'isovaleurs de CE	51
III.7.1.2 . la carte d'isovaleurs de concentration de CL <sup>-</sup>	52
III.7.1.3. la carte d'isovaleurs de concentration de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	53

III.7.1.4. la carte d'isovaleurs de concentration de  $\text{NO}_3^-$

54

**Conclusion**

**Conclusion générale**

**Annexes**

**Référence bibliographique**



## INTRODUCTION GENERALE

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration. Les eaux souterraines constituent la principale source d'eau d'irrigation et de consommation dans les régions où cette ressource est rare, telles que les régions à climat semi-aride et aride. Cependant, l'utilisation rationnelle de cette eau et la réussite de toute mise en valeur agricole dépendra de sa connaissance quantitative mais également qualitative.

Dans une région donnée, la salinisation est une combinaison de plusieurs facteurs hydrogéologiques et anthropiques en présence des sources de contamination. Les nappes aquifères représentent une source d'eau importante et doivent, à ce titre, être plus protégées que les eaux de surface contre toute éventuelle source de pollution. **(Smida et al, 2010)**

Le présent travail a pour but de cartographier la salinité des eaux souterraines de la région Garaât el Taref dont on a recourt souvent à ces eaux pour assurer aussi bien l'irrigation que la consommation domestique. La cartographie a été appliquée pour optimiser l'estimation spatiale de la salinité de ces eaux et contribuer ainsi à une meilleure connaissance de sa qualité.

Dans l'optique de la gestion des risques naturels et anthropiques, les systèmes d'informations géographiques (SIG) apportent des informations localisées et objectives irremplaçables, c'est pourquoi ils comptent parmi les nouvelles techniques informatiques destinées au domaine de prévision et d'intervention (Melloul et al, 2009).

Notre mémoire est structurée en trois parties :

**1<sup>ère</sup> partie:** Etude bibliographique représente des concepts généraux sur la salinité, salinisation, les types et mécanisme de salinisation des eaux, et une étude généralité sur la cartographie et les systèmes d'information géographique

**2<sup>ème</sup> partie:** premièrement présentation de la zone d'étude et une étude généralité des caractéristiques géologiques, hydrologiques et caractéristique climatologiques. Ensuite présentation des points de prélèvement et les travaux au laboratoire.

**3<sup>ème</sup> partie :** L'hydrochimie qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, et caractérisation physico-chimique de ces eaux de la région de Garaet El Taref et détermination l'origine de la minéralisation des eaux souterraine de la plaine en utilisant les rapports caractéristiques et les cartes d'isovaleurs.

La salinisation est l'une des problématiques les plus importantes en termes de dégradation des eaux souterraines. Ce phénomène très répandu s'avère particulièrement le problème dans les régions arides et semi-arides où la ressource en eau douce est rare. Celle-ci peut avoir une origine naturelle (géologique) et/ou anthropique (activité humaine).

### **I. 1. Définition de La salinité :**

La salinité peut être définie comme étant la quantité globale des sels contenus dans « la solutions d'un eau ou d'un sol » (Imalet, 1979). La salinité se produit après l'évaporation de l'eau dans son état pur laissant derrière elle les sels et les autres substances (Carter, 1975). Elle se produit en raison de l'augmentation des concentrations de ces sels comme le chlorure de sodium (Sun et al, 2007).

### **I. 2. Définition de La salinisation :**

La salinisation est un processus d'enrichissement d'une eau ou d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un eau ou d'un sol salin (Keren, 2000 ; Levy, 2000 ; Brady et Weil, 2002 et Essington, 2004).

### **I.3. Caractéristiques des eaux salins :**

les eaux naturelles comportent des minéraux dissous et des substances gazeuses. (Moughli, 2004 in Ghodbéne, 2006 in Bouchçukh I, 2010)

L'accumulation des sels dans une eau soumet de son origine :

Eau de pluie : Les Gaz atmosphérique dissous et sel transporté par les pluies.

Eau de surface : sa composition et sa concentration varient dans l'espace et dans le temps cette changement dépend de : la géologie du bassin , l'évaporation , le climat , et les eaux souterraines .

La classification des eau par rapport à leur salinité est établie par Rhoades et al 1992, il dépend la CE, la concentration en sels et le type d'eau le détail est dans le tableau suivant :

Tableau N° 01 : classification des eaux salées (Rhoades et al , 1992)

Classe d'eau	CE(dS /m)	Concentration en sel (mg/l)	Type d'eau
<b>Non salée</b>	< 0,7	< 500	L'eau potable et d'irrigation.
<b>Légèrement salée</b>	0,7 -2	500-1500	eau d'irrigation
<b>Modérément salée</b>	2 -10	1500-7000	L'eau de drainage primaire et
<b>Fortement salée</b>	10-25	7000- 15.000	eau de drainage secondaire et de la nappe phréatique
<b>Très salée</b>	25 – 45	15.000-35.00	Nappe phréatique très sale
<b>Extrêmement salée</b>	>45	>45.000	eau de mer

#### I.4. Types de salinité :

Dans la nature on peut distinguer une salinisation naturelle , que l'on peut dénommer primaire et une salinisation anthropique , généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire .

Bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la principale source de tous les sels. Plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène (**Maillard, 2001**).

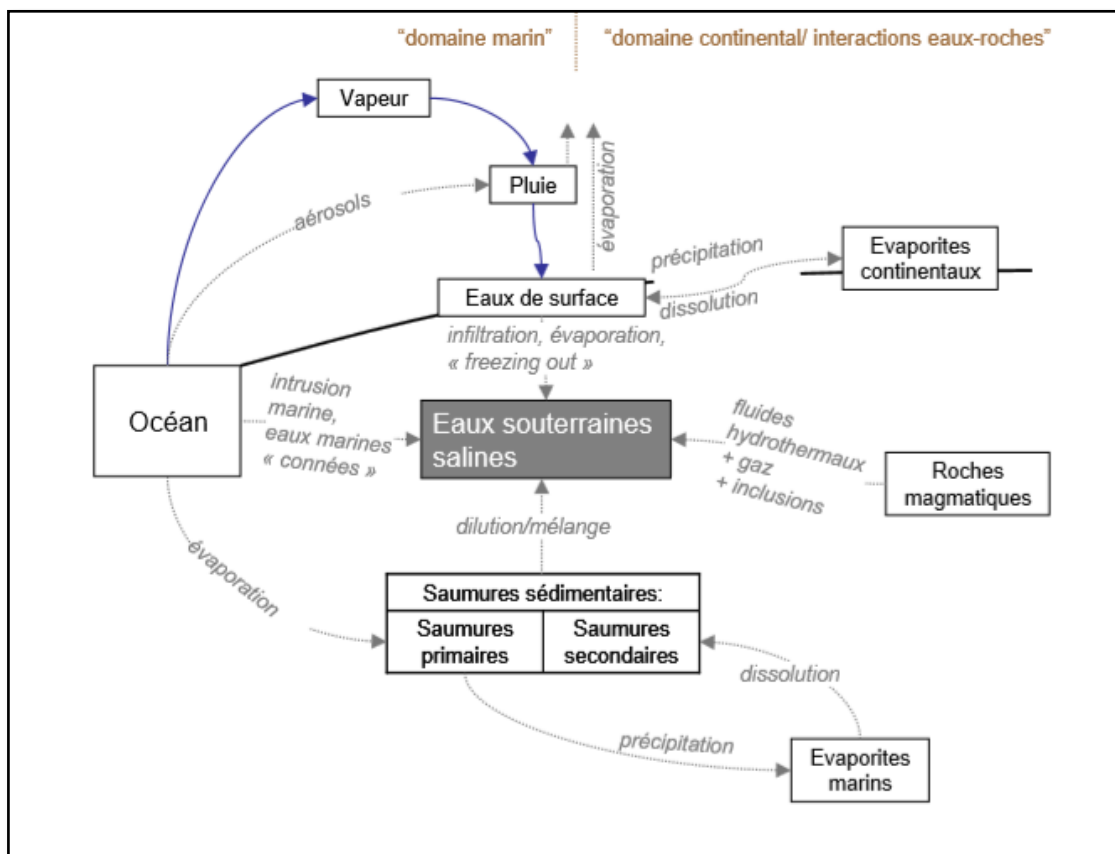
##### I.4.1. La salinité primaire (ou Naturelle) :

La salinité primaire s'explique par l'accumulation de sels dans les eaux souterraines sur une longue période de temps en deux processus naturels(**Hamza NOOMENE.,2011**) :

- L'altération des matériaux de base contenant des sels solubles : Les processus d'altération des roches se décomposent et la libération des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble.

· Le dépôt de sels océaniques effectués dans le vent et la pluie : «les Sels cycliques» sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium.

L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg / kg de sel, la concentration de sels diminue avec la distance de la côte. Si la concentration est de 10 mg / kg, il s'ajoute 10 kg / ha de sel pour chaque 100 mm de précipitations par an. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec une pluviométrie



**Figure 01 :** Mécanismes naturels de salinisation des eaux de surface et souterraines, (Kloppmann et al , 2011).

**I.4.2.La salinité secondaire (ou d'origine humaine) :**

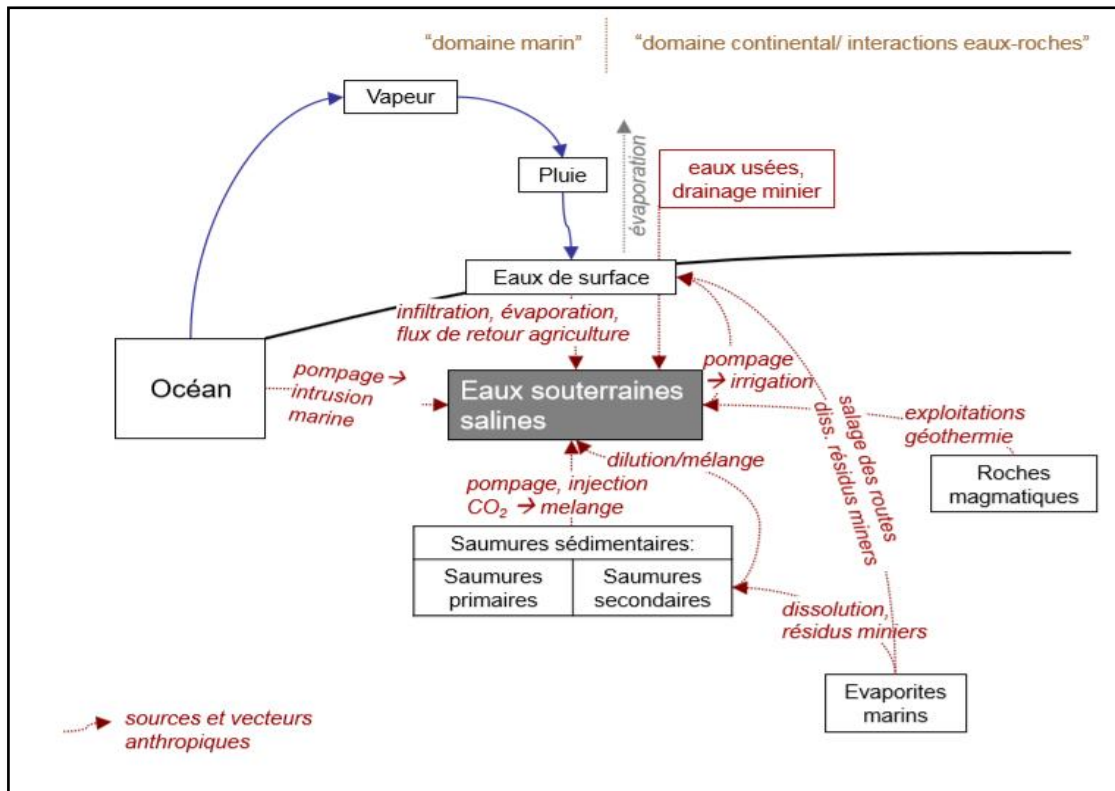
La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration). **(Hamza NOOMENE.,2011).**

Les causes les plus fréquentes sont :

- Le défrichement des terres et le remplacement de la végétation pérenne avec des cultures annuelles,
- L'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel,
- Un drainage insuffisant et un système d'irrigation déséquilibré...

Avant l'intervention des activités humaines, dans des climats arides ou semi-arides, l'eau utilisée par la végétation naturelle a été en équilibre avec la pluie. A la compensation de mode d'irrigation, nous avons distingué une modification des interrelations entre le système pédosphérique, le système hydrosphérique et le système atmosphérique qui ont été en équilibre, entre autre les précipitations d'une part, et l'eau d'irrigation sur l'autre et la physico-chimie des sols d'autre part.

L'excès d'eau soulève la nappe souterraine et mobilise des sels précédemment stockés dans le sous-sol et les amène jusqu'à la zone des racines. Les plantes utilisent l'eau et laissent le sel jusqu'à ce que l'eau du sol devienne trop salée pour l'absorption d'eau par les racines des autres. L'eau s'évapore en laissant des dépôts de sels à la surface et formant ainsi «brûlure du sel » dans des cas. Le sel peut également se mobiliser latéralement vers les cours d'eau pour augmenter leur degré de salinité. **(Hamza NOOMENE.,2011)**



**Figure 02** : Représentation schématique des mécanismes anthropogéniques de salinisation, (Kloppmann et al , 2011).

## I.2. Apport de cartographie et les System d'information Géographique :

### I.2.1 Généralités :

La cartographie est un ensemble de techniques permettant l'élaboration des cartes à partir des observations sur le terrain ou de l'exploitation de documents (SADIE C,2006). Elle sert à comprendre l'espace, les territoires et les paysages. Cependant une carte est une représentation géométrique plane, simplifiée et conventionnelle, de toute ou partie de la surface terrestre.

Objet de cartographie : La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la zone non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine puits, forage, etc.).

L'objectif de cartographie de la salinité des eaux souterraine est de fournir le potentiel et le degré de risque de contamination et la migration des sels solubles dans l'eau , mais aussi le degré des conséquences possibles d'une contamination, de même que les

éléments nécessaires, tant pour la prévention que pour les mesures mises en place à la suite d'une contamination.

**I.2.2. Définition de Système d'Information (SI)** est un ensemble organisé de ressources (matériels, logiciels, personnel, données et procédures) qui permet de collecter, regrouper, classifier, traiter et diffuser de l'information dans un environnement donné

**I.2.3. Définition de Système d'information géographique (SIG)** : Tout comme le domaine de la géographie, le terme SIG est difficile à définir. Il représente l'intégration de plusieurs domaines d'étude. Une définition largement acceptée est celle fournie par le National Centre of Geographic Information and Analysis (**NCGIA**) : un SIG est un système de matériels, logiciels et procédures pour faciliter la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation, la représentation et l'affichage de données spatialisées pour résoudre des problèmes complexes liés à la planification et la gestion des ressources (**NCGIA, 1990**).

Une manière plus compréhensive et facile de définir les SIG, est celle qui se réfère à la disposition en couche des données : Groupes de cartes du même espace géographique, où un point donné a les mêmes coordonnées sur toutes les cartes et dans le système. De cette manière, il est possible d'en analyser la thématique et les caractéristiques spatiales afin d'avoir une meilleure connaissance de cet espace géographique.

**I.2.4. Le géoréférencement** consiste à utiliser des coordonnées cartographiques pour affecter un emplacement spatial à des entités cartographiques. Tous les éléments d'une couche de carte ont une position et une étendue géographiques spécifiques qui leur permettent d'être repérés sur la surface de la terre, ou près de celle-ci. La capacité de localiser avec précision des entités géographiques est essentielle pour le SIG. Un système de coordonnées géographiques permet ainsi, d'associer des emplacements géographiques à des objets. On distingue :

- Un système de coordonnées longitude/latitude global est un exemple de ce type d'infrastructure.
- Un système de coordonnées planaire ou cartésien dérivé de l'infrastructure globale en est un autre exemple. Les données SIG contiennent des positions dans un système de coordonnées global ou cartésien pour enregistrer des localisations et des formes géographiques. Il est ainsi possible de superposer plusieurs couches de données SIG sur la surface de la Terre. (**Dr ASSOMA 2014**).

### I.2.5. Historique sur le Système d'information géographique

Les premiers SIG opérationnels sont apparus dans les années 1960 au Canada et aux Etats Unis. Le pionnier est indiscutablement le Canadian Geographic Information System (1964) qui rassemble des informations relatives à l'usage du sol, et des données concernant l'environnement, sur une grande partie du territoire canadien. Deux autres réalisations avant-gardistes méritent d'être mentionnées : Le New York Land Use Information System(1967) et le Minnesota Information System (1969). Depuis cette époque, les coûts et les difficultés techniques ont considérablement diminué.

**Maguire et al. (1991)** distinguent trois périodes principales dans l'évolution des SIG :

- fin des années 1950 - milieu des années 1970 : début de l'informatique, premières cartographies automatiques ;
- milieu des années 1970 - début des années 1980 : diffusion des outils de cartographie automatique/SIG dans les organismes d' État (armée, cadastre, services topographiques, ...);
- depuis les années 1980 : croissance du marché des logiciels, développements des applications sur PC, mise en réseau ( bases de données distribuées, avec depuis les années 1990, des applications sur Internet) et une banalisation de l' usage de l'information géographique (cartographie sur Internet, calcul d'itinéraires routiers, utilisation d'outils embarqués liés au GPS... ).

### I.2.6. Composantes et fonctions d'un SIG :

Un Système d'Information Géographique est constitué de cinq composants majeurs. (**Esri France**) :

**Matériel** :Les SIG fonctionnent aujourd'hui sur une très large gamme d'ordinateurs des serveurs de données aux ordinateurs de bureaux connectés en réseau ou utilisés de façon autonome.

- **Logiciels** :Les logiciels de SIG offrent les outils et les fonctions pour stocker, analyser et afficher toutes les informations.

#### **Principaux composants logiciel d'un SIG :**

- Outils pour saisir et manipuler les informations géographiques.
- Système de gestion de base de données.
- Outils géographiques de requête, analyse et visualisation.
- Interface graphique utilisateur pour une utilisation facile.

