

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des Sciences de la nature et de la vie  
Et Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département d'écologie et génie de l'environnement

# THÈSE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
DOCTORAT EN SCIENCE

Filière : Sciences Biologiques

Présentée par

M<sup>me</sup> OUANES Miyada Ep. FELLAH

*Intitulée*

**EFFET DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA QUALITE  
DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE F'KIRINA DE LA  
W. D'OUM EL BOUAGHI**

Soutenue le : 05/11/2020

Devant le Jury composé de :

Mr KACHI Slimane.  
Mr HOUHA Belgacem  
Mr HOUHAMDI Moussa  
Mr GOUIDI ALayachi  
Mr GHRIEB Lassaad  
Mr SAYAD Lamine

Pr. Université 8 Mai 1945, Guelma.  
Pr. Université Abbes Laghror, Khenchela  
Pr. Université 8 Mai 1945, Guelma.  
Pr. Université Larbi Tébessi, Tébessa  
MCA. Université 8 Mai 1945, Guelma  
MCA. Université Badji Mokhtar, Annaba

Président  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur  
Examineur

Année Universitaire : 2019-2020



## **Remerciements**

*Avant tout nous remercions notre bon dieu le tout puissant pour le courage et la force et la volonté qui nous a accordé pour accomplir ce travail.*

*Nous remercions bien sincèrement notre promoteur Pr. Houha Belgacem votre compétence, votre accueil et votre encadrement ont toujours suscité notre profond respect. Nous vous remercions pour m'avoir suivi dans l'élaboration de ce travail et pour toute la confiance qu'elle a su nous témoigner durant cette étude.*

*Nous tenons aussi à exprimer nos plus grands respects et nos vifs remerciements aux membres du jury : Pr. Kachi Slimane, Pr. Houhamdi Moussa, Pr. Ghoudia Layachi, Dr. Ghrieb Lassaad, et Dr. Sayad Lamine ; qui ont bien voulu examiner ce travail.*

*Nous remercions vivement dr Ghrieb lassaad, dr Bousbia aissam, dr boudalia soufiane, Monsieur Diar Malek, et Le président de L'APC de F'kirina monsieur HeK Rachid, ainsi que l'ensemble de personnel de la direction de l'hydraulique et la station météorologique surtout son directeur monsieur Kattab Nabil d Oum El Bouaghi pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnel, ses conseils et ses aides tout au long de notre étude.*

*Nos remerciements les plus chaleureux et les plus profonds s'adressent à nos familles pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs patiences. Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près de loin à réaliser ce travail.*





# Dédicace



**A** cœur vaillant rien d'impossible. A conscience tranquille tout est accessible. Quand il y a la soif d'apprendre, tout vient à point à qui sait attendre.

**A** la plus belle créature que dieu créés sur terre, ***A mon chère conjoint HALIM FELLAH*** qui m'à toujours soutenu, ma source de force pour tenir jusqu'à ou bout Avec tous les moyenne et ou prix de toute les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, Je ne pourrais exprimer ma gratitude seulement par des mots ne peuvent résumer ma reconnaissance et mon amour.

**A ma mère HADBA LAKHDARI** soleil de mes jours, source de tendresse et de générosité tous les mots n'exprime pas sa valeur, **Mama** à qui m'adresse au ciel les vœux les plus ardents pour la conservation de leur santé et de leur vie,

**A** mes enfants : ***AHMED DJAOUED, NIHAD, et MOHAMED HEIDAR*** m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille et de ce fait, je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots. Que dieu vous protège et vous garde pour moi.

**A** mes chers frères, **A** mes douces sœurs, les mots ne peuvent résumer ma reconnaissance et mon amour à vos égards

**A** toute la famille ***OUANES*** et la famille ***FELLAH***

**A** ma belle mère que dieu la protège

**A** toute mes amis et mes collègues de travail où je garderai toujours les bons souvenirs.

**Un** dédicace particulier a tout qui participé au pré et au loin pour la réalisation de cette mémoire qu'est le fruit de toute mes études universitaires.

***Miyada***

# **Table des matières**

## *Table des matières*

---

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Table des matières</b>	
<b>Resume</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des abbreviations</b>	
<b>Introduction generale</b>	
<i>I. Partie bibliographique</i>	
<i>CHAPITRE I : Généralités sur le changement climatique</i>	<i>n°page</i>
<b>Introduction</b>	<b>03</b>
<b>1. Définition du climat</b>	<b>04</b>
<b>2. Climat et cycle de l'eau</b>	<b>04</b>
<b>3. Définition du changement climatique</b>	<b>05</b>
<b>4. Les indicateurs du changement climatique</b>	<b>05</b>
<b>5. Les causes du changement climatique</b>	<b>07</b>
<b>5.1.L'effet de serre</b>	<b>07</b>
<b>6. les impacts des changements climatiques</b>	<b>09</b>
<b>7. Les conséquences de changement climatique</b>	<b>10</b>
<b>8. Lutte contre le changement climatique</b>	<b>10</b>
<b>9. Le changement climatique en Algérie</b>	<b>11</b>
<b>10. Les ressources en eau en Algérie</b>	<b>12</b>
<b>10.1. Les eaux superficielles</b>	<b>13</b>
<b>10.2. Les eaux souterraines de l'Algérie.</b>	<b>14</b>
<b>11. Impacts attendus des changements climatiques sur les ressources en eau.</b>	<b>14</b>
<i>CHAPITRE II : Description de la zone d'étude</i>	
<b>1. Situation géographique de la zone d'étude</b>	<b>15</b>
<b>1.1.Développement socio-économique</b>	<b>16</b>
<b>2. Le cadre géologique</b>	<b>16</b>
<b>3. La sismicité</b>	<b>17</b>
<b>4. La topographie de la region</b>	<b>17</b>
<b>5. Le cadre climatique</b>	<b>17</b>

## *Table des matières*

<b>6. Les sols</b>	<b>17</b>
<b>7. Le patrimoine naturel</b>	<b>18</b>
<b>7.1. La Flore</b>	<b>18</b>
<b>7.2. La faune</b>	<b>18</b>
<b>8. La population</b>	<b>18</b>
<b>9. Le patrimoine culturel et architectural</b>	<b>19</b>
<b>10. L'environnement agricole</b>	<b>19</b>
<b>11. Le niveau sonore initial</b>	<b>19</b>
<b>12. Le cadre hydrologique</b>	<b>20</b>
<b>12.1. Besoins en eau dans la région d'étude</b>	<b>21</b>
<b>12.1.1. L'alimentation en eau potable (A.E.P)</b>	<b>21</b>
<b>12.1.2. L'alimentation en eau agricole (AEA)</b>	<b>21</b>
<b>12.1.3. L'alimentation en eau pour l'industrie (AEI)</b>	<b>22</b>
<b>12.2. L'assainissement</b>	<b>22</b>
<b>13. Conclusion</b>	<b>22</b>
<i>Etude géologique</i>	
<b>Introduction</b>	<b>23</b>
<b>1-Description stratigraphique et lithologique</b>	<b>23</b>
<b>1-1- Le Secondaire</b>	<b>23</b>
<b>1-1-1- Le Trias</b>	<b>24</b>
<b>1-1-2- Le Jurassique</b>	<b>24</b>
<b>1-1-3.-Le Crétacé Basal</b>	<b>24</b>
<b>1-1-4- Le Barrémien et L'Aptien</b>	<b>24</b>
<b>1-1-5- L'Albien</b>	<b>24</b>
<b>1-1-5-1- L'Albien sup. à Cénomaniens inf.</b>	<b>24</b>
<b>1-1-6-Cénomaniens sup</b>	<b>24</b>
<b>1-1-7- Turonien</b>	<b>24</b>
<b>1-1-8 Sénonien</b>	<b>24</b>
<b>1-1-8-1-Coniacien</b>	<b>25</b>
<b>1-1-8-2- Santonien</b>	<b>25</b>
<b>1-1-8-3-Campanien</b>	<b>25</b>

## *Table des matières*

---

<b>1-1-8-4-Maestrichtien</b>	<b>25</b>
<b>1-2- Tertiaire</b>	<b>25</b>
<b>1-2-1-EOCENE</b>	<b>25</b>
<b>1-2-1-1-Lutétien inférieur et supérieur – yprésien et thanétien</b>	<b>25</b>
<b>1-2-2- MIOCENE</b>	<b>25</b>
<b>1-2-2-1-Miocène inférieur: burdigalien-helvetien</b>	<b>25</b>
<b>1-2-2-2-Pontien</b>	<b>25</b>
<b>1-2-3- PLIOCENE</b>	<b>25</b>
<b>1-3- QUATERNAIRE</b>	<b>26</b>
<b>1-3-1-Ecailles de la CHEBKA des SELLAOUA</b>	<b>26</b>
<b>1-3-2-Zone de transition</b>	<b>26</b>
<b>1-3-3- Zone saharienne septentrionale</b>	<b>26</b>
<b>Conclusion</b>	<b>27</b>
<i>II. Partie pratique</i>	
<i>CHAPITRE III : etude de changements climatiques</i>	
<b>Introduction</b>	<b>28</b>
<b>1. Les facteurs climatiques</b>	<b>28</b>
<b>1.1.Précipitations</b>	<b>28</b>
<b>1.2.Température</b>	<b>29</b>
<b>1.3. Evaporation</b>	<b>30</b>
<b>1.4. Humidité</b>	<b>31</b>
<b>1.5.Vent</b>	<b>32</b>
<b>1.6.Neige</b>	<b>33</b>
<b>1.7.Gelée</b>	<b>34</b>
<b>1.8.La Grêle</b>	<b>34</b>
<b>1.9. Orage</b>	<b>35</b>
<b>1.10.Brouillard</b>	<b>36</b>
<b>1.11. La rosée</b>	<b>36</b>
<b>2. Synthèse climatique</b>	<b>37</b>
<b>2.11. Indice d'aridité</b>	<b>37</b>
<b>2.2.Diagramme ombrothermique de Gaussen et Baghouls</b>	<b>38</b>

## *Table des matières*

---

<b>2.3. Le climagramme d'Emberger</b>	<b>39</b>
<b>3. Bilan hydrique</b>	<b>40</b>
<b>3.1. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle)</b>	<b>41</b>
<b>3.1.1. ETR selon la formule de Turc</b>	<b>41</b>
<b>3.1.2. L'ETR selon la C.W.Thornthwaite</b>	<b>41</b>
<b>3.2. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)</b>	<b>42</b>
<b>3.3. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)</b>	<b>42</b>
<b>3.4. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite</b>	<b>43</b>
<b>4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration</b>	<b>44</b>
<b>4.1. Ruissellement</b>	<b>44</b>
<b>4.2. Infiltration</b>	<b>44</b>
<b>5. Résultat d'étude de changements climatiques</b>	<b>45</b>
<b>5.1. Les précipitations et leur variabilité</b>	<b>45</b>
<b>5.2. Les températures et leur variabilité</b>	<b>46</b>
<b>5.3. Influence anthropique</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion</b>	<b>47</b>
<b><i>CHAPITRE IV : effets de changements climatique sur la qualité des eaux</i></b>	
<b>Introduction</b>	<b>49</b>
<b>1. Détermination des apports de contamination</b>	<b>51</b>
<b>2. étude des paramètres physiques</b>	<b>51</b>
<b>2.1. La température</b>	<b>51</b>
<b>2.2. La conductivité électrique</b>	<b>52</b>
<b>2.3. Le pH</b>	<b>53</b>
<b>2.4. La dureté</b>	<b>54</b>
<b>3. étude des paramètres chimiques</b>	<b>56</b>
<b>3.1. la minéralisation</b>	<b>56</b>
<b>3.2. Les cations</b>	<b>57</b>
<b>3.2.1. Le calcium (Ca<sup>2+</sup>)</b>	<b>57</b>
<b>3.2.2. Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)</b>	<b>59</b>
<b>3.2.3. Sodium (Na<sup>+</sup>) et potassium (K<sup>+</sup>)</b>	<b>64</b>
<b>3.3. Les Anions</b>	<b>64</b>



## *Table des matières*

---

3.3.1. Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	64
3.3.2. Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> )	66
3.3.3. Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	68
3.3.4. Les nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	70
4. Etude des rapports caractéristiques	73
4.1.Rapport r Mg <sup>2+</sup> /r Ca <sup>2+</sup>	74
4.2.Rapport r Ca <sup>2+</sup> /rSO <sub>4</sub>	75
4.3.Rapport r Na <sup>+</sup> /r Cl <sup>-</sup>	75
5. Les facies chimiques	76
5.1.Le diagramme de piper	76
5.2.Le diagramme de Schoeller Berkalov	79
6. Indice de saturation	85
6.1. Conclusion	89
7. Traitement statistique des données hydrochimiques	90
7.1.Etude statistique en composante principale	90
7.1.1. statistiques élémentaires	90
7.1.2. Matrice de corrélation	90
7.2.Analyse en composante principale	91
7.2.1. Principe de l'ACP	92
7.2.2. Application de l'ACP	92
7.2.2.1.Etude des valeurs propres (Diagonalisation)	92
7.2.2.2.. Etude des variables	94
7.2.2.3.Etude des individus	95
7.2.2.4.La projection des individus	99
Conclusion	101
7.3. Cartes auto-organisatrices (SOM)	101
7.3.1. Classification des échantillons des eaux souterraines par SOM	102
7.4.Classification ascendante hiérarchique par SOM (SOM-CHA)	103

## *Table des matières*

---

<b>7.4.1. Résultat pour la classification ascendante hiérarchique dans le secteur d'étude</b>	<b>104</b>
<b>Conclusion</b>	<b>107</b>
<b>7.5.Evaluation de la qualité des eaux</b>	<b>108</b>
<b>7.5.1. Aptitude des eaux à l'irrigation</b>	<b>108</b>
<b>7.5.1.1.Classification des eaux par la méthode de Richards</b>	<b>108</b>
<b>7.5.1.2.Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards</b>	<b>111</b>
<b>Conclusion</b>	<b>112</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>113</b>
<b>Référence bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre I : généralités sur le changement climatique

Figure n °	Titre	Page n °
01	Schéma explicatif de processus de l'effet de serre	8
02	L'émission annuelle de gaz à effet de serre.	8
03	Carte montre la vulnérabilité au changement climatique	9

## Chapitre II: présentation de la zone d'étude

Figure n °	Titre	Page n °
04	la situation de F'kirina	16
05	nombre de population de f'kirina de la période (1987-2008)	18
06	carte d'occupation de sol	19
07	Carte Géologique de la plaine de F'kirina 1/50000	23
08	Coupe hydrogéologiques dans la plaine de F'kirina	27

## Chapitre III : Etude de changements climatiques

Figure n °	Titre	Page n °
09	Diagramme des pluviométries moyennes mensuelles de la période (1995-2016)	29
10	Diagrammes des températures moyennes mensuelles de la période (1995-2016)	30
11	Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de	31

## LISTE DES FIGURES

	la période (1995-2016)	
12	Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (1995-2016)	31
13	Diagramme des moyennes des vitesses des vents de la période (1995-2016)	32
14	Diagramme des moyennes des nombres de jour de sirocco de la période (1995-2016)	33
15	Diagramme des moyennes des nombres de jour de la neige de la période (1995-2016)	33
16	Diagramme des moyennes des nombres de jour de la gelée de la période (1995-2016)	34
17	Diagramme des moyennes des nombres de jour de grêle de la période (1995-2016)	35
18	Diagramme des moyennes des nombres de jour d'orage de la période (1995-2016)	35
19	Diagramme des moyennes des nombres de jour de brouillard de la période (1995-2016)	36
20	Diagramme des moyennes des nombres de jour de rosée de la période (1995-2016)	37
21	Indice d'aridité annuel de Martonne	38
22	Diagramme ombrothermique de Gaussen et de Bagnouls	39
23	Le climagramme d'Embergie pour la zone d'étude	40
24	l'évolution de la pluviométrie de la zone d'étude de la période (1987-2017)	46

## LISTE DES FIGURES

25	l'évolution de la température de la zone d'étude de la période (1987-2017)	47
----	--	----

### Chapitre VI: Résultat et discussion

Figure n °	Titre	Page n °
26	Carte d'inventaire des points de prélèvement	50
27	Carte de la Variation spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la région d'étude	53
<b>28</b>	Carte de la Variation spatiale de pH des eaux souterraines de la region d'étude	<b>54</b>
29	Carte de la Variation spatiale de la dureté des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	55
30	Carte de la Variation spatiale de la dureté des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	55
31	Carte de la Variation spatiale de la minéralisation des eaux souterraines de la région d'étude	56
32	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Calcium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	57
33	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Calcium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	58
34	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Magnésium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	59
35	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Magnésium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	60

## LISTE DES FIGURES

36	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Sodium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003,	60
37	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Sodium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	62
38	Carte de la Variation spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	63
39	Carte de la Variation spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	
40	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Chlorure des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	64
41	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Chlorure des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	65
42	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Bicarbonate des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	67
43	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Bicarbonate des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	67
44	La carte de la Variation spatiale des teneurs en Sulfate des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	68
45	La carte de la Variation spatiale des teneurs en Sulfate des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	69
46	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Nitrate des eaux souterraines de la région d'étude en 2003	70
47	Carte de la Variation spatiale des teneurs en Nitrate des eaux	71

## LISTE DES FIGURES

	souterraines de la région d'étude en 2016	
48	Courbe de variation du rapport $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ dans la nappe de F'kirina en 2003	74
49	Courbe de variation du rapport $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ dans la nappe de F'kirina en 2016	74
50	Courbe de variation du rapport $Ca^{2+}/SO_4$ dans la nappe de F'kirina en 2003	75
51	Courbe de variation du rapport $Ca^{2+}/SO_4$ dans la nappe de F'kirina en 2016	75
52	Courbe de variation du rapport Na/Cl dans la nappe de F'kirina en 2003	76
53	Courbe de variation du rapport Na/Cl dans la nappe de F'kirina en 2016	76
54	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude 2003	77
55	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude 2016	78
56	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003 de puits 01 à puits 14	79
57	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003 De 15 points à 28	80
58	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003 De 16 points à 42	81

## LISTE DES FIGURES

59	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003 De 43 points à 56	82
60	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003 de 57 points à 61	83
61	Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2016	84
62	Variations d'indice de saturation	89
63	Histogramme des valeurs propres	93
64	Cercle des corrélations (axes 1 et 2)	94
65	projection des variables et des individus sur le plan formé par les deux premiers axes	100
66	Structure d'une carte topologique.	101
67	Gradient de valeurs des paramètres physico chimiques sur la carte de Kohonen.	103
68	Hierarchisation d'une classification non supervisée .	104
69	Arbre de classification des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de F'kirina avec la méthode des cartes topologiques (SOM).	104
70	Répartition des échantillons sur la carte de Kohonen à partir des variables physico-chimiques des eaux souterraines étudiées.	105
71	Répartition finale des stations selon les classes sur la carte de Kohonen à partir des variables physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de F'kirina.	106



## LISTE DES FIGURES

72	Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation de bassin Selon la méthode du SAR en 2003	110
73	Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation de bassin Selon la méthode du SAR en 2016	110
74	Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards, pour la nappe de F'kirina.	111

# LISTE DES TABLEAUX

## Chapitre II : présentation de la zone d'étude

Tableau n °	Titre	Page n °
01	Les norms d'impact sonore de la directivesBimSchV16	20
02	L'alimentation en eau agricole (AEA)	22

## Chapitre III : Etude de changements climatiques

Tableau n °	Titre	Page n °
03	Les cordonnées géographiques de la station d'Oum El Bouaghi	28
04	Type de climat selon l'indice d'aridité	38
05	ETP selon la formule de Turc	41
06	ETR selon C.W Thorthwaite	42
07	Bilan hydrique selon C.W Thorthwaite de la station d'Oum El Bouaghi	43
08	La lame d'eau ruisselée pour la station de f'kirina	44
09	La lame d'eau infiltrée estimée à l'aide du bilan hydrologique po	45

## Chapitre VI: Résultat et discussion

Figure n °	Titre	Page n °
10	Les valeurs de concentrations des éléments minéraux de points d'eau prélevées en 2003 et 2016	72
11	Indice de saturation des eaux de la zone d'étude	87

## LISTE DES TABLEAUX

12	Calcul des moyennes et des écarts-type de la série	90
13	Matrice de corrélation	91
14	Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux	92
15	Vecteurs propres	93
16	Etude de variables	95
17	Etude des individus	95
18	Grandeurs statistique de base pour les paramètres physico-chimiques	107

## LISTE DES ABREVIATIONS

**Evap:** évaporation;

**H:** humidité (%);

**Ia:** indice d'aridité;

**Is :** indice de saturation

**Max:** maximum;

**Min:** minimum;

**Moy:** moyenne;

**Nbr de jrs:** nombre de jour;

**P:** précipitation annuelle (mm);

**T:** température annuelle (°C);

**CFC :** chloro-fluro-carbone

**RFU :** réserve facilement utilisable

**l'ETP :** l'évapotranspiration potentielle

**l'ETR :** l'évapotranspiration réelle

**DA :** Le déficit agricole

**CCNUCC:** la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

**GES:** gaz à effet de serre

**CI:** Continental Intercalaire

**CT:** Complexe Terminal

**ANRH :** l'agence national des ressources hydriques

**pH:** potential d'hydrogène

**P:** puit

**F :** forage

**OMS :** l'organisation mondiale de la santé

**DHT :** dureté

**NW:** Nord- ouest

**NE-SW:** Nord-est\_Sud-ouest

**S.N.L.B :** L'usine de liège et de bois

**PDAU:** plan d'aménagement urbaine

**Hab:**habitants

**AEP :** l'alimentation en eau potable

**DHW:** direction d'hydraulique de la wilaya

**AEI : L'alimentation en eau pour l'industrie**

**ACP :** l'analyse en composantes principales

**ACH :** l'analyse de classification hiérarchique

**Tab:** tableau

**F1:** facteur 01

**SOM :** Self-Organizing Maps

**S.A.R:** le sodium absorbé par le sol

# **Introduction générale**

## *Introduction générale*

---

Le changement du climat touche sérieusement l'Afrique. L'intensité accrue des sécheresses, des inondations et des changements de saisons de récolte peuvent avoir des implications importantes dans la productivité du sol, la disponibilité en eau, la sécurité alimentaire, et en retour sur le bien-être humain et la pauvreté ; elle peut aussi avoir des effets nuisibles pour la santé, et dans plusieurs de cas, des effets irréversibles sur la diversité biologique

Le changement observé pendant plusieurs décennies a été relié à la modification survenue dans le cycle hydrologique à grande échelle, Au niveau mondial, la superficie des terres considérées Comme très sèches a plus que doublé depuis les années 1970.

L'homme est le principal ennemi de notre planète car en effet, c'est principalement l'activité humaine qui provoque le réchauffement climatique.

Des changements dans la quantité et la qualité de l'eau attribuables au changement climatique devraient influencer la disponibilité, la stabilité et l'utilisation des aliments ainsi que l'accès à ces derniers. Ceci devrait entraîner une diminution de la sécurité alimentaire et une vulnérabilité accrue des cultivateurs dans les zones rurales pauvres, en particulier dans les régions tropicales arides et semi-arides.

Vers le milieu du XXIe siècle, le débit moyen annuel des cours d'eau et la disponibilité en eau devraient augmenter en raison du changement climatique aux latitudes élevées et dans certaines zones tropicales humides, et diminuer dans des régions sèches aux latitudes moyennes et dans les régions tropicales sèches.

L'augmentation de l'intensité et de la variabilité des précipitations devrait augmenter les risques de crue et de sécheresse dans plusieurs régions. L'augmentation de la température des eaux et les variations des phénomènes extrêmes, notamment les crues et les sécheresses, devraient influencer la qualité de l'eau et aggraver de nombreuses formes de pollution aquatique (sédiments, nutriments, carbone organique dissous, organismes pathogènes, pesticides et sel)

Les eaux souterraines constituent une ressource naturelle importante. Elles représentent un réservoir d'où l'on peut tirer, s'il est bien protégé, une eau de bonne qualité pour l'approvisionnement en eau potable ainsi que pour l'agriculture et l'industrie. La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés, les changements climatique. L'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages

## *Introduction générale*

---

souhaités. Plusieurs cas de pollution ont déjà fait l'objet de nombreuses études et publications dans des journaux internationaux.

En Algérie, la pression sur les ressources en eau et en particulier sur les ressources en eau souterraines est à la hausse, parce que l'eau est un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique. Et L'exploitation de ces ressources devienne très intense avec les besoins grandissants liés aux changements climatiques, à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, dont ils sont autant des facteurs qui font augmenter la dégradation de sa qualité et qui rendent le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution. C'est pour cela qu'il est devenu très utile de procéder à des contrôles et analyses physico-chimiques de l'eau périodiquement

Au vu de l'état inquiétant de la qualité des eaux dans la région d'étude, on a intervenue pour faire une étude a fin d'indiquer le rôle principal de changement climatique dans la détérioration de la qualité des eaux à partir le traitement des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines au niveau de cette zone Dans cette thèse, nous allons approfondir nos études et essayer de répondre à certaines questions :

- Quel est l'état actuel de la qualité chimique des eaux souterraines de la région d'étude?
- Quels est l'origine des polluants chimiques existant dans l'eau ?
- Quels sont les phénomènes climatiques intervenant dans la dégradation de la qualité des eaux souterraines de la région d'étude, si elle est prouvée ?

Pour répondre à ces questions, une analyse physico-chimique des eaux souterraines a été réalisé en collaboration de Plusieurs outils (géologique, climatique) ont été utilisés afin d'interpréter les données. L'ensemble des résultats obtenus montre l'existence d'une forte pollution : Par l'effet des rejets urbains, et par l'effet de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture et la dissolution des formations évaporitiques et enfin la nappe des graviers par l'effet de la salinité.

Les détails de ces résultats sont présentés dans cette thèse, à travers deux parties :

- La première partie bibliographique représente des généralités sur le changement climatiques, une description générale de la zone d'étude avec une étude des caractéristiques géologiques
- La deuxième partie pratique concerne l'analyse de changements climatiques et les résultats détaillés qui sont réalisées sur les sites expérimentaux de la zone d'étude qui traitent l'effet de fluctuations climatiques sur la qualité des eaux en relation de la géologie locale du site, et de la chimie des eaux.



# **partie bibliographique**

# **Chapitre I :** **Généralité sur le changement climatique**

## Généralité sur les changements climatiques

### Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter l'état actuel des connaissances sur le changement climatique et ses conséquences sur le cycle de l'eau dans la mesure d'apporter des éléments d'information sur les mécanismes qui influencent le plus les évolutions hydro-climatiques observées et projetées et de fournir une vue générale sur le changement climatique observé et projeté à l'échelle globale, avec une attention particulière sur l'Algérie. Les ressources en eau sont aussi présentées en Algérie. **(Elmeddahi, 2016)**

Le changement climatique a depuis longtemps cessé d'être une curiosité scientifique. Il n'est plus simplement un sujet d'inquiétude environnemental parmi d'autres qu'il faut réguler. Comme l'a déclaré le Secrétaire Général des Nations Unies, il constitue la question environnementale majeure qui domine notre époque. Le changement climatique constitue le défi majeur auquel doivent répondre les organismes de contrôle environnementaux. D'autant plus que cette crise grandissante s'étend désormais au niveau économique, sanitaire, alimentaire, sécuritaire ainsi qu'à de nombreux autres secteurs.

Au cours des trois dernières décennies du XXe siècle, de nombreux scientifiques ont affirmé que le changement climatique pourrait entraîner des changements importants menaçant l'existence même de l'homme sur la planète. Cependant, certains prétendent que le changement climatique n'a rien de nouveau sur la planète et qu'il existe depuis des temps immémoriaux **(Bryson, 1974; Spenceer et Christy, 1990 et Ralph, 2012)**.

D'autres pensent que le changement climatique dans la composition de l'atmosphère a atteint un danger irrévocable **(Mann et al., 1998 ; Betoux et al., 1998 ; Arnell, 1999a ; Nepstade et al., 1999 ; Barnett et al., 2001 ; Levitus et al., 2001 ; Petit, 2001 ; Houghton et al., 2001 ; Duplessy et al., 2001 ; Nicholson, 2001 ; Folland et al., 2002 ; Hansen et al., 2006 ; Brohan et al., 2006 ; Bertin, 2008 ; McBean et Ajibade, 2009 ; Solomon et al., 2009 ; Allen et al., 2009 et Camuffo et al., 2010)**. Entre ces points de vue extrêmes, de nombreuses hypothèses ont été émises et qui diffèrent dans leurs concepts et leurs conclusions. Peut-être que la raison principale de ces différences serait liée à la nature complexe de la question du changement climatique et à l'absence de données suffisantes pour formuler une théorie avec suffisamment de précision.