- **Données** :Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires associées peuvent, soit être constituées en interne, soit acquises auprès de producteurs de données.
- **Utilisateurs** :Un Système d'Information Géographique (SIG) étant avant tout un outil, c'est son utilisation (et donc, son ou ses utilisateurs) qui permet d'en exploiter la quintessence. Les SIG s'adressent à une très grande communauté d'utilisateurs depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux personnes utilisant dans leur travail quotidien la dimension géographique. Avec l'avènement des SIG sur Internet, la communauté des utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante chaque jour et il est raisonnable de penser qu'à brève échéance, nous serons tous à des niveaux différents des utilisateurs de SIG.



**Figure 3::** les composantes d'un système d'information

### I.2.7 Les principales fonctions d'un SIG (Esri France) :

- **Saisie**

Avant d'utiliser des données papier dans un Système d'Information Géographique (SIG), il est nécessaire de les convertir dans un format informatique. Cette étape essentielle depuis le papier vers l'ordinateur s'appelle digitalisation.

- **Manipulations**

Les sources d'informations (comme celles décrites précédemment) peuvent être d'origines très diverses. Il est donc nécessaire de les harmoniser afin de pouvoir les exploiter conjointement (c'est le cas des échelles, du niveau de détail, des conventions de représentation...) Les SIG intègrent de nombreux outils permettant de manipuler toutes les données pour les rendre cohérentes et ne garder que celles qui sont essentielles au projet.

Ces manipulations peuvent, suivant les cas n'être que temporaires afin de se coordonner au moment de l'affichage ou bien être permanentes pour assurer alors une cohérence définitive des différentes sources de données.

- **Gestion**

Si pour les petits projets il est envisageable de stocker les informations géographiques comme de simples fichiers, il en est tout autrement quand le volume de données grandit et que le nombre d'utilisateurs de ces mêmes informations devient important.

Dans ce cas il est essentiel d'utiliser un SGBD (Système de Gestion de Bases de Données) pour faciliter le stockage, l'organisation et la gestion des données. Un SGBD n'est autre qu'un outil de gestion de la base de données.

- **Analyse spatiale**

L'intégration de données au travers des différentes couches d'information permet d'effectuer une analyse spatiale rigoureuse. Cette analyse par croisement d'informations, si elle peut s'effectuer visuellement (à l'identique de calques superposés les uns aux autres) nécessite souvent le croisement avec des informations alphanumériques. Croiser la nature d'un sol, sa déclivité, la végétation présente avec les propriétaires et les taxes payées est un exemple d'analyse sophistiquée que permet l'usage d'un SIG.

- **Visualisation :**

Pour de nombreuses opérations géographiques, la finalité consiste à bien visualiser des cartes et des graphes. Une carte vaut mieux qu'un long discours. La carte est en effet un formidable outil de synthèse et de présentation de l'information.

Les SIG offrent à la cartographie moderne de nouveaux modes d'expression permettant d'accroître de façon significative son rôle pédagogique. Les cartes créées avec un SIG peuvent désormais facilement intégrer des rapports, des vues 3D ; des images photographiques et toutes sortes d'éléments multimédia.

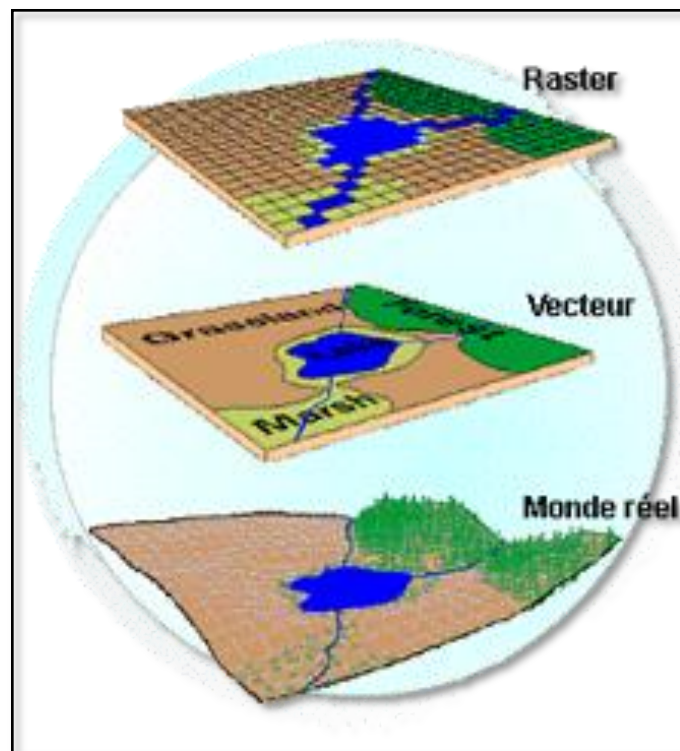
**I.2.8. Les modèles géographiques de SIG (Esri France) :****❖ Le modèle vecteur**

Dans le modèle vecteur, les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées x, y. Les objets de type ponctuel sont dans ce cas représentés par un simple point. Les objets linéaires (routes, fleuves...) sont eux représentés par une succession de coordonnées x,y. Les objets polygonaux (territoire géographique, parcelle...) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée. Le modèle vectoriel est particulièrement utilisé pour représenter des données discrètes.

**❖ Le modèle raster**

Le modèle raster, quant à lui, est constitué d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres. Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol...

Chacun de ces deux modèles de données dispose de ses avantages. Un SIG moderne se doit d'exploiter simultanément les données raster et vectoriel de représentation.



**Figure 03:** Différents types de représentation géographique.

## II -1. Présentation de la zone d'étude:

### II -1.1..Situation géographique :

Le bassin de Gareat El Tarf est située dans la partie Nord Orientale de l'Algérie ; à l'extrême Est des hautes plaines steppiques entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud (massif des Aurès)(benzatat 2013).

Le bassin versant de Gareat El Tarf fait partie de l'ensemble des bassins versants des hauts plateaux constantinois d'après l'agence des bassins. Il Couvre une superficie de 2432 km<sup>2</sup>. Il se situe entre les latitudes 35°19'405" et 35°54'583" N et les longitudes 6°49'655' ' et 7°34'651 'E )(benzatat 2013).

Le centre est jalonné par une dépression endoréique (Gareat) plus connue sous l'appellation de sebkha (lac salé) et qui couvre une superficie de 200 km<sup>2</sup>.

Les limites du bassin correspondent à :

- **Au Nord**, la ligne de crête, de direction NW-NE des massif de Sidi Reghis et Aamamet El Kebir.
- **L'Est**, la ligne de crête, de direction NE-SW des massifs de Dj Fedjidjet, Dj.Boutokhma, Tafrennt et Chettaia.
- **Au Sud**, la ligne de crête de direction SE-SW, des djebels Feraoun, Aurès, el Aoud.est le talweg d'Oued Gueiss, Dj. Fedjoudj et Dj. Tarf.



### II -1.3. Réseau hydrographique

La majorité des oueds de bassin Garaet El Taref sont endoréiques ; ils coulent en direction du lacs salés.

- Oued Aimer, Oued Aissaoui, Oued El Hammam, Oued Nini et Oued El Hassi

ces oueds prennent sources successivement des massifs de Djebel Chettaia. (1455 m), Djebel Knif(1224 m) Djebel Fedjidjet (1291 m )et Dj.Galaa (1135 m), déversent à Garaet El Tarf)(benzatat 2013).

### II -1.4. Le relief:

Le relief du bassin de Garaet El Tarf est relativement élevée, environ 960 m, qui a reçu tous les apports d'érosion des reliefs environnants.

La géomorphologie est dominée par des hautes plaines parsemées de dépressions. constituant le chott (Gareat El Tarf), avec une altitude d'environ 830 m ce dernier s'étend sur 20 km de / long et 15 km de large dont seulement le 1/4 est inondé, Tout autour, on trouve des chott satellites qui fusionnent avec celui d'El Tarf lors des grandes crues. Les périmètres de ce lac salé sont caractérisés par un niveau plat. Les massifs qui encadrent le bassin dépassent les. 2000 m. Les bordures Sud et nord du bassin sont marquées par des Oinclinaisons relativement importantes ; conséquence d'une activité tectonique ayant affectée ces légions, permettant un écoulement superficiel plus important)(benzatat 2013).

### II -1.5. Cadre démographique :

Le bassin possède un caractère rural prononcé : la densité moyenne est de 122.86 habitants au km<sup>2</sup> le tiers de la population vit dans des communes rurales .deux espaces s'opposent :

- Les limites Nord et Sud du bassin, qui comprend les principales villes (khenchela , Kais , Ain Beida et Oum El Bouaghi , constitue les agglomérations de taille importante ( inférieur 100hab/km<sup>2</sup>) et l'essentiel de l'industrialisation.(tableau 2)
- Le reste de la partie intérieure du bassin, à dominante rurale

**Tableau 2:** Distribution de la population au niveau du bassin de Garaet El Taref (benzatat 2013):

<i>N°</i>	<i>Wilaya</i>	<i>Commune</i>	<i>Type de Commune</i>	<i>Nombre d'habitants Esti . 2012</i>	<i>Superficie ( km<sup>2</sup> )</i>	<i>Densité (hab Km<sup>2</sup>)</i>
<b>1</b>	<b><i>Khenchela</i></b>	Khenchela	Urbaine	120710	32	3772,18
<b>2</b>		Kais	Urbaine	37832	56	667,5
<b>3</b>		Remila	Rurale	6060	243	24 ,9
<b>4</b>		Tamza	Rurale	9185	385	23,85
<b>5</b>		EL hamma	Urbaine	13258	168	78,9
<b>6</b>		Ensigna	Rurale	10160	163	62,3
<b>7</b>		Baghai	Rurale	7340	136	54
<b>8</b>		M'toussa	Rurale	6474	118	54,9
<b>9</b>		Ain touila	Rurale	18360	302	60,8
<b>10</b>	<b><i>O.E.Bouaghi</i></b>	O.E.Bouaghi	Urbaine	87878	414	212,3
<b>11</b>		Oued Nini	Rurale	5597	193	29
<b>12</b>		EL Djazia	Rurale	4241	198	21,4
<b>13</b>		F'Kirina	Rurale	13470	326	41,3
<b>14</b>		Zorg	Rurale	2493	196	12,7
<b>15</b>		Ain Beida	Urbaine	129766	52	2495,5
<b>16</b>		Berriche	Rurale	19256	336	57,3
<b>17</b>		Ain Zitoun	Rurale	6505	740	8,8
		<b><i>Total</i></b>		498585	4058	122 ,86

## II -1.6.Cadre géologique :

### II -1.6.1. Lithostratigraphie du bassin de Garaet El Tarf

La Lithostratigraphie a été tirée pour l'essentiel, des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000 ; khenchla , Garaet El Taref , Oum El Bouaghi , Ain El Beida , F'kirina, Delàa et la carte géologique de constantine 1/200 000 , et des coupes géologiques)(benzatat 2013)

### II -1.6.2.Trias

Les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, ou il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 Km de long et de 300 à 400 m de large et, sur Djebels El Krouma et Knif en contact anormal avec l'albien, le Cénomaniens et le Sénonien.

La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous forme d'amalgame intensément remplissés, représentent les indices les plus sûrs de la présence du trias. Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux (Laffitte, 1939 et Vila, 1977).

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène) le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont anti-miocène, il a disparu depuis longtemps (R. Laffite 1939).

Les argiles et marnes bariolées de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement. Des passées calcaire-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiées et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballées dans les complexes triasiques.

### II -1.6.3. Crétacé

Formant l'ossature de la région, il correspond à une bande grossièrement orientée SW-NE, formée essentiellement de calcaire et de marnes.

#### II -1.6.3.1. Crétacé Inférieur:

##### a- Barrémien supérieur : à dominante gréseuse

C'est une série essentiellement composée de grès blancs fins, à ciment argilo carbonaté, à tendance quartziteuse. Leur base n'est visible qu'au Sud du Djebel Touzzeline.

##### b- Aptien marneux (inférieur):

Au Sidi Reghiss l'Aptien marneux est représenté par environ 100 m de marnes gris noir à débris schisteux et à minces intercalations de marno-calcaire gris à cassure noire.

c- Aptien supérieur : calcaire bien, lité à Orbitoline. Ces couches forment l'essentiel de la masse calcaire du Djebel Sidi Reghiss et du Djebel Tarf. Au Djebel Sidi Reghiss la série est épaisse d'environ 250 à 300 m.

Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut :

- Marnes gypseuses.
- Calcaires sombres en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges.

Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre.

Sur le versant Nord-Ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visible.

### **II -1.6.3.2.Crétacé moyen:**

**a- Albien** : de l'anticlinal de Khenchela (marnes, dolomie et grés} et de Djebel el Krouma.

L'Albien entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus ou moins continue au-dessous de l'Aptien .il se présente généralement sous un faciès gréseux ou alternent, à la base et au sommet, des marnes, des dolomies et des biosparites.

Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut :

- Marnes gypseuses.
- Calcaires sombre en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges.

Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre.

Sur le versant nord-ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles.

### **II -1.6.3.3.Crétacé supérieur :**

**a- Cénomaniens inférieur :**

Il est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès, il est essentiellement calcaire-marneux .La partie supérieur est constituée de bancs calcaires massif mais peu épais, qui s'intercalent dans des mairies gris-bleu ou beiges, avec une épaisseur variable peut atteindre 500 à 600 m.

**b- Turonien basal**

Alternance de marnes et de petits bancs marno-calcaire. La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaire blanchâtres en plaquettes fines à cassure noirâtre.

Au-dessus 200 m de marnes grises ou noires montrant des intercalations de marno-calcaire blanchâtres.

**c- Turonien « moyen et supérieur »**

Ce sont des alternances de marnes grises à beiges et de calcaire en bancs métriques. La prédominance des intercalations calcaires crée une barre bien visible dans la morphologie.

**d- Coniacien**

Au Djebel Knif, sous la discordance des formations brechiques Santoniennes le coniacien est formé à la base par 90 m d'alternances de marnes beiges ou grises et de calcaire gris. Au-dessus au Djebel Bardo (Ain Beida) des talwegs isolés montrent sur une centaine de mètres, des formations composées essentiellement de marnes grises alternant avec des calcaires noduleux beiges.

**e-Santonien**

Visible aux alentours du Djebel Knif, il correspond à 230 m de marnes gris bleutées avec à la base et au sommet des marno-calcaires en bancs décimétriques riches en débris d'inocérames, il repose en discordance sur les argiles varicolores du trias et sur le Coniacien. Ces formations santoniennes contiennent des algues et des débris de rudistes ainsi que des fragments d'hippuritides, à la base des formations récifales contiennent une microfaune pélagique.

**f- Campanien : marnes et calcaires crayeux.**

Le Campanien est très bien visible aux environs des Djebels Chettaia et Knif et dans le synclinal du Djebel Aurès.

Dans le synclinal du Djebel Aurès le Campanien correspond à 170 m de marnes noires et contient de rares intercalations de calcaires, légèrement phosphatés.

Au djebel Knif, on retrouve à la base du Campanien une séquence calcaire de 12 m d'épaisseur. Ce sont des calcaires crayeux en bancs décimétriques à élément triasique

remaniés (argiles varicolores). Au-dessus, des marnes noires ne dépassent pas 80 m d'épaisseur.

**g- Maestrichtien inférieur :** a dominante marneuse.

Ce sont des formations atteignant une épaisseur estimable à 40 m. se sont des marnes de teinte gris-beige à débris de mollusque, alternant avec des calcaires ocres, beige en bancs décimétriques à débris de lamellibranches, d'échinides et de brachiopodes, inocérames régularis.

**h- Maestrichtien supérieur :** calcaire à Inocérames.

Ce sont des formations calcaireuse. massifs blanchâtres, granuleux, en bancs décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique auprès du Djebel Knif, la cassure des calcaires est un peu plus sombre de teinte grise, bleue, au contraire au Djebel Bardo et Djebel Boutoukhma, les formations d'une centaine de mètres., ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à pluri métriques avec une cassure blanchâtre passées noduleuses et à rognons de silex. Ces formations contiennent des fragments d'Inocérames. L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m.

#### **II -1.6.3.4. Eocène**

##### **a-Montien**

Formation d'une épaisseur de 70 m, présentant des marnes grises verdâtres en concordance sur le maestrichtien.

##### **b-Yprésien et Thanétien**

Ces formations sont d'une épaisseur approximative à 85 m, présente une séquence marneuse grise beige à la base et une séquence carbonatée au sommet. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés.

#### **II -1.6.3.5. Miocène**

##### **II -1.6.3.5.1. Miocène inférieur**

**a- Aquitano-Burdigalien :** conglomérats rouges.

L'épaisseur ne dépasse pas 60 à 80 m il s'agit d'argile rouge, d'argiles silteuses rouges et de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires .cette série ce développe surtout au Sud d'Ain Hammam. Quelques minuscules affleurements de cette formation ont été repérés sur le versant Sud du Djebel Guellif.

**b-Langhien-Serravalien** : marnes biomécrites, biomécrosparites et grés blanc.

Cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud de djebel Knif et à l'Est de Djebel Chettaâ ou il repose directement en transgression sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifkressa. et du Ras Serdoun l'épaisseur de cet ensemble est de 36 m.

### II -1.6.3.5.2 Miocène supérieur

#### a- Tortonien gréseux blanc

Cette formation est composée de grés blancs grossiers en bancs pluri métriques, abondance de dragée de quartz (diamètre allant jusqu'à 2cm).

**b- Tortonien supérieur continental** : argiles silteuses beiges et rouges, grés.

Cette formation affleure aux alentours de Baghai (August compte) 150 m sont ici visible.

**II -1.6.3.6. Pliocène continental** : argiles et conglomérats rouges à la base, calcaire lacustre. marne.

Ces formations constituent les trois-quarts des affleurements du Djebel Guellif et apparaissent aussi Ras Ed Drah. Notant que cette formation est absente dans le reste du bassin de Garaet El Tarf.

### II -1.6.3.7. Quaternaire

■ Qd Formations dunaires (lunettes).

C'est un agglomérat sableux de poussière et de petits débris qu'on trouve au côté Nord - Est de Gareat et Tarf.

■ Villafranchien probable : croûte calcaires massives.

Ces formations, perchées par rapport aux surfaces précédentes. Entaillées par les cycles qui ont suivi

elles correspondent à d'anciens glaciers qui s'abaissent doucement de 920 m au Nord à 870 m en elles correspondent à d'anciens glaciers qui s'abaissent doucement de 920 m au Nord à 810 m en bordure de Gareat et Tarf.

■ Glacis polygéniques nappant les reliefs.

Ces glaciers sont constitués au voisinage immédiat des reliefs par des alternances de couches de cailloutis et blocailles et des colluvions avec un enrichissement en calcaires dans les horizons superficiels couvrant de très vastes surfaces.

■ Terres arables, limons anciens et quaternaire indéterminé.

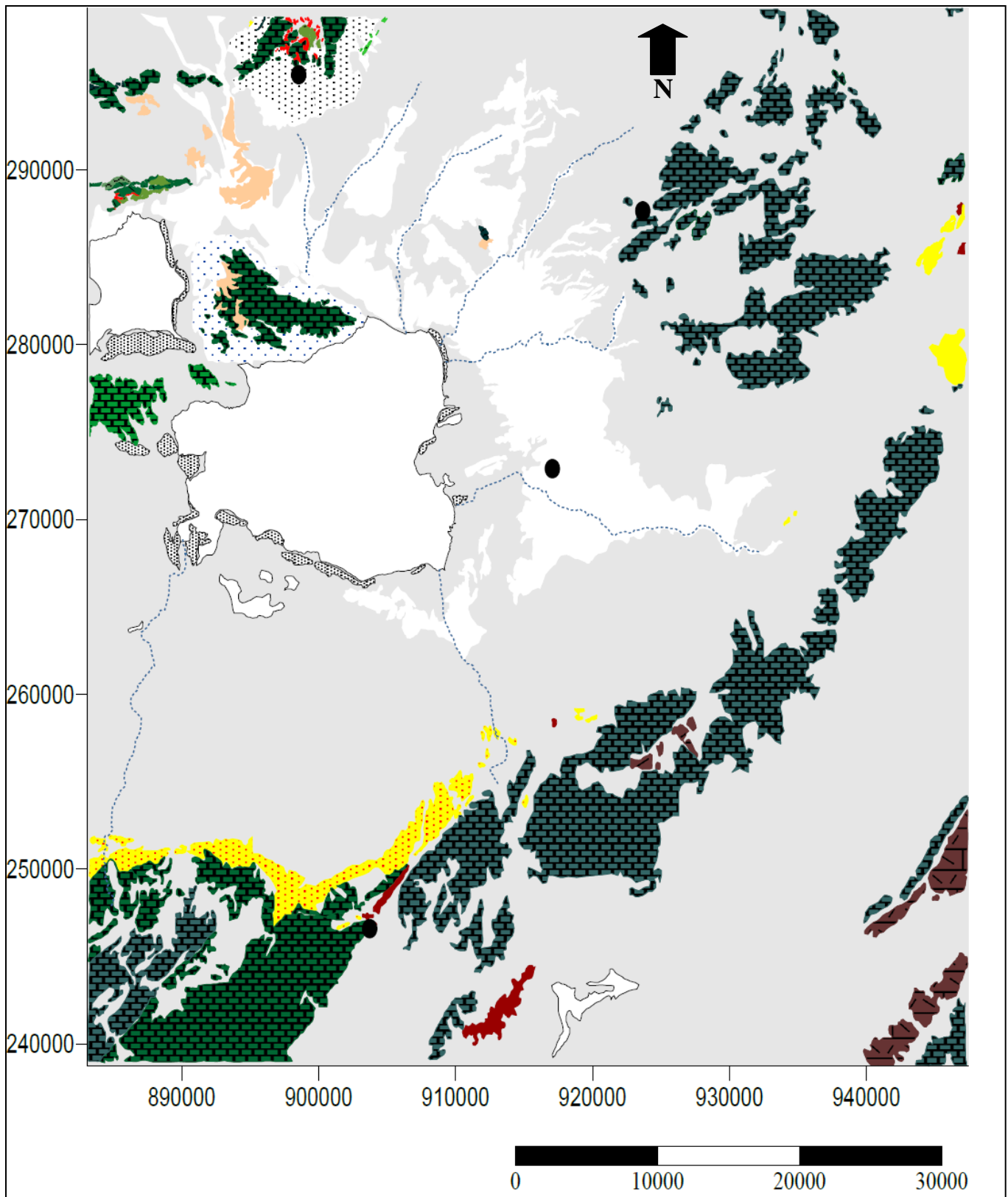
Les terres arables correspondent à des sols bruns non calcaires installés sur des limons anciens bruns ou gris.

■ Alluvions actuelles ou récentes.

Il s'agit de limons gris et de graviers. Sont localisés dans la plaine de Remila et celle de F'kirina les fonds de vallée des oueds septentrionaux et des Faid qui rejoignent la Gareat El Tarf

■ Eboulis à blocs.

Les éboulis sont localisés aux massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela et sur le versant nord du Djebel Tarf. Ils s'installent au pied des corniches calcaires ou gréseuses qui alimentent de vastes nappes d'éboulis.



**Figure .05:** Carte géologique modifiée depuis les cartes au 1.50000 d'Oum el Bouaghi, Ain Beida, Garaet Tarf, F'Kirina, Khenchela et Dalaa (Dib, 2018)



Légende de la carte géologique

**II -1.7. hydrogéologie :**

Le bassin de Garaet El Taref est formé de deux plaines principales qui sont : vers le Sud-Ouest la plaine de Remila dans laquelle, l'aquifère le plus important et le plus exploité est l'aquifère du Mio-quaternaire vers le Nord-Est c'est la plaine de F'kirina qui s'appuie sur l'aquifère du Maestrichtiens (benzatat 2013).

**II -1.7.2. Les différentes aquifères de bassin Garaet El Taref :****II -1.7.2.1 L'aquifère du Quaternaire :**

Cet aquifère possède des propriétés hydrauliques et hydrodynamiques qui diffèrent d'un secteur à un autre.

La puissance des sédiments Quaternaire accumulés et reconnus dans la plaine de Garaet El Tarf, laisse présager que le bassin aurait fonctionné comme une cuvette d'effondrement, et que les couches sous-jacentes ont une position synclinale (DUROZOIY 1949).

Le Quaternaire jouit d'un pouvoir de percolation important imputé probablement et en grande partie à la nature lithologique des terrains superficiels.

Ce privilège lui confère, de surcroître d'une alimentation indirecte, latérale à partir des massifs bordiers et par drainance des eaux de la nappe des calcaires maestrichtiens, un approvisionnement direct par les eaux de pluie récoltées sur tout l'impluvium.

**II -1.7.2.2 l'aquifère du Miocène**

S'allonge le long de la bordure sud du bassin avec une allure synclinale délimitée sous le recouvrement Quaternaire. Son extension limitée au Nord et se termine en biseau. (C.G.G 1970). Il est constitué essentiellement de bancs gréseux avec des intercalations argilo-marneuse peu épaisses, constituent en réalité une roche assez dure et peu perméable.

De ce fait, Cette formation n'est pas suffisante pour qu'une nappe continue puisse s'y développer et ne présente qu'un intérêt local.

**II -1.7.2.3 L'aquifère du Crétacé**

Le maestrichtien supérieur d'une puissance de l'ordre de 150 m est constitué de calcaire blanc, fissuré et fortement diaclase, Ces calcaires sont visible aux Djebels, Tafrent, Boutoukhma, et Fedjidjet.

ils forment une aréole de l'ordre de 8 km<sup>2</sup>, créant ainsi de notable zones d'alimentations. La perméabilité de ces calcaires est attribuée à une fissuration bien développée. La faible pente du terrain et le ruissellement restreint des eaux

superficielles montrent bien que les calcaires du Maastrichtien supérieur possèdent un grand coefficient d'infiltration.

Ils forment une aréole de l'ordre de 8 km<sup>2</sup>, créant ainsi de notables zones d'alimentation. La perméabilité de ces calcaires est attribuée à une fissuration bien développée. La faible pente du terrain et le ruissellement restreint des eaux superficielles montrent bien que les calcaires du Maastrichtien supérieur possèdent un grand coefficient d'infiltration.

### **II -1.7.1. Les différentes nappes de bassin Garaet El Taref:**

#### **II -1.7.1.1. La nappe superficielle du Mio-quaternaire :**

La nappe superficielle du Mio-quaternaire est importante en raison de son extension en long et en large dans toute la plaine de Garaet El Taref. Il s'agit d'un aquifère de remplissage Mio- quaternaire (alluviale et gréseux). Largement capté par de nombreux puits paysans dont la profondeur varie de 5 à 30 m.

La puissance de la nappe varie de 10 à 100 m (DUROZOIY 1949), selon la profondeur du substratum marneux et l'importance du remplissage Mio-quaternaire dans la dépression ou les zones érodées.

#### **II -1.7.1.2. La nappe profonde du Maastrichtien supérieur**

Cette nappe se situe dans les calcaires du Maastrichtien supérieur, constituant ainsi un aquifère important dont l'épaisseur est de l'ordre de 200 m (DUROZOIY 1949). Cet aquifère a été reconnu par un certain nombre de forages qui le captent.

L'importance hydraulique des calcaires Maastrichtiens est à l'origine de nombreuses sources dont les points d'exurgences se situent sur des failles ou au contact des marnes sous-jacentes sur les versants de Djebel Boutokhma, Djebel Tafrent et Fedjijet (DUROZIOY 1949) et Djebel El-Krouma (VTLA 1991).

Les calcaires Maastrichtien s'étendent du SSW au NNE, selon un massif bordier alimentant ainsi toute la plaine de Garaet El Taref.

Cette nappe est actuellement exploitée par des forages destinés à l'AEP des villes comme Khenchela, Ain El Beida et à l'irrigation de la plaine de F'kirina et M'toussa, elle constitue le château d'eau de la région.

### II -1.8. Climatologie :

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des paramètres climatiques relevés sur plusieurs décennies permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants : (les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement), qui conditionnent ce bilan.

#### II -1.8.1. Caractérisation du climat (indice ombrothermique)

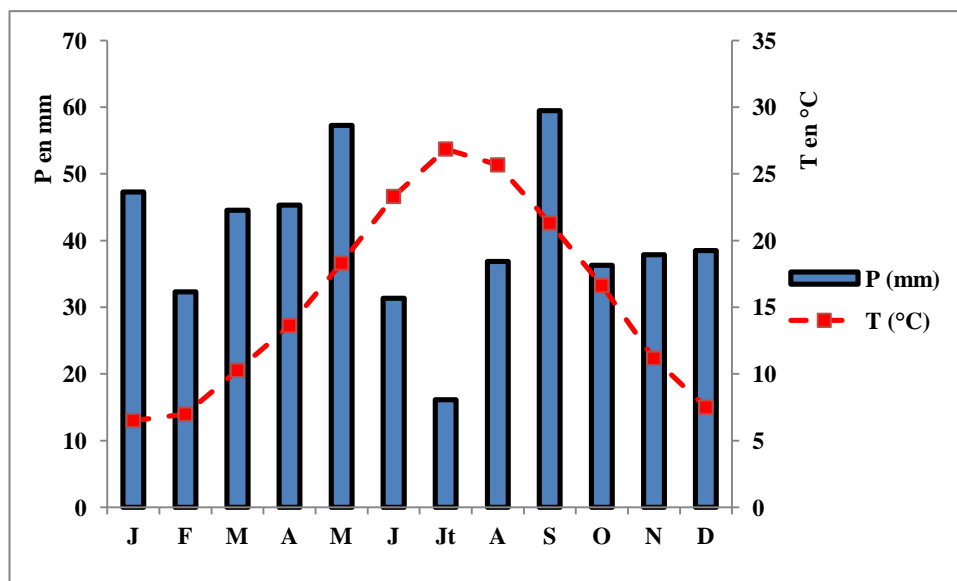
D'après la courbe Ombro-thermique, on peut distinguer la période humide et la période sèche.

Selon Gaussen une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales inférieures ou égales au double de la température :  $P \leq 2T \rightarrow$  période sèche.

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double des températures :  $P=2T$

Avec ; P : précipitations moyenne mensuelle en mm

T : température moyenne mensuelle en °C.



**Figure .06:** Diagramme Ombrothermique selon les données moyennes de la période 1995-2015

L'analyse du diagramme nous permet de distinguer :

Pour la wilaya de Khenchela, nous constatons un allongement de la période sèche qui s'étale de Mai jusqu'à Aout, elle coïncide avec la période la plus chaude (été), et une période humide plus longue qui commence d'octobre et se prolonge jusqu'à le mois de Mai Elle est caractérisée par un hiver froid où la température minimum du mois le plus froid est de 12° C en janvier.

### II -1.8.2.Bilan hydrologique :

Le bilan hydrique correspondant à une équation entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la région étudiée, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évaporation. Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

**P** : Précipitation annuelle en mm.

**ETR** : Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

**R** : Ruissellement en mm.

**I** : Infiltration annuelle en mm.

#### II -1.8.2.1.Estimation de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) :

Selon Penman (1956), l'évapotranspiration potentielle est définie comme: l'évaporation à partir d'une surface de gazon court, poussant activement, recouvrant totalement le sol de hauteur uniforme et bien pourvue en eau. C'est-à-dire que l'ETP est l'évapotranspiration maximale d'un couvert végétal. A partir des expériences réalisées sur des lysimètres, Thornthwaite (1954) considère que pour des étendues de surface assez vastes et des pas de temps assez longs, le facteur le plus prépondérant pour l'ETP est la température. La formule qu'il propose s'écrit:

$$ETP = 16[10T/I]^a K \text{ (mm)}$$

Avec :

**I**: indice thermique annuel:  $I = \sum I$

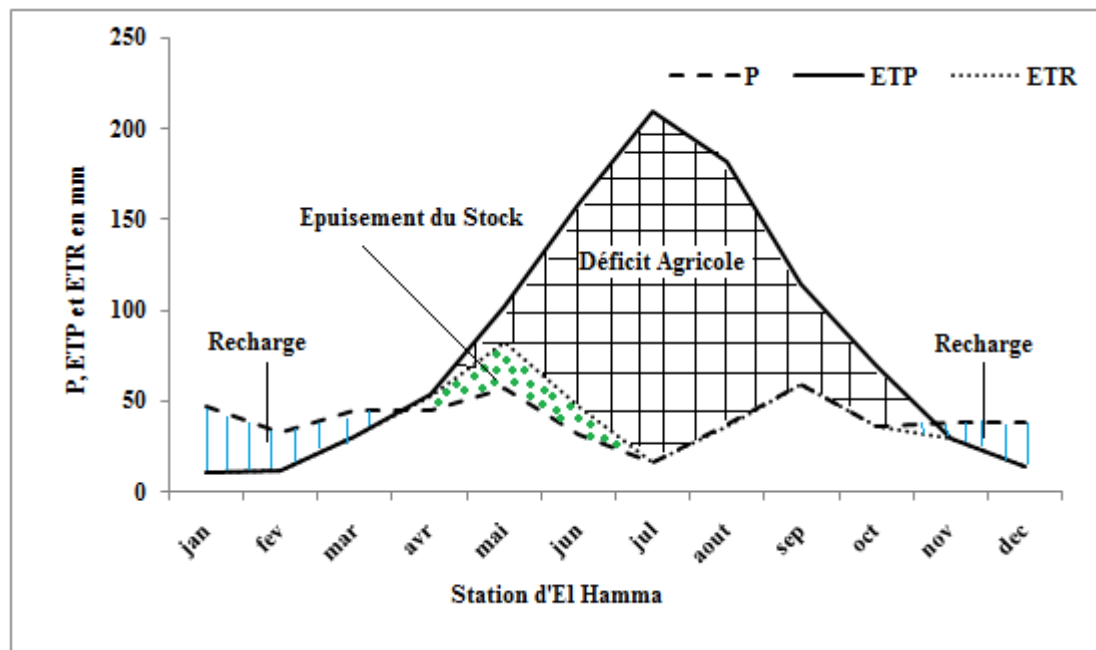
$i$  : indice thermique mensuel :  $i = (T/ 5)1.514$

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

$a$  : coefficient, tel que  $a = 0.016.I + 0.5$ .