L'importance du problème n'a été reconnue par les organisations internationales que vers 1980 et ce n'est qu'en 1988 qu'a été créé le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC/IPCC, 2008 ; Elmeddahi, 2016)

Les changements climatiques sont bien plus qu'une tendance au réchauffement. Une augmentation des températures mènera à de nombreux changements météorologiques sur les plans, (par exemple), de la configuration des vents, de la quantité et du type de précipitation ainsi que du type et de la fréquence de phénomènes météorologiques extrêmes qu'on pourrait s'attendre à voir frapper une région particulière. Un tel changement climatique pourrait avoir des conséquences imprévisibles et d'une portée considérable sur le plan environnemental, social et économique.(Adj, 2009)

Les mesures terrestres de températures réalisées au cours du XXe siècle entre 1906 et 2005 montrent une élévation générale de 0,74°C. Ce réchauffement aurait été plus important ces cinquante dernières années, la hausse ayant atteint 0,13°C par décennie. 1998 et 2005 enregistrent les températures de surface les plus élevées depuis 1850. Cette tendance semble de plus corrélée à l'augmentation dans l'atmosphère de la concentration de gaz à effet de serre (cf. encadré 1) tels que le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O). Ces gaz seraient les principaux responsables du réchauffement global. (Perret, 2008)

### 1. Définition du climat

Au sens étroit du terme, le climat désigne en général « le temps moyen » ou, plus précisément, c'est la synthèse des variations quotidiennes observées en un lieu précis. Le climat d'une région donnée est obtenu par la collecte de données statistiques sur les conditions météorologiques d'une période donnée variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années. Il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, et il inclut généralement les éléments météorologiques suivants : la température, la hauteur de précipitation, l'humidité, l'ensoleillement et la vitesse des vents. (GIEC, 2008 ; Glossaire, 2009)

### 2. Climat et cycle de l'eau

Le cycle de l'eau et le climat sont intimement liés, cette relation prend néanmoins une nouvelle importance dans le contexte du changement climatique. Prévoir l'évolution du climat dans les prochaines décennies, nécessite une bonne compréhension des processus du cycle

hydrologique. D'autre part, le changement du climat s'accompagnera certainement de modification du cycle de l'eau. (Elmeddahi, 2016)

Le réchauffement de la surface peut conduire à une diminution de la couverture neigeuse et de la glace (Sylvestre et al., 1998; Huybrechts et de Wolde, 1999 et Parrenin, 2002 in Elmeddahi 2016). Ce phénomène entraîne une modification des propriétés radiatives de la surface terrestre, avec une diminution de l'albédo, une absorption du rayonnement solaire accrue, et au final un réchauffement (Rétroaction neige/albédo).

### 3. Définition du changement climatique

Le changement climatique correspond à un changement du temps moyen observé dans une région donnée. Le temps moyen comprend tout les éléments que nous associons habituellement au temps, à savoir la température, les caractéristiques des vents, les précipitations et duré d'insolation. (Glossaire 2009 ; Tabet, 2008)

Selon les experts du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), le changement climatique peut être défini comme toute modification durable (de quelques décennies à des millénaires) des paramètres du climat, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine (GIEC, 2008). D'après les résultats trouvés par ce Groupe la Terre se réchauffera de 1,8°C à 4°C d'ici à 2100.

Cette définition diffère de celle proposée dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), qui affirme que les « changements climatiques » sont des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables. »

### 4. Les indicateurs du changement climatique

- **L'augmentation de la température de surface sur la Terre** : L'augmentation de la température de surface sur la terre est de  $0,8 \pm 0,2$  °C depuis 1870. Elle reste notablement différente pour les deux hémisphères : plus forte au Nord et plus forte aux hautes latitudes.
- **La température des océans** : Mesurée depuis les années 1950 par les bateaux de commerce ou les navires océanographiques (jusque vers 700 m de profondeur) et plus

récemment par le système de bouées profitantes Argo, montre une augmentation moyenne globale depuis quelques décennies.

- **La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques.** La banquise, dont la fonte ne contribue pas à l'élévation du niveau des océans, est un autre indicateur fort de l'accélération de l'évolution du climat : de 8,5 millions de km<sup>2</sup> stable dans la période 1950-1975, la surface des glaces de mer a connu une décroissance très rapide jusqu'à 5,5 millions de km<sup>2</sup> en 2010.
- **Le recul des glaciers continentaux** Le recul des glaciers continentaux est observé de façon quasi généralisée depuis 3 à 4 décennies, avec une nette augmentation au cours des 20 dernières années.
- **Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland** Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland ont un bilan total de masse négatif depuis une dizaine d'années. Si quelques régions élevées de l'intérieur des calottes, en particulier Antarctique, s'épaississent un peu par suite de précipitations neigeuses accrues, la perte de masse domine. Celle-ci s'effectue dans les zones côtières du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest par écoulement très rapide de certains glaciers vers l'océan et décharge d'icebergs. On pense que le réchauffement des eaux océaniques dans ces régions est la cause majeure des instabilités dynamiques observées. **(Beghdadi, 2014)**
- **Le niveau moyen des océans** Le niveau moyen des océans est un autre indicateur qui intègre les effets de plusieurs composantes du système climatique (océan, glaces continentales, eaux continentales). Avant 1992, le niveau de la mer était mesuré par des marégraphes le long des côtes continentales et de quelques îles : le niveau des océans, en moyenne annuelle sur toute la planète, s'est élevé à un rythme de 0,7 mm/an entre 1870 et 1930 et d'environ 1,7 mm/an après 1930. Depuis 1992, les mesures sont effectuées par satellites : la hausse du niveau moyen global de la mer est de l'ordre de 3,4 mm/an. Les contributions climatiques à cette élévation sont approximativement dues, pour un tiers à la dilatation de l'océan consécutive au réchauffement et, pour les deux autres tiers, aux glaces continentales à parts quasi égales, fonte des calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique d'une part, et fonte des glaciers continentaux d'autre part. **(Beghdadi, 2014)**
- **Les indicateurs biologiques,** Les indicateurs biologiques, tels que les déplacements de populations animales terrestres ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières, montrent aussi la survenue d'un réchauffement climatique. **(GIEC, 2014)**

## 5. Les causes du changement climatique

Le réchauffement climatique en lui-même est un phénomène naturel. Car bien avant la révolution industrielle « les sociétés ont du faire face à des changements graduels ou abrupts du climat durant des millénaires ».

Plusieurs facteurs entrent en jeu dans la variation du climat suivant que ce soit à long ou court et moyen terme. Les variations de températures de l'atmosphère sont généralement liées à différents facteurs comme les fluctuations de l'activité du soleil (depuis 1911 la constante solaire cesse d'augmenter, et d'après des analyses informatiques des différents cycles solaires, la constante solaire devrait augmenter jusqu'en 2030 pour chuter après **(tabet s 2008)**) ou la vitesse de la terre. Mais la majorité des scientifiques pensent que la cause majeure du réchauffement actuel de la planète un phénomène, appelé « effet de serre ».

### 5.1.L'effet de serre

L'effet de serre greenhouse effect 1. Les gaz à effet de serre absorbent efficacement le rayonnement infrarouge thermique émis par la surface de la Terre, par l'atmosphère elle-même en raison de la présence de ces gaz et par les nuages. Le rayonnement atmosphérique est émis dans toutes les directions, y compris vers la surface de la Terre. Par conséquent, les gaz à effet de serre retiennent la chaleur dans le système surface-troposphère : c'est ce qu'on appelle l'effet de serre. La surface de la Terre se maintient à une température beaucoup plus élevée, de + 14 degré en moyenne.

Une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre accroît l'opacité de l'atmosphère au rayonnement infrarouge et entraîne donc un rayonnement effectif vers l'espace depuis une altitude plus élevée et à une température plus basse. Il en résulte un forçage radiatif qui entraîne un renforcement de l'effet de serre; c'est ce qu'on appelle l'effet de serre renforcé. **(GIEC, 2008 ; glossaire, 2009 ; Tabet, 2008)**

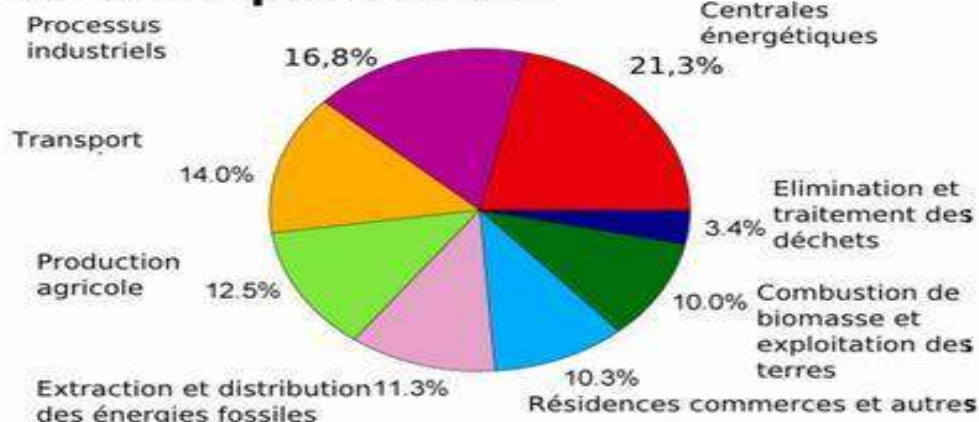


Figure 01 : Schéma explicatif de processus de l'effet de serre

Parallèlement au réchauffement moyen de la basse atmosphère, un accroissement constant de la quantité de gaz à effet de serre (GES) a été mis en évidence au cours des dernières décennies, malgré l'absorption naturelle des océans et de la végétation. La vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, les chlorofluorocarbures, l'ozone... contribuent directement à l'effet de serre mais l'influence de ces gaz est variable

Les gaz à effet de serre sont extrêmement divers, certains (les CFC par exemple) sont exclusivement produits par les activités humaines, tandis que d'autres résultent à la fois de processus naturels et anthropiques.

### Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur



Source: Robert A. Rohde 2007

Figure 02 : L'émission annuelle de gaz à effet de serre.



Les émissions actuelles de gaz à effet de serre (GES) en Afrique sont de petite importance à l'échelle planétaire, et n'ont jusqu'à présent contribué qu'à une proportion négligeable à la création des GES dans l'atmosphère. La part des émissions des GES d'Afrique dans les émissions au niveau planétaire peut augmenter considérablement et peuvent devenir comparables à celles d'autres régions vers la fin du prochain siècle.

**6. Les impacts des changements climatiques : une répartition des impacts inégale**

Le réchauffement planétaire introduit un facteur supplémentaire d'inégalité et de disparité entre les différentes zones géographiques du globe. Les populations des pays les plus pauvres du monde sont les plus vulnérables face aux effets du changement climatique, alors qu'ils sont les moins responsables. Les pays en développement ne sont en effet pas en mesure de se prémunir contre les impacts du phénomène et de s'y adapter.

Le changement climatique accentue les situations précaires des populations les plus démunies (sécurité alimentaire, accès aux soins, à l'eau et à l'énergie, logement...), renforçant encore un peu plus la fracture sociale et économique entre le Nord et le Sud. En raison de leur localisation, de la faiblesse de leur revenu, de l'insuffisance de leurs ressources et capacités institutionnelles, et du fait qu'ils misent d'avantage sur des secteurs dépendants du climat tels que l'agriculture, les populations des pays les plus défavorisées sont les premières victimes des actuels et futurs changements climatiques. (Figure 03)

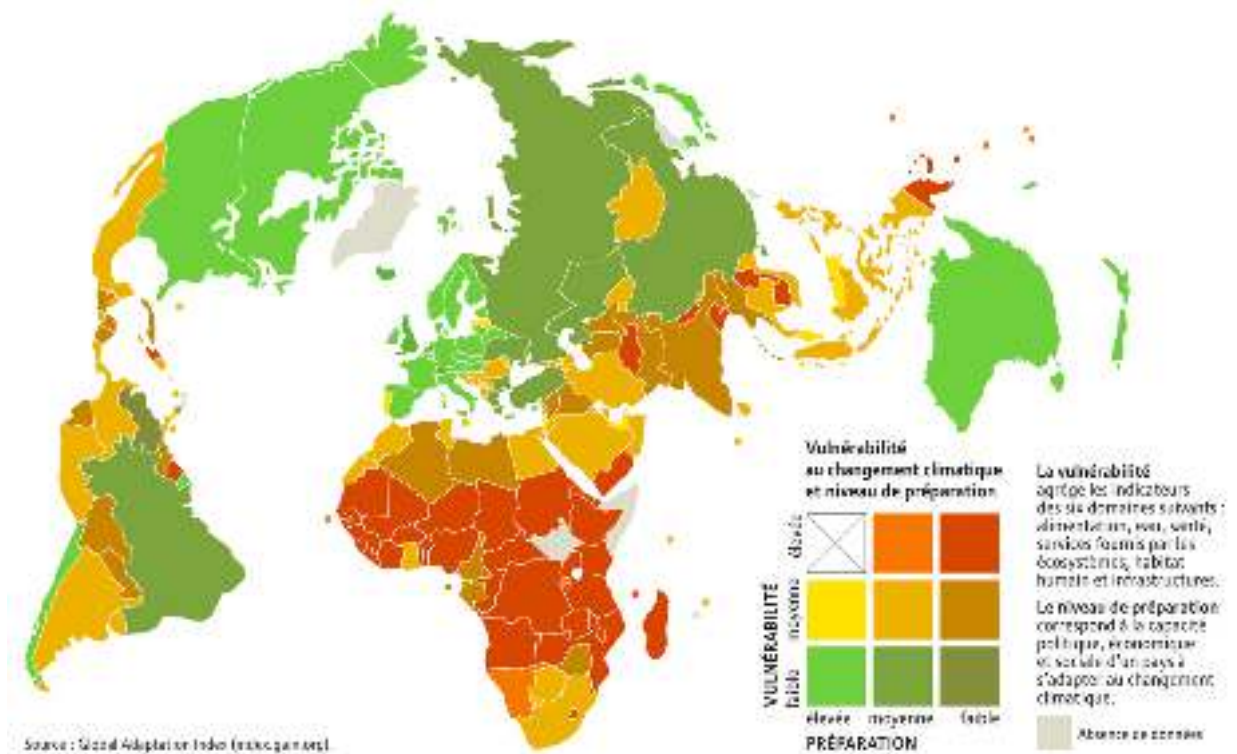


Figure 03 : Carte montre la vulnérabilité au changement climatique

## 7. Les conséquences de changement climatique

Plusieurs conséquences possibles de ces changements font l'objet d'un consensus scientifique. On peut donc raisonnablement penser que le changement climatique devrait se traduire par : la fonte des glaces et du permafrost, ce qui devrait ouvrir l'accès à de nouvelles terres arables, de nouvelles ressources minières et énergétiques et de nouvelles voies maritimes ; l'élévation du niveau des océans, ce qui inondera les zones de très faibles altitudes et modifiera la géographie côtière ; l'amplification des phénomènes d'évaporation et de précipitation, accroissant ainsi la fréquence et l'intensité des sécheresses et des inondations ; le déplacement des aires de répartition des organismes (et des maladies) et donc des grandes zones agricoles. Cela entraînerait des disparitions d'espèces, d'écosystèmes et une transformation des paysages ; éventuellement une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes, pluies torrentielles...) en fréquence et en intensité.

## 8. Lutte contre le changement climatique

Le Protocole de Kyoto est l'accord international établi entre 175 pays afin de limiter leurs émissions de gaz à effet de serre sur une période d'engagement de 2008 à 2012. Les réunions et conférences internationales, rassemblant pays industrialisés, en voie de développement et émergents se sont succédées en 2008 et 2009 afin de faire aboutir les négociations à un accord post-Kyoto. Un traité international ambitieux sur le climat devra être entériné en décembre 2009 lors du Sommet de Copenhague. Afin de lutter contre le réchauffement climatique, des modifications structurelles en termes de production et de consommation sont nécessaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre :

- réduction de l'utilisation des énergies fossiles ;
- réduction de la consommation d'énergie ;
- augmentation de la production d'énergie via les énergies renouvelables ;
- régulation des émissions d'origine agricole ;
- développement des transports propres et doux ;
- aménagement du territoire durable pour maîtriser les besoins de transports ;
- instauration d'une réglementation contraignante pour les émissions des différentes industries, des automobiles, du transport aérien et maritime ;
- amélioration de la performance énergétique du secteur du bâtiment aussi bien pour les logements anciens et récents ;

- instauration d'une taxe carbone, allant dans le sens du principe pollueur-payeur ;
- extension du marché européen du carbone à d'autres pays, et également à d'autres industries.

### 9. Le changement climatique en Algérie

L'Algérie, premier plus grand pays d'Afrique, situé au Sud de la Méditerranée, se compose d'ensembles géographiques contrastés et subit sur le plan climatique une double influence des systèmes tempérés et tropicaux. Sa situation particulière l'expose à une grande vulnérabilité aux impacts du changement climatique global.

Le climat a varié au cours du 20<sup>ème</sup> siècle et le signal du changement climatique apparaît dans les ruptures des séries pluviométriques. Les scénarios climatiques pour le siècle actuel indiquent un risque de réduction des pluies pouvant atteindre 20% (**MATE, 2001 ; Giorgi et Lionello, 2008**). Malgré les incertitudes qui subsistent, ces projections risquent d'affecter des secteurs stratégiques, tel que l'agriculture. Le risque climatique s'ajoute à d'autres facteurs de vulnérabilité liés au mode de développement économique et social dans un environnement naturel fragile et parfois à la limite d'une dégradation avancée.

Depuis 1970, les températures moyennes minimales et maximales sont en hausse sur l'ensemble du pays, et cette tendance se poursuit. Au cours des deux dernières décennies, les températures maximales augmentent plus rapidement que les températures minimales, et l'élévation de la température atteint 2°C environ. (**Elmeddahi, 2016**)

Entre 1923 et 1938, l'Algérie a connu un excès dans les précipitations. Cet excédent est de l'ordre de 17,6% dans l'Est, A partir de 1939, une période sèche a commencé et qui s'est étalée jusqu'en 1946 pour atteindre un déficit de 10,2% dans le Centre et 14,5% dans l'Ouest. Par contre, dans l'Est un excédent de 6,7% a été enregistré. La période 1947-1973 a été caractérisée par une période humide avec un excès de 13,1% au centre. .

Les périodes les plus sèches ont été observées durant 1949-1956 et 1960. À partir de 1974, l'évolution des précipitations met en exergue une diminution de l'ordre de 13% dans l'Est, 13,6% dans le Centre et 16,1% dans l'Ouest. Depuis 2000, la pluviométrie est restée déficitaire dans toutes les régions. (**Elmeddahi, 2016**)

## 10. Les ressources en eau en Algérie

L'eau est la plus importante source vitale à commencer par l'unité fondamentale de l'être vivant, la cellule baigne toujours dans l'eau. Cette dernière joue un rôle dans la régulation de la concentration intracellulaire et extracellulaire donc dans les échanges cellulaires qui permettent à leur tour à l'organisme de croître et de se développer (**Hubert, et Marin ; 2001**).

L'eau est inégalement répartie dans le monde. Le développement industriel et la demande de plus en plus croissante sur cette ressource feront que de nombreux pays seront exposés au stress hydrique (moins de 1700 m<sup>3</sup>/an par habitant) et à la pénurie hydrique (moins de 1000 m<sup>3</sup>/an par habitant).

L'Algérie ne fait pas exception à ce constat, elle se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m<sup>3</sup> par habitant et par an. Ce problème est dû à plusieurs facteurs dont les potentiels hydriques du pays sont limités qui sont aggravées par la variabilité climatique. Il a été noté que ce problème de pénurie d'eau a été accentué aussi par la mauvaise gestion des ressources en eau disponibles, ainsi que d'une hausse importante de la population

Cette situation liée à la faiblesse de la ressource est aggravée par une succession de périodes persistantes de la sécheresse dont le pays a souffert au cours des trois dernières décennies. Cette situation était particulièrement intense dans la région du Nord-Ouest du pays où une diminution de la pluviométrie annuelle comprise entre 10 et 20% a été observée (**Meddi ; 2007**).

L'irrigation agricole intense et le développement économique exerceront à nouveau la pression sur les ressources en eau limitées. De plus, les pertes totales dans les réseaux d'irrigation sont estimées globalement à 40% des prélèvements; elles dépasseraient 50% et fluctuent généralement entre 30% et 70% tandis que pour les réseaux d'AEP, les estimations évoluent entre 40% et 60 %. Ces pertes proviennent :

- A l'intérieur des habitations : de la défektivité des installations sanitaires et au gaspillage qui est encouragé par l'absence de compteur, la facturation forfaitaire et le faible prix de l'eau. L'impact des actions de sensibilisation à l'économie de l'eau reste très limité.
- Des canalisations d'adduction et de distribution de l'eau potable qui sont soit vétustes, soit réalisées à l'aide de matériaux de mauvaise qualité ou sans le respect des normes

techniques, d'où des dégradations et des corrosions qui se traduisent essentiellement par la présence de fuites multiples, des ruptures de conduite et une dégradation de la qualité au cours du transport.

- A ces causes, s'ajoutent les faibles moyens de détection et de réparation des pertes par les gestionnaires des réseaux. **(Elmeddahi ; 2016)**

Les potentialités totales en eau en Nord de l'Algérie sont estimées à 19.1 milliards de m<sup>3</sup>, dont 80% est renouvelable (c'est à dire 70% eau de surface (12 milliards de m<sup>3</sup> et 10% eau souterraine 2 milliards de m<sup>3</sup>) **(ANRH, 2009)**. Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine très importantes provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT).

Les réserves d'eau sont de l'ordre de 60 000 milliards de m<sup>3</sup> dont 40 000 milliards sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pratiquement pas renouvelable. La distribution de l'utilisation de cette eau est de 55,3% pour l'irrigation, 34,2% pour l'alimentation en eau potable et 10,5% pour l'industrie **(MRE, 2012)**. Dans le nord du pays, les ressources en eaux souterraines sont estimées à 1,9 milliards de m<sup>3</sup>. Ces ressources ont été fortement sollicitées, la recharge étant insuffisante, si bien que les niveaux piézométriques ont beaucoup baissé. Les ressources en eau de surface sont estimées à 12,4 milliards m<sup>3</sup> **(Remini, 2010)**.

Ces ressources qui dépendent des précipitations sont inégalement réparties et sont caractérisées par une grande variabilité spatiotemporelle. A l'échelle annuelle, elles varient de 1.100 mm à moins de 100 mm avec une baisse globale de 10% au cours des dernières années en raison du changement et de la variabilité climatique **(Boyé, 2008 ; MATE, 2010 et Elmeddahi et al, 2014)**.

### 10.1. Les eaux superficielles

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement **(Degremont ; 2005)**.

Près de 87% du territoire national représente une zone désertique, les précipitations sont faibles, irrégulières et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Elles sont concentrées surtout dans le nord du pays. Depuis l'indépendance, La mobilisation des ressources en eau a été axée sur les ressources en eau souterraine.

L'accroissement rapide de la demande en eau dans les secteurs de l'irrigation, de l'industrie ainsi que les besoins progressives de la population ont amené les pouvoirs publics à mobiliser de plus en plus les ressources superficielles. C'est ainsi que les efforts entrepris durant la décennie en cours, ont permis d'enregistrer des améliorations sensibles. Face à ce défi, le pays a mis en œuvre une nouvelle politique de gestion plus efficace des ressources en eau par le biais, par exemple de la construction de nouveaux barrages, qui sont passés de 52 barrages en 2002 avec une capacité totale de l'eau de 5,2 milliards de m<sup>3</sup> à 72 barrages actuellement avec une capacité de 7,4 milliards de m<sup>3</sup> (MRE, 2012 in Elmeddahi et al., 2016).

### **10.2. Les eaux souterraines de l'Algérie.**

Les ressources en eau souterraine dans le Nord de l'Algérie sont estimées à plus de 2 milliards de m<sup>3</sup>. Elles sont exploitées à plus de 90%, soit 1,9 milliards de m<sup>3</sup> et beaucoup de nappes se trouvent actuellement en état de surexploitation. Cette évaluation est effectuée par l'ANRH en 1993, 2004 et 2009.

### **11. Impacts attendus des changements climatiques sur les ressources en eau.**

Une intensification générale des pluies torrentielles. Cela induirait une augmentation des inondations et du ruissellement tout en réduisant les possibilités d'infiltration de l'eau dans le sol. Des modifications du régime des saisons pourraient affecter la répartition régionale des ressources en eau tant souterraines que superficielles.

Dans les climats secs, des modifications relativement faibles des températures et des précipitations pourraient provoquer une évolution relativement importante de l'écoulement. Les régions arides et semi-arides seront donc particulièrement sensibles à une diminution des précipitations et à une augmentation de l'évaporation.

Une augmentation des pluies diluviennes et des inondations pourrait engendrer de plus grandes pertes d'eau sous forme de ruissellement. Cela pourrait influencer à long terme sur les nappes souterraines. La qualité de l'eau pourrait également varier en fonction de la quantité et du moment des précipitations. (Elmeddahi, 2016)

# **Chapitre II :** **Description de la zone d'étude**

### Présentation de la zone d'étude

#### 1. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude est située au NE de l'Algérie. Elle représente une partie des hautes plaines constantinoises, des monts du Mellegue, des monts des Harectas et de ceux de Nememchas; à 900 m d'altitude, elle s'étend sur une superficie de 650 km<sup>2</sup> (Younssi, 2009) Elle appartient au sous bassin versant de Garaet Tarf. Le sous bassin versant de Garaet Tarf d'une superficie de 2430 km<sup>2</sup>, appartient aux bassins versant des hautes plaines Constantinoise (9578 km<sup>2</sup> de superficie). (Figure 04)

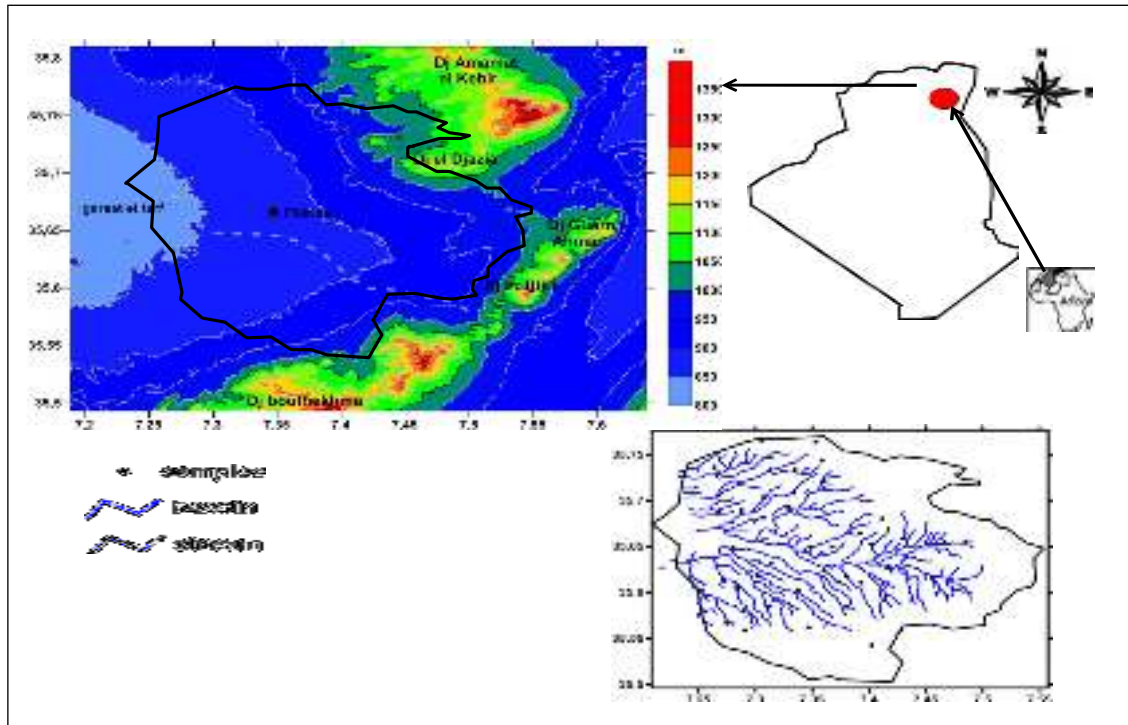
Pour les limites naturelles on distingue les zones suivantes:

- Au Nord : Djebel El Galaa Kebira(1246 m), Djebel Ammamrat El Kebira (1203 m), et le djebel El Forne (1184m).
- Au Sud: Djebel Boutakhma (1291m), djebel fedj Amer (1259m), et le Djebel Bou Tebina (1226m).
- A l'Est: Djebel El Medjifla (1174m), le Djebel Fedjijet (1291m), et le Kef El Assa (1117m).
- A l'Ouest: une vaste zone plate limite des hautes plaines constantinoises et par la Garaet Et Tarf

Du point de vue administratif la commune de F'kirina se trouve à une distance de 55 km au sud-est du chef-lieu de wilaya d'Oum El Bouaghi; à 40 km au Nord-Est de Khenchela; et à 18 km du siège de la Daïra de Ain El Beidha. Traversée par la route nationale 80 qui permet la liaison d'Oum El Bouaghi avec Khenchela. Sa superficie est de l'ordre de 342.08 km<sup>2</sup> (Figure 04).