**Tableau .03:** Calcul des termes du bilan hydrique de la station d'El Hamma(Dib ,2018)

Station d'El Hamma 1995-2015	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aout	sep	Oct	nov	dec	Annuel
<b>P mm</b>	47,3	32,3	44,5	45,3	57,3	31,3	16,1	36,9	59,5	36,3	37,9	38,5	483,1
<b>T °C</b>	6,5	7,0	10,3	13,6	18,3	23,3	26,9	25,7	21,3	16,6	11,2	7,5	
<b>Ij</b>	17,0	18,9	34,0	52,2	81,6	117,6	145,8	136,1	102,7	70,5	38,6	21,1	
<b>F (35°)</b>	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	
<b>ETPc mm</b>	11,3	12,5	30,5	54,0	102,5	158,9	209,1	181,6	115,0	69,0	29,7	14,3	
<b>P-ETP</b>	36,0	19,8	14,0	-8,7	-45,3	-	-	-	-55,5	-32,7	8,2	24,2	
<b>ETR</b>	11,3	12,5	30,5	53,3	82,5	46,9	17,3	36,9	59,5	36,3	29,7	14,3	430,9
<b>RFU 50 mm (ST)</b>	50	50	50	42,0	16,8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	32,4	
<b>delta ST</b>	17,6	0,0	0,0	-8,0	-25,2	-15,6	-1,1	0,0	0,0	0,0	8,2	24,2	
<b>Déficit</b>	0	0	0	0,7	20,0	112,0	191,8	144,7	55,5	32,7	0	0,0	557,5
<b>Excédent</b>	18,4	19,8	14,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	52,2



**Figure 07:.** Bilan hydrique moyen de la période 1995-2015(Dib, 2018)

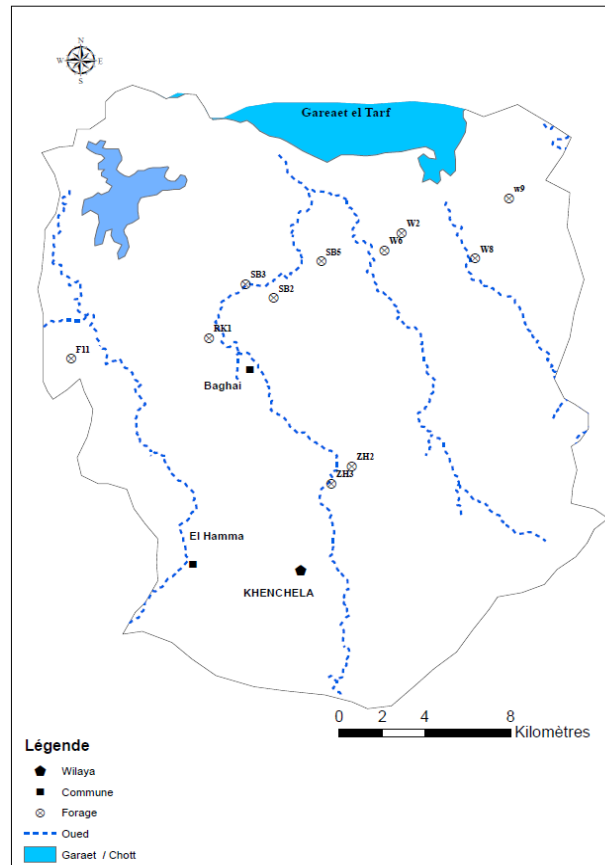
Les résultats obtenus du bilan hydrique de C.W.Thornthwaite de la station d'El Hamma illustrés dans le tableau précédent et les graphismes ci-dessous, nous ont permis de tirer les observations suivantes :

- La région d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de (483,1mm) et une température moyenne annuelle de 15,6 °C.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) atteint son maximum au mois de juillet (209,1 mm) et son minimum au mois de janvier (11,3 mm).
- L'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de 430,9 mm
- Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est pleine, il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'il sera carrément vide, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant du mois de Juin jusqu'au mois de novembre avec une moyenne annuelle de (557,5 mm).
- La reconstitution de la RFU s'effectue maximum au mois jan, fév et mars (50 mm). elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de Juillet jusqu'à au octobre.
- L'excédent annuel est égal à (52,5 mm).

Le climat de la région d'étude est typiquement est semi-aride (Hiver froid et Eté chaud). Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 501.53mm. La variation de température moyenne annuelle est de 15.6 (C°), avec un maximum de 26.99C au Mois de juillet et un minimum au mois de janvier 11.3C°. l'évapotranspiration réelle (ETR) est de l'ordre de 483,1 mm ce qui représente 96,6 % des précipitations moyenne annuelles.

## **II -2.présentation Points de prélèvements :**

Dans la région Garaet el teref les eaux destinées majorités pour l'irrigation ainsi pour l'alimentation en eau potable, proviennent surtout des eaux souterraines. Dans le cadre de cette étude, on a effectué un échantillonnage aléatoire dans la région de Garaet el teref au niveau de 12 points d'eaux souterraines.



**Figure 08:** présentation de point de prélèvement

### II .3.travaux de laboratoire :

Pour étudier la synthèse hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Garaet El Taref nous avons effectué des sorties de reconnaissance du site au cours desquelles nous avons sélectionné les forages et à étudier des mesures physico-chimiques. 12 échantillons sont prélevés et analysés afin de comprendre l'origine et l'évolution de la qualité d'eau. Nous nous sommes intéressés aux éléments chimiques fondamentaux ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CL}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) son analyse a été effectuée au laboratoire de l'université de Oum El bouaghie le prélèvement de l'échantillon par nous même au mois d'avril 2017.

#### II .3.1. Mesures Electrochimie

Six paramètres physico-chimiques (T, pH, ORP, conductivité,  $\text{O}_2$  et Salinité) sont mesurés immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multiparamètres de type *Horiba*. Les valeurs de Conductivité (CE) sont exprimées en mS/cm pour les eaux minéralisées et en  $\mu\text{S/cm}$  pour les eaux faiblement minéralisées.

**II .3.2.Analyse des cations et anions majeurs**

Les échantillons d'eaux naturelles prélevés au cours de la période de suivi ont été analysés au laboratoire de ressources naturelles et aménagement des milieux sensibles de l'université d'Oum el Bouaghi. Les analyses ont porté sur les éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ). La teneur en bicarbonates a été déduite après la détermination de l'alcalinité par méthode titrimétrique à l'acide sulfurique 0.02N en présence des deux indicateurs colorés : le phénolphtaleine et le méthyl orange. L'analyse des échantillons vis-à-vis de ce paramètre a été effectuée dans un délai qui n'a jamais dépassé les 24 heures.

Les alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) ont été déterminés par complexométrie à l'Éthylène diamide tétra-acétique (EDTA) en présence de noir et de bleu d'Eriochrome et en présence de solution tampon. La méthode de Mohr était le moyen de révéler la teneur des eaux en chlorures, en présence de chromates de potassium, la solution de nitrates d'argent à 0.0282M réagit avec les ions chlorures, à la fin de la réaction une couleur rouge caractéristique indique la précipitation de tout les ions chlorures sous forme de chlorure d'argent.

Les autres paramètres sont déterminés par les méthodes spectrophotométriques : Le  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme après étalonnage de l'appareil en utilisant des solutions à teneurs connues de NaCl et KCl respectivement. Les nitrates de par leur sensibilité ont été mesurés par spectrophotométrie UV- Visible en présence de salicylate de sodium dans des préparations en tubes de marque HACH. Enfin les sulfates qui ont été mesurés par deux méthodes selon leurs teneur : la méthode spectrophotométrique en présence de chlorure de baryum et la solution de tween20 pour les teneurs faibles en sulfates et la méthode gravimétrique avec pesage du précipité pour les teneurs assez importantes. La balance ionique entre cations et anions majeurs a été vérifiée afin de ne pas dépasser une erreur de 5-10%. Quelques rares échantillons présentant des balances supérieures à cet intervalle ont été éliminés. **(Dib, 2018).**



**Introduction :**

Dans ce chapitre on tente à atteindre nos objectifs qui concernent la détermination de l'origine de la salinité des eaux dan la région d'étude nous avons effectuée une caractérisation complète ainsi que l'utilisation de différents diagrammes et des rapports caractéristiques et cartographie de la salinité .

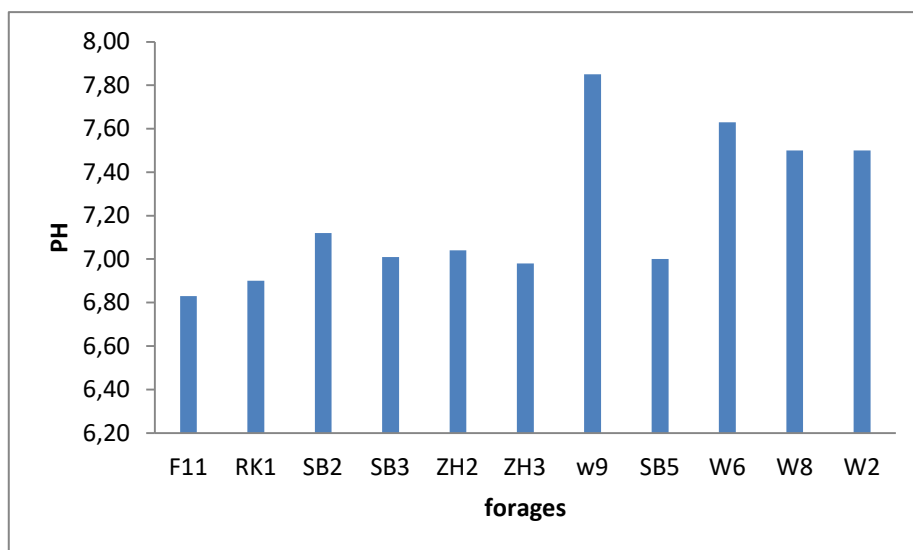
**Tableaux 04:** Statistiques descriptives des résultats d'analyses physique-chimique

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne
Ph	11	6,83	7,85	7,21
CE	11	1300,00	2060,00	1577,27
Ca <sup>2+</sup>	11	48,00	134,00	84,70
Mg <sup>2+</sup>	11	2,00	135,00	41,58
Na <sup>+</sup>	11	72,58	389,30	226,44
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11	33,00	435,68	157,23
Cl <sup>-</sup>	11	115,00	640,42	355,23
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11	10,87	270,00	159,58
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11	0,00	41,99	7,93

**III.1. .Evolution spatiale des différents paramètres :**

**III.1.1. Potentiel hydrogène (pH)**

Le pH des eaux des échantillons varie entre 7,5 et 7,85 donc, tous les points d'eau présentent un pH neutre, ces valeurs dans les normes fixer par l'OMS ( $6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$ ) La région possède un caractère neutre comme la figure indique.



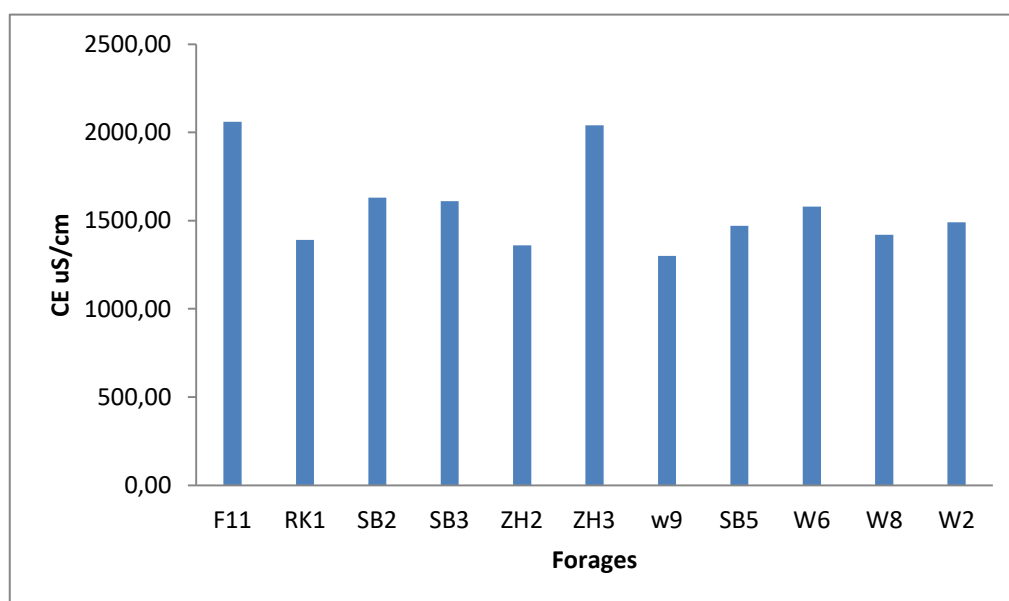
**Figure N°09 :** les variations de pH des eaux (mai 2018).

**III.1.2. Conductivité électrique**

La conductivité électrique d’une eau est la conductance d’une colonne d’eau comprise entre deux électrodes métallique de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l’une de l’autre de 1 cm. (Rodier et all., 2009).

**Tableau n°5:** relation existant entre la minéralisation et la conductivité mesurée.

Conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C	Minéralisation de l’eau
<450	Très faible
450 – 750	Faible
750 – 1500	Moyenne
1500 – 2300	Moyennement élevé
2300 – 3000	Élevée
>3000	Très élevé



**Figure N°10 :** Les variations de CE des eaux (mai 2018).

La conductivité électrique dépend du substrat géologique traversé ainsi que la température, phénomène d’évaporation, qui joue un rôle d’augmentation de concentration des sels dans l’eau. La conductivité électrique des eaux de région de Garaet el Taref, varie entre 1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2060  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (fig10.). Ce sont des eaux qui présentent une minéralisation moyenne et fort .

### III.2. Caractéristiques chimiques des eaux

#### III.2.1. Teneur des cations dans l'eau

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

Le calcium est un des éléments les plus répandus dans la nature. il existe à l'état de nombreux gisements de calcaire, de craie, de marbre, qui tous sont des variétés naturelles du carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ . on trouve également de grandes quantités de gypse (pierre à plâtres)  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , de phosphorite  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  et de différents silicates contenant du calcium.

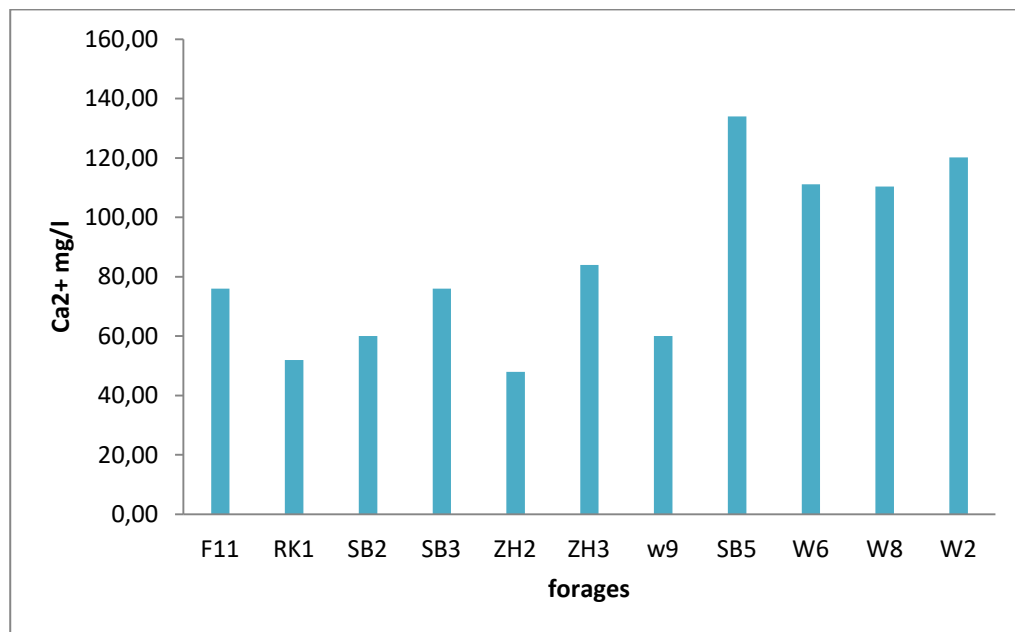
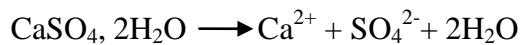
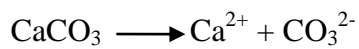


Figure N°11 : les variations de  $\text{Ca}^{2+}$  des eaux (Mai 2018).

Le taux de  $\text{Ca}^{2+}$  atteint 134,00 mg/l qui présente une concentration moyenne ainsi le reste à échantillons noter que a des concentration inférieure la limite souhaitable du calcium pour l'eau potable (75 mg/l). (OMS, 2008).

b) Le Magnésium  $Mg^{++}$ 

Le magnésium est fort répandu dans l'écorce terrestre. On trouve l'état naturel de grandes quantités de carbonate de magnésium qui constitue la minérale magnésite ( $MgCO_3$ ), ainsi que la minérale dolomite ( $MgCO_3.CaCO_3$ ). Il constitue 2.1% de l'écorce terrestre (Rodier, 2009).

Ses origines sont comparables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).

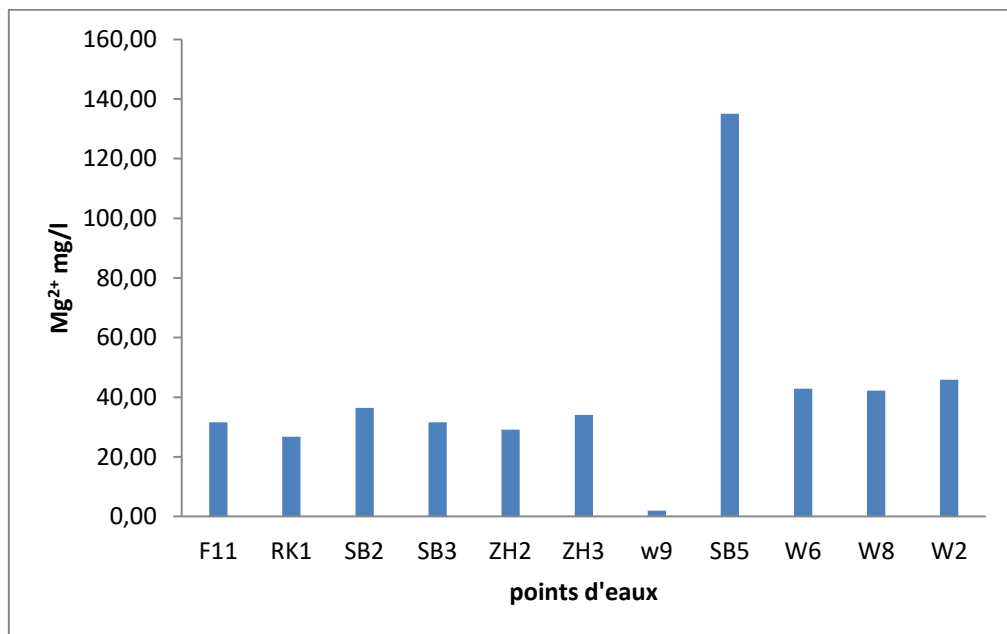
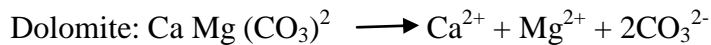


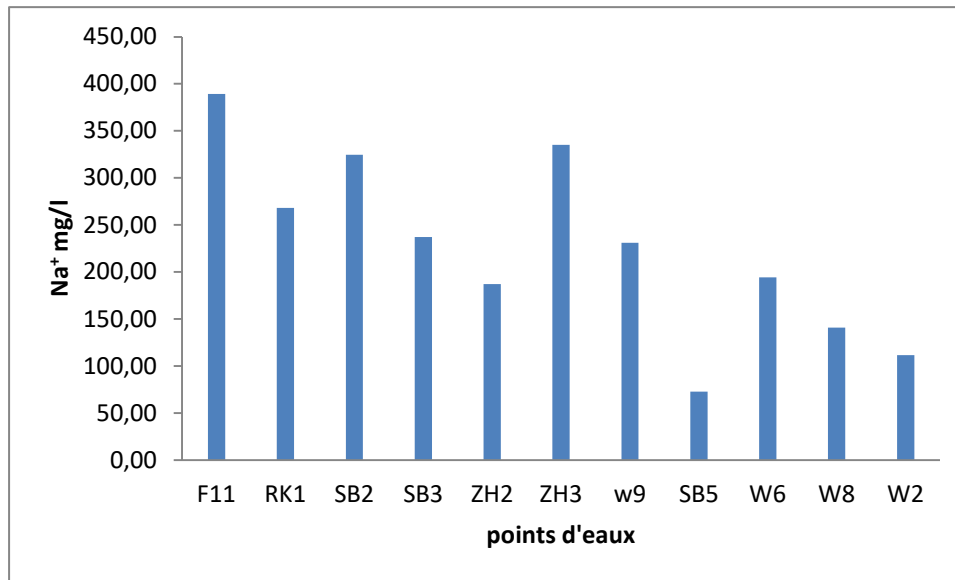
Figure N°12: les variations de  $Mg^{2+}$  des eaux (Mai 2018)

Le taux de magnésium dans la Garaet El Taref est de l'ordre de 135mg/l. Les forages les plus proches de la Garaât (W6, W8 et W2) ayant des concentrations élevées (42.84, 42.18 et 45.84 mg/l respectivement) influencés par les apports de cette dernière, mais il reste à noter que la moitié des forages ne dépassent pas la limite souhaitable du magnésium pour l'eau potable (50 mg/l) (OMS, 2008).

L'interprétation de cette variation des valeurs est que ces concentrations indiquent que la teneur en Magnésium est influencée par le passage des eaux à travers les roches sédimentaires

### c) Le Sodium $\text{Na}^+$

C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité de ses sels est très élevée. Il provient du lessivage des formations géologique riche en  $\text{NaCl}$  (Gaagai, 2006).. En agriculture, le composé du sodium le plus important est le chlorure de sodium. Le sodium constitue un élément de maintien de la perméabilité du sol.



**Figure N°13** : les variations de  $\text{Na}^+$  des eaux (Mai 2018).

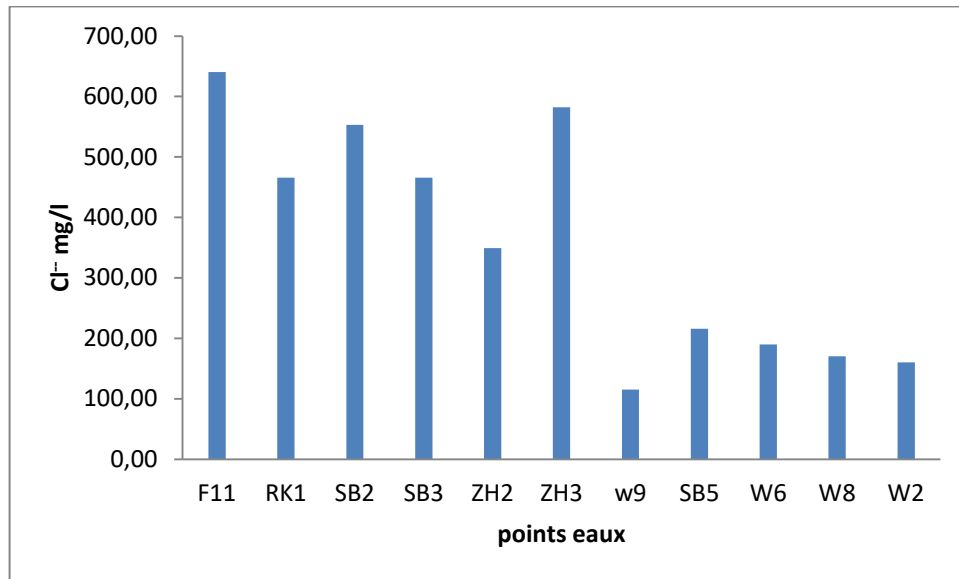
Les faibles teneurs sont enregistrées au niveau de la majorité des puits ce qui explique que il y'a un contamination des eaux phréatique.

les forages ayant des teneur de sodium (F11, SB2 et ZH3) ont les concentrations les plus élevées (389,3 ; 324,84 et 335,18 respectivement).

### III.2.2. Teneur des anions dans les eaux

#### a) Les Chlorures $\text{Cl}^-$

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (norme d'O.M.S) (Rodier, 2009).

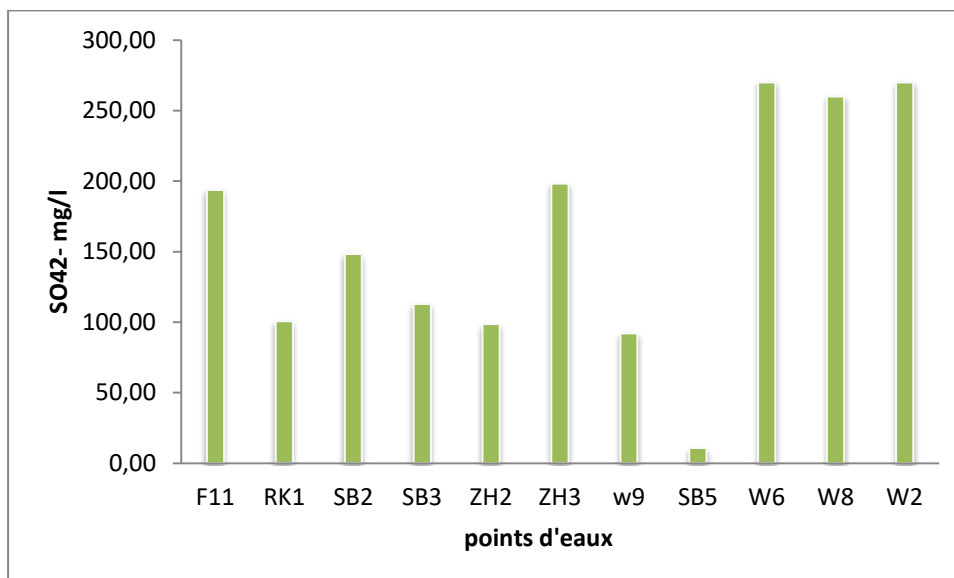


**Figure N°14** : les variations de Cl<sup>-</sup> des eaux (Mai 2018)

La teneur en chlorures des échantillons est comprise entre 115,000 mg/let 640,42mg/l. La variation spatiale de la concentration des chlorures est significatif et peut être expliquée par la nature des terrains traversés car les eaux provenant des endroits périphériques ne sont pas très riches en chlorures.

#### **b) Les Sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>**

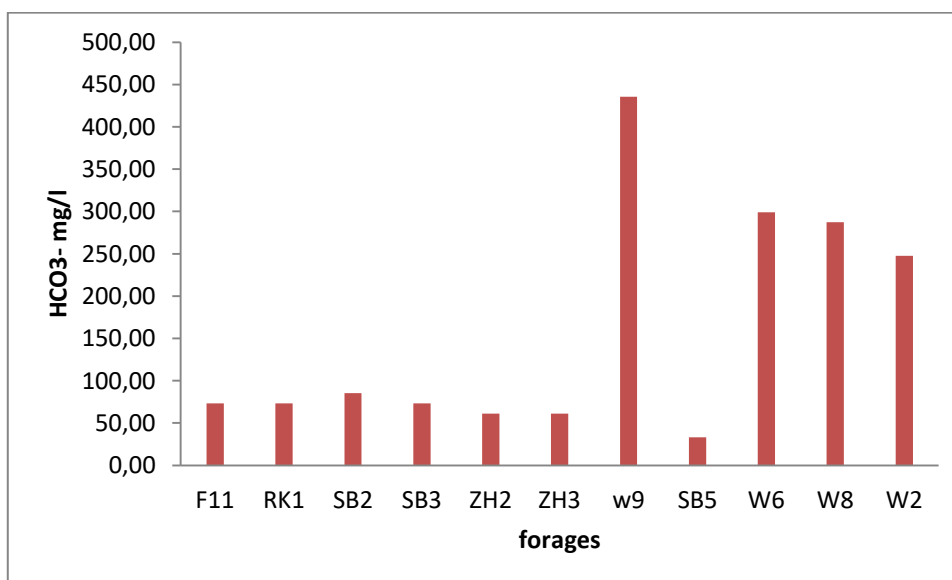
La teneur en sulfates varie entre 98,50 et 270,00 mg/l, la majorité des concentrations en sulfate sont au-dessus de la norme de l'OMS (250mg/l) sauf les forges le plus proches a la garaet (W6,W8 et W2) les concentration atteindre respectivement (270,260 et 270 mg/l) . Donc la présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses et la dégradation de la matière organique dans le sol ainsi qu'à l'apport anthropique (origine agricole).(Rodier, 2009).



**Figure N°15:** les variations de  $\text{SO}_4^{2-}$  des eaux (Mai 2018).

### c) Les Bicarbonates $\text{HCO}_3^-$

Les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. L'apport atmosphérique de cet élément est négligeable (Lakhdari, 2012).



**Figure N°16:** les variations de  $\text{HCO}_3^-$  des eaux (Mai 2018).

La teneur en Bicarbonates varie entre 61,00 et 435,68 mg/l, les des concentrations le plus élevée dans les forges le plus proches a la Garaât El Taref (W6,W8, W2 et W9).

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

Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans les couches de sol et par la décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse et/ ou naturels. Dans le domaine aquatique, l'azote existe sous forme moléculaire ( $\text{N}_2$ ) ou ionisée : Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ainsi que sous forme organique dissoute ou particulaire (protéine, acides aminés, urée)(Rodier, 2009).

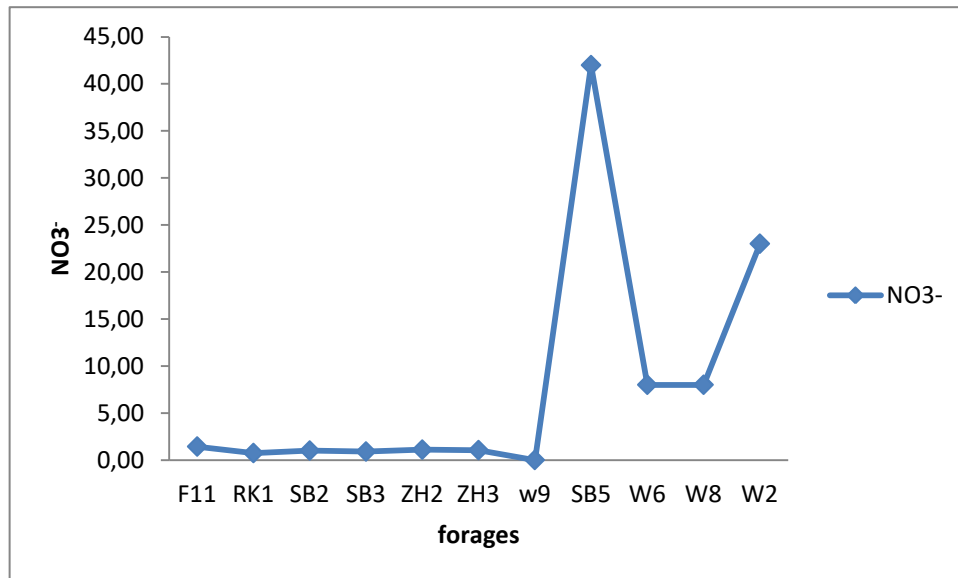


Figure N° 17: les variations de  $\text{NO}_3^-$  des eaux (Mai 2018).

la teneur en nitrates (fig.17), varient entre 0 mg/l a 41.99 mg/l, les valeurs les plus élevées se situe plus proche de Garaet.

### III.3.Caractérisation des eaux prélevés :

#### III.3.1.Faciès chimique des eaux :

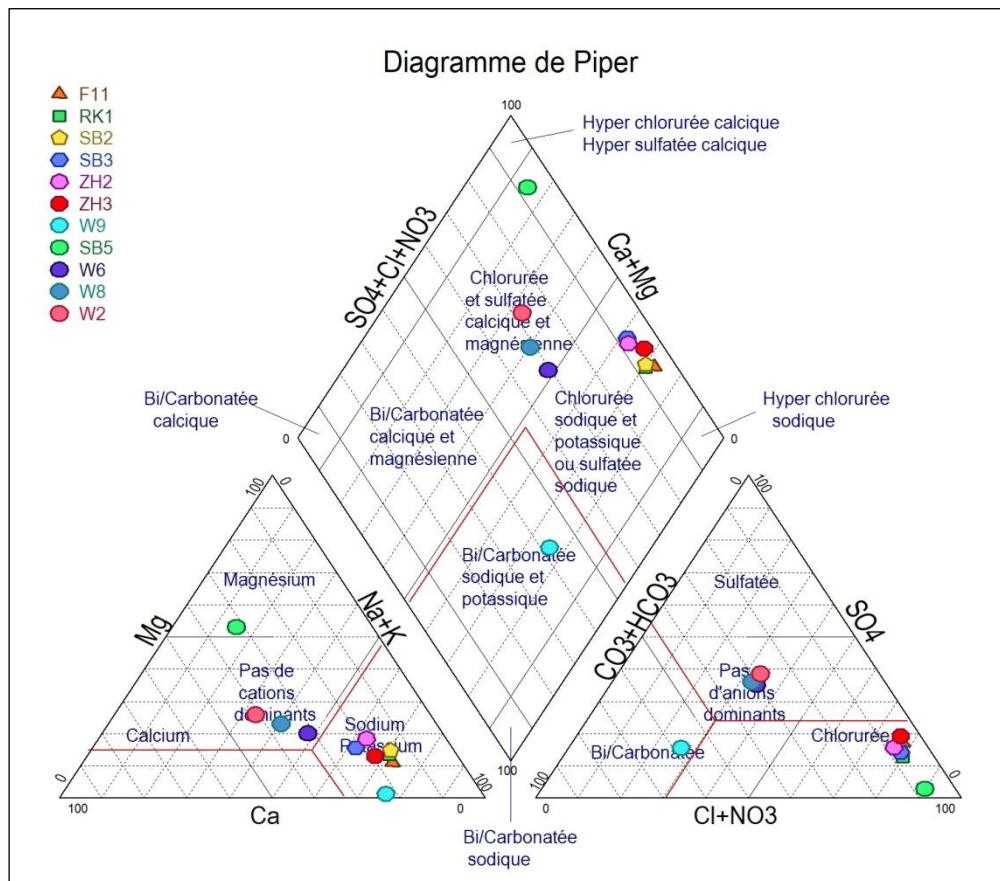
Les faciès chimiques, d'après Jaekli (1970), sont fréquemment utilisés en hydrogéologie pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles. On les détermine par le calcul des quantités en réaction (conversion des concentrations en méq/l ou mg/l, et en tenant compte de la classification des ions (formule ionique).

A partir les résultats des analyses chimiques des différents points d'eaux, les diagrammes ( Piper (1944) , SHOELLER et BERKALOFF (1935-1938)) permet d'avoir déterminer les Faciès chimiques des eaux souterraines de la région Garaet El Taref .

III.3.1.1. Diagramme de Piper:

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles témoignant les teneurs relatives en chacun des ions par rapport au total des ions. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle (**Belhamdou ,2013**).

La répartition relative des ions majeurs dans les eaux naturelles( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) peut alors être projetée sur un digramme tri linéaire (Piper,1994. Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux naturelles. Il permet également de voire l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce a des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents



**Figure n °18:** Représentation sur diagramme de Piper des compositions en éléments majeurs des eaux de la de la zone d'étude.

Le diagramme tracé pour les eaux souterraines confirme la dominance du faciès dans la majorité des points de la zone d'étude « Chlorure sodique et potassique ou sulfatée sodique »,mais les points le plus proche au Garaet a du faciès «Chlorure et sulfatée calcique et magnésienne »permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions  $SO_4^-$  et  $Na^+$

**III.3.1.2 Diagramme de répartition des éléments chimique (Stabler)**

Ce diagramme de périmètre d'identifier les ions cationiques le plus dominantes pour nos eaux (fig,19).d' après les resultats de Stabler, nous remarquons que dominant pour les cations sont celle de  $Na^+$  ,viens en deuxième lieu le  $Ca^+$  .Mais pour les Anions on remarque la dominance  $Cl^-$  du ,apres viens le sulfate dans les forages W2,W6,W8 et W9 .

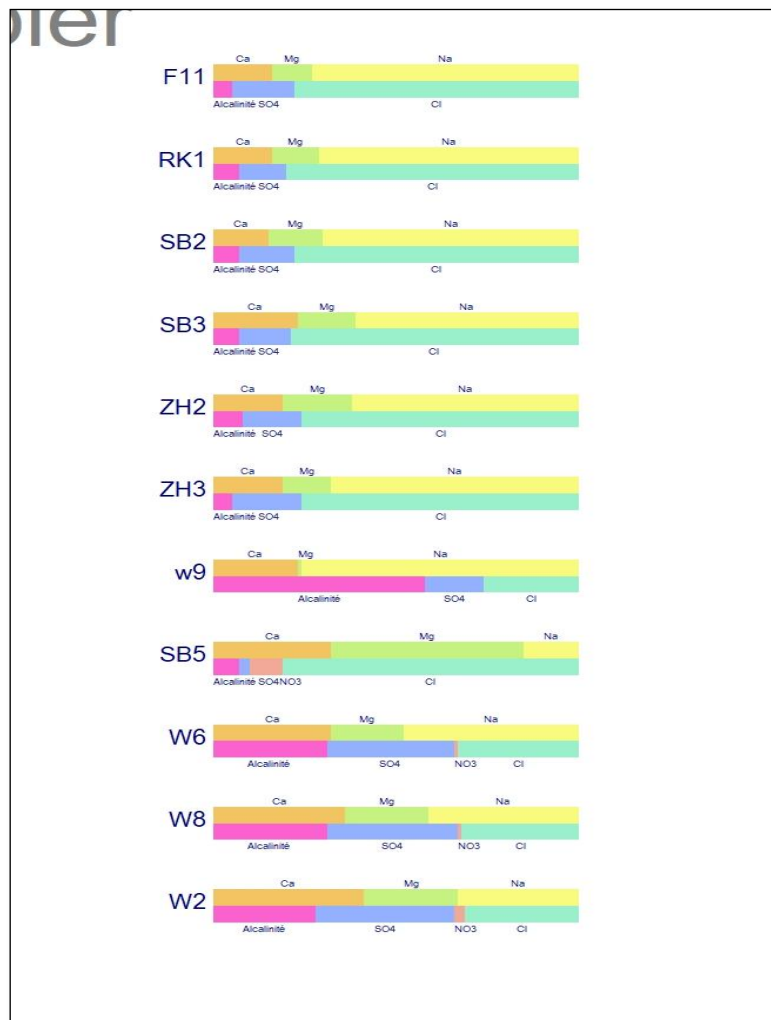


Figure n°19: diagramme de stabler

### III.4. Classification des eaux d'irrigation:

Pour la classification des eaux d'irrigation on a utilisé le diagramme de Wilcox, ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux souterraines sur leur aptitude à l'irrigation.