Elle est limitée au Nord par Ain Beida, la commune de Zorg et la commune de Berriche, au Sud par La commune d'Oued Nini, à l'Est par la commune d'El d'jazia, à l'Ouest par la commune d'Oum El Bouaghi et Ain Zitoun et au Sud-Ouest par La commune de M'Toussa (willaya de Khenchla). Fkirina parmi les communes qui ont été construites depuis l'ère coloniale. Elle a été promue en tant que commune suite à la Division Administrative pendant l'Année 1974, puis en tant que Daïra en 1990 pour inclure Oued Nini, et le rassemblement secondaire Oum Al-Jamal, et y apparaisse aussi plusieurs MACHATI. Elle est considérée comme un secteur principalement rural agro-pastoral.





Source : Djoudi, 2019

Figure 04: la situation de F'kirina

### 1.1. Développement socio-économique

La région de F'kirina, est en sa totalité une région à vocation agricole, principalement de céréaliculture notamment l'orge et le blé tendre et l'élevage du bétail. Un autre domaine récemment introduit dans la région, est l'activité industrielle, avec la création des nombreuses usines concernant l'industrie légère tel que: Le complexe de produits textiles d'Ain Beida, L'usine de liège et de bois (S.N.L.B) et L'usine de SONELGAZ (la centrale turbine à gaz). Cette petite zone industrielle exploite des ressources hydrauliques importantes.

### 2. Le cadre géologique

La structure géologique simple se représente dans les montagnes calcaires qui forment la principale ligne du relief, d'altitudes très élevées et variables (supérieur à 1000 m), et de direction générale NE-SW; dont les mouvements tectoniques sont très forts, elle est entourée par de larges plaines sous forme de plateaux où les interfaces de ruptures fortes qui permettent une grande perméabilité à l'eau, ce qui rend l'émergence de 3 zones :

Zone Ouest (une région plat très large); zone Est (Cours interrompu par Oued Maskiana); et entre les deux régions du mont se compose de la marne et de la chaux.

La plaine, est entièrement recouverte de formations plio-quaternaires (**Djouidi, 2019**), on constate du bas vers le haut, une couverture de terrain constitué essentiellement de calcite intercalant, des couches plus minces, de marne dure et d'argile; et plus précisément on distingue :

- Les éboulis à blocs : sont des grosses masses de calcaires situées au piémont des montagnes et qui proviennent des éboulements
- Les alluvions : forment l'unique et restreinte de l'oued Nini
- Les sols salés : ils sont dispersés dans la plaine, surtout on allant vers l'Ouest près de Garaet Et Tarf
- Les glacis : on distingue deux types de matériaux constituant les glacis, les uns d'âge récent : couvrant de très vastes surfaces, les autres d'âge ancien formé de croûtes calcaires et sont perchés par rapport aux surfaces précédentes.

### **3. La sismicité**

La zone concernée est en zone sismique I (correspondant à une sismicité faible) au regard du code algérien RPA 99. Cependant, il a été décidé d'établir les dimensionnements sur la base des impositions liées à une zone II.

### **4. La topographie de la région**

La topographie joue un rôle déterminant dans la conception du réseau. F'Kirina se caractérise par son site plat sans aucun accident apparent avec des pentes faibles variant entre 1et 2%. L'altitude moyenne est d'environ 850 variant entre 840 à 950m.

### **5. Le cadre climatique**

Le climat de cette région est de type continental froid et pluvieux en hiver, chaud et sec en été, les périodes de printemps et d'automne sont courtes. La région est exposée aux vents de l'Ouest. En été ses vents proviennent du Sud appelé généralement « Sirocco » dont la moyenne annuelle est de 38 jours selon le **PDAU**.

### **6. Les sols**

Essentiellement iso humique, salés sur les bordures des Garaet tarf, à l'intérieur des dépressions de Ras f'kirina des sols rouges.

## 7. Le patrimoine naturel

### 7.1. La Flore

La flore est constituée principalement d'herbes et d'arbustes de faible hauteur, la végétation dominante sur versants de montagnes pin d'Alep, chêne vert, genévrier, globulaires, romarin, armoise, genet et alfa, la céréaliculture et la culture maraichère (pomme de terre) et les parcours dans les chotts. Tout autour de la Sebkha (Garaet el Tarf) subsiste une végétation herbacée composée essentiellement d'Armoise blanche et d'Atriplex. (Saoudi, 2017) et renferme une richesse floristique peu importante, dissimulée dans les touffes de *Juncus acutus* et *Juncus maritimus* entourant le plan d'eau (Saheb in Aberkane 2014)

### 7.2. La faune

La faune de la région est intéressante en raison de la variété du gibier qui y trouve refuge. Elle était fréquentée par le lion de l'Atlas dans les temps lointains. Les animaux suivants peuvent être rencontrés dans le bois, le sanglier (*Sus scrofa*), le lièvre genre (*Lepus*), la perdrix (*Alectoris gambra*), le pigeon sauvage ramier (*Columba palumbus*), et quelques animaux de passage, entre autres le chacal (*Canis aureus*), le renard (*Vulpes vulpes*). Aux alentours de la région est constituée en majorité d'insectes et de petits mammifères ; et une grande richesse des oiseaux.

## 8. La population

La ville de F'Kirina et ses alentours, comptent 12 386 habitants. Ces chiffres sont issus d'une estimation de la population au 31/12/2002. La population est estimée à environ 3742 âmes en 1987, 10780 âmes en 1992, et à 11550 âmes en 1998, 12386 âmes en 2002, pour atteindre 12873 habitants en 2004, dont 6970 habitants vivent dans le centre urbain, 851 habitants vivent dans le centre secondaire, 5052 habitants âmes occupent les zones éparses, et en fin 12318 en 2008 ; actuellement, le taux de croissance est estimé à 1,50 %. (Figure 05)

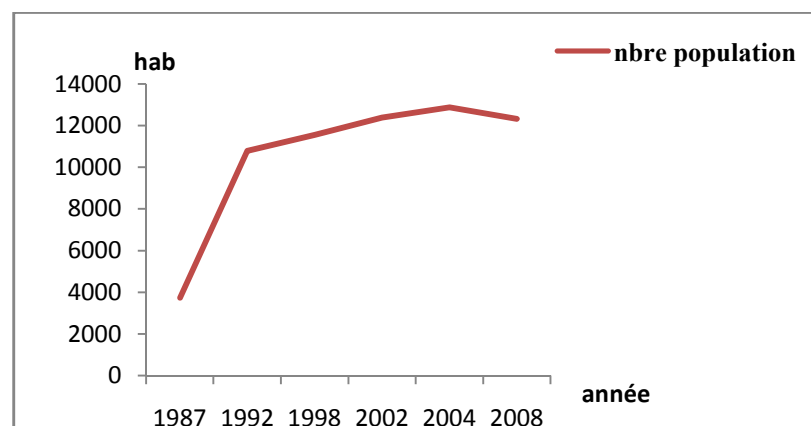


Figure 05: nombre de population de f'kirina de la période (1987-2008)

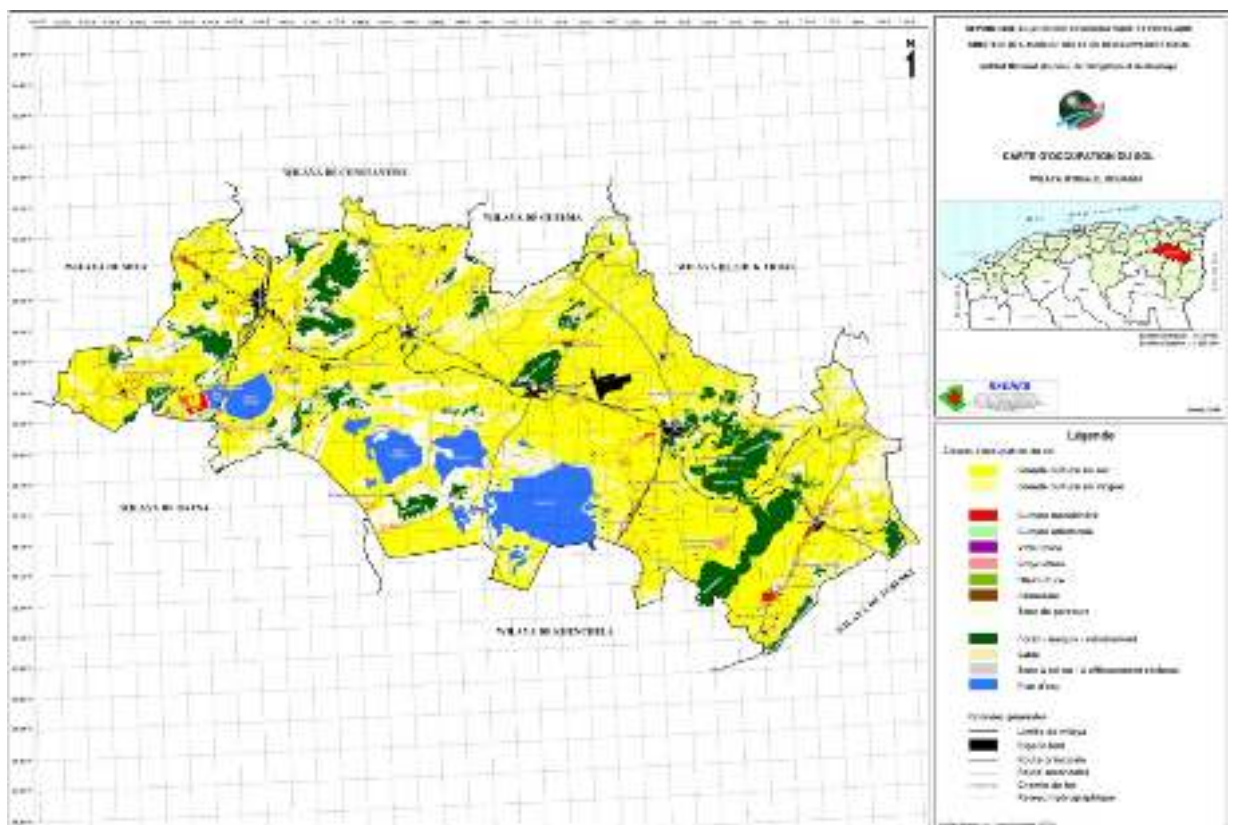
### 9. Le patrimoine culturel et architectural

On note la présence d'une vingtaine de mosquées et d'autant de zaouïas disséminées à travers les grands quartiers de la ville.

### 10. L'environnement agricole

La carte d'occupation agricole du sol (**Figure 06**), nous permet de constater que la commune est une région essentiellement céréalière extensive (blé dur, blé tendre, orge) bien que la plaine de F'kirina semble favorable l'agriculture intensive irriguée vu les potentialités hydrogéologiques importante qui permet certaines cultures intensives. Donc nous sommes en présence d'une agriculture archaïque basée sur la céréaliculture dont les rendements restent faibles et la production dépend des conditions climatiques notamment la pluviométrie.

Le contexte géologique à favoriser la prolifération de l'activité agricole dans la zone d'étude due à la présence du maestrichtien-campanien caractérisé par le marne et le grise donc la richesse par la matière organique qui est responsable de la fertilisation de sol.



**Figure 06: carte d'occupation de sol**

### 11. Le niveau sonore initial

Le niveau sonore initial a été mesuré le 24/02/2004 par le Laboratoire de Contrôle de la Qualité CIRTA LAB, en collaboration avec le service de médecine du travail, représentant du Département Environnement de la Willaya d'Oum El Bouaghi et représentants de SONELGAZ et d'ALSTOM. Le niveau de bruit mesuré, très homogène, correspond à une zone résidentielle

tranquille située à proximité d'une route nationale (moyenne de 6 véhicules par minute comptabilisés lors des mesures de bruit). Cette homogénéité s'explique par le relief plat de la zone ainsi que par la présence de vent lors des mesures.

**Tableau 01 : Normes d'impact sonore de la directive BimSchV 16**

L <sub>Aeq, T</sub> [décibels]	Jour	Nuit
Zone	6 heures-22 heures	22 heures-6 heures
Hôpitaux, écoles, installations sportives	57	47
Zones exclusivement résidentielles	59	49
Centres-villes, zones mixtes, villages	64	54
Zones industrielles	69	59

**Source : Wolfong, 2003**

## 12. le cadre hydrologique

En générale le réseau hydrique qui caractérise le sous bassin de Garaet tarf s'agit de torrents dont la formation est limité, de portées réduite et peu nombreux. Dans la région, il existe une multitude de montagnes qui bordent la plaine à l'Est, au Nord et au Sud, leurs altitudes sont supérieures à 1000m. Parmi ces montagnes, les plus importantes sont: Djebel Guern Ahmar (1200m), Djebel Fedjijet (1291m), Djebel Boutekhma (1349m), Djebel Djazia (1192m), Djebel Bardo (1110m), Djebel el Gala (1200m), Djebel el Zorge (1129m). A partir de ces massifs de nombreux cours d'eaux temporaires donnent naissance; et forment le réseau hydrographique. D'une façon générale l'écoulement se fait de l'Est vers l'Ouest, en direction de la sebkha de Garaet Et Tarf. F'kirina est drainée par trois oueds temporaires plus importants, il s'agit de Oued nini, Oued Isfert et Oued Oulmen.

La ville de F'Kirina est alimentée par 3 réservoirs surélevés avec une capacité de 250 m<sup>3</sup> x2 et 500 m<sup>3</sup>. Actuellement, la région est alimentée essentiellement par les eaux souterraines exploitées par des forages déclarés comme suivants:

- Le forage J40 avec un débit 9 l/s ;
- Le forage G42 avec un débit 4 l/s ;
- Le forage H41 avec un débit 3 l/s ;
- Le forage I38 avec un débit 5 l/s ;
- Le forage I33 avec un débit 5 l/s ;
- Le forage Ij34 avec un débit 3 l/s ;
- Le forage OL2 avec un débit 7 l/s ;

Donc, le débit mobilisé pour cette zone est de 36 l/s, Il y a aussi d'autres forages situés à F'kirina mais ils alimentent Ain Al Beidha et Oued Nini :

Les forages qui alimentent Ain Al Beidha sont:

- Le forage I33 bis avec un débit 50 l/s ;
- Le forage I40 avec un débit 20 l/s ;
- Le forage J37 avec un débit 18 l/s ;
- Le forage OL1 avec un débit 20l/s ;

Les forages qui alimentent Oued Nini : Le forage H52 avec un débit 7 l/s ; et le forage G55 avec un débit 5 l/s.

### **12.1. Besoins en eau dans la région d'étude**

#### **12.1.1. L'alimentation en eau potable (AEP)**

La plaine de F'kirina est la seule source d'alimentation en eau potable dans la région Sud Est de la Wilaya d'Oum El Bouaghie. Elle alimente trois communes, F'kirina, Ain Beida et Oued Nini, et ces mechtats. Le tableau n° 11 montre que la plaine de F'kirina assure l'alimentation en eau potable (AEP) pour 132213 habitants, soit par les forages qui captent les eaux des la nappe du mio-plio-quaternaire (H47, I33, O45, L31, G55,.....), ou par les forages qui captent les eaux de la nappes des calcaires des Mæstrichtien. La production journalière totale est de l'ordre de : 21764 m<sup>3</sup> / jour. Avec un déficit de 162 m<sup>3</sup>/ jour. La production annuelle est de l'ordre de 7,75 Hm<sup>3</sup> par an.

L'alimentation de l'eau potable du chef lieu est assurée à partir d'un forage (J 40) débitant 10 l/s. Le réseau de distribution est de type maillé, concerné seulement la population agglomérée, le taux de branchement est de 95% et le réseau est en bon état. Le stockage est quant à lui assuré par un réservoir de 48 m<sup>3</sup>. La dotation théorique journalière est de 173 l/j hab. La population en zone éparses s'alimente à partir de puits individuels et de bornes- fontaines.

#### **12.1.2. L'alimentation en eau agricole (AEA)**

Dans la région de F'kirina un nombre assez important de puits assurent l'alimentation en eau agricoles d'après la DHW d'Oum El Bouaghi. le nombre totale de puits captent la nappe du mio-plio-quaternaire est de l'ordre de 723. (**Tableau 02**)

**Tableau 02 : L'alimentation en eau agricole**

communes	Nombre de puits collectifs	Débits (l/s)	Nombre de puits individuels	Débits (l/s)
F'kirina	2	0.5	456	2
Oued nini	5	0.5	260	0.5

### 12.1.3. L'alimentation en eau pour l'industrie (AEI)

Généralement dans la région de F'kirina l'AEI se fait par le réseau de l'AEP, elle représente 2% (0,155 Hm<sup>3</sup>)

### 12.2.. L'assainissement

La ville est dotée par un réseau d'assainissement de types unitaire assurant l'évacuation des eaux usées domestiques et pluviales hiérarchisées, avec des diamètres de 300 à 2000 mm. La longueur totale de ce réseau est 93,269 km avec un taux de raccordement de 96%. Une population allant jusqu'à 9120 âmes et des moyens de drainages directs vers Oued Nini.

Le rejet des eaux usées se déverse au milieu naturel sans traitement (source : subdivision de F'Kirina). Ou se fait directement vers Oued Nini. Pour les rejets solides et d'ordures, la commune dispose d'une superficie de 500m<sup>2</sup>, malheureusement cette décharge n'est pas contrôlée.

### 13. Conclusion

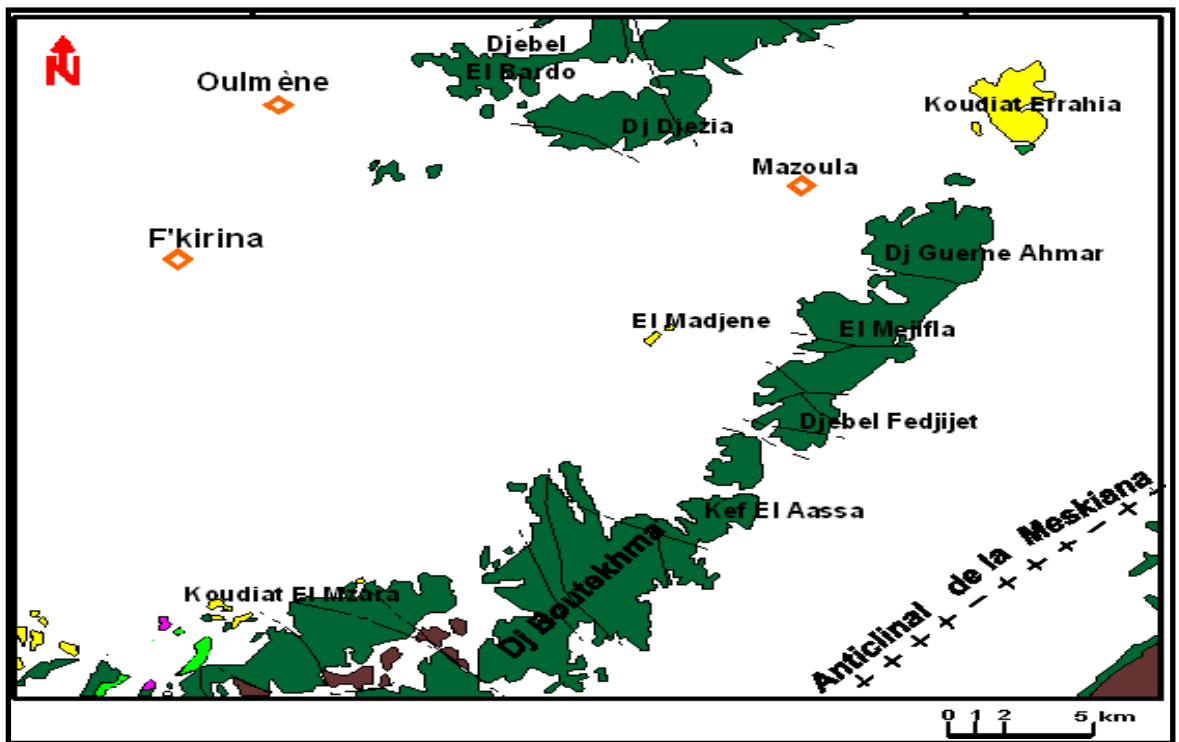
Pour cette partie, nous avons essayé de donner un aperçu sur les différents regroupements recensés dans la zone d'étude à savoir le chef-lieu de commune en prenant en ligne de compte certaines variables jugées primordiales à connaître avant d'entamer notre étude

Etude géologique

**Introduction**

La géologie est un moyen d'investigation, parce qu'elle permet la prévision des formations susceptibles d'être aquifère et de suivre leurs évolutions dans l'espace du terrain d'étude. Dans ce chapitre, on donnera un aperçu sur l'étude géologique générale de la région de F'kirina.

En général, la plaine de F'kirina est caractérisée par une géologie complexe et qualifiée de grande tectonique. Les formations secondaires et tertiaires sont localisées à l'extrême Est, au Nord-Est et au Sud de la plaine, elle est recouverte par le Quaternaire.



La source :Younssi, 2009

**Figure 07: Carte Géologique de la plaine de F'kirina**

**1. Description stratigraphique et lithologique**

**1.1. Le Secondaire :** Le Secondaire de cette région comprend des formations allant du Trias au crétacé supérieur .



**1.1.1. Le Trias :** Dans la zone d'étude, les formations triasiques sont représentées de façon très discontinue. Le matériel triasique rencontré en ces différents points présente régulièrement la même composition lithologique, faite des marnes d'argiles versicolores représentées par des dolomies sombres, rubanées et crypto cristallins, des cargneules finement gréseuses et des grès

**1.1.2. Le Jurassique :** Aucun affleurement du jurassique n'apparaît dans la zone d'étude .

**1.1.3. Le Crétacé Basal :** (Berriasien à Hauterivien) : Le crétacé basal se retrouve rarement à l'affleurement .

**1.1.4. Le Barrémien et L'Aptien :** Ce crétacé inférieur a été reconnu

-Dans l'axe Bou-Arif - Fedjoudj - Et-Tarf ;

-Dans la région de Khencha (Djebel.Pharaoun) ;

-A la limite Est de la feuille d'Ain Beida (Koudiat El Hadjel).

- **Le Barrémien sup.** : Il est composé de marnes grises noires schisteuses et de grès blanc, fins argilo carbonatés à tendance quartzreuse. Son épaisseur est d'environ 80 m ;
- **L'Aptien inf.** : Il est représenté par des marnes gris noir à intercalations de marno-calcaires gris. Son épaisseur est de 100 m ;
- **L'Aptien sup.** : Il est formé de micrites et de bio-sparites et d'alternance de marno-calcaires, l'épaisseur atteint environ 300 m ;

**1.1.5. L'Albien :** Représenté par des marnes, des grès ferrugineux et des biosparites .

**1.1.5.1. L'Albien sup. à Cénomaniens inf. :** composé par des marnes et des biomicrites grises.

**1.1.6. Cénomaniens sup. :** Il affleure dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain El Beida. Ce sont des marnes écrasées par la fracturation et des filons de calcite.

**1.1.7. Turonien :** Il est représenté par uniformément dans toute la zone montagneuse par un épais niveau de 200 à 300 m d'épaisseur. Composé de calcaire cristallin de calcaire marneux et de calcaire dolomitique.

Le turonien inférieur est représenté par des calcaires lités alternant avec des marnes d'épaisseurs variables. Le turonien est formé de marnes noduleuses.

#### **1.1.8. Sénonien:**

Du fait de l'importance de l'érosion antérieure au dépôt du Miocène marin, le Sénonien affleure de façon très irrégulière, il est très épais et atteint les 1200m à 2000m .

La partie supérieure de l'étage, formée régulièrement de calcaires massifs, donne des crêtes continues formant un des éléments caractéristiques de l'orographie de l'ensemble de la région. Les séries Sénoniennes rencontrées, sont essentiellement marno-calcaires et souvent très fossilifères. Vers le Nord-Est de Khenchela, elles montrent une nette variation de faciès qui se poursuit jusqu'au Djebel El Bardo sous forme de calcaires bréchiques, récifaux et bioclastiques.

**1.1.8.1. Coniacien** : alternances de marnes grises et de calcaires noduleux beiges ou ocre contenant parfois des grains de quartz; l'épaisseur de ce dernier est de centaine de mètres

**1.1.8.2. Santonien** : alternances de calcaires noduleux et de marnes grises l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 150 mètres.

**1.1.8.3. Campanien** : le Campanien est constitué à la base par une barre de calcaires de 75 à 90 m. d'épaisseur surmontée par des marnes grises ou beige et des alternances de marne et de marno-calcaires 60m .

**1.1.8.4. Maestrichtien** : Il est illustré par :

- Le Maestrichtien Inf. : Il est représenté par 40 m environ de marnes grises- beiges ,suivis d'une alternance de marnes beiges et de biomicrites argileuses ocres ,
- Maestrichtien Sup. : Ses niveaux déterminent la ligne principale des reliefs, ils sont représentés par : Des biomicrosparites grises, noduleuses, phosphatées et glauconieuses à passage marneuses à la base, alors qu'au sommet ce sont des biomicrites gris blanchâtres, massives (cassure blanchâtre) à passées noduleuses et à rognons de silex, la puissance de cet ensemble est de 120 m.

## **1.2. Tertiaire**

### **1.2.1. EOCENE:**

#### **1.2.1.1. Lutétien inférieur et supérieur – yprésien et thanétien**

Il est représenté par des calcaires alternant avec des marno-calcaires. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés et vers le sommet, des nummulites.

### **1.2.2. MIOCENE:**

Les affleurements du Miocène sont de dimensions réduites et se répartissent dans la partie Nord de la plaine. Donc c'est une Série composée par un ensemble marno-calcaire en haut, un ensemble de calcaires épais au centre de la série, et une série de stratification d'argile, calcaire, grès;

#### **1.2.2.1. Miocène inférieur: burdigalien-helvetien**

Le miocène inférieur est marin. La série commence en général par des couches rouges continentales : argiles et marnes sableuses, grès et poudingues, d'une épaisseur totale variant entre 0 et 300m. Au-dessus viennent des sédiments marins, grès, calcaires gréseux, marnes et argiles sableuses, d'une épaisseur totale variant entre 200 et 600m.

#### **1.2.2.2.. Pontien** grès et argiles rouges.

### **1.2.3. PLIOCENE:**

Dépôts continentaux détritiques sable. Conglomérats, marnes et argiles rougeâtres.

### 1.3. QUATERNAIRE:

Les dépôts quaternaires ont recouvert la majeure partie des plaines. Ces dépôts sont très variés. Toutefois, la sédimentation est une majeure partie argileuse et marneuse, En ce qui concerne la tectonique, le territoire étudié peut être divisé en trois zones structurales:

#### 1.3.1. Ecailles de la CHEBKA des SELLAOUA

(Correspondant à la barrière de la Chebka des Sellaoua Nord-ouest de la zone de F'kirina). Les alignements structuraux y sont tous orientés Nord-est et Sud-ouest. Le champ des contraintes a relativement peu varié en direction dans l'espace et dans le temps. Après la période d'épirogenèse et de mouvements verticaux du crétacé, la zone a subi des efforts essentiellement latéraux, transversaux à l'axe des structures. Les plis sont en général déversés vers le Sud et passent souvent à des écailles. La compression s'accroît vers le Sud-ouest. L'effort latéral a continué longtemps après le burdigalien alors que les sédiments plissés de cet étage avaient déjà subi un début d'érosion.

#### 1.3.2. Zone de transition:

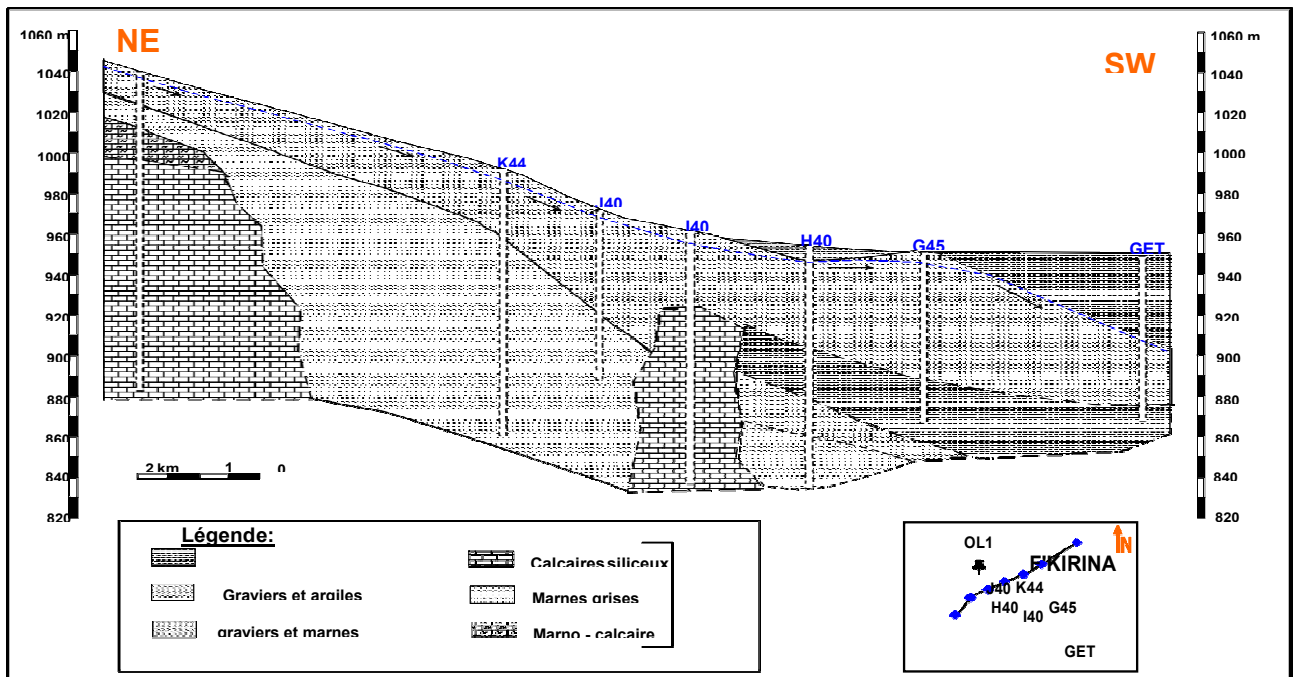
Zone formée par une bande très allongée et très étroite s'appuyant sur la Chebka des Sellaoua et comprenant les Djebels Sidi Reghiss-El Hammimat et Essensa. Les axes des plis sont Est-ouest au Djebel Hammimat. Les directions des failles sont variables Nord-Est, Sud-Ouest et proches parfois d'Est-Ouest.

Le dôme du Djebel Sidi Reghiss présente une particularité, à savoir l'effondrement de sa partie méridionale. La présence de nombreux failles transversales et de quelques failles longitudinales découpent les calcaires rigides de l'Aptien. Ces éléments structuraux ont beaucoup influencé la morphologie du dôme calcaire, facilitant grandement l'attaque par l'érosion.

#### 1.3.3. Zone saharienne septentrionale:

Zone très importante comprenant tout le reste du territoire d'étude. Avec larges plis simples. Des champs importants de failles transversales aux axes des plis, se sont formés, surtout après le miocène, donnant lieu à des décrochements verticaux très importants et à des déplacements tangentiels. Les différentes phases orogéniques ont superposé dans cette région des directions Nord-Ouest, Sud-est, Est-ouest, Nord-Est et Sud-Ouest.

Au point de vue hydrogéologique, le niveau statique est en général à des profondeurs de 4 à 15m dans les zones étudiées. Les niveaux aquifères pouvant être intéressants sont les différents horizons calcaires, tertiaires et crétacés (en particulier les calcaires aptiens reconnus aux forages d'Ain Babouche et de Bir Djedida).



La source :Younssi, 2009

Figure 08 : Coupe hydrogéologiques dans la plaine de F'kirina

**Conclusion**

La zone étudiée fait partie des domaines para autochtones Nord-Aurésien ,L'étude géologique de la plaine, basée sur la description géologique de la région. Cette région se caractérise géologiquement par :

- Sa localisation dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises avec des affleurements de bordure d'âge Crétacé,
- Les formations d'âge Quaternaire se répartissent en totalité dans la plaine
- Les activités tectoniques ont produit des plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction perpendiculaire affectant les formations crétacées.
- A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.
- A partir de la lithologie des formations géologiques, on peut avoir une idée sur la minéralisation des eaux souterraines. Ainsi,
  - Les calcaires donnent un faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique ;
  - Les marnes sont à l'origine des faciès sulfatés ;
  - Les alluvions donnent plusieurs faciès non salés.

On note que la présence du Trias peut provoquer la salure des eaux souterraines.

**partie pratique**

# **Chapitre III : étude de changements climatiques**



Etude de changements climatiques**Introduction**

Les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde. Le cycle de l'eau étant l'une des composantes majeures du climat, les implications de ces changements sur les régimes pluviométriques sont importantes.

Il est étroitement lié aux modifications de la température atmosphérique et du bilan radiatif. Le réchauffement du système climatique au cours de ces dernières décennies est sans équivoque, ainsi qu'il ressort aujourd'hui des observations des augmentations mondiales des températures moyennes de l'air et des océans, de la fonte généralisée de la neige et de la glace ainsi que l'élévation du niveau de la mer à l'échelle du globe. (GIEC, 2008)

La climatologie repose sur l'interprétation des données des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie, permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique ; ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface.

Les paramètres hydro climatiques ont une grande importance pour toute étude hydrogéologique, car ils ont une influence sur le comportement hydraulique et surtout le bilan hydrique des aquifères.

Pour cette étude, les séries des données d'une période de (1995-2016), qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatiques, ont été enregistrées à la station pluviométrique d'Oum El Bouaghi, dont Les coordonnées géographiques sont représentées dans le tableau suivant :

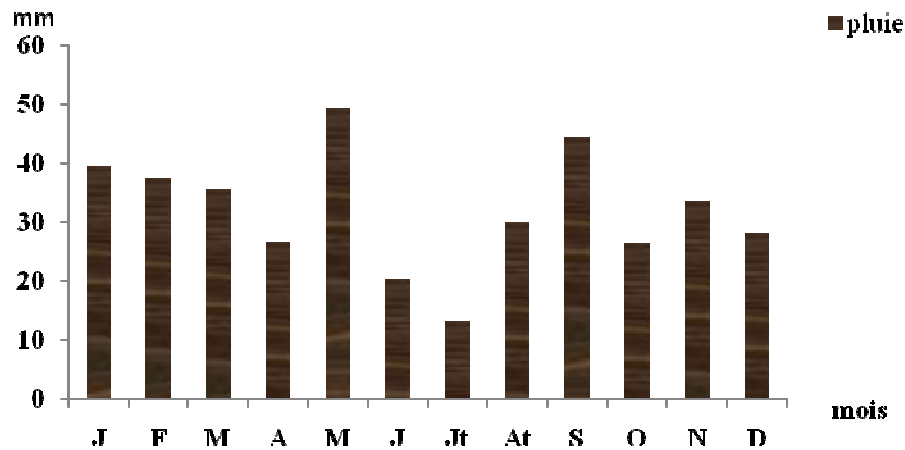
**Tableau 03: les coordonnées géographiques de la station d'Oum El Bouaghi**

Station	Altitude	Latitude	longitude
Oum El Bouaghi	950 m	35N°	7°E

**1. Les facteurs climatiques****1.1. Précipitations**

Généralement, nous englobons sous le terme de « précipitations », toutes les eaux qui tombent à la surface de la terre sous forme liquide ou solide.

Les précipitations nous renseignent sur les quantités d'eau utile au renouvellement de réserves, elles sont évidemment le facteur essentiel des régimes hydrologiques puisqu'elles constituent la matière première des débits.



**Figure 09 : Diagramme des précipitations moyennes mensuelles de la période (1995-2016)**

L'histogramme des précipitations mensuelles révèle que mai est le mois le plus pluvieux avec une moyenne mensuelle de 49.40 mm, tandis que juillet est le mois le plus sec avec une moyenne mensuelle de 13.15 mm. Les précipitations moyennes mensuelles de la période (1995-2016) sont de 384.68 mm

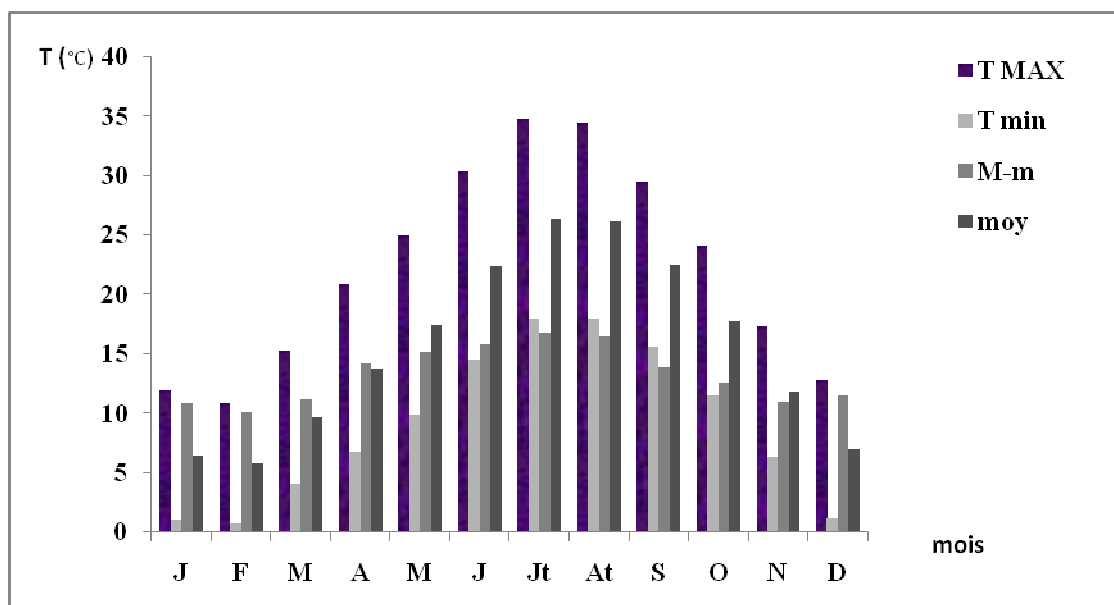
## 1.2. Température

La température est une mesure numérique d'une chaleur, sa mesure se fait par détection de rayonnement thermique, la vitesse des particules, l'énergie cinétique, ou par le comportement de la masse d'un matériau thermométrique (Roger et *al*, 2006).

La température est un facteur écologique très important pour la détermination du climat de la zone d'étude à partir de deux paramètres principales : la température minimale du mois le plus froid et la température maximale du mois le plus chaud. (Mazliak, 1982; Hedidi, 2010).

L'étude des températures permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation des aquifères profonds et la concentration des sels dissous dans leurs eaux et de préciser les limites de la thermalité.





**Figure 10 : Diagramme des températures moyennes mensuelles de la période (1995-2016).**

En analysant les données de la période (1995-2016), nous constatons que février est le mois le plus froid avec une température moyennes minimale de  $0.7^{\circ}\text{C}$ , alors que aout est le mois le plus chaud avec une température moyenne maximale de  $35^{\circ}\text{C}$ .

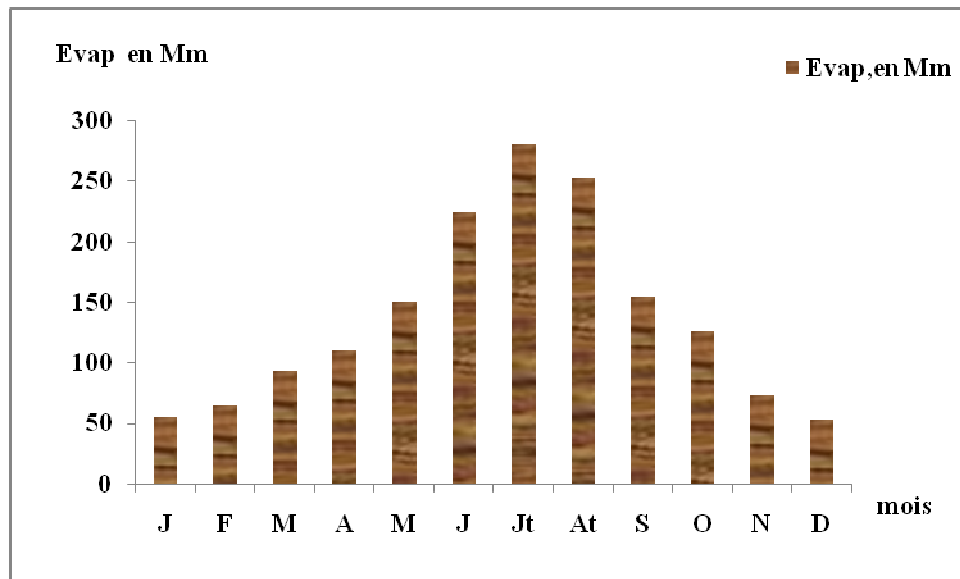
### 1.3. Evaporation

L'évaporation de l'eau est le passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux. Elle est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et l'agitation de cet air. Ce terme représente la restitution de l'eau de la surface terrestre sous forme de vapeur, à l'atmosphère et sous des conditions climatiques et physiographiques. (Ramade, 2005).

L'évaporation est une composante fondamentale du cycle hydrologique et son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. (Corentin, 2011).

Le pourcentage de la vapeur d'eau dans l'air est très variable dans le temps et dans l'espace. L'évaporation concerne aussi bien les précipitations qui arrivent au sol que l'eau contenu dans le sol. (El Khatri, 2003).

L'action de l'évaporation est particulièrement nette sur la composition chimique des eaux. Par évaporation, la concentration des chlorures et des sulfates et par là le résidu sec de l'eau contenue dans la couche superficielle du sol augmente. Cette eau plus ou moins renouvelée des profondeurs à la surface par capillarité, amène une véritable ascension des sels.

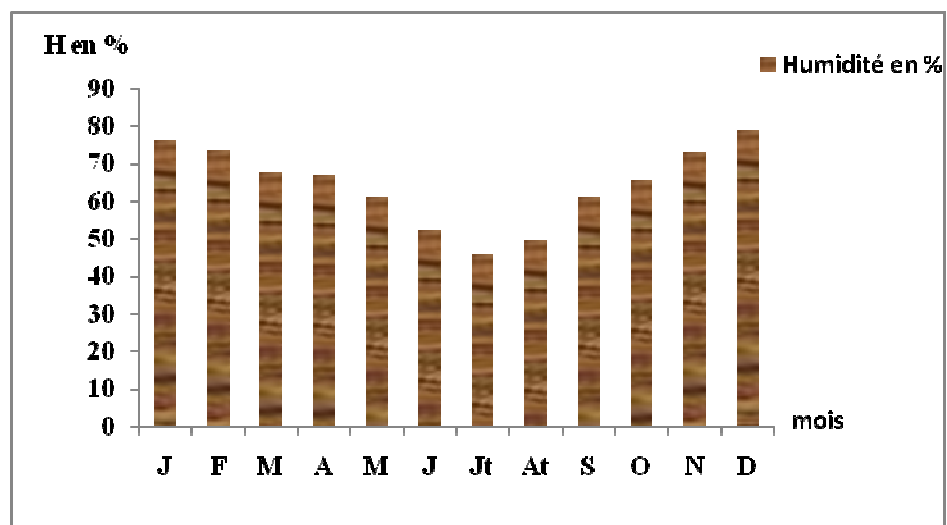


**Figure 11 : Diagramme des moyennes mensuelles de l'évaporation de la période (1995-2016)**

L'évaporation moyenne variée d'un mois à l'autre. La valeur maximale est enregistrée en juillet avec une moyenne de 280.1 mm et la valeur minimale est enregistrée en décembre avec une moyenne de 55.62 mm. L'évaporation moyenne annuelle est de 136.60 mm.

#### 1.4. Humidité

Le degré hygrométrique de l'air, c'est le rapport de la tension de vapeur effective à la tension de vapeur saturante dans les mêmes conditions de température et de pression. Il est étroitement lié à la température de l'air; Le maximum de l'humidité relative est atteint au minimum de température et inversement. (Azzouzi, 2011)



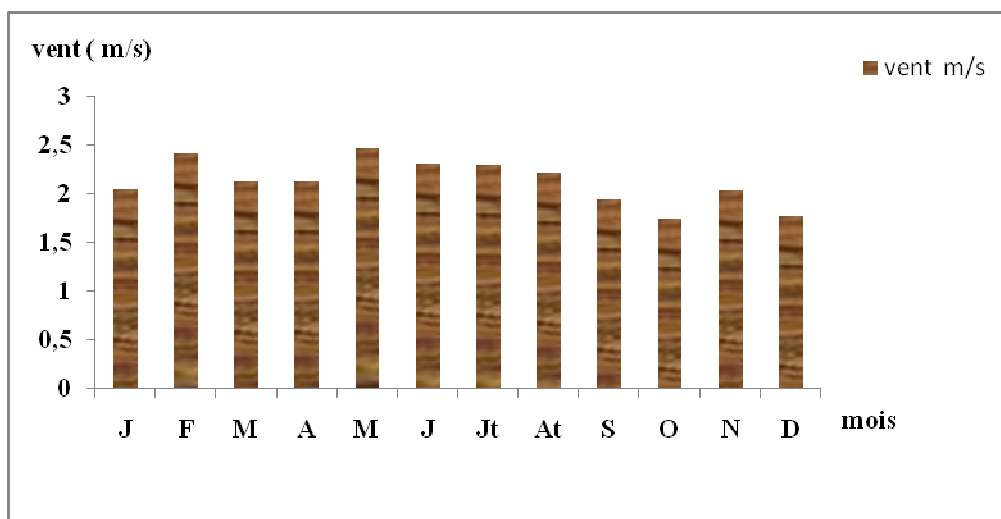
**Figure 12 : Diagramme des moyennes mensuelles d'humidité de la période (1995-2016)**

A partir de la figure on constate que les valeurs de l'humidité sont relativement homogènes.

Les données hygrométriques montrent que le pourcentage le plus élevé est enregistré durant le mois de décembre avec 78.66% ce qui explique qu'il est le mois le plus humide, alors que le pourcentage le plus faible est enregistré durant le mois de juillet avec 45.57%. L'humidité relative de la région d'étude est constamment élevée, Son évolution saisonnière est étroitement liée aux précipitations et à l'évaporation.

### 1.5. Vent

Le vent est le résultat de la différence de pression entre deux zones voisines. Il provoque le déplacement d'air et transporte ainsi les caractères climatiques. (Roger et al., 2006).



**Figure 13: Diagramme des moyennes des vitesses des vents de la période (1995-2016)**

L'histogramme représentant les moyennes annuelle des vitesses des vents dans la région de F'kirina avec un maximum au mois de mai (2.5 m/s), et un minimum au mois de octobre (1.86m/s).

En remarque aussi qu'il n'ya pas une variation importante entre un mois et l'autre.

Le sirocco Est un vent de sud, sec et chaud, en été à des effets néfaste où elle provoque l'augmentation de la température, chute brutale de l'humidité atmosphérique et le dessèchement des jeunes plantes de pin d'Alep. il souffle du sud avec un maximum de fréquence en mai et juillet, il cause de grands ravages à la végétation.

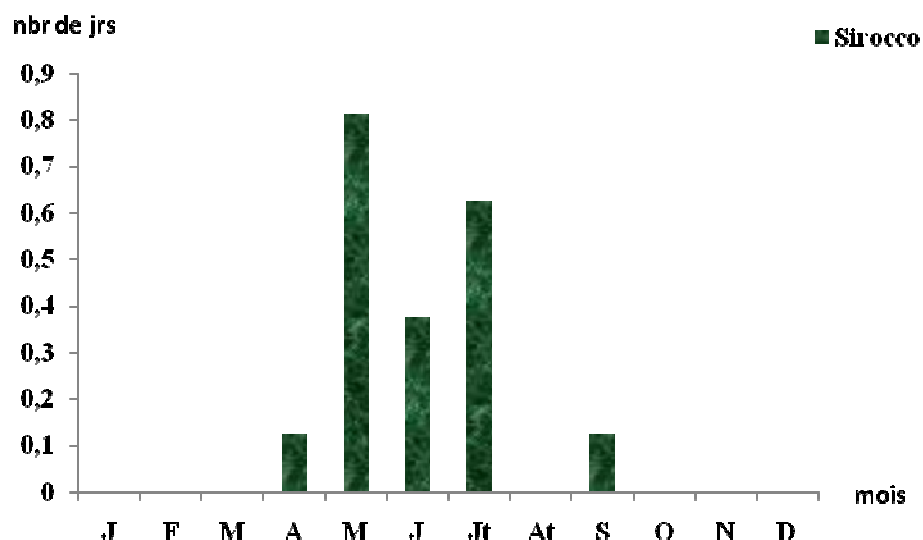


Figure 14 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de sirocco de la période (1995-2016)

### 1.6. Neige

C'est Vapeur d'eau atmosphérique congelée généralement sous forme de fins cristaux blancs qui s'agglomèrent en flocons et s'éparpillent du ciel sur la terre. La neige joue un rôle important, car elle permet d'une part à l'eau de s'infiltrer lentement dans le sol et sera bénéfique pour les végétaux

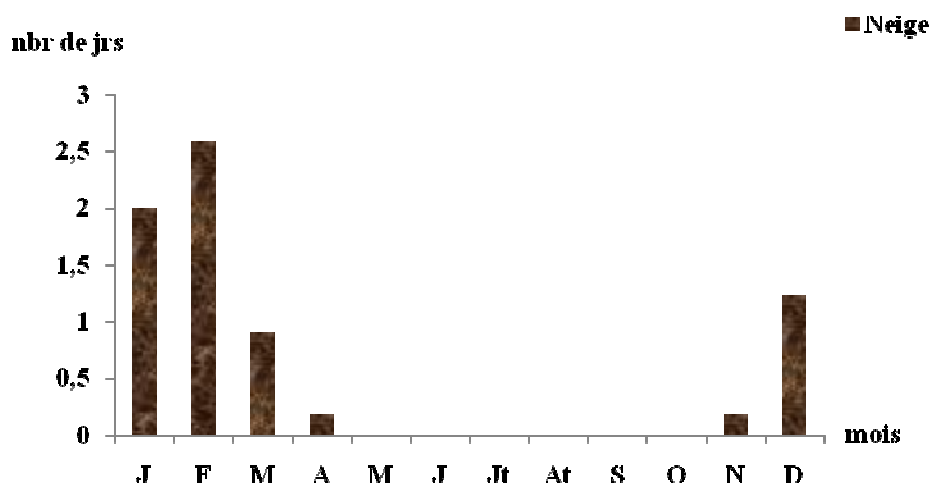


Figure 15 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de neige de la période (1995-2016)

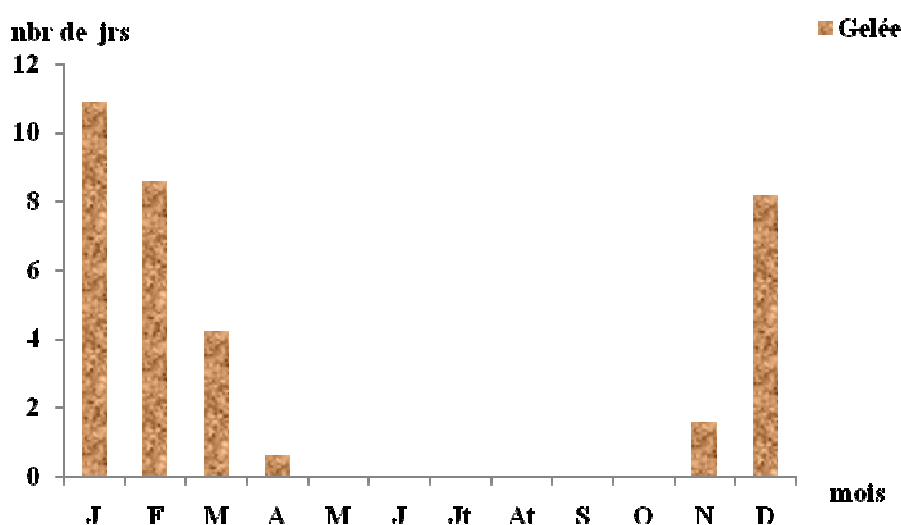
A partir de la figure on constate que l'enneigement s'étale sur une durée de 6 mois de novembre à avril donc la plus grande partie de la neige tombe durant la période hivernal, le

maximum étant au mois de février. Elle peut durer jusqu'à la fin d'avril sur les sommets  
L'enneigement consiste une réserve d'eau cédée progressivement du sol.

### 1.7. Gelée

Les gelées désigne tout abaissement de température de l'air d'une valeur supérieure à une valeur inférieure ou égale à 0 °C à un moment déterminé et sur une région donnée .

Les gelées sont existés durant l'hiver et le printemps, ils sont fortement influencées par l'altitude et engendrées par la basse température

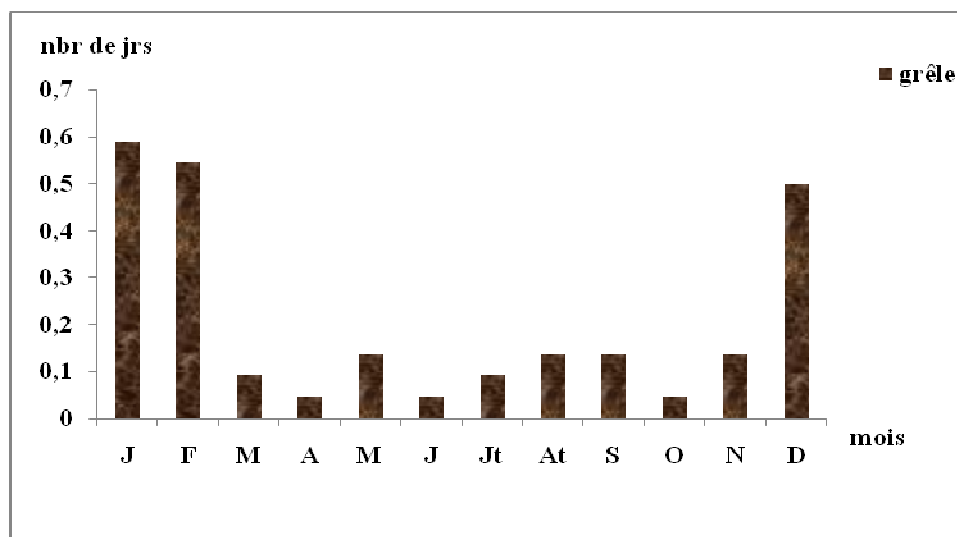


**Figure 16 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de gelée de la période (1995-2016)**

A partir de l'histogramme en révèle que la gelée est s'étale pendant la période hivernal de novembre à avril (presque 35 jours durant la saison). La gelée beaucoup plus fréquente en janvier avec une moyenne de 10.93 (11 jours).

### 1.8. La Grêle :

La grêle est un type de précipitation qui se compose de morceaux de glace de forme sphérique ou irrégulière. Elle se produit dans des nuages instables, avec fort développement vertical. Elle est un phénomène très connu dans la région de l'Aurès.