#### III.4.1 Méthode de sodium absorption ratio (SAR)

Le SAR c'est la capacité d'absorption du sodium permet d'appréhender les risques de salinisation en sel NaCl induit par l'irrigation, le sar indique l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction de cet indice croisé.

$$SAR = \frac{NA}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)}{2}}} \text{ (mg/l)}$$

Quatre classes de risque alcalin ont été défini en relation avec le risque salin (**Clément et Galand ,1979**) :

S1 risque faible S.A.R  $\leq 10$

S2 risque moyen  $10 < S.A.R \leq 18$

S3 risque élevé  $18 < S.A.R \leq 26$

S4 risque très élevé S.A.R  $> 26$

Les résultats de calculs de SAR varie entre (6.25 a 53.07 ) permettent de classer les points d'eau dans la catégorie des eaux a faible risque S1 et risque très élevé S4

### III.5. Classification de Wilcox

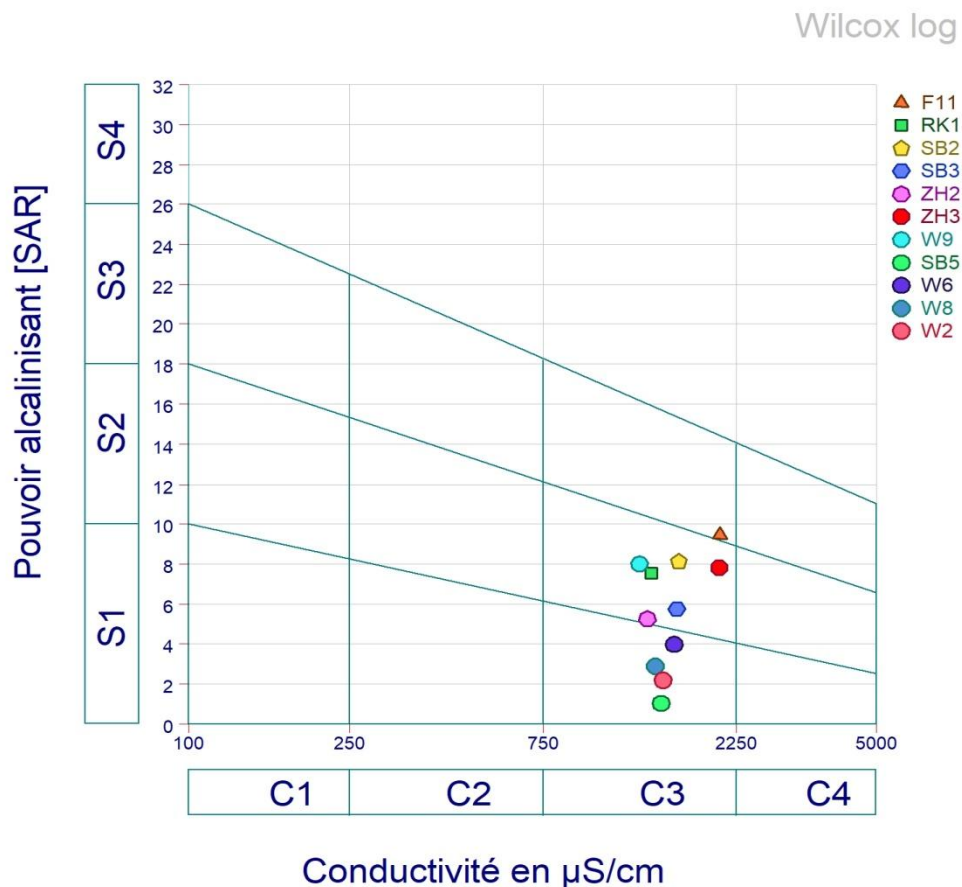
La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage, est définie par la relation :

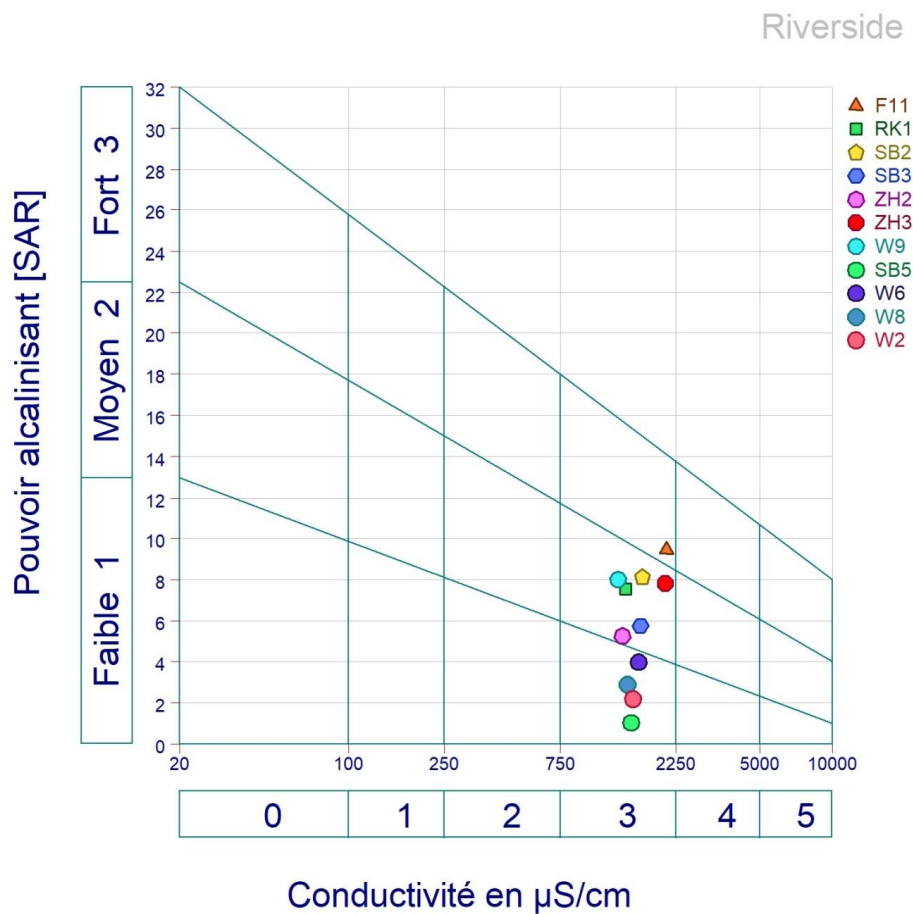
$$\%Na = (Na + Mg)/(Ca + Mg + Na + k) \times 100$$

Cette classification définit cinq classes d'eau : excellente, bonne, admissible, médiocre, mauvaise. (**Fadel et all, 2004**) Les résultats des calculs obtenus sont classés dans le tableau au dessous :

Tableau n°06: Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation(méthode de SAR).

Degrés	Qualité	Classes	Etat d'utilisation
1	Excellente	C1 – S1, C1 – S2	Utilisation sans danger pour l'irrigation des cultures et même pour les sols
2	Bonne	C2 –S1,C2 –S2	Convenable pour des plantes qui ont une tolérance aux sels (générer des problèmes pour les argiles)
3	Admissible	C3 – S1, C2 – S3, C3 –S2	La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainés
4	Médiocre	C4 – S1, C2 – S1,C3 – S3	Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité)
5	Mauvaise	C3 – S4, C4 – S3, C4 – S4	Inutilisable





**Figure n° 20:**Diagramme Wilcox /Riverside de l’eau souterraine de la zone d’étude.

L’interprétation des résultats selon les diagrammes de Wilcox /Riverside et le tableau montre que totalement les point d’eau sont dans les classements C3S1(SB2,W9,SB5,W6,W8,W2) et C3S2(SB2 ,RK1,SB3, ZH2, ZH3, ) , où les eaux présentent un pouvoir d’alcalinité moyenne, cette classe donnée une eau admissible(La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérable aux sels sur des sols bien drainé) et d’eau de point F11 sont eaux médiocre ces eaux sont situées dans la classe C3S3( Eau fortement minéralisée, utilisée seulement pour des plantes très résistantes aux sels (sols de bonne perméabilité) On peut dire que la plus grande partie des eaux de la plaine sont acceptables et peuvent être exploitées pour l’irrigation.

**III.6. Etude des rapports caractéristiques et origine de la salinité :**

Deux rapports caractéristiques sont utilisés pour déterminer l'évolution des éléments chimiques en fonction de la conductivité.

**III.6.1. La relation  $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$  – conductivité électrique :**

Nous constatons ici Deux zones sont observés dans ce rapport (fig. 21) : l'un carbonaté caractérisé par une dominance des ions  $\text{HCO}_3^-$  et des conductivités inférieures à  $2000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , il rassemble la majorité des points 95 %, et l'autre représente , l'autre évaporitique et affirme une dominance des ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ce zone apparaît pour les fortes conductivités ( $> 2000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) , il englobe (5 %) de points d'eau .

Ce graphe (fig. 21) nous permet de dire que la conductivité pour des valeurs faibles ( $< 2000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) où il n'y a pas de formation évaporitique est liée aux ions bicarbonates. Par contre lorsqu'elle dépasse  $2000 \mu\text{S.cm}^{-1}$  la conductivité devient liée plus aux ions évaporitiques ( $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

**III.6.2. La relation  $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$  - conductivité électrique:**

Ce rapport nous permet de déterminer la manière selon laquelle évolue la dissolution des ions évaporitiques ( $\text{Na}^+$  marqueur de l'halite et  $\text{SO}_4^{2-}$  marqueur du gypse) en fonction de la conductivité. Le report des points sur le graphique (fig.22) nous montre que la totalité des points présente un rapport supérieur à 1, indiquant une dominance des ions salifères par rapport à ceux des gypses. Une relation linéaire de ce rapport en fonction de la conductivité a été présentée pour la majorité des points selon la relation suivante :

$$R (\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}) = 0,002 \text{ conductivité} + 8,786$$

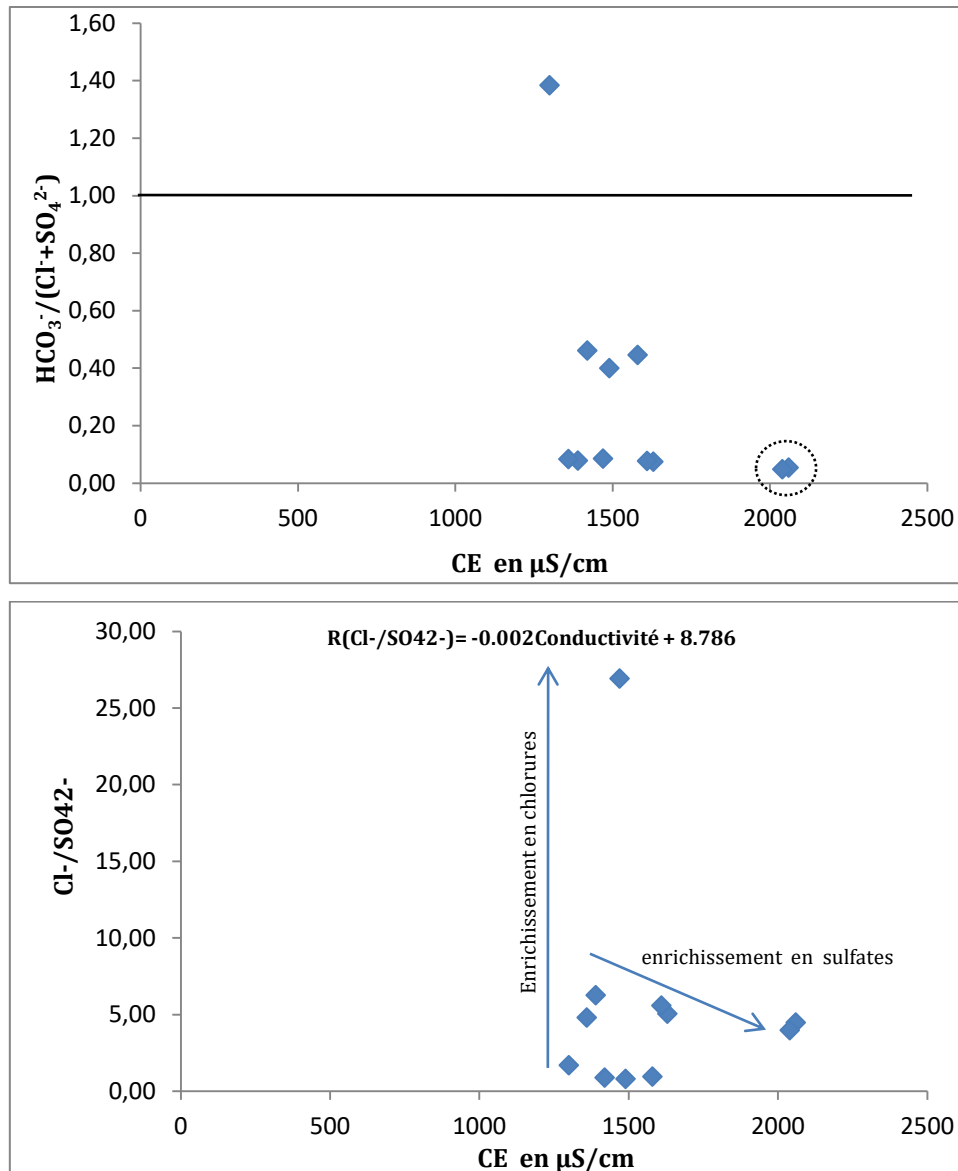


Figure.21 : L'origine de la salinité en fonction des rapports caractéristiques

**III.7. Analyse de la matrice des corrélations :**

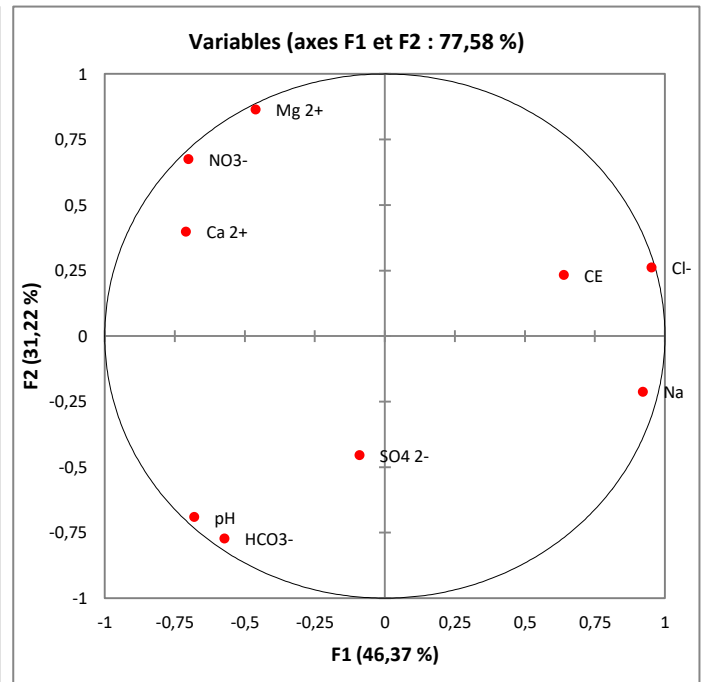
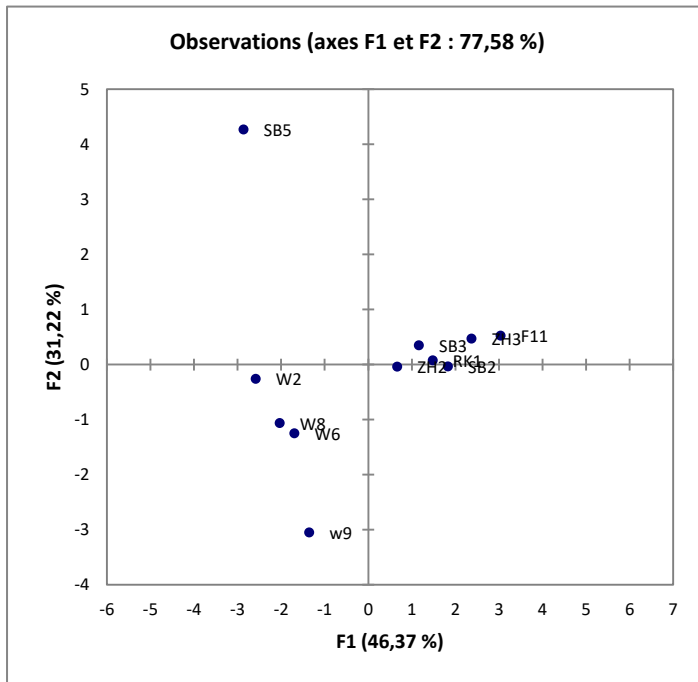
Le tableau (07) présente les différentes corrélations entre les variables deux a deux, le coefficient de corrélation significatif.