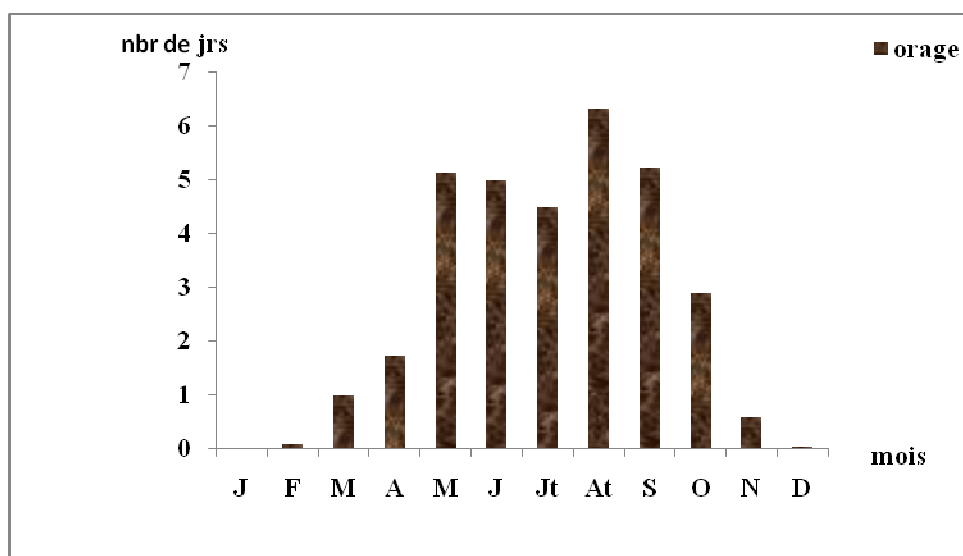


**Figure 17 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de grêle de la période (1995-2016)**

Le diagramme des moyennes des nombres de jours montre que la grêle n'est pas fréquente dans la région, elle s'observe fréquente de quelques jours durant la saison hivernale, le maximum est enregistré au mois de mai alors que le minimum est enregistré au mois de juin.

### 1.9. Orage

Un orage, est une perturbation atmosphérique d'origine convective associée à un type de nuage particulier: le cumulonimbus. Dans des cas extrêmes, l'orage peut produire des chutes de grêle, des vents très violents et, rarement des tornades. Les orages peuvent se produire en toute saison, en autant que les conditions d'instabilité et d'humidité de l'air sont présentes. ( Legrain, 2002).



**Figure 18 : Diagramme des moyennes des nombres de jours d'orage de la période (1995-2016).**

A partir de la figure on constate que l'orage s'étale sur une durée de 11 mois de février jusqu'au décembre, avec une moyenne de 32 jours.

### 1.10 Brouillard

Le brouillard est une manifestation de l'humidité de l'air lorsque le point de rosée est atteint et que des microgouttelettes d'eau ou de glace sont en suspension comme dans un nuage.

Il est le phénomène météorologique constitué d'un amas de fines gouttelettes ou de fins cristaux de glace, accompagné de fines particules hygroscopiques saturées d'eau souvent de taille microscopique, réduisant la visibilité en surface.

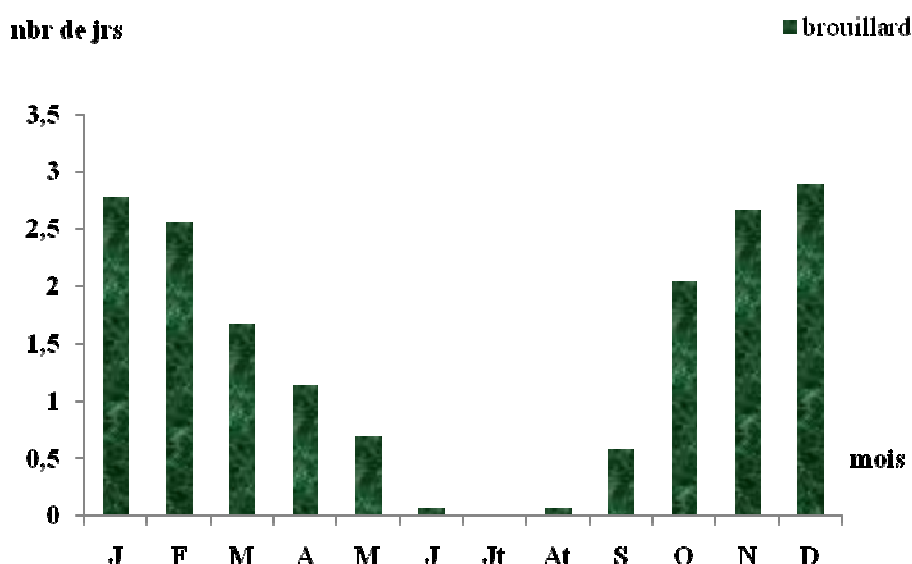
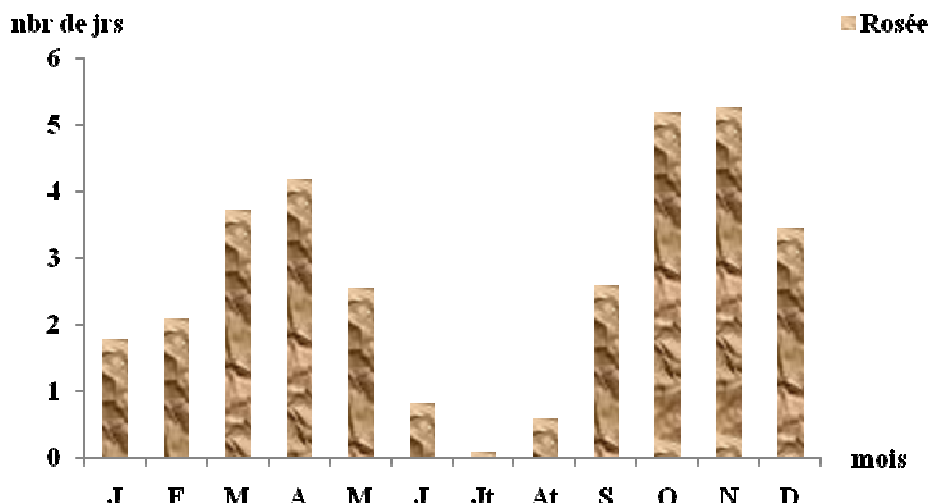


Figure 19: Diagramme des moyennes des nombres de jours de brouillards de la période (1995-2016)

Selon la station météorologique d'Oum El Bouaghi, la moyenne de nombre de jour de brouillard varie d'un mois à l'autre. la valeur maximale est enregistré en décembre.

### 1.11. La rosée

Est un phénomène météorologique qui se traduit par la condensation nocturne de la vapeur d'eau en de très fines gouttelettes qui se déposent le matin et le soir sur les corps exposés à l'air libre (la surface de sol et sur les extrémités refroidies des plantes) (Ramade, 2002)



**Figure 20 : Diagramme des moyennes des nombres de jours de rosées de la période (1995-2016)**

D'après la figure en résultant que le mois de novembre (05 jours) présente la valeur maximum, par contre le mois de juillet présente la valeur la plus faible.

## 2. Synthèse climatique

### 2.1. Indice d'aridité

L'aridité traduit des conditions climatiques caractérisées par la faiblesse des précipitations moyennes annuelles (moins de 250 mm d'eau par an) et par le fort déficit de celles-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle.

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité ( $I_a$ ). Ce dernier est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau, présent à un endroit donné (John E. Oliver.).

Cet indice est défini comme étant un rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles (P en mm) et la moyenne des températures annuelles (T en °C), et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude (Gaagri, 2009).

On peut calculer cet indice ( $I_a$ ) selon la formule suivante :

$$I_a = P / (T + 10)$$

**Avec:**

$I_a$  : indice d'aridité

P: précipitations moyennes annuelles (mm).

T: températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le tableau suivant :



Tableau 04: Type de climat selon l'indice d'aridité

Climat	Hyperaride	désertique	steppique	semi-aride	tempéré	humide
Indice d'aridité	$I_a < 5$	$5 < I_a < 7,5$	$7,5 < I_a < 10$	$10 < I_a < 20$	$20 < I_a < 30$	$I_a > 30$

Pour notre cas  $P = 384.68 \text{ mm}$  et  $T = 15.63 \text{ }^\circ\text{C}$  donc cet indice est égale :

$$I_a = 384.68 / (15.63 + 10)$$

$$I_a = 15.00$$

Ce qui permet de dire que le climat région d'étude est semi-aride.

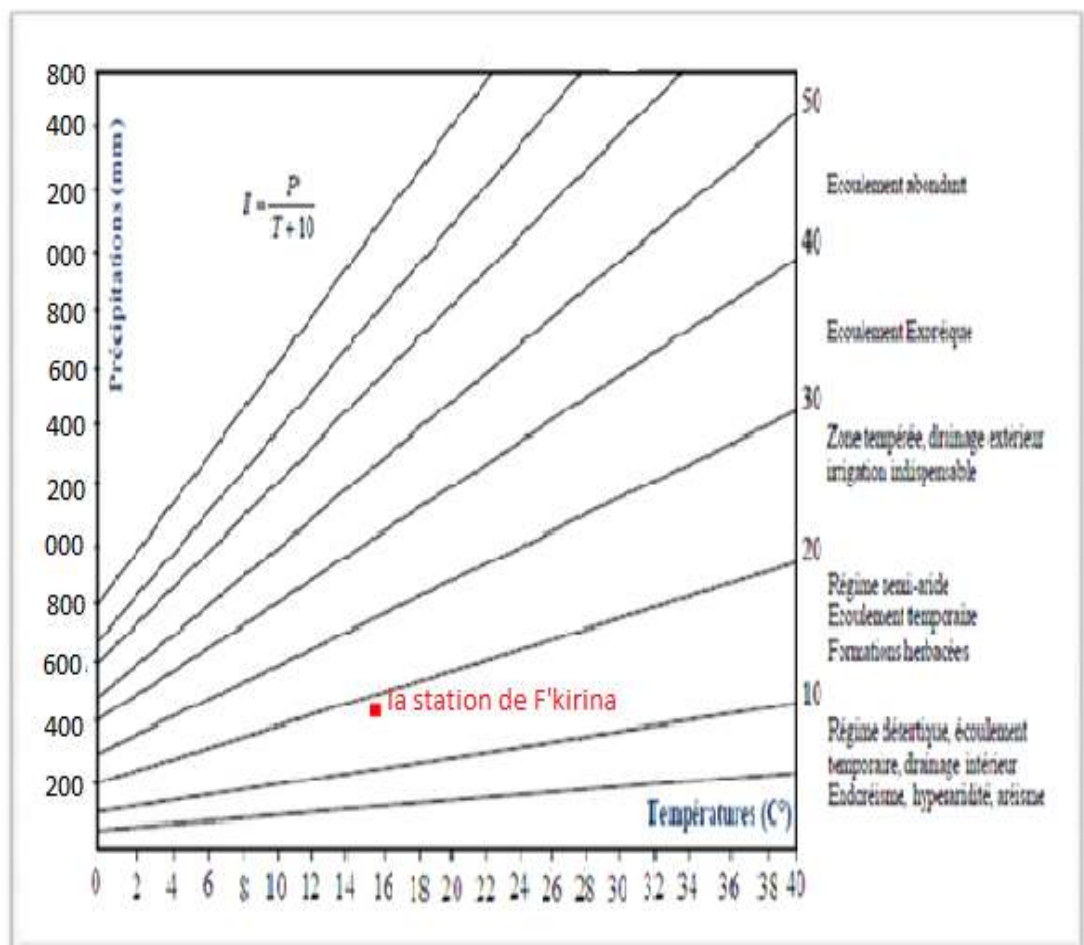
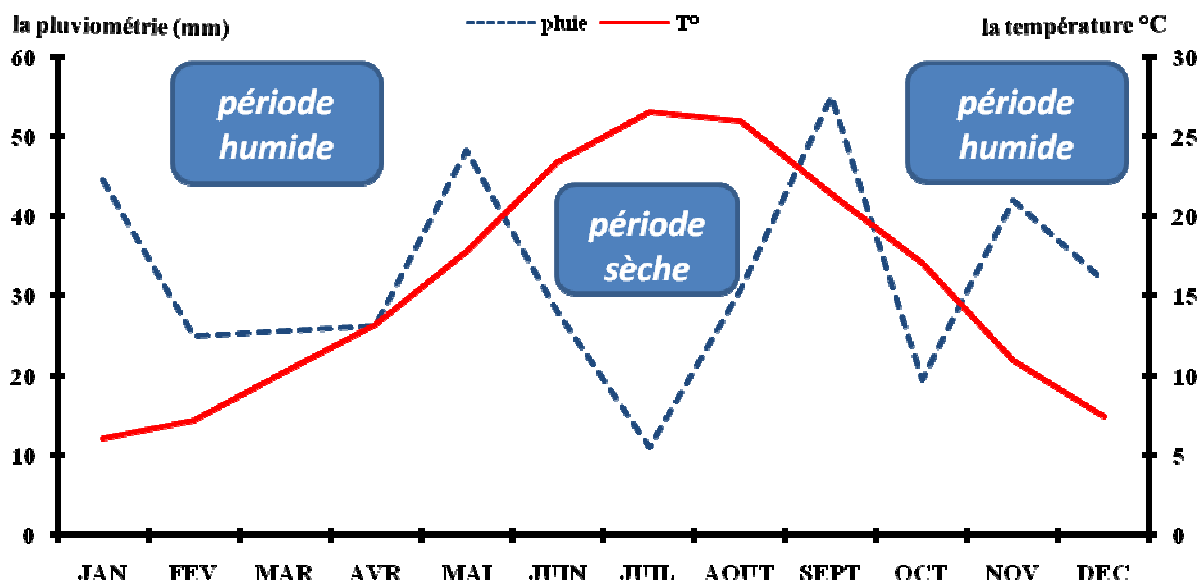


Figure 21 : Indice d'aridité annuel de Martonne

## 2.2. Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est une méthode graphique qui permet de comparer facilement les climats de différents endroits d'un coup d'œil du point de vue pluviosité c.à.d. permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec  $P=2T$



**Figure 22: Diagramme ombrothermique de Gaussen et de Bagnouls (1995-2016)**

Le diagramme ombrothermique de la région de F'kirina montre que la période sèche s'étale du mois de juin jusqu'au mi d'octobre et dure environ 137 jours.

La superposition des deux courbes [P (mm) et T (°C)] permet ainsi de définir la période sèche.

### 2.3. Le climagramme d'Emberger

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger (Q) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique. Ce quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé comme suit

$$Q = 3.43. P / (M - m)$$

Avec :

- Q quotient pluviométrique d'Emberger
- M la moyenne maximale de températures du mois le plus chaud.
- m la moyenne minimale de températures du mois le plus froid.
- P pluviométrie moyenne annuelle en mm
- M-m : amplitude thermique extrême moyenne

Dans notre zone d'étude :

$$P = 384.68 \text{ mm} ; M=34.78^{\circ}\text{C} ; m=0.72^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Donc : } Q_2 = 38.73$$

Il s'avère que le climat de la plaine de F'kirina est classée dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais.

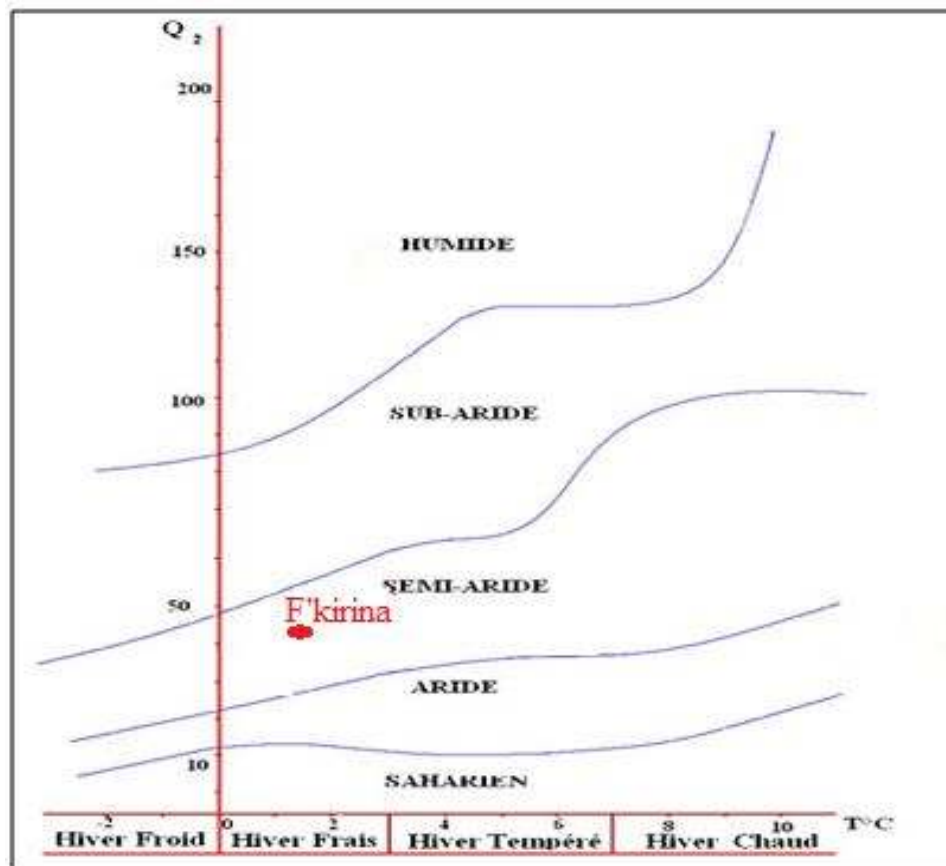


Figure 23: le climagramme d'Embergie pour la zone d'étude

### 3. Bilan hydrique

Dans cette étude, nous allons évaluer la répartition des précipitations entre les différents composants du bilan hydrique, à savoir le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration. Ce bilan est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I + \Delta W$$

Avec:

**P** : précipitation moyenne annuelles (mm).

**ETR** : évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

**R** : ruissellement moyen annuel (mm).

**I** : infiltration moyenne annuelle (mm).

**$\Delta W$** : La variation de réserves en (mm), souvent négligeable.

### 3.1. Mesure de l'ETR (l'évapotranspiration réelle):

L'évapotranspiration est une combinaison de deux processus: l'évaporation et la transpiration elle dépend de deux éléments :

- La teneur en eau du sol et les caractéristiques physiques des surfaces à partir desquelles se produit l'évapotranspiration.
- Les variables climatiques telles que le rayonnement solaire, la vitesse du vent, au-dessus de la végétation.

#### 3.1.1. ETR selon la formule de Turc:

Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est en fonction des précipitations et des températures moyennes mensuelles. Elle est calculée avec la méthode de Turc (1954) qui aboutit à la formule suivante :

$$\text{ETR} = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}. \quad L = 300 + 25 T + 0.05 T^3.$$

Avec:

**ETR:** évapotranspiration réelle (mm/an);

**P:** précipitation moyenne annuelle (mm);

**L:** paramètre arbitraire lié à la température (pouvoir évaporant de l'atmosphère);

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

Application numérique:

**Tableau 05: l'ETR selon la formule de turc**

station	P (mm)	L	T (°C)	ETR (mm/an)
F'kirina	404.66	884.138	15.67	384.18

#### 3.1.2. L'ETR selon la C.W.Thornthwaite

C'est une donnée impossible à mesurer à l'échelle d'une parcelle ou d'une région. La détermination de l'ETR est en fonction de l'ETP et la quantité d'eau disponible (Pluie+RFU)

- Si  $\text{ETP} = \text{P}$ , il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifié pas et aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe.
- Si  $\text{ETP} > \text{P}$ , On a  $\text{ETR} = \text{ETP} + \text{RFU}$ , un déficit apparaît, une partie de RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETP. L'évapotranspiration agit donc sur le sol. Aucune infiltration ne se produit en direction de la nappe. (RFU=0)
- Si  $\text{ETP} < \text{P}$ , on a  $\text{ETR} = \text{ETP}$  et  $\text{RFU} = \text{P} - \text{ETP}$  (excédent hydrique) (Dali, 2009).

Application numérique:**Tableau 06: ETR selon la C.W Thornthwaite**

Station	ETR selon la formule de Turc (mm/an)	ETR selon la C.W Thornthwaite (mm/an)
F'kirina	384.18	352.4

**3.2. Mesure de l'ETP (l'évapotranspiration potentielle)**

Une évaporation potentielle est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporé sous un climat donné par un couvert végétale continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré. Elle s'exprime en hauteur d'eau.

Plusieurs formules ont été utilisé pour estimer ETP parmi ces formulas celle de C.W. Thornthwaite, qui a proposé également en 1948, elle a basée essentiellement sur les températures de l'air.

$$ETP = 16[10(t/I)]^a k$$

$$I = \sum i, \quad i = (t/5)^{1.514}, \quad a = 1.6 (I/100) + 0.5$$

$$ETP = 904.4$$

Avec:

**ETP:** évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm).

**i:** Indice thermique mensuel.

**a:** paramètre arbitraire lié à la température.

**I:** Somme des indices thermiques mensuels.

**t:** Température moyenne mensuelle (°C).

**K:** coefficient d'ajustement mensuel (Coefficient de correction, qui dépend de la latitude).

**3.3. Mesure de la RFU (réserve facilement utilisable)**

la RFU est la qualité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique et qui est facilement utilisable par les plantes, pour son bon fonctionnement physiologique (GAAGAI, 2009),

La réserve utile (**RFU**) en eau d'un sol, exprimée en millimètre d'eau, correspond à quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. La RFU est encore la quantité d'eau comprise entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement :

- **humidité à la capacité au champ** : il s'agit de du taux d'humidité d'un sol ressuyé dans des conditions où le drainage est assuré librement.

- **humidité au point de flétrissement** : elle correspond au taux d'humidité d'un sol pour lequel l'eau est retenue avec une intensité supérieure aux forces de succion des racines.

En général la RFU maximale généralement admise correspond à la hauteur de 100 mm d'eau. Dans la zone aride ou semi-aride, cette valeur maximale peut être ramenée à 50 mm du fait que le sol n'est pas toujours saturé (Dali, 2009). Dans notre cas, on prend une valeur de la RFU égale à 100 mm.

**Tableau 07 : bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite à la station d'Oum El Bouaghi**

Période	T <sub>p</sub> (°C)	I	K	ETP <sub>C</sub> (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	RFU (mm)	ETR (mm)	DEF	EXC (mm)
S	25,20	11,57	<b>1,04</b>	124,3	44,60	-79,7	0,0	44,6	79,7	0,0
O	21,00	8,78	<b>0,98</b>	83,7	24,60	-59,1	0,0	24,6	59,1	0,0
N	14,60	5,07	<b>0,85</b>	36,5	36,40	-0,1	0,0	36,4	0,1	0,0
D	13,90	4,70	<b>0,84</b>	32,8	39,20	6,4	6,4	32,8	0,0	6,4
J	9,20	2,52	<b>0,86</b>	15,5	44,60	29,1	29,1	15,5	0,0	29,1
F	9,90	2,81	<b>0,85</b>	17,6	30,50	12,9	12,9	17,6	0,0	12,9
M	12,40	3,96	<b>1,03</b>	32,5	36,14	3,6	3,6	32,5	0,0	3,6
A	15,30	5,44	<b>1,09</b>	50,9	36,80	-14,1	0,0	36,8	14,1	0,0
M	18,30	7,13	<b>1,21</b>	79,7	48,10	-31,6	0,0	48,1	31,6	0,0
J	22,10	9,49	<b>1,21</b>	113,7	21,80	-91,9	0,0	21,8	91,9	0,0
J	25,90	12,06	<b>1,23</b>	155,8	12,61	-143,2	0,0	12,6	143,2	0,0
A	27,20	12,99	<b>1,16</b>	161,3	29,11	-132,2	0,0	29,1	132,2	0,0
<b>Année</b>	<b>17,9</b>	<b>86,5</b>	<b>/</b>	<b>904,4</b>	<b>404,5</b>	<b>-500,0</b>	<b>52,0</b>	<b>352,4</b>	<b>552,0</b>	<b>52,0</b>

**DA** : le déficit agricole est le déficit entre ETP et ETR donc :  $DA = ETP - ETR$

**EXC**: l'excédent c'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaits donc:  
 $EXC = P - ETR$

**BH**: le bilan hydrique:  $BH = RFU - DA$ .

### 3.4. Interprétation du bilan d'eau de Thornthwaite

- A l'échelle annuelle, l'ETP dépasse largement les précipitations. Les précipitations dominent dans la région d'étude avec un total de 404.5 mm/an.
- A l'échelle mensuelle nous constatons qu'à partir du mois d'avril les précipitations sont inférieures à l'ETP jusqu'au mois de novembre par contre elles sont supérieures à l'ETP pendant les autres mois (janvier, février, mars, et décembre).

- En générale, les précipitations ne couvrent pas les besoins de l'évapotranspiration potentielle et ne permettent pas la formation de la RFU.
  - Le déficit agricole (DA) débute au mois d'avril et se poursuit jusqu'au mois de novembre.
  - La reconstitution du stock s'observe au mois de décembre avec une RFU=06.4 mm.
- La RFU atteint son maximum (29.1 mm) au mois de janvier et diminue jusqu'à 3.6 mm au mois de mars, à partir duquel on assiste à un épuisement du stock

#### 4. Estimation du ruissellement et de l'infiltration

##### 4.1. Ruissellement

Le ruissellement désigne en hydrologie le phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols. Il s'oppose au phénomène d'infiltration. Ce phénomène se produit quand l'intensité des précipitations dépasse l'infiltration et la capacité de rétention de la surface du sol. Le ruissellement est calculé selon la formule suivante :

$$R = P^3/3. (ETP)^2$$

Avec:

**R:** ruissellement moyen annuel en mm;

**P:** hauteur des précipitations moyenne annuelle en mm;

**ETP:** évapotranspiration potentielle en mm/an.

Application numérique:

**Tableau 08: La lame d'eau ruisselée pour la station de F'kirina**

P (mm)	404.66
ETP (mm)	904.4
R (mm)	26.97

##### 4.2. Infiltration

Le phénomène d'infiltration se produit après reconstruction d'un certain niveau d'humidité du sol. C'est une propagation de l'eau vers les tranches de sols plus profonds et vers la nappe. L'arrivée de l'eau au niveau de la nappe se produit d'une manière différée par rapport à la pluie. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$I = P - (ETR + R)$$

**Avec :**

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

**ETR :** évaporation réelle en (mm/an)

**I :** infiltration en (mm/an)

**R :** ruissèlement an (mm)

Application numérique:

**Tableau 09 : La lame d'eau infiltrée estimée à laide du bilan hydrologique.**

P (mm)	404.66
ETR (mm)	352.4
I (mm)	52.26

## 5. Résultat d'étude de changements climatiques

### 5.1. Les précipitations et leur variabilité

Le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains (l'importance relative de la pluie permet un meilleur lessivage des terrains). Plus la pluviométrie est forte, plus la dilution des sels restants passant en solution est grande. (Amraoui; 2000)

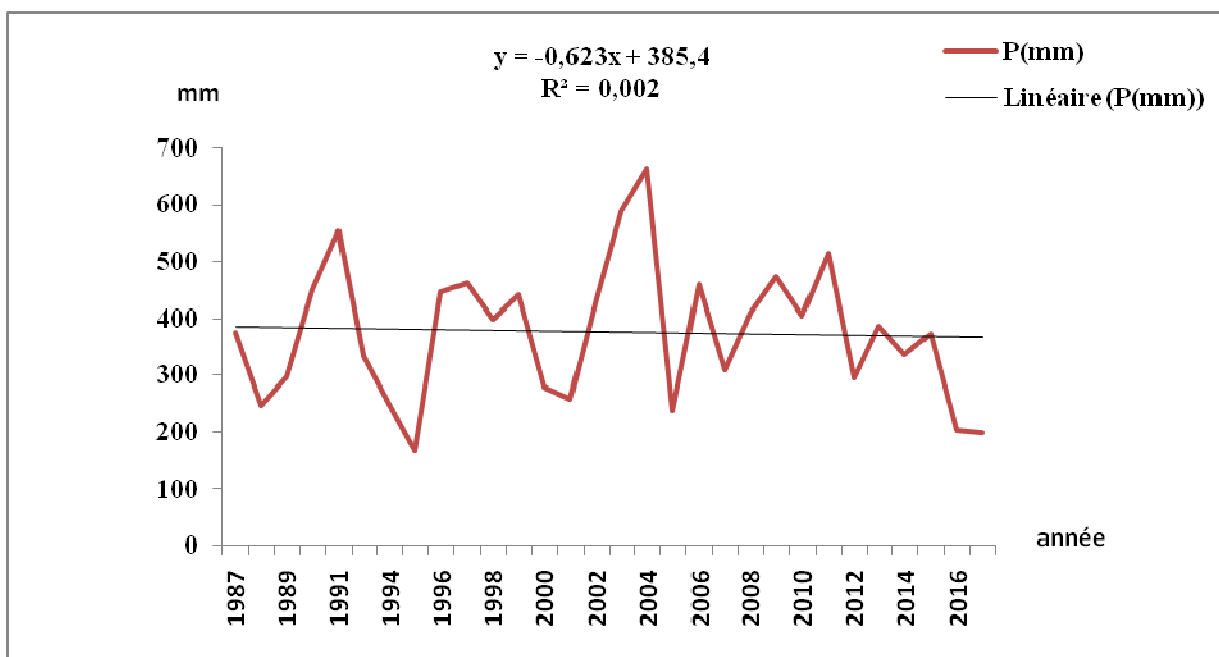
La diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du Nord du pays. Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m.) (Nichane; 2014)

La figure 24 donne un premier aperçu chronologique des périodes successives de la sécheresse depuis l'année 1987 à 2002 : nous remarquons que la première entre 1987 et 1995, et l'autre a duré 8 ans entre 1996 et 2002. Les deux périodes de sécheresses sont successives, et elles ont un impact considérable sur les réserves en eaux aussi bien de surface que souterraines.

Une période de précipitations plus au moins importantes qui a duré environ 8 ans entre 2003 et 2012. Les résultats de l'évolution de la pluviométrie montrent bien que la région a connu des précipitations dépassent les six cent (mm). (Période pluviométrique).

Et en fin une autre période de sécheresse a duré 5ans de 2012 à 2017 ; qui montre que le paramètre de précipitation à subi un changement après l'année 2012 où la pluviométrie n'a jamais pu dépasser les cinq cent (mm); chose qui explique que la région est touchée par le réchauffement climatique où les spécialistes a parlé de ce phénomène depuis les années soixante dix





**Figure 24 : l'évolution de la pluviométrie de la zone d'étude de la période (1987-2017)**

## 5.2. Les températures et leur variabilité

On faisant l'analyse de l'évolution de la température moyenne annuel dans la région, ceci nous à permis de constater que cette dernière a connu un grand changement. Nous remarquons que, de 1987 à 2017, il existe deux périodes différentes de moyennes de températures moins importantes (élevées), la première entre 1987 et 1995 (08 ans) et l'autre duré 7 ans entre 2010 et 2017 ; où la moyenne de température estimée est entre 15 et 16°C.

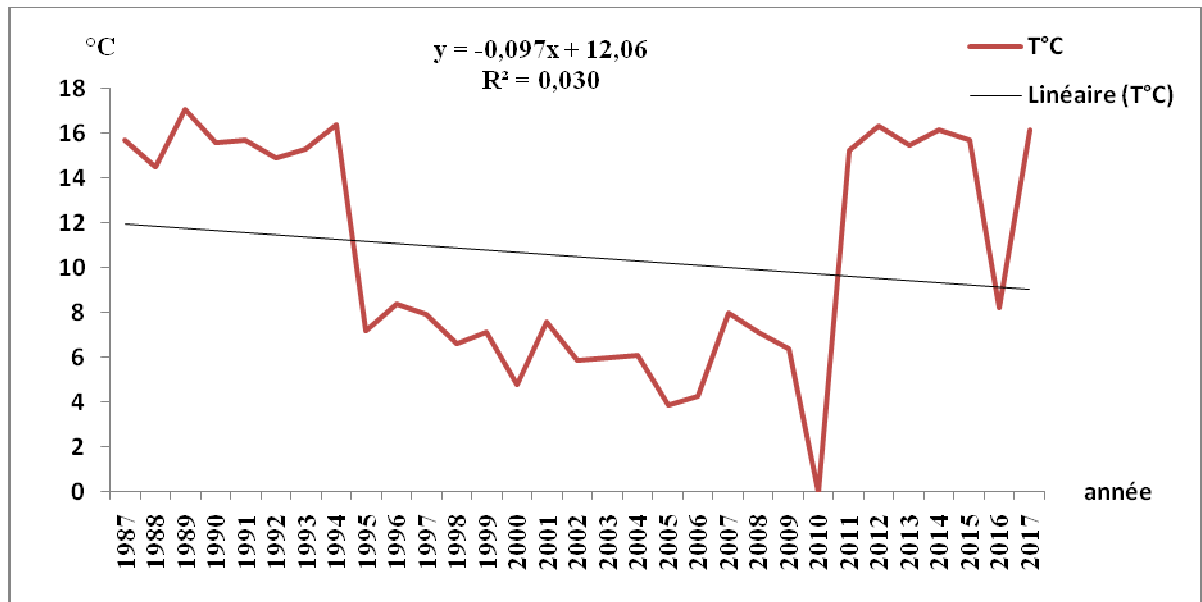
Les différents observations poussent à ne pas retenir ce facteur d'élévation de température comme l'une des causes responsables de la différenciation chimique entre les eaux de nappes, seulement l'importance des phénomènes d'évaporation est d'autant plus grande que la profondeur de la nappe est faible et les conditions climatiques sévères., ( la nappe est souvent plus proche de la surface et donc a priori plus sujette aux phénomènes d'évaporation)

Pour cela il est important de signaler que la température annuelle moyenne ne nous en mène pas à grand-chose, comme il est un paramètre important à l'identification du climat d'une région ceci nous oblige à étudier ceci dans des périodes et des saisons précises en prenant en compte d'autres paramètres comme les précipitations.

La figure 25 montre l'existence d'une période longue de moyennes de température très faible inférieur à 10°C pendant 15 ans successifs (1995 à 2010) ; où en parallèle, les moyennes de précipitations durant cette période sont importantes

Donc d'après l'analyse de climat de la région d'étude, pour notre compagnes de prélèvements des échantillons de la région d'étude, il faut prendre en considération dans la partie

d'étude suivante que, notre première campagne de prélèvement d'eau est appartenue à la période de pluvieuse, et la deuxième campagne est appartenue à la période de sécheresse, pour mieux comprendre l'effet de ces fluctuations sur la qualité des eaux étudiées. Où ; En 2003, la température faible et la précipitation élevée, alors que en 2016, la température élevée et la précipitation faible.



**Figure 25 : l'évolution de la température de la zone d'étude de la période (1987-2017)**

### 5.3 Influence anthropique

Les activités humaines, notamment les rejets domestiques et industriels, et les pratiques agricoles peuvent influencer localement sur la qualité chimique de l'eau de la nappe. Dans le cas d'un assainissement collectif ou individuel défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...).

Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionnée... les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages libèrent également des lixivats riches en polluants. Les pratiques actuelles des cultures (l'utilisation massive des engrais et des produits chimiques) et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. (Amraoui ; 2000)

### Conclusion

En définitive, ce chapitre nous a permis d'obtenir des résultats sur les divers facteurs climatiques concernant la série de (1995 -2016).

A partir des données climatiques on peut dire que la région d'étude est caractérisée par deux saisons :

- une saison peut pluvieuse froide allant du mois d'octobre jusqu'au mois de mai.
- une saison sèche chaude du mois de juin jusqu'au mois de septembre

D'une manière générale et d'après le climagramme d'Emberger, le climat de la zone d'étude est situé dans l'étage semi aride avec :

- Une précipitation moyenne annuelle de l'ordre de 404.66 mm.
- Une température moyenne annuelle de l'ordre de 15,67°C.
- Une évapotranspiration potentielle de l'ordre de 904.4 mm
- Une évapotranspiration réelle de l'ordre de 352.4 mm
- Un déficit agricole de l'ordre de 552.0 mm. Notons que le bilan hydrique est déficitaire, et l'alimentation se fait latéralement soit par les bassins voisins, soit par drainance.
- Un ruissellement et une infiltration respectivement 26.97mm et 52.26 mm. Cette dernière contribue à l'alimentation de la nappe superficielle à partir de la surface.
- On prenant comme référence des données de précipitations et de températures annuelles pour une première analyse du climat et de son comportement sous le phénomène du changement climatique, ceci nous a permis de conclure qu'il existe réellement un changement de précipitations et de températures pendant les derniers trentaines année au changement du climat de la région du f<sup>r</sup>kirina.

# **Chapitre IV:**

# **Résultat et discussion**

### Introduction

A l'aube de ce XXI<sup>e</sup> siècle, l'humanité se trouve confrontée à des situations complexes liant la désertification atmosphérique et hydrique, avec les activités anthropiques (**Hamed, 2015**).

Les mesures terrestres de températures réalisées montrent une élévation de la température moyenne. Les changements climatiques sont bien plus qu'une tendance au réchauffement. Une augmentation des températures mènera à de nombreux changements météorologiques sur les plans, par exemple, de la configuration des vents, de la quantité et du type de précipitation ainsi que du type et de la fréquence de phénomènes météorologiques extrêmes qu'on pourrait s'attendre à voir frapper une région particulière. Un tel changement climatique pourrait avoir des conséquences imprévisibles et d'une portée considérable sur le plan environnemental, social et économique

D'après les scientifiques, au cours des 50 ans dernières années, l'Afrique du nord a subi une des plus fortes variations de la pluviométrie observées à l'échelle du globe. Ces fluctuations climatiques ont non seulement affecté le régime des précipitations mais elles ont également engendré des conséquences sur les ressources hydriques de surfaces et souterraines (**Hamed, 2015**)

L'étude de la chimie des eaux souterraines ou hydrochimie apporte son lot d'informations dans le traçage chimique pour la compréhension du fonctionnement des différents systèmes aquifères et des relations inter-nappes. Ainsi que pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques des eaux et des éléments dissous afin de déterminer leurs origines, définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre leur évolution dans l'espace. Il sera également étudié la qualité des eaux souterraines vis-à-vis de la potabilité et leur aptitude à l'irrigation

Pour étudier l'effet de fluctuations climatiques sur les eaux souterraines de la région d'étude nous avons effectué des sorties de reconnaissance du site au cours desquelles nous avons sélectionné les forages et les puits à étudier des mesures physico-chimiques d'un côté, et d'un autre côté nous avons vu dans la partie précédente tous ce qui est concerne l'analyse des variations climatiques pendant une période de 30 ans pour la température et la précipitation, et 21 ans pour les autres paramètres ; et tous ça pour essayer de comprendre l'influence de ces changements climatiques sur la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude.

Quatorze échantillons sont prélevés et analysés en période hivernale (janvier 2016), qui sont fait une partie de 61 échantillons qui sont déjà analysés en 2003 au niveau de laboratoire de

l'agence national des ressources hydriques (ANRH, Constantine). Nous nous sommes intéressés aux éléments chimiques fondamentaux ( $SO_4^{--}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) et son analyse ont été effectuées au laboratoire de chimie du département des sciences de la terre de l'université de Constantine à l'aide d'un spectrophotomètre de type DR-2000 dans le domaine du visible (325 à 900 nm) ; et aux paramètres physiques qui sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon par nous-mêmes, à l'aide d'un multi paramètre de type HANNA HI9025 sont: la température, la conductivité électrique, la minéralisation, le potentiel d'hydrogène, et la dureté totale.

Pour cela, un certain nombre de cartes et de diagrammes ont été élaborés et qui serviront de base pour l'interprétation générale des résultats de mesures des paramètres physico-chimiques et d'analyses en prendre en considération l'impact de fluctuations climatiques sur chaque paramètre étudié.

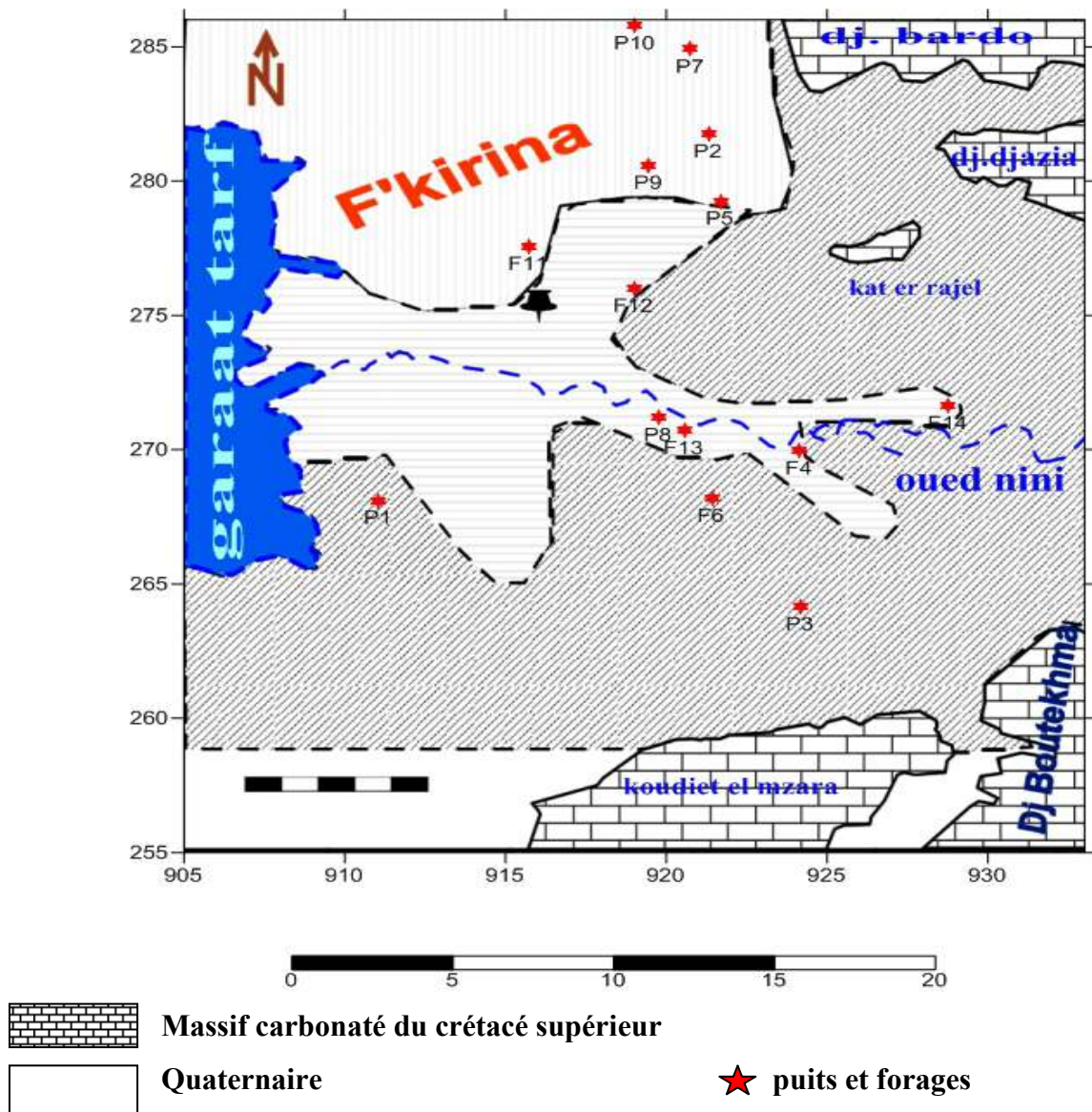


Figure 26 : Carte d'inventaire des points de prélèvement

## 1. Détermination des apports

Vu à l'activité urbaine, industrielle et agricole qui se développe dans la zone d'étude, plusieurs apports de contaminations ont été détectés : l'une d'origine anthropique due aux rejets directs d'eaux usées, au stockage des produits industriels, et à l'utilisation des produits chimiques dans l'agriculture. L'autre d'origine naturelle, c'est essentiellement l'effet des variations thermiques, des évaporites et de la salinité.

Ce dernier apport joue un rôle principal dans l'acquisition des éléments chimiques par les eaux, par la dissolution des formations géologiques. Le danger de ce processus apparaît lorsque les concentrations de ces éléments dépassent les limites de potabilité.

L'ensemble de ces apports induisent une pollution chimique ou provoquent l'augmentation de la concentration des éléments chimiques dans les eaux souterraines. Cela conduit à une dégradation de leur qualité.

## 2. Etude des paramètres physiques

### 2.1. La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers et intéressant en ce qui concerne les études hydrogéologiques. Elle joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels dissous, dans la solubilité des gaz, sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH.

On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère (les eaux souterraines sont influencées par les propriétés thermiques de la roche), ainsi que son origine.

En rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixée par l'OMS, l'eau est :

- Excellente lorsque la température vraie entre 20 et 22°C ;
- Passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 à 25 °C ;
- Médiocre lorsqu'elle est comprise entre 25 et 30°C ;
- Lorsque la température est supérieure à 30°C, on parle d'une pollution excessive.

Il est admis que la température des eaux est influencée par la température de l'air. La température de notre eau étudiée soit en 2003 ou bien 2016 est inférieure à la norme de potabilité fixée par l'OMS qui est de 25°C, elle varie entre 17°C et 22°C.

Notons que la température moyenne annuelle de l'air est de 15.74°C : malgré la température est augmenté durant la période de (2010 à 2016) par rapport à la période de (1995 à 2010) mais reste toujours inférieurs à 18°C.

Ces valeurs traduisent la présence d'une nappe alluviale non profonde alimentée par des eaux météoriques et pourrait signifier comparativement aux normes précédentes, que les eaux analysées sont excellentes. Pratiquement la température de l'eau n'a pas d'incidence sur la santé humaine.

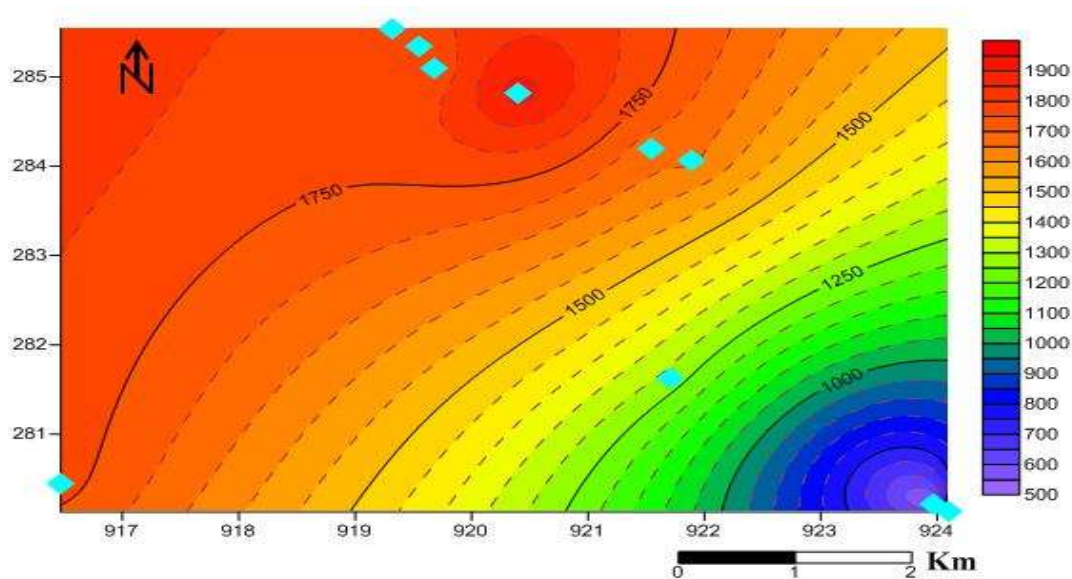
## 2.2. La conductivité électrique

Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. Sa variation permet de suivre l'évolution d'une pollution chimique. La conductivité permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau dans la mesure où la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.

La conductivité varie proportionnellement avec les fluctuations de la température. Ce paramètre renseigne aussi sur les zones de mélange ou d'infiltration. Elle s'exprime en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La classification des eaux en fonction de la conductivité se présente de la manière suivante :

- Conductivité égale à 0.05  $\mu\text{S}/\text{cm}$  : eau déminéralisée ;
- Conductivité de 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  : eau de pluie ;
- Conductivité de 80  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  : eau peu minéralisée ;
- Conductivité de 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  : eau moyennement minéralisée ;
- Conductivité de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  : eau saline ;
- Conductivité supérieure à 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  : eau de mer.





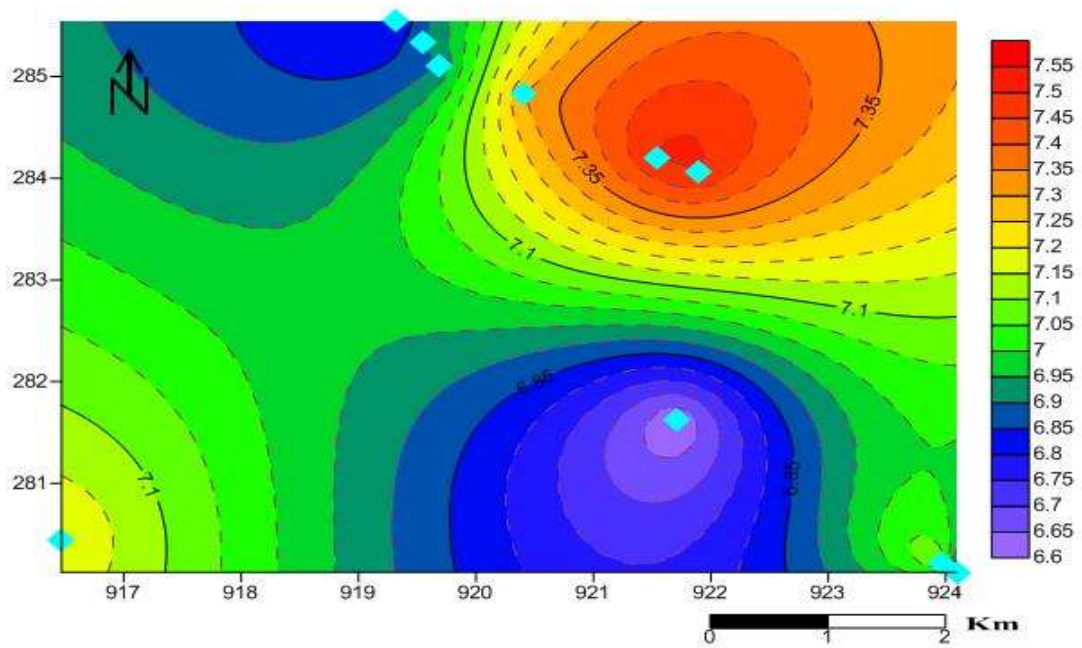
**Figure 27: Carte de la Variation spatiale de la conductivité électrique des eaux souterraines de la région d'étude en 2016**

Les valeurs de la conductivité électrique mesurées pour l'ensemble des échantillons d'eau de la zone d'étude prélevés en 2003 et en 2016, s'échelonnent entre : un minimum de 520  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et un maximum de 1930  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; La moyenne de mesure est de 1225  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pendant la période de (1995 à 2010) on a trouvé qu'il y a une chute de température et une augmentation de précipitation et l'inverse pour la période (1995 à 2010); ce qui est explique la différence qui existe entre les valeurs de concentrations de conductivité entre l'année 2003 et l'année 2016, mais les valeurs restent toujours supérieures à la limite de potabilité. On s'aperçoit qu'on assiste à une concentration dans le sens de l'écoulement ; s'avèrent donc selon ce classement que ces eaux sont salines. La majorité des points d'eau de la région ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevé.

### 2.3. Le pH

C'est l'un des paramètres parmi les plus importants pour la qualité de l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend des facteurs multiples dont l'origine de l'eau. Le pH détermine l'acidité, l'alcalinité et la neutralité des solutions. Il est lié à la nature du terrain.

A partir du pH, on peut classer les eaux de la manière suivante : pH inférieur à 5 : acidité forte ; pH égale à 7 : neutralité (eau pure) ; pH de 7 à 8 : neutralité rapprochée (eau de surface) ; pH de 5.5 à 8 : majorité des eaux souterraines ; pH supérieur à 8 : alcalinité, évaporation intense.



**Figure 28 : Carte de la Variation spatiale de pH des eaux souterraines de la région d'étude**

En comparant les résultats obtenus lors des analyses des échantillons de l'eau de la zone d'étude en 2016 à les normes d'OMS qui situent entre 6.5 et 8.5 pour une eau potable, il ressort que leur pH est normal étant donné qu'il est compris entre 6.6 et 7.5. Et aussi par rapport le pH mesuré pendant l'année 2003 qui varie entre 7.2 et 8.16. Donc en générale les eaux de la région d'étude ont le même caractère qui est un caractère alcalin.

#### 2.4. La dureté

La dureté de l'eau exprime sa concentration en sels de calcium et de magnésium comme le pH, la dureté est liée à la nature des terrains traversés par une eau. On qualifie la dureté d'une eau :

- eau très douce : dont le DHT est compris entre 1 et 5 °f ;
- eau de faible dureté : dont le DHT est compris entre 5 et 12 °f ;
- eau de dureté moyenne : dont le DHT est compris entre 12 et 25 °f ;
- eau très dure : dont le DHT est compris entre 25 et 50 °f ;
- eau de dureté très élevée : dont le DHT peut aller jusqu'à 150 °f.

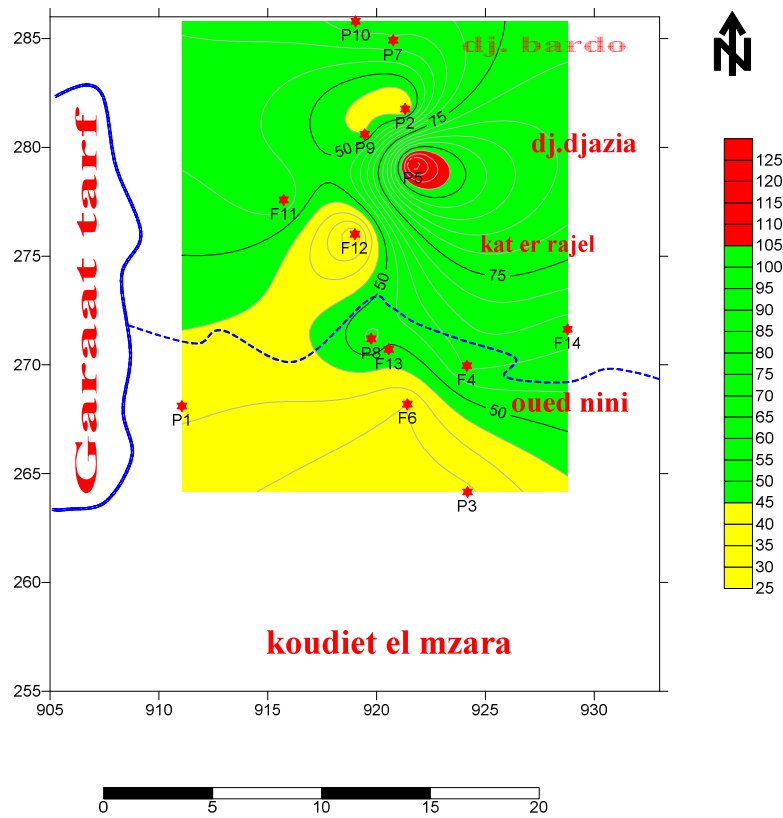


Figure 29 : Cartes de la Variation spatiale de la dureté des eaux souterraines de la région d'étude en 2003.