- Une corrélation a été observée entre le pH et  $\text{HCO}_3^-$  indiquant la dissolution des formations carbonatées (cipolin) par les eaux acides .
- Le sulfates ne sont corrèles a aucune ions
- la conductivité est bien corrèle Le chlorures avec et le sodium indiquent l'origine évaporitique (NaCl ) de ces éléments chimiques dans les eaux souterraines.

- Les nitrates est représenté une corrélation avec le calcium , le magnésium et sodium.

**Tableau .N°07 : Matrice de corrélation (Pearson)**

Variables	Ph	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Ph	1								
CE	-0,4929	1							
Ca <sup>2+</sup>	0,2606	0,0326	1						
Mg <sup>2+</sup>	-0,2500	-0,0348	<b>0,7141</b>	1					
Na	-0,4182	<b>0,6919</b>	-0,6414	-0,5624	1				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,9677</b>	-0,4244	0,1708	-0,3742	-0,2821	1			
Cl <sup>-</sup>	-0,8146	<b>0,7379</b>	-0,5026	-0,2016	<b>0,8451</b>	-0,7375	1		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,3847	0,3020	0,3253	-0,3183	0,0695	0,4084	-0,0996	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0370	-0,2038	<b>0,8154</b>	<b>0,9108</b>	<b>-0,7417</b>	-0,0843	-0,4762	-0,1855	1



**Projection des observation**

**Projection des variables**

**Figure N22: Analyse en Composantes Principales des Facteur 1 et 2**

Une étude statistique par l'Analyse en Composantes Principales des Facteur 1et 2 a été réalisée sur la variation des concentrations molaires des éléments majeurs sur 11 échantillons. La projection des variables (fig. 22) montre deux pôles :

- le premier axe, présente 46,37 % de la variance dont le pôle des évaporites avec des variables  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ . Les observations qui présentent cet axe sont les forages F11,ZH3, SB3 , RK1, ZH2, W2.

- le deuxième axe, présente 31,22 % de la variance avec le pôle des carbonates qui présenté des variables  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{pH}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ , . Les observations représentatifs de cet axe par des valeurs positives sont le Point SB5 . Par contre les observations qui présentent des valeurs négatives sont les puits W8,W6,W9.

### III.8.La Cartographie de la salinité :

Au cours de leur trajet souterrain, les eaux superficielles très peu minéralisées se mettent en équilibre physico-chimique avec les milieux traversés sous l'action de divers processus chimiques (hydrolyse, oxydation, réduction, hydratation...). Toutefois plusieurs autres phénomènes peuvent intervenir tels que les échanges ioniques de base au contact des roches argileuses. Les argiles sodiques échangent le sodium contre le calcium et le magnésium de l'eau. Les argiles calciques échangent le calcium contre le sodium et le magnésium. Par ailleurs, les argiles peuvent au cours de leur genèse retenir, par adsorption, une quantité notable de sels. Ces derniers peuvent être repris par les eaux souterraines. Les phénomènes de dissolution dépendent cependant du degré de saturation des eaux vis-à-vis des minéraux. Les échanges entre l'eau et l'encaissant sont contrôlées aussi par le temps de séjour et la surface de contact entre les deux. L'évaporation joue également un rôle principal dans le changement de faciès hydrochimique vu le caractère aride à semi-aride du climat qui caractérise la région de Sidi Bouzid et la nature phréatique des nappes étudiées. L'origine des éléments chimiques majeurs présents dans les eaux souterraines et dont la concentration varie d'une zone à une autre se résume dans les points suivants ((**Habib SMIDA,2008**) :

- ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) : la teneur de ces éléments est contrôlée par l'équilibre calcocarbonique. Leur présence découle de l'action du gaz carbonique sur la fraction calcaire des roches.
- $\text{Mg}^{2+}$  : provient de la dissolution des dolomies, de calcaires et de marnes dolomitiques. La présence de cet élément peut être liée à l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques.
- ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) : la présence de ces deux éléments est liée, essentiellement, au taux d'évaporation et/ou au lessivage des minéraux silicatés.

- **Les Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )** : ils peuvent être issus soit de l'évaporation ou du lessivage des formations salifères notamment la halite.
- **Les Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )** : proviennent essentiellement des pesticides et des engrais chimiques et organiques utilisés dans les régions agricoles. Ils rejoignent la nappe à travers l'infiltration des eaux de pluie et d'irrigation.
- **Les Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )** : ils peuvent avoir plusieurs origines tels que :
  - Héritage des eaux de pluies ;
  - Origine agricole par l'utilisation des matières fertilisantes (engrais et autres) ;
  - Origine biologique par minéralisation de la matière organique végétale et animale ;
  - Dissolution et lessivages des roches évaporitiques (gypses)

#### **III.7.1. Cartes d'isovaleur de CE :**

La Conductivité Electrique est naturellement influencée par le pH du milieu, la valence des ions et leur degré d'ionisation. Elle est étroitement liée à la nature et à la concentration des éléments chimiques en solution, donc à la nature des terrains traversés et le temps de séjour des eaux dans les formations géologiques. La carte de concentration de la CE (figure 25) permet de dire que Les valeurs de la Conductivité Electriques des eaux souterraines de la région de Garaet El Taref varient entre 1300 et 2060 us/cm . Les valeurs les plus importantes (de 1617 à 2060 ms/cm) caractérisent les zones Nord-Est dans la commune M'toussa en plus proche de sebkha dans le forage W9 permet de dire que la conductivité dans notre zone d'étude est liée aux évaporites issus de lessivage et infiltration des sels de la sebkha. . On note aussi des fortes valeurs de CE à l'extrémité West dans le commune Baghai dans le point d'eau RK1 .

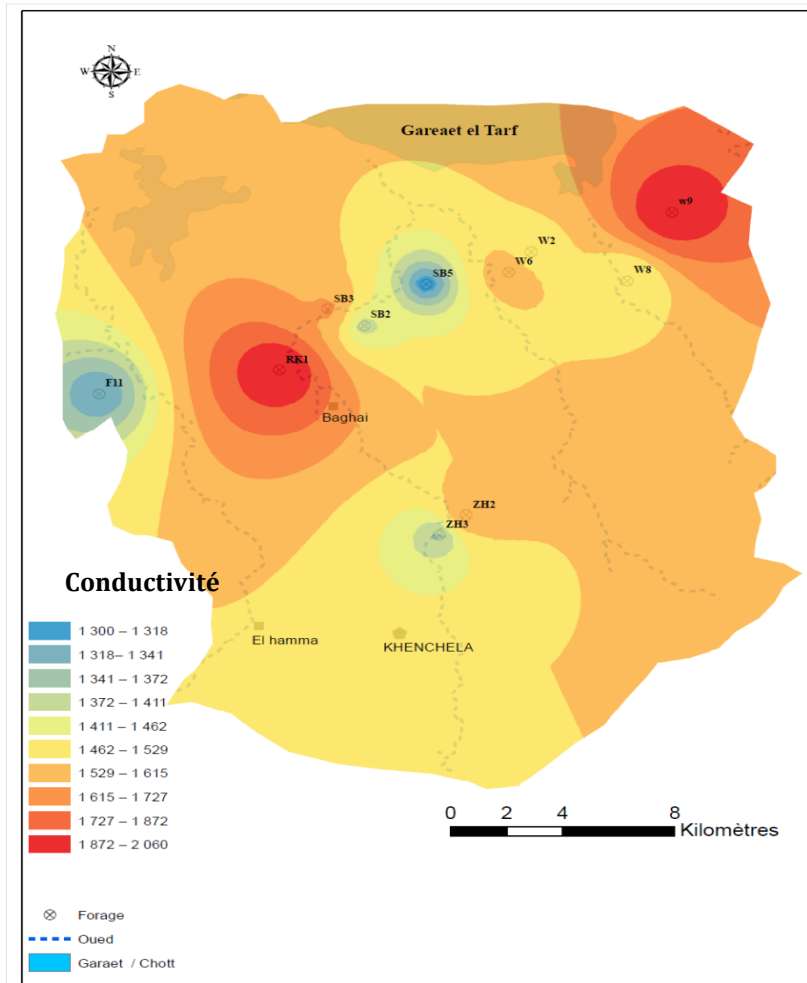
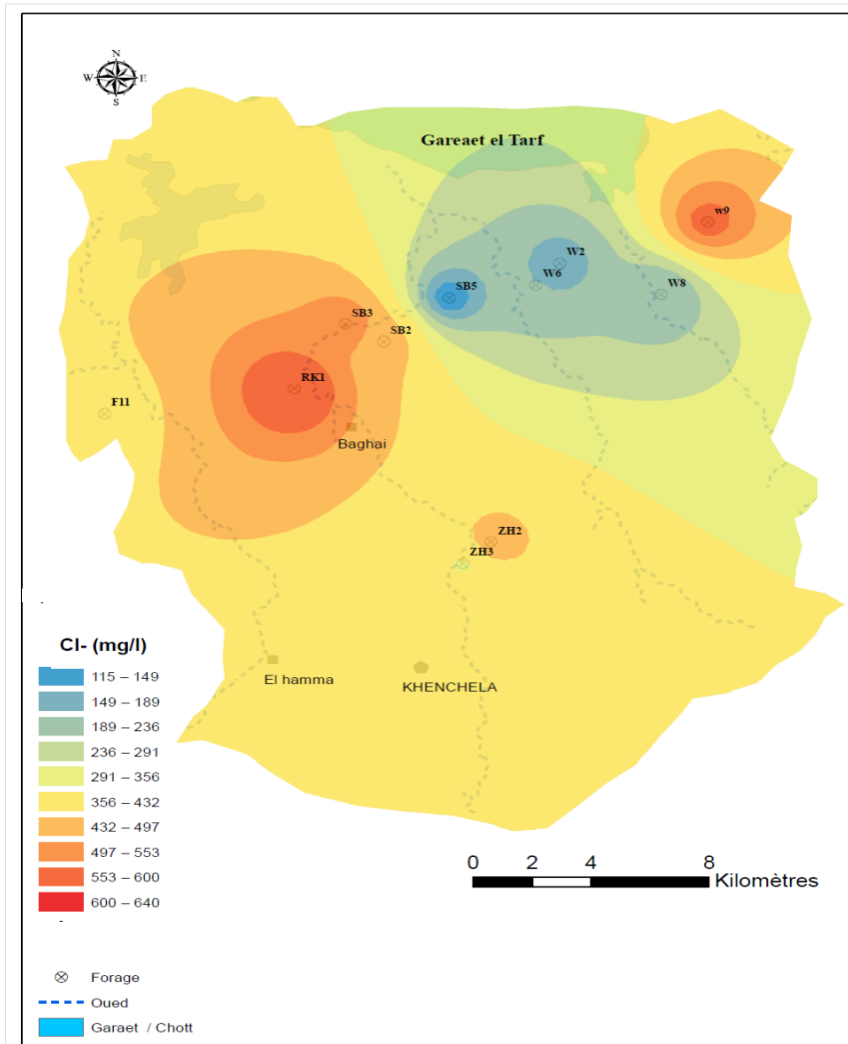


Figure 25: carte d'isovaleur de CE de sud bassin Taref .

**III.7.2. Cartes d'isovaleur de Cl<sup>-</sup> :**

L'abondance de chlorure dans les eaux souterraine est, généralement, liée à la présence de roches évaporitique, notamment la halite . les fortes concentrations se trouvent au niveau des dépressions salées dans le point RK1 dans le partie West de la zone d'étude et dans la Nord-Est (point d'eau W9) où les teneurs varient entre 497 mg/l et 2500 à 640 mg/l.

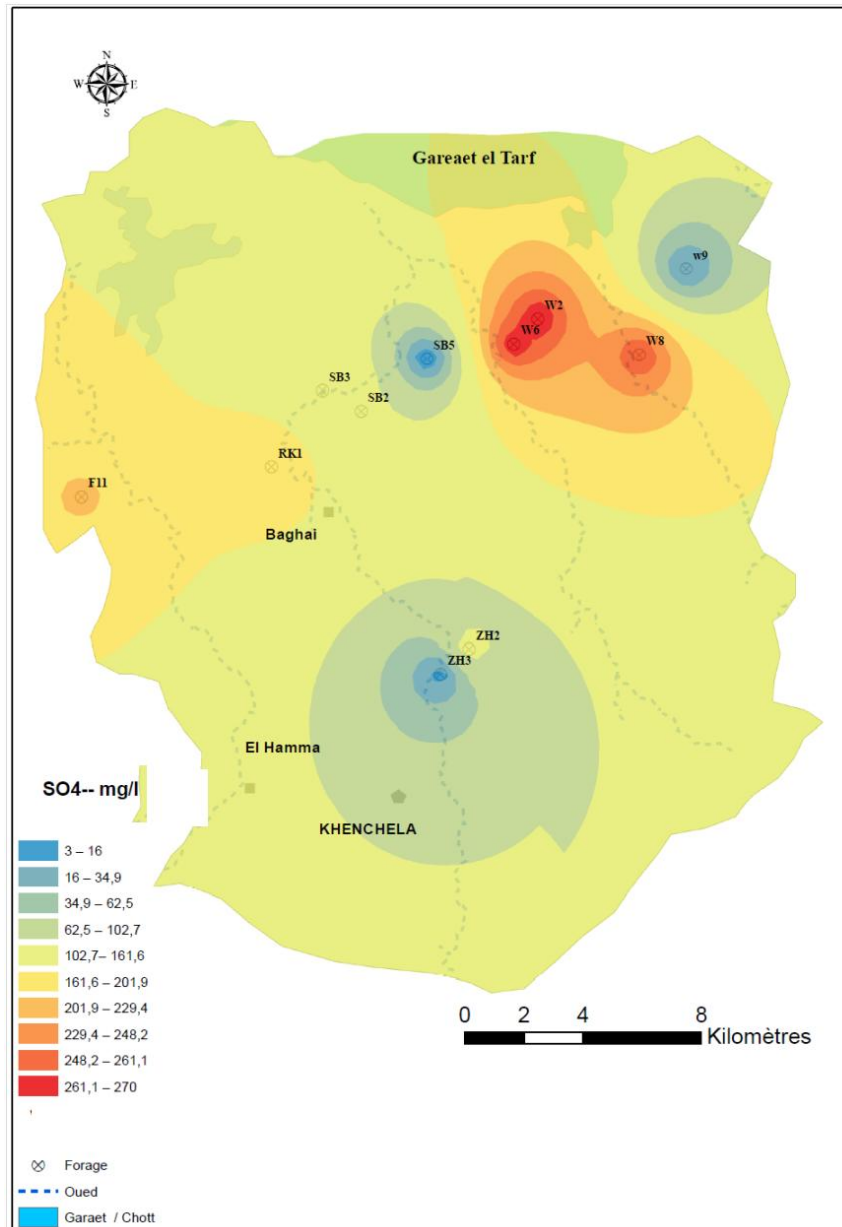
Les faibles concentrations en chlorures caractérisent les points W2, W6, W8 et SB5 localisées dans le Nord le plus proche au Garaât El Taref où les teneurs varient entre 115 mg/l et 149 à 236 mg/l.



**Figure 26** : carte d'isovaleur de  $Cl^-$  de sud bassin Tare

**III.7.3. Cartes d'isovaleur de  $SO_4^{2-}$  :**

C'est l'élément chimique le plus abondant dans les eaux dans la majorité des nappes phréatiques de la région de Garaât El Taref. Les concentrations varient entre 161.6 à 229.4 mg/l dans le West commune Remila jusqu'à le forage Roknia RK1 de la commune Bagai , les faibles concentrations caractérisent le centre de la zone et le Nord-Est de la commune M'toussa (le point W9) . Les fortes concentrations en sulfates caractérisent généralement les points d'eaux W6,W8 et W2) les plus proche de la Garaât El Taref où les concentrations varient entre 229.4 mg/l et 270 mg/l (figure 25).



**Figure 25:** carte d'isovaleur de  $\text{SO}_4^{2-}$  de sud bassin Taref

#### **III.7.4. Cartes d'isovaleur de $\text{NO}_3^-$ :**

La répartition spatiale des nitrates dans les eaux souterraines est, généralement, liée à l'activité agricole et surtout les cultures irriguées caractérisées, souvent, par une grande utilisation des pesticides et des engrais chimiques. Dans le système phréatique de la région de Garaât El Taref, les concentrations en nitrates varient entre 0.75 mg/l et 32 mg/l. Les valeurs maximales sont enregistrées au niveau de le Nord et le Nord-Est de la zone d'étude (commune M'toussa) dans les points d'eau W8et W2. Le partie NW-SE est aussi concernée mais avec un degré inférieur. Dans le reste de la région d'étude, les teneurs sont comprises entre 0.74 mg/l et 3.95 mg/l (figure 26).

Les nitrates peuvent être utilisés comme indicateur de pollution dans les zones agricoles (engrais chimiques) et urbaines (rejets des eaux usées à travers les puits perdus). Ils peuvent donner des informations supplémentaires sur l’environnement hydrogéologique (milieu oxydant ou réducteur) en indiquant les limites du potentiel d’oxydo-réduction du milieu (Habib SMIDA,2008).