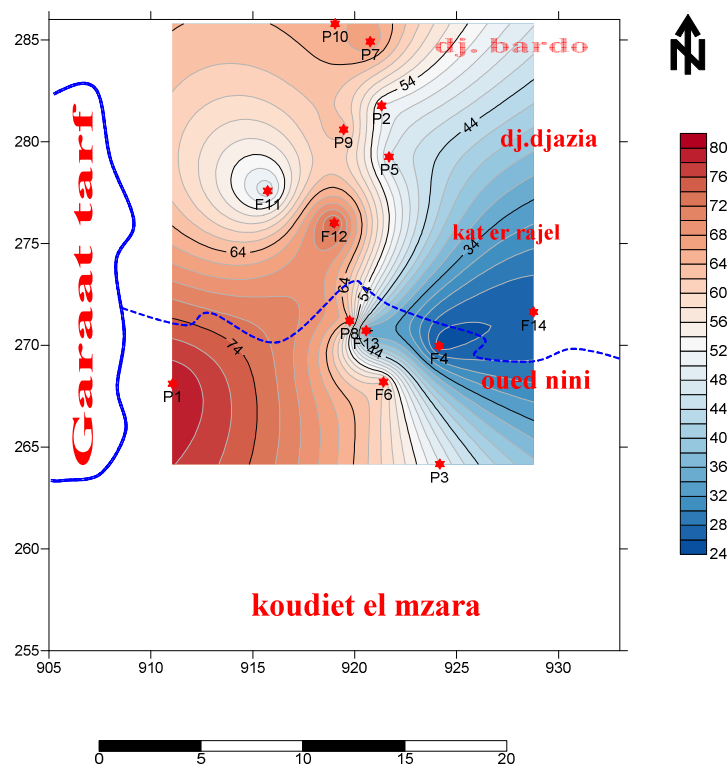


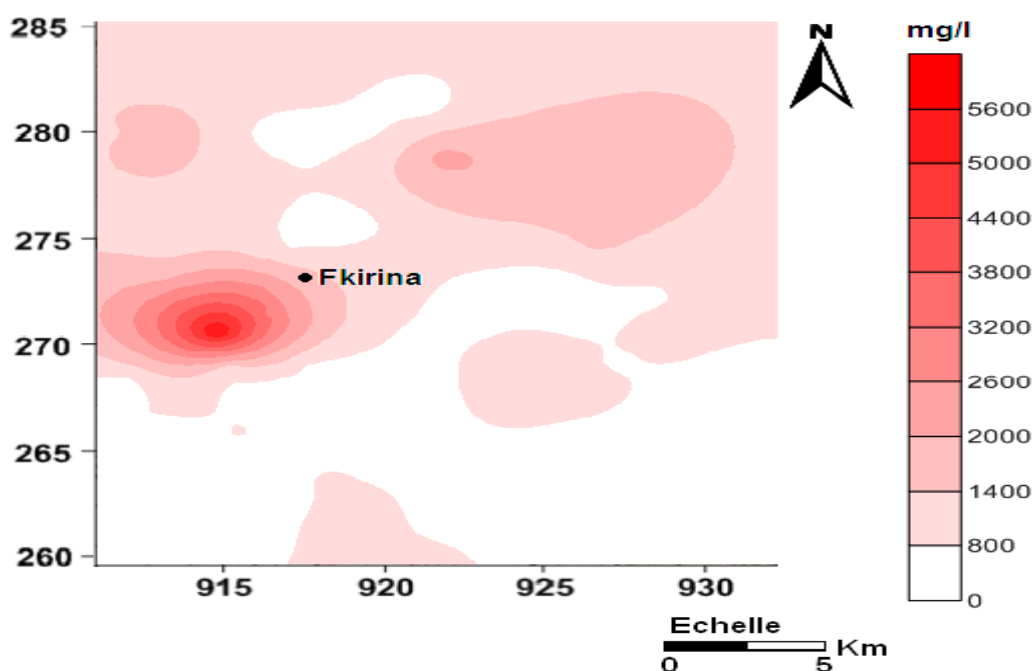
Figure 30: Cartes de la Variation spatiale de la dureté des eaux souterraines de la région d'étude en 2016

D'après les cartes de concentration, on observe que la totalité des échantillons analysés dépassent les normes, et présentent que les eaux de la zone d'étude sont des eaux de dureté très élevée, dont le DHT atteint une valeur maximale de 80°f.7

### 3. Etude des Paramètres chimiques

#### 3.1. La minéralisation

La minéralisation est la teneur globale en sels dissous dans une eau, elle est exprimée en mg/l et peut être calculée à l'aide d'un facteur empirique à partir de la conductivité électrique ou mesurée au multiparamètre.



**Figure 31: carte de répartition spatiale de minéralisation**

La minéralisation augmente avec la profondeur et dans le sens d'écoulement des eaux du fait des périodes de sécheresse prolongée, de la lithologie et aussi de l'intrusion des eaux de Sebkhha de Garaat-et-Tarf en réponse aux pompages intensifs ; ce qui est confirmé à partir l'examen de la carte de minéralisation des eaux qui montre une évolution de la minéralisation de l'amont en aval ou elle passe de 372 mg/l près des affleurements calcaires de bordure au Nord-est du bassin à 5704 mg/l à l'exutoire, avec une moyenne de 946 mg/l sur toute la plaine

### 3.2. Les cations

#### 3.2.1. Le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Le calcium est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ), qui sont facilement solubles. Les normes d'OMS préconisent une concentration de 100 mg/l comme concentration maximale.

Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations.

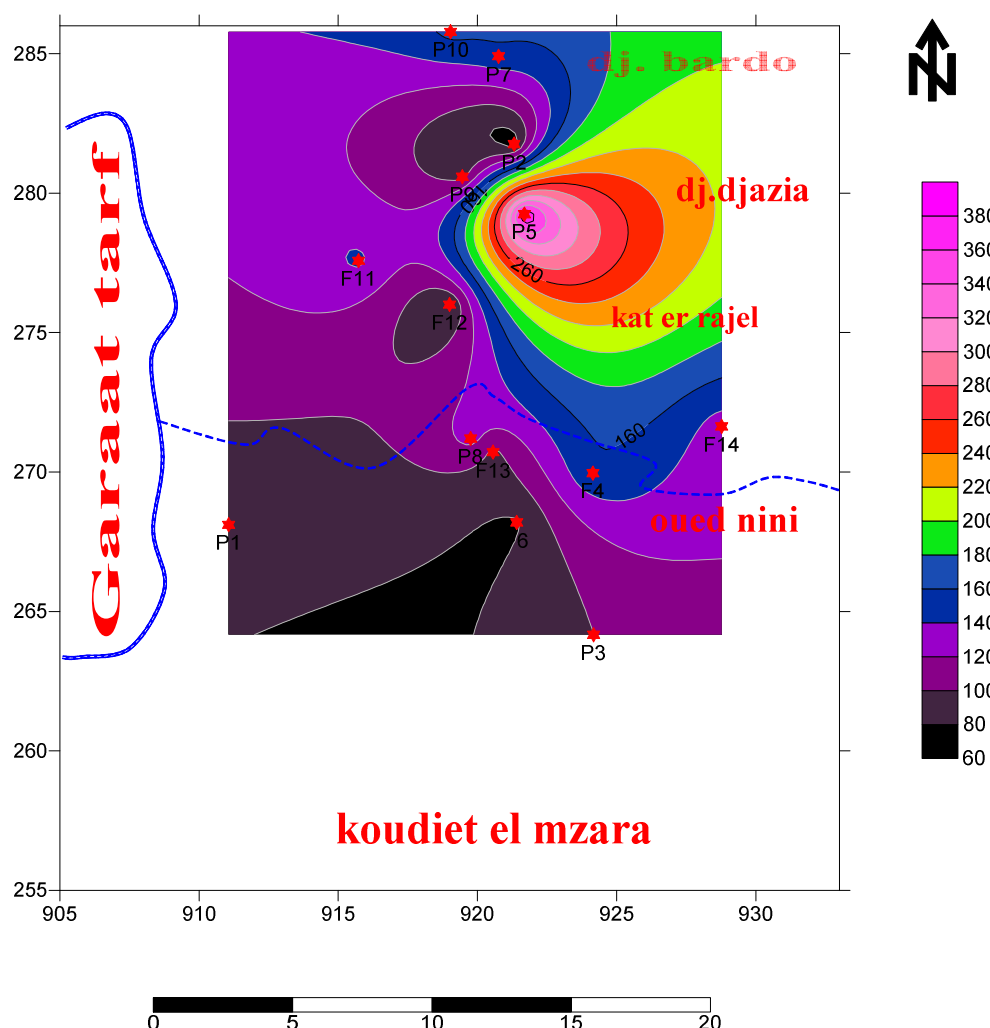
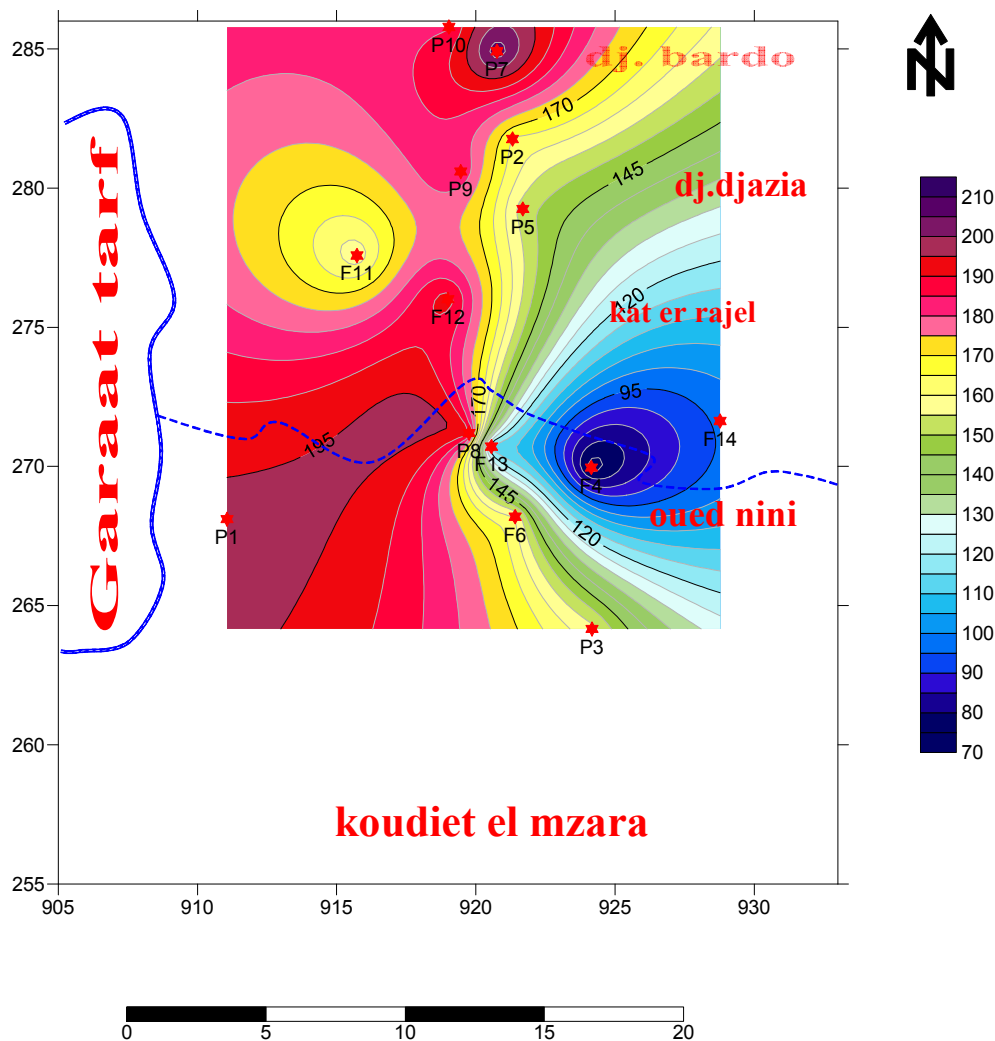


Figure 32: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Calcium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003.



**Figure 33: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Calcium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016.**

Les résultats de mesure obtenus au laboratoire et les cartes de calcium pour l'eau étudiée, montrent que la plupart des points de prélèvement présentent des teneurs en ions de calcium élevées avec une valeur maximale de 380 mg/l en 2003, et 208.42 mg/l en 2016, ces concentrations sont supérieures à la norme de potabilité des eaux (100 mg/l), à l'exception de quelques points où les concentrations sont plus faibles (valeur minimale est 70 mg/l en 2003 et 72.15 mg/l en 2016) et exactement les zones limitrophes à Garaet Et Tarf où l'écoulement des eaux souterraines est très faible ce qui indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

La forte teneur en  $\text{Ca}^{2+}$  est liée à la présence d'un niveau carbonaté due à la dissolution des formations companien-maestrichien, due à l'impact de sebkha, elle est d'origine d'activité anthropique agricole (engrais chimiques), sans oublier le niveau évaporitique de formation triasique, et l'échange de base au sein minéraux argileux.

### 3.2.2. Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

C'est un élément indispensable à la vie qui accompagne souvent le calcium, jouant un rôle important dans la respiration, leurs origines sont naturelles (dissolution des roches magnésites basaltes, argiles, dolomies, calcaires dolomitiques, sulfates de magnésium  $MgSO_4$ , et des minéraux ferromagnésiens) ou industrielle (industrie de la potasse de cellulose, brasserie). Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau.

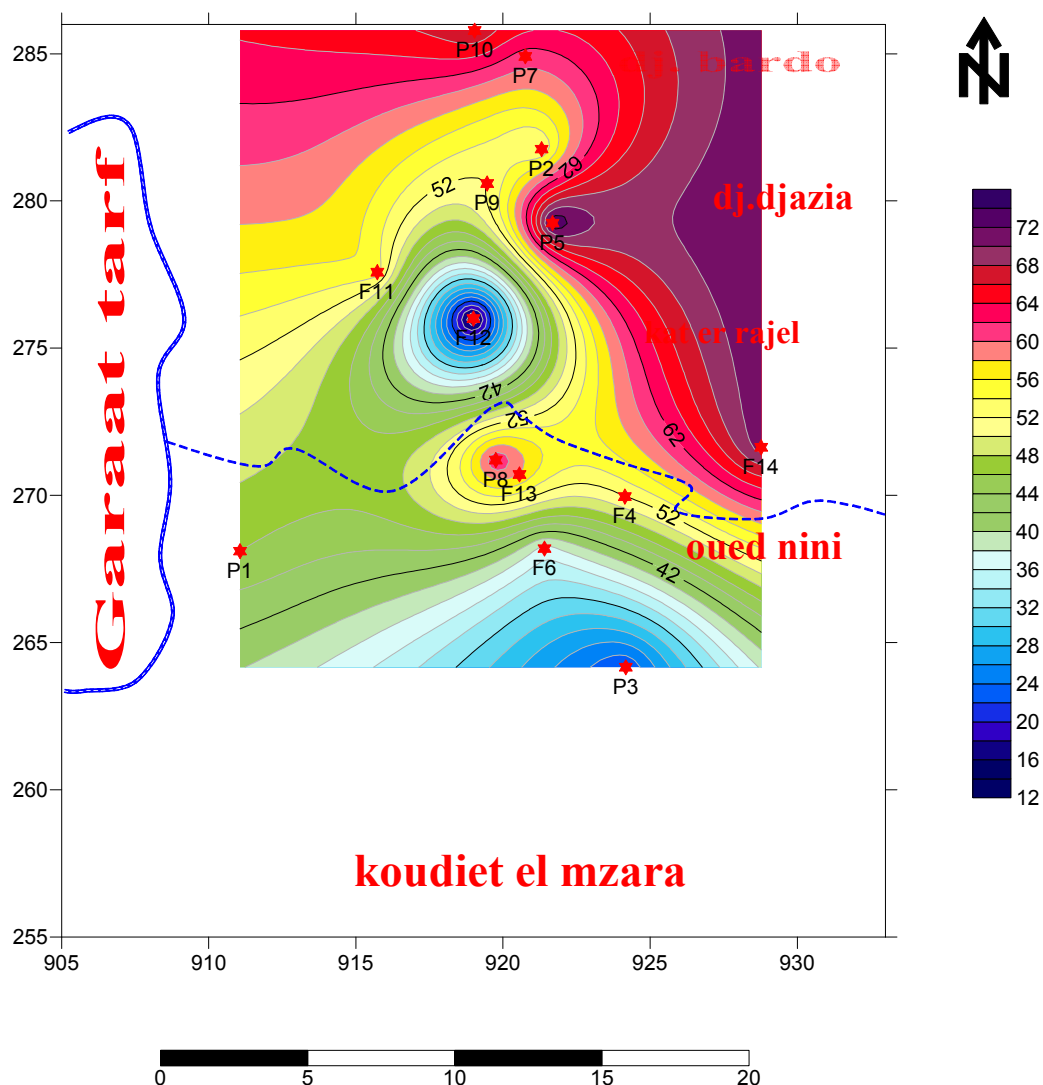
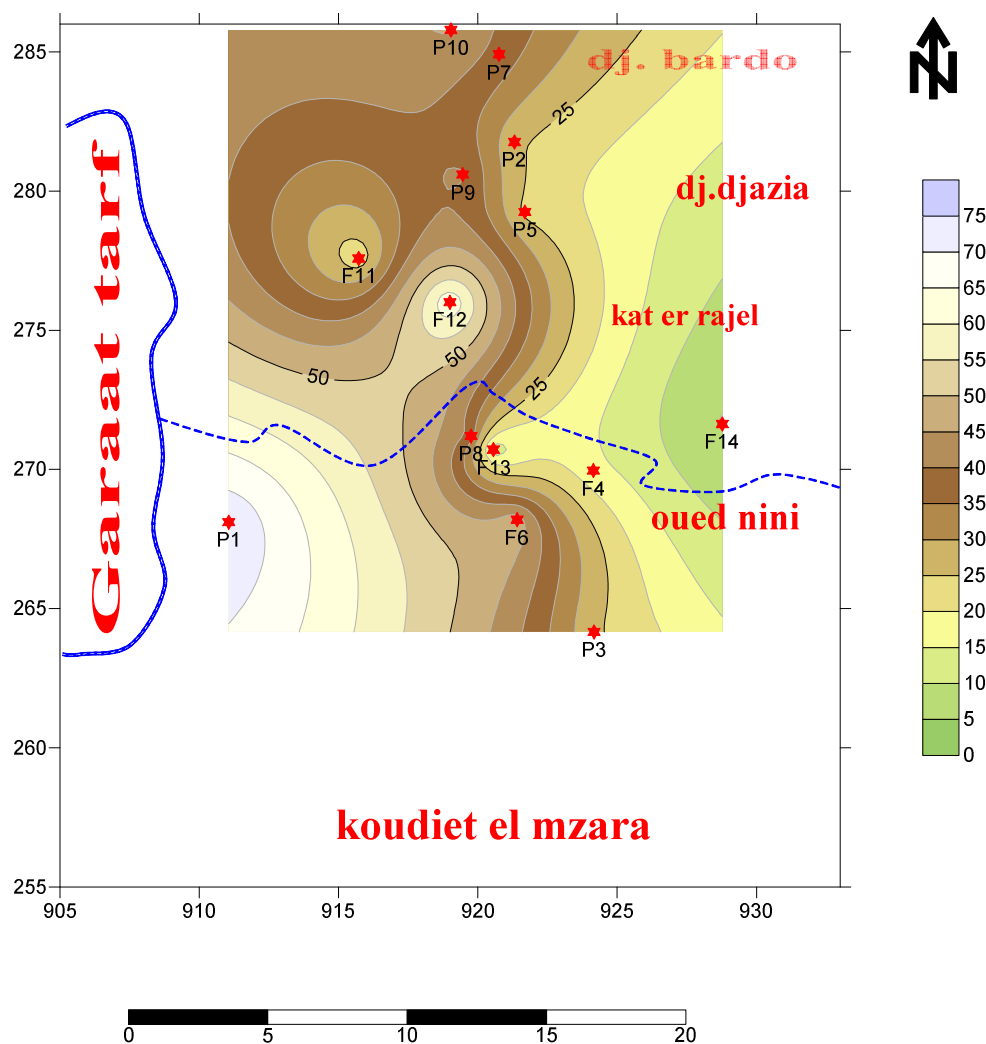


Figure 34 : Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Magnésium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003.



**Figure 35 : Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Magnésium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016.**

La carte de la distribution des teneurs en magnésium en 2003 montre que la teneur maximale est de 427 mg/l, la faible teneur est de 8 mg/l, et la valeur moyenne de mesure est de 55 mg/l ; dépassant les normes de la potabilité. A l'Est de la plaine on peut attribuer les fortes teneurs en magnésium à la dissolution des dolomites des formations géologiques campanien-maestrichtien comme la réaction suivante l'indique :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$

Le magnésium est un indicateur de temps de résidence des eaux souterraines (ce qui explique l'augmentation des valeurs de l'amont -zone de recharge-vers l'aval-zone de décharge- due à l'impact de la dilution de formations géologique par les eaux météorique -augmentation de précipitation-)



Mais la carte de concentration de magnésium en 2016 montre que la teneur en  $Mg^{2+}$  est relativement faible dans la quasi-totale de la zone d'étude. Elle est bien inférieure à la valeur préconisée par l'OMS qui exige une concentration de 50 mg/l au maximum.

Cette diminution en teneur de magnésium entre 2003 et 2016 peut être expliquée par la période de sécheresse –augmentation de la température–

### 3.2.3. Sodium ( $Na^+$ ) et potassium ( $K^+$ )

Nous savons que  $K^+$  est en concentration faible dans les eaux du fait de l'absorption de cet élément par la végétation nous nous intéressons donc que au sodium

Le sodium est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité de ses sels est très élevée. En agriculture, le composé du sodium le plus important est le chlorure de sodium. Le sodium constitue un élément de maintien de la perméabilité

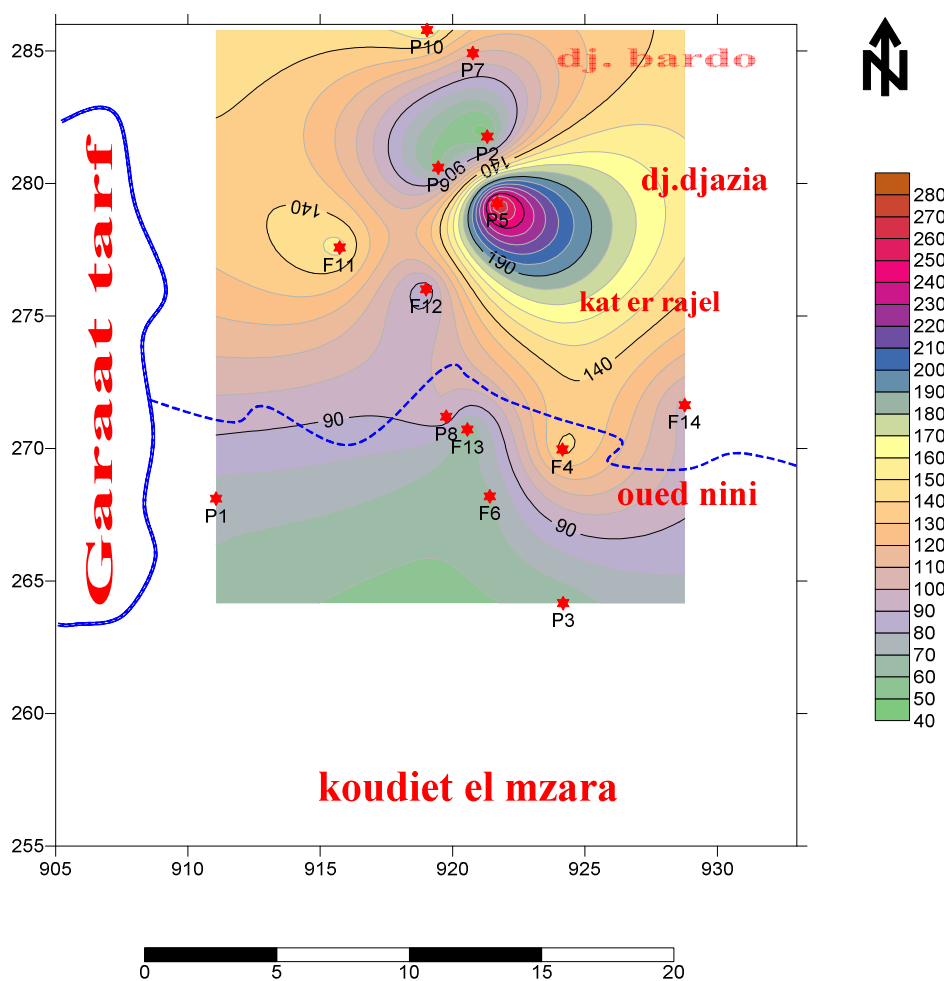
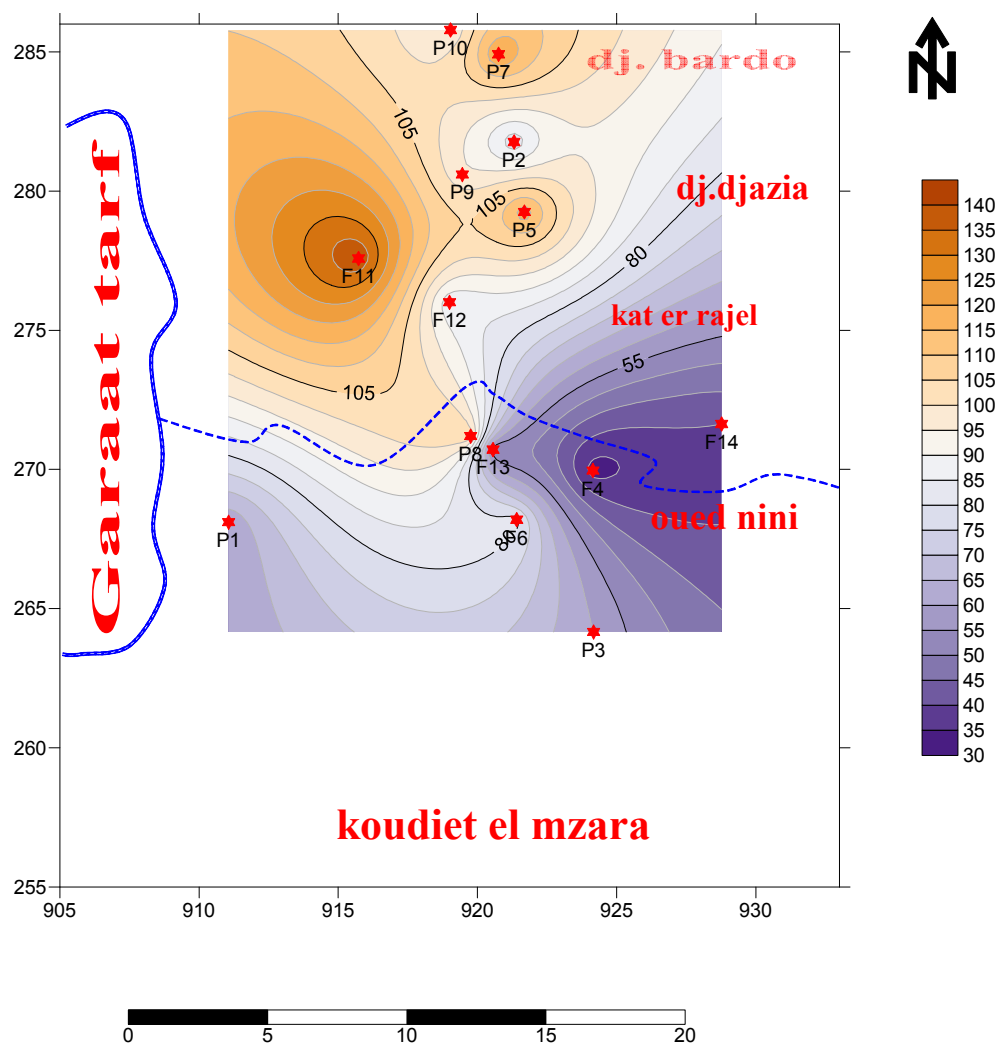


Figure 36 : Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Sodium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003.



**Figure 37 : Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Sodium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016.**

Les teneurs en sodium observées pour l'ensemble des points d'eaux de la plaine (2003, 2016) varient entre 14 mg/l comme valeur minimale et 276 mg/l comme valeur maximale dans les eaux du point d'eau; la moyenne de mesure est de 145 mg/l.

Les fortes teneurs sont attribuées à la migration des eaux salées en provenance de la dissolution des minéraux évaporitiques de sebkha en réponse aux pompages intensifs et aussi de formations géologiques triasique.

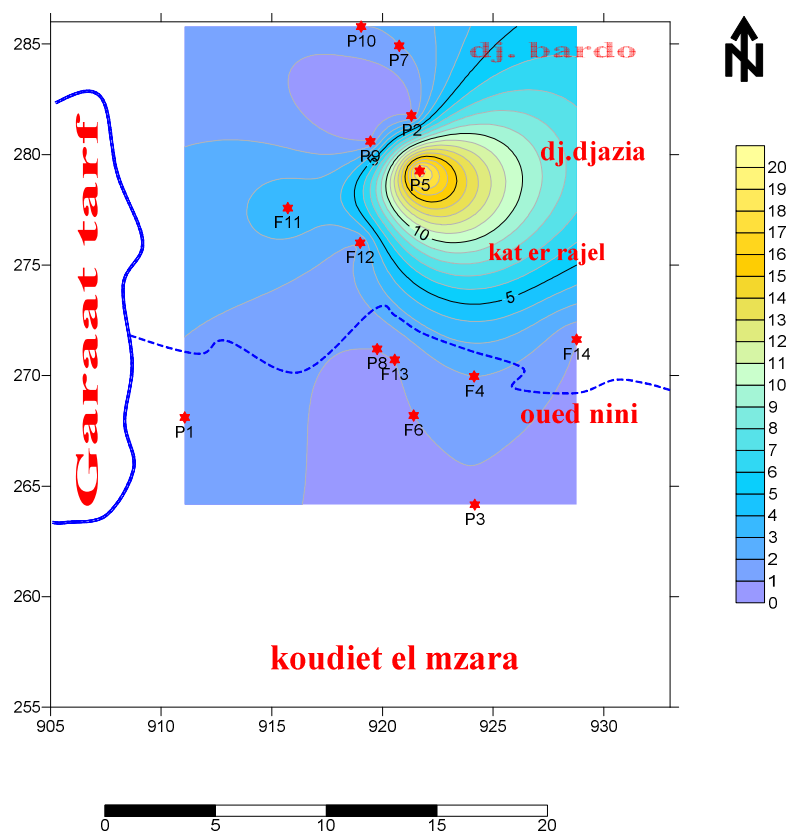


Figure 38: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines de la région d'étude en 2003.

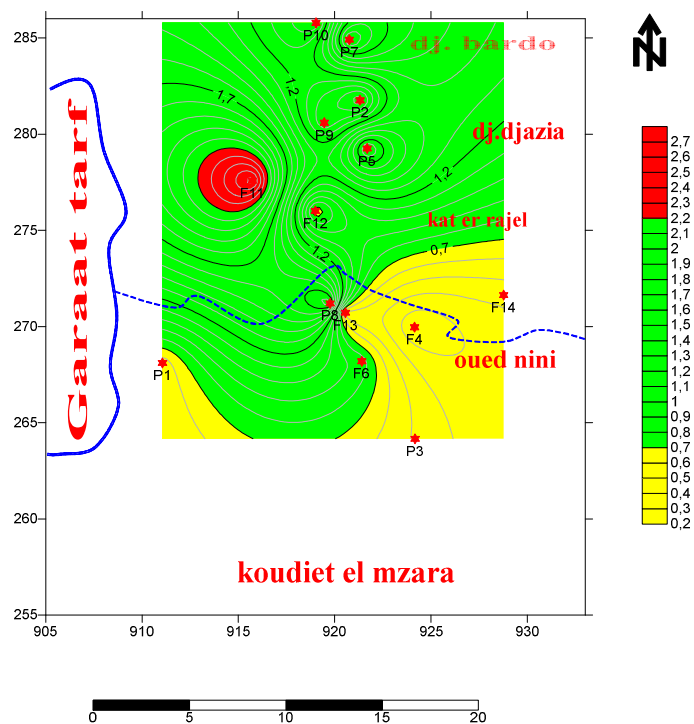


Figure 39: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en potassium des eaux souterraines de la région d'étude en 2016.

Les cartes de la distribution des teneurs en potassium en 2003 et 2016 montre que la teneur maximale est de 20 mg/l, la faible teneur est de 0.2 mg/l, et la valeur moyenne de mesure est de 10.1 mg/l ; on peut attribuer les fortes teneurs en potassium à l'impact des activités anthropiques agricoles. (Utilisation des engrais chimiques).

### 3.3. Les Anions

#### 3.3.1. Chlorures (Cl)

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très faciles 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 250 mg/l (norme de l'O.M.S).

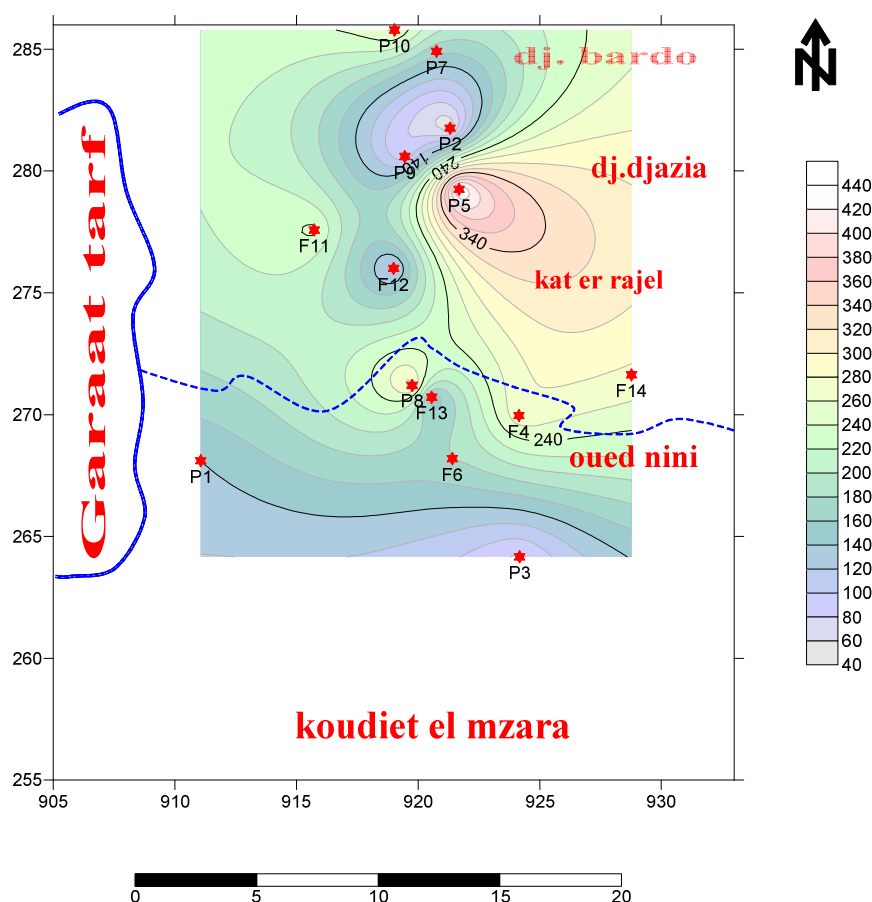
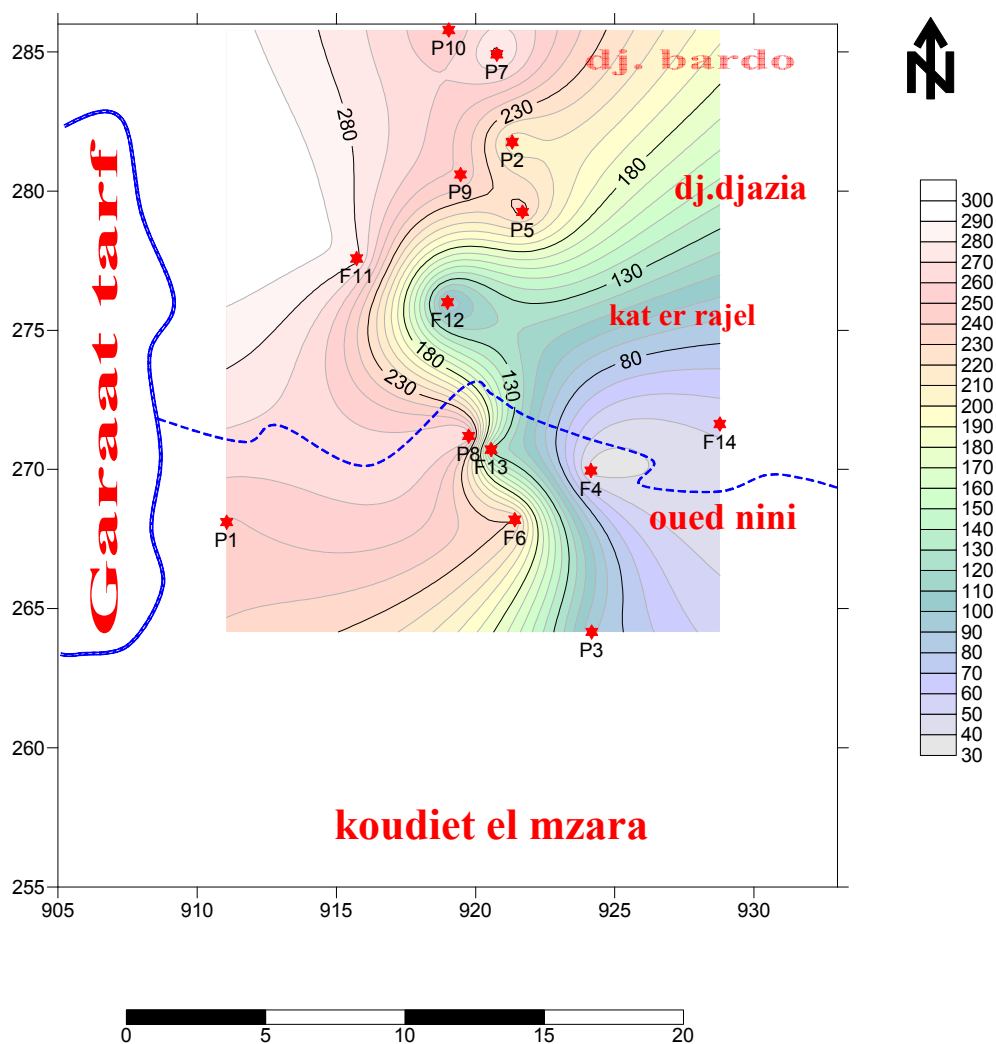


Figure 40: Carte de la Variation spatiale des teneurs en Chlorure des eaux souterraines de la région d'étude en 2003



**Figure 41: Carte de la Variation spatiale des teneurs en Chlorure des eaux souterraines de la région d'étude en 2016.**

Pour 2003, il serait utile d'attribuer les fortes teneurs, supérieures à 250 mg/l, aux points cités sus dessus. Au Sud, on peut lier la variation en teneur au lessivage des formations triasique. Pour les zones proches de Garaet Et Tarf (zone d'embouchure Oued-Sebkha), zone d'intrusion des eaux saumâtres depuis la Sebkhha en réponse aux pompages intensifs et à la migration des eaux salées.

Pour les points situés au Nord-ouest de la plaine dans cette zone, on peut lier la forte teneur en chlorures à la pollution des eaux de la nappe par les eaux usées des rejets de la ville de Ain Beida, à l'utilisation des engrais chimiques, aux rejets domestiques, et aux rejets solides des parcs d'élevages (poulaillers).

L'analyse des eaux de la zone d'étude en 2016 a révélé des quantités normales de chlorures au niveau des puits P1, P2, F3, F4, F5, F6, P9, P10. Allant de 35.5 à 284 mg/l). Il

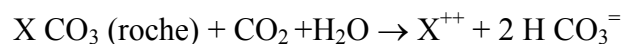
s'avère d'après certaines études (Weinberg, 1986; Schultz, 1984; Siggaard-Anderson, 1976 ; Tortora, 1984) que même dans le cas de quantités excessives dans l'eau potable, les chlorures n'auraient pas d'effets néfastes sur la santé du consommateur car les concentrations de chlorures dans le corps sont bien régulées au moyen d'un système complexe faisant intervenir à la fois le système nerveux et le système hormonal. Même après l'absorption de quantités importantes de chlorures par l'intermédiaire des aliments et de l'eau, l'équilibre du chlorure se maintient, surtout par l'excrétion de l'excès de chlorures dans l'urine.

Les concentrations les plus élevées sont enregistrées au niveau des puits P7, P8 avec des valeurs de 284 et 273.35 mg/l successivement, il y a bien de signaler que ces résultats obtenus en ce qui concerne ce paramètre sont supérieures à la concentration plafonnée par l'OMS.

La région est de climat semi-aride donc nous lier aussi les fortes concentrations au lessivage des concentrations salines superficielles en cas de forte pluie (période de forte pluviométrie de 2016) et à la contamination des eaux de la nappe par les eaux du Sebkhah (Garaet Tarf). Il serait utile d'attribuer les fortes teneurs aussi à la pollution des eaux de la nappe par les eaux usées de la centrale turbine à gaz.

### 3.3.2. Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )

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 ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable. Ils prennent naissance de l'équilibre physique-chimique entre roche, eau et gaz selon l'équation :



La concentration des bicarbonates dans l'eau est en fonction des paramètres suivants :

- Le pH de l'eau.
- La pression de  $\text{CO}_2$ .
- La concentration de l'eau en sels et la nature géologique des terrains traversés.

Les normes d'OMS ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée.

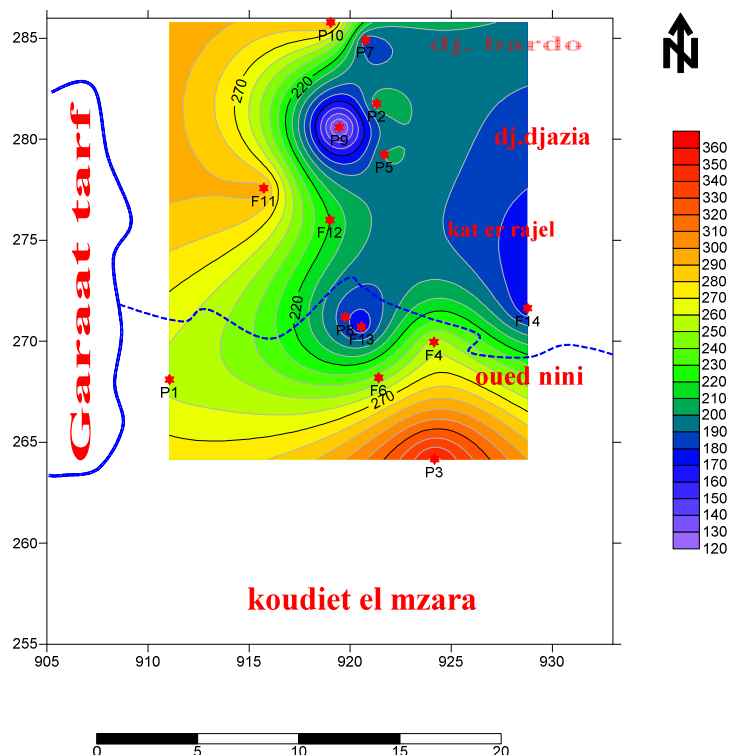


Figure 42: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Bicarbonate des eaux souterraines de la région d'étude en 2003

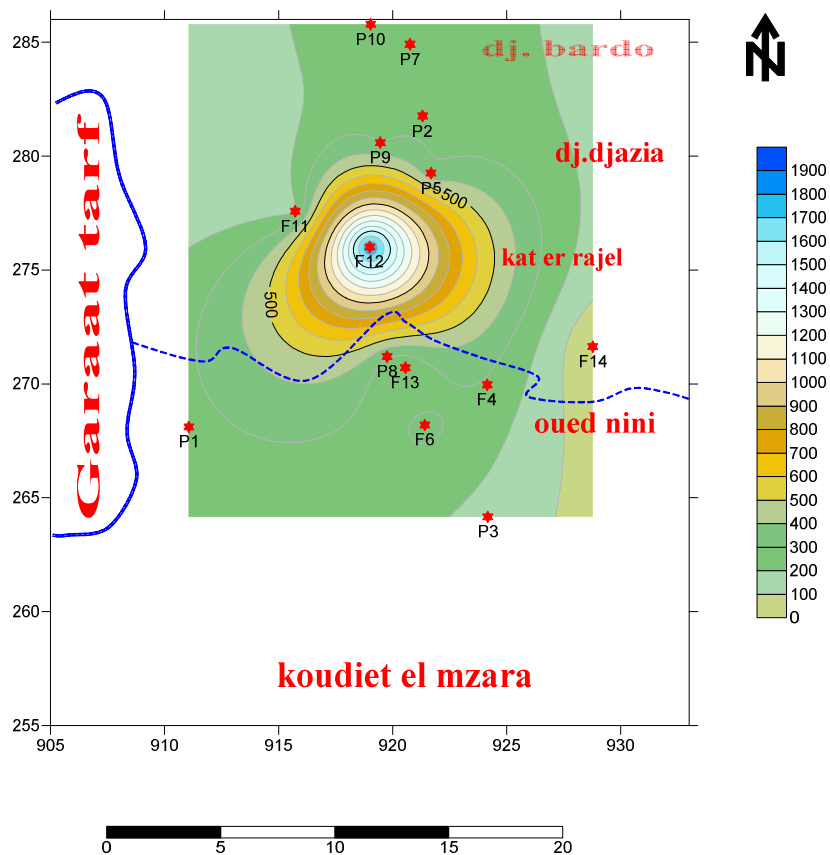


Figure 43: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Bicarbonate des eaux souterraines de la région d'étude en 2016.

L'examen de la carte de bicarbonates (2003) montre une diminution de teneurs au sens d'écoulement avec une moyenne de mesure de 247mg/l. les valeurs maximales est de 1061mg/l, celle minimale est de 116 mg/l mesurée près des affleurements carbonatés. L'accroissement de la teneur des bicarbonates juste à la sortie des calcaires maestrichtien est attribué à leur grande solubilité. En s'éloignant des affleurements, les eaux deviennent saturées et les carbonates précipitent et leurs teneurs diminuent dans les eaux et se trouvent ainsi, contrôlés par la dissolution des minéraux carbonatés au Nord-est du bassin. L'eau étudiée a une teneur élevée en bicarbonates par rapport aux ions considérés. Cette teneur confirme son origine bicarbonatée. (2016)

### 3.3.3. Sulfates ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

Ils sont présents dans les eaux naturelles à des teneurs très variables et ils peuvent provenir de la dissolution du gypse. Ce dernier peut être triasique, comme il peut être associé à des formations plus récentes comme les argiles du Mio-Plio-Quaternaire, À des concentrations supérieures à 250 mg/l, le sulfate peut modifier le goût de l'eau. À des concentrations supérieures à 1000 mg/L, le sulfate peut avoir un effet laxatif. En général cependant, l'eau potable ne contient pas de telles concentrations

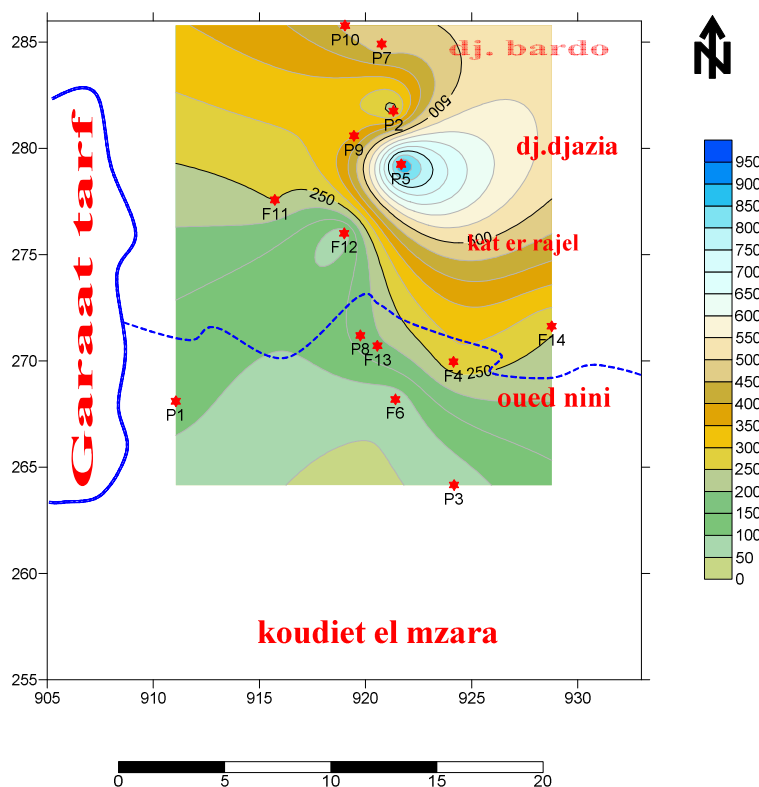
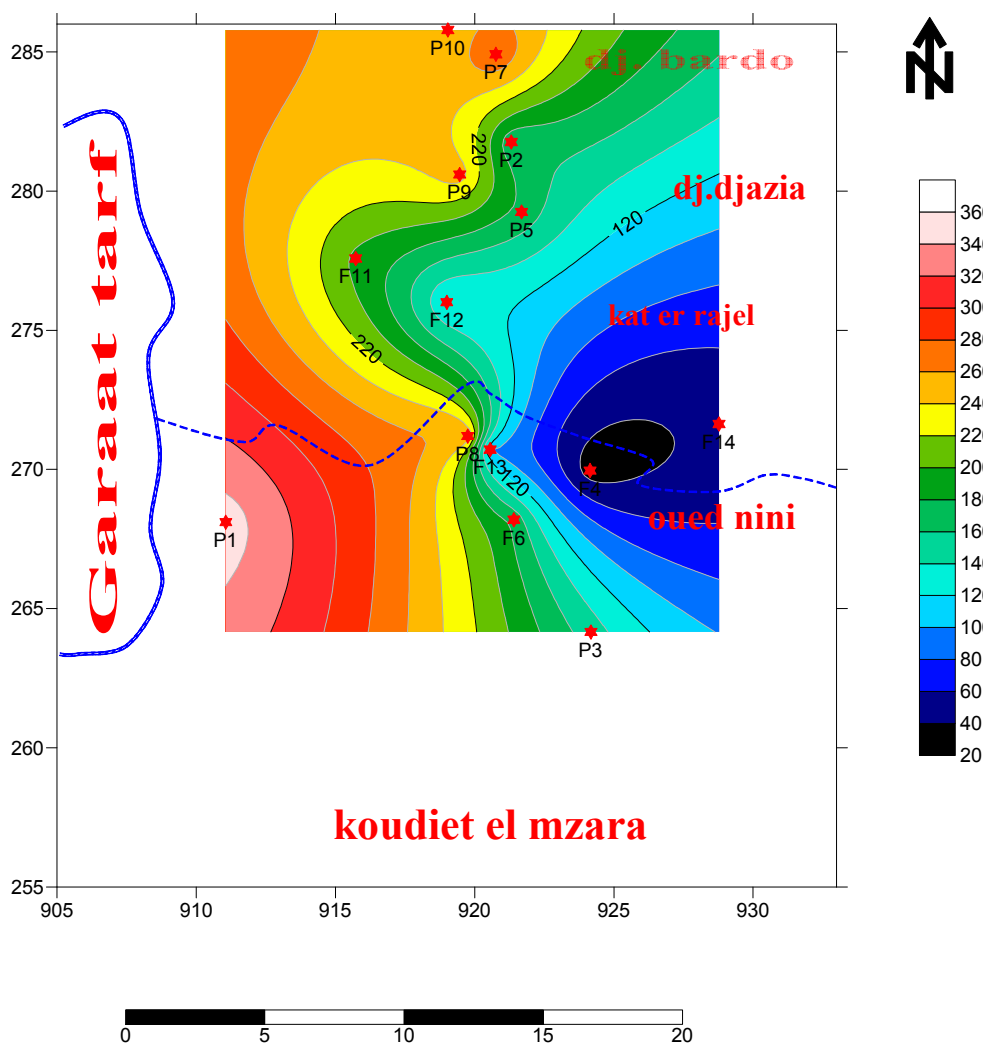


Figure 44 : cartes de la Variation spatiale des teneurs en Sulfate des eaux souterraines de la région d'étude en 2003.





**Figure 45 : cartes de la Variation spatiale des teneurs en Sulfate des eaux souterraines de la région d'étude en 2016.**

Pour les résultats trouvés en 2003 la carte de sulfate montre un foyer de concentration très élevée à l'Ouest de la plaine, avec une valeur maximale de 2660 mg/l dépassant de loin les normes de potabilité. La présence d'inclusion gypsifère ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et de roches salines évaporitiques ( $\text{Na}^2 \text{SO}_4$ ) seraient responsables de l'augmentation de la teneur en sulfate

La faible teneur en sulfate est de l'ordre de 12 mg/l mesurée près des affleurements calcaires. La moyenne de mesure est de 285 mg/l.

L'examen de la carte (2016) montre que les concentrations des sulfates sont élevées au niveau des forages P1 (350 mg/l), P7 (280 mg/l) et P8 (260 mg/l). Ce qui explique l'influence des rejets de la centrale qui est très proche à ces points d'eaux. Elle s'inspire le surcroit des précipitations des sulfures résultant de l'activité du courant électriques vagabond, suivie par des réactions oxydo-réduction sous l'effet des pluies, qui va produire une infiltration des ions de

sulfates vers les eaux souterraines conséquentes la mauvaise odeur bien remarquable malgré l'absence des réseaux d'assainissement dans cette zone. Vu aussi la possibilité de la dissolution des formations riches en  $\text{SO}_2$  comme l'argile du quaternaire. Les valeurs des sulfates trouvés au niveau des autres points de prélèvements étudiés sont comprises entre 30 et 250 mg/l, elles restent inférieures à la concentration maximale admissible décrétée par la norme imposée par l'OMS (250 mg/l).

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

Les nitrates sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau. La concentration en nitrate dans les eaux souterraines est normalement basse, mais peut atteindre des niveaux élevés en raison de l'écoulement agricole, l'écoulement de décharge d'ordures, les formations géologiques contenant des composés azotés solubles, ou de contamination avec les déchets des animaux ou des humaines.

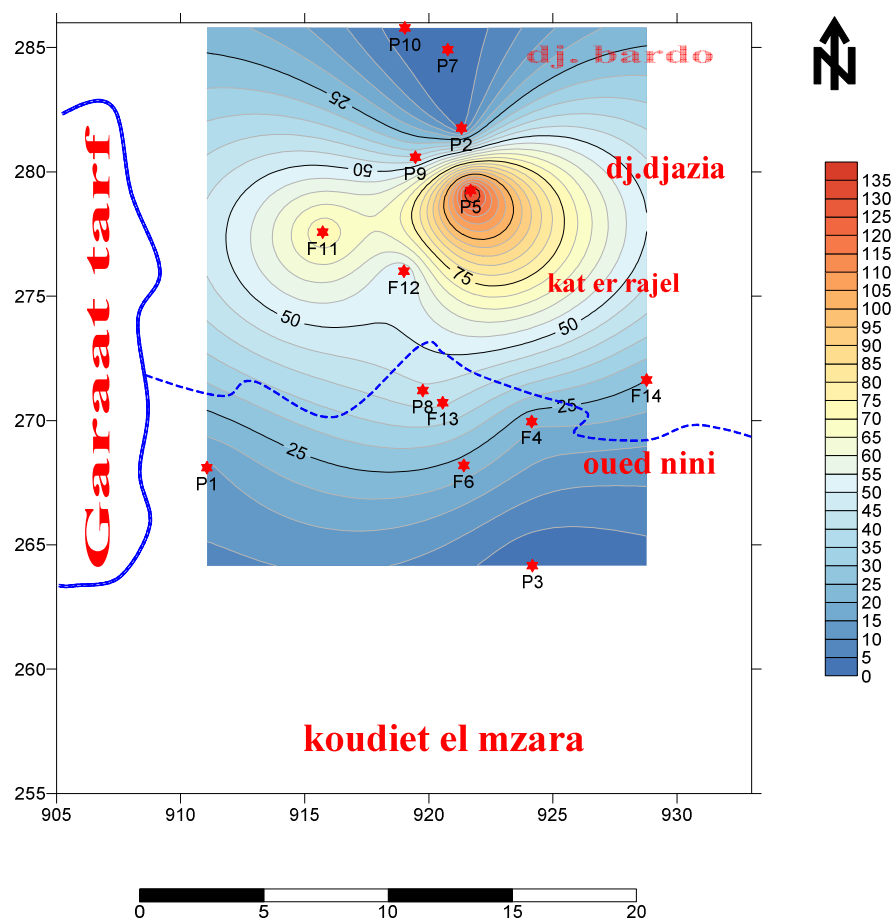