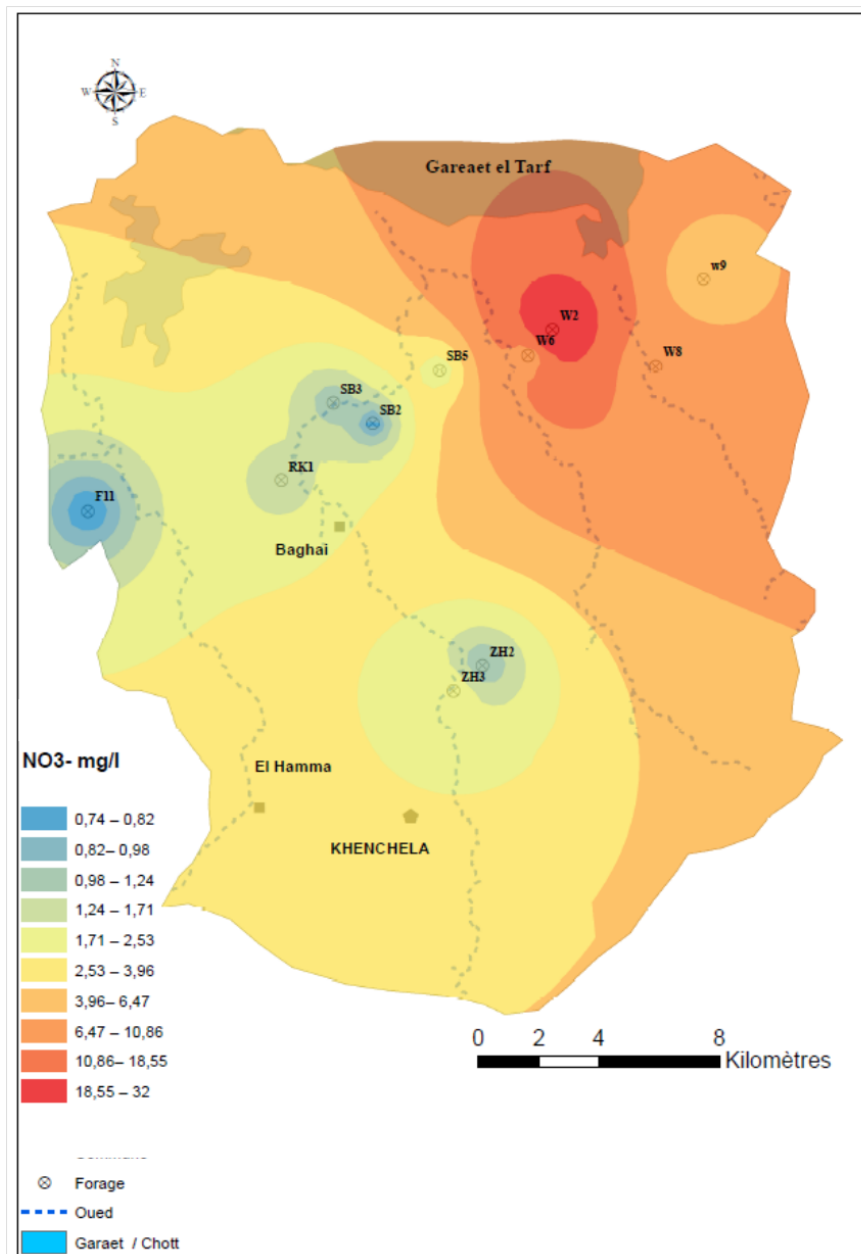


Figure 26: carte d'isovaleur de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de sud bassin Taref

**Conclusion :**

L'étude hydro chimique des eaux de la zone d'étude ,montre une forte salinité des eaux. trois faciès sont observés, chloruré et sulfaté calcique et magnésien et Chlorure sodique et potassique ou sulfatée sodique.

Le faciès Bicarbonaté calcique et magnésien s'observe dans la partie Sud-Est de la zone d'étude où il existe des formations riches en bicarbonate (calcaire du créacé supérieur). L'observation du contexte géologique du site et de la répartition spatiale des éléments chimiques montrent que la salinité est liée principalement à le taux d'évaporation la dissolution des formations de roches évaporatique ou du lessivage des formations salifères. La contamination des eaux souterraines par les nitrates est d'origine urbaine et des activité agricole .

## Conclusion Générale

Le bassin de Gareat El Tarf est une entité hydrographique située dans la partie Nord Orientale de l'Algérie ; à l'extrême Est des hautes plaines steppiques entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud ( massif des Aurès ) Avec une vocation agricole et marqué par un caractère endoréique sous un climat semi-aride.

Le bassin versant de Gareat El Tarf fait partie de l'ensemble des bassins versants des hauts plateaux constantinois d'après l'agence des bassins . Il Couvre une superficie de 2432 km<sup>2</sup>.

La géomorphologie est dominée par des hautes plaines par semées de dépressions constituant le chott (Gareat El Tarf), avec une altitude d'environ 830 m ce dernier s'étend sur 20 km de long et 15 km de large dont seulement le 1/4 est inondé. Tout autour, on trouve des chott satellites qui fusionnent avec celui d'El Tarf lors des grandes crues.

Le faciès chimique de la zone d'étude du type chloruré et sulfaté calcique et magnésien et Chlorure sodique et potassique ou sulfatée sodique et Bicarbonaté calcique et magnésien .

Le faciès Bicarbonaté calcique et magnésien s'observe dans la partie Sud-Est de la où il existe des formations riches en bicarbonate (calcaire du crétacé supérieur).la teneur en magnésium provient des calcaires dolomitiques du Trias. La contamination des eaux souterraines par les nitrates est d'origine urbaine et agricole.

Les eaux de la nappe de la zone d'étude appartiennent aux classes, "bonne", "médiocre" et "mauvaise" d'après la classification de WILCOX.

Un système d'information géographique a été utilisé pour élaborer les cartes des isovaleurs des concentrations des éléments chimique et indique la variation spatiale de ces derniers et l'origine de la salinité.

## Annexes

### les résultats d'analyses physique-chimique en mg/l

Forage	pH	CE uS/m	Ca 2+ mg/l	Mg 2+ mg/l	Na mg/l	HCO3 - mg/l	Cl- mg/l	SO4 2- mg/l	NO3- mg/l
F11	6,83	2060,00	76,00	31,59	389,30	73,20	640,42	193,75	1,43
RK1	6,90	1390,00	52,00	26,73	267,97	73,20	465,76	100,75	0,74
SB2	7,12	1630,00	60,00	36,45	324,48	85,40	553,09	148,25	1,00
SB3	7,01	1610,00	76,00	31,59	237,15	73,20	465,76	113,00	0,90
ZH2	7,04	1360,00	48,00	29,16	186,89	61,00	349,32	98,50	1,10
ZH3	6,98	2040,00	84,00	34,02	335,18	61,00	582,20	198,25	1,05
w9	7,85	1300,00	60,00	2,00	230,92	435,68	115,00	92,00	0,00
SB5	7,00	1470,00	134,00	135,00	72,58	33,00	216,00	10,87	41,99
W6	7,63	1580,00	111,10	42,84	194,30	298,90	190,00	270,00	8,00
W8	7,50	1420,00	110,40	42,18	140,60	287,40	170,00	260,00	8,00
W2	7,50	1490,00	120,18	45,84	111,49	247,50	160,00	270,00	23,00

### Normes des paramètres physico-chimiques (OMS).

Paramètre	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible
PH	-	6.5	8.3
Conductivité	us/cm	-	2000
Calcium	mg/l	-	75
Magnésium	mg/l	-	50
Sodium	mg/l	-	150
Potassium	mg/l	-	12
Sulfate	mg/l	-	250
Chlorure	mg/l	-	50
Nitrate	mg/l	-	50
Nitrite	mg/l	-	0.1
Température	c	-	25

## Annexes

**Tableau de Matrice de corrélation (Pearson)**

Variables	pH	CE	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
pH	<b>1</b>								
CE	-0,4929	<b>1</b>							
Ca <sup>2+</sup>	0,2606	0,0326	<b>1</b>						
Mg <sup>2+</sup>	-0,2500	-0,0348	<b>0,7141</b>	<b>1</b>					
Na	-0,4182	<b>0,6919</b>	-0,6414	-0,5624	<b>1</b>				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,9677</b>	-0,4244	0,1708	-0,3742	-0,2821	<b>1</b>			
Cl <sup>-</sup>	-0,8146	<b>0,7379</b>	-0,5026	-0,2016	<b>0,8451</b>	-0,7375	<b>1</b>		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,3847	0,3020	0,3253	-0,3183	0,0695	0,4084	-0,0996	<b>1</b>	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0370	-0,2038	<b>0,8154</b>	<b>0,9108</b>	<b>-0,7417</b>	-0,0843	-0,4762	-0,1855	<b>1</b>

Tab de Corrélations entre les variables et les facteurs.

Tab de Cosinus carrés des variables

	F1	F2	F3
F11	<b>0,7825</b>	0,0234	0,1685
RK1	0,4468	0,0012	<b>0,4652</b>
SB2	<b>0,8799</b>	0,0003	0,0167
SB3	<b>0,6598</b>	0,0599	0,1394
ZH2	0,0977	0,0003	<b>0,7257</b>
ZH3	<b>0,6912</b>	0,0273	0,2586
w9	0,1238	<b>0,6251</b>	0,1507
SB5	0,3009	<b>0,6684</b>	0,0166
W6	<b>0,4464</b>	0,2416	0,2950
W8	<b>0,6480</b>	0,1766	0,1007
W2	<b>0,7536</b>	0,0076	0,1711

	F1	F2	F3
pH	0,4636	<b>0,4763</b>	0,0077
CE	0,4080	0,0544	<b>0,4637</b>
Ca 2+	<b>0,5050</b>	0,1586	0,3210
Mg 2+	0,2132	<b>0,7474</b>	0,0050
Na	<b>0,8482</b>	0,0452	0,0266
HCO3-	0,3284	<b>0,5967</b>	0,0110
Cl-	<b>0,9061</b>	0,0685	0,0146
SO4 2-	0,0082	0,2065	<b>0,6618</b>
NO3-	<b>0,4924</b>	0,4558	0,0103

### Logs stratigraphiques de quelques forages de la région Garaât El Taref :

#### Forage SB3 :

0 -03m : terre arable.

03 - 60m : graviers fins + sables et argiles

60 -100m : croute de calcaire avec passage d'argiles

100 -160 m : argiles marneuses avec des passages d'argiles et graviers fins.

## Annexes

---

### Forage F11:

0-14m : argiles

14-25m : graviers

25-42m : argiles

42-50m : argiles + graviers

50-62m : graviers

62-80m: argiles rouges

### Forage ZH02:

0 - 11m : argiles beiges et marnes

11- 33m : grés marneux

33 - 86m : grés jaunâtres

86 - 221m : grés grisâtres et bleuâtres + marnes

221 - 250m : grés et marnes

### Forage W2:

0 - 02m : argiles.

02 – 11m : argiles + graviers très fins (20%).

11 - 22m : argiles plastiques + élément de graviers très fins (80%).

22- 36m : graviers avec un élément argileux .

36 – 48m : graviers de calcaires.

48 – 56m : calcaires très dures .

56 - 68m : argiles + graviers très fins (50%).

68 - 71m : : argiles.

71- 88m : graviers de calcaires.

88 – 100m : argiles plastiques.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- **Abderrahman et al ., (2009).** Etude de la contamination des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité d'un aquifère soumis au climat semi-aride méditerranéen : cas de la plaine côtière de Saidia, Maroc. 2p
- **Allali.A.,(2004)** :Cartographie de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau des zones humide de la Numidie
- **BAKALOWICZ., (1979)** : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doctorat Es.Sciences.
- **BRADY N.C et al., (2002)** :The nature and properties of soils. Prentice Hall, Uppersaddleriver, NJ, USA.
- **Belhamdou,N.,(2013).**Etude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe du continentale intercalaire de la région de In Salah. Thèse de Master. Université d'Ouargla , Algérie .63p.
- **Benzat.Ibrahim.,(2013).**Etude hydrochimique des eaux souterraines d'un bassin versant en zone semi-aride cas du bassin Garaet El Tarf pp. 3-13.
- **CARTER.D.I.,(1975):** Problems of salinity in agriculture. Plants in Saline Environments. Springer-Verlag Berlin. pp. 25-35.
- **Chetouani.B.,(1963)** Damou S. Le diagnostic des problèmes d'engorgement des sols, de drainage et de la qualité des eaux et des sols dans la plaine de Saidia et Triffa. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, 2 vol. IAVH Rabat,.
- **Dr ASSOMA. ,(2014)** :Télé-détection et SIG
- **ESSINGTON M.E.,(2004):** Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA.
- **D.H.W.K., (2018).**Direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela,
- **Goldscheider N., (2005):** Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in
- **Hezil, A., (2013).** Analyses physique-chimique des vapeurs d'eau thermale de Hammam Knif, Mémoire Master, écologie et environnement, université de khenchela.
- **Hamza NOOMENE.,(2011)** Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de Kalàçat Landelous en Tunisie: cas d'une parcelle de courge 4p

- **Habib Smida et al .,(2010).** Cartographie des zones vulnérables a ` la pollution agricole par la méthode DRASTIC couplée a un Système d'information géographique (SIG) : (sud de Sfax, Tunisie) 2p
- **Habib Smida., (2008)** Apports des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) pour une approche intégrée dans l'étude et la gestion des ressources en eau des systèmes aquifères de la région de Sidi Bouzid (Tunisie centrale) 209-216p
- **Gaagai, A., (2006)** .Etude hydrologique et hydrochimique de bassin versant
- **Glinka, N., (1977)** .chimie générale. Sous la réduction de V.RABINOVITCH. Tome II. éd. Mir Moscou. p 576.
- **Good child MF.,(1996)** GIS and environmental modelling: progress and research issues. Fort Collins (CO) : GIS World Books.
- **IMALET R., (1979)** :Influence de différentes concentrations de sels (NaCL, Na2SO4, MgSO4) des eaux d'irrigation de l'agriculture sur le rendement du haricot.Thèse Ing,INA, EL Harrach ,43p.
- **LEVY G.J., (2000):** Sodcity. Sumner M.E. Ed. Handbook of Soil Science.pp 27-62.
- **Ligget et S. Talwar., (2009):** Groundwater vulnerability and integrated water resource management, Streamline Watershed Management Bull., pp13-29.
- **MAILLARD J., (2001)** : Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.
- **O.M.S., (2004).** Guidelines for drinking-water quality. Vol.1.Recommendations
- **KEREN R., (2000)** :Salinité. Sumner M.E. Ed.livre de science du sol. pp 3-25.
- **Kloppmann W et al., (2011)** : Salinisation des masses d'eaux en France : du constat au diagnostic.
- **SUN F et al., (2007):** Salt Modulates Gravity Signaling Pathway to Regulate Growth Direction of Primary Roots in Arabidopsis. Plant Physiol. pp178-188.
- **René clemente et al .,(1979).** Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous peression, Edition Eyrollés, Paris, pp10-147.
- **Rodier, J et coll.,( 2009).** L'analyse de l'eau (eau naturelles, eau résiduaires, eau de mer) 9e édition. Dunod. 1526p.
- **Rejsek, F., (2002).** Analyse Des Eaux ; Aspects Réglementaires Et Techniques. Sceren. Paris. 360p
- **SADIE C.,(2006).** Introduction à la cartographie, Cap-Estérias,IC1,30p .

- **Van Stempvoort.D et al., (1993):** Aquifer Vulnerability Index (AVI): A GIS Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping. Canadian Water Resources Journal, 18, 25-37.

**Site Internet :**

<https://www.esrifrance.fr/index.aspx>

## Résumé

Ce travail a pour objectif la cartographie de la salinité des eaux souterraines de la région sud de Garaât El Taref et la détermination de l'origine de minéralisations (CE comprise entre 1300 et 2060  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). Les eaux des échantillons analysées présentent trois faciès hydrochimiques : le *chloruré et sulfaté calcique et magnésien*, le *Chlorure sodique et potassique* ou le *sulfaté sodique et Bicarbonaté calcique et magnésien*.

Le faciès Bicarbonaté calcique et magnésien s'observe dans la partie Sud-Est de la où il existe des formations riches en bicarbonate (calcaire du crétacé supérieur). la teneur en magnésium provient des calcaires dolomitiques du Trias. La contamination des eaux souterraines par les nitrates est d'origine urbaine et agricole très probable vu le contexte de la zone.

Un système d'information géographique a été utilisé pour élaborer les cartes des isovaleurs des concentrations des éléments chimique et indique la variation de la répartition spatiale de ces derniers. Les échantillons à fortes minéralisations sont relatives aux endroits proches de la Garaât et aux sites d'activités anthropogéniques.

**Mots clés :** *Salinisation;Minéralisation, Garaât El Taref, système d'information géographique*

## Abstract

This work aims to map the salinity of groundwater in the southern region of Garaet El Taref and to determine the origin of strong mineralization (EC between 1300 and 2060  $\mu\text{s} / \text{cm}$ ). The waters of the analyzed samples have three hydrochemical facies: chlorinated and sulphated calcium and magnesium, sodium chloride and potassium or sulphated sodium. The calcic and magnesium Bicarbonate facies are found in the south-eastern part of the watershed where there are formations rich in bicarbonate (Upper Cretaceous limestone). The magnesium content comes from the dolomitic limestones of the Triassic. The contamination of groundwater by nitrates is of urban and agricultural origin very likely given the context of the zone. A geographic information system was used to develop the maps of the isovalues of the concentrations of the chemical elements and indicates the variation of the spatial distribution of these elements. The samples with high mineralization are relative to the places close to Garaet and to the sites of anthropogenic activities.

**Keywords:** *SalinizationMineralization, Garaet El Taref, Facies, Geographical Information System.*

## الملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة خرائطية للملوحة المياه الجوفية في المنطقة الجنوبية لقرعة الطارف وتحديد أصل تمعدن (الناقلية الكهربائية تتراوح بين 1300 و 2060 ملي سمنس/ سم). مياه العينات التي تم تحليلها لدينا ثلاث حالات الهيدروكيميائية : الكلور و كبريتات الكالسيوم و المغنيسيوم ، والكلور الصوديوم والبوتاسيوم او كبريتات الصوديوم والبيكربونات المغنيسيوم والكالسيوم

الحالة الهيدروكيميائية بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم تلاحظ في الجزء الجنوب الشرقي من حيث هناك تشكيلات غنية هي بيكربونات ( الحجر الجيري الريكتاسي العالي ). والمغنيسيوم من الحجر الجيري الدولوميت من الترياسي. إن تلوث المياه الجوفية بواسطة النترات هو من المناطق الحضرية والزراعية من المرجح جدا بالنظر إلى سياق المنطقة.

تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية لوضع خرائط الصورية لتركيزات العناصر الكيميائية ويشير إلى تغيير في توزيع النطاقي لهاته الاخيرة . العينات ذات التمدن المرتفع نسبة إلى الأماكن القريبة من القرعة ومواقع الأنشطة البشرية.

**الكلمات المفتاحية :** الملوحة ، التمدن ، قرعة الطارف ، نظام المعلومات الجغرافي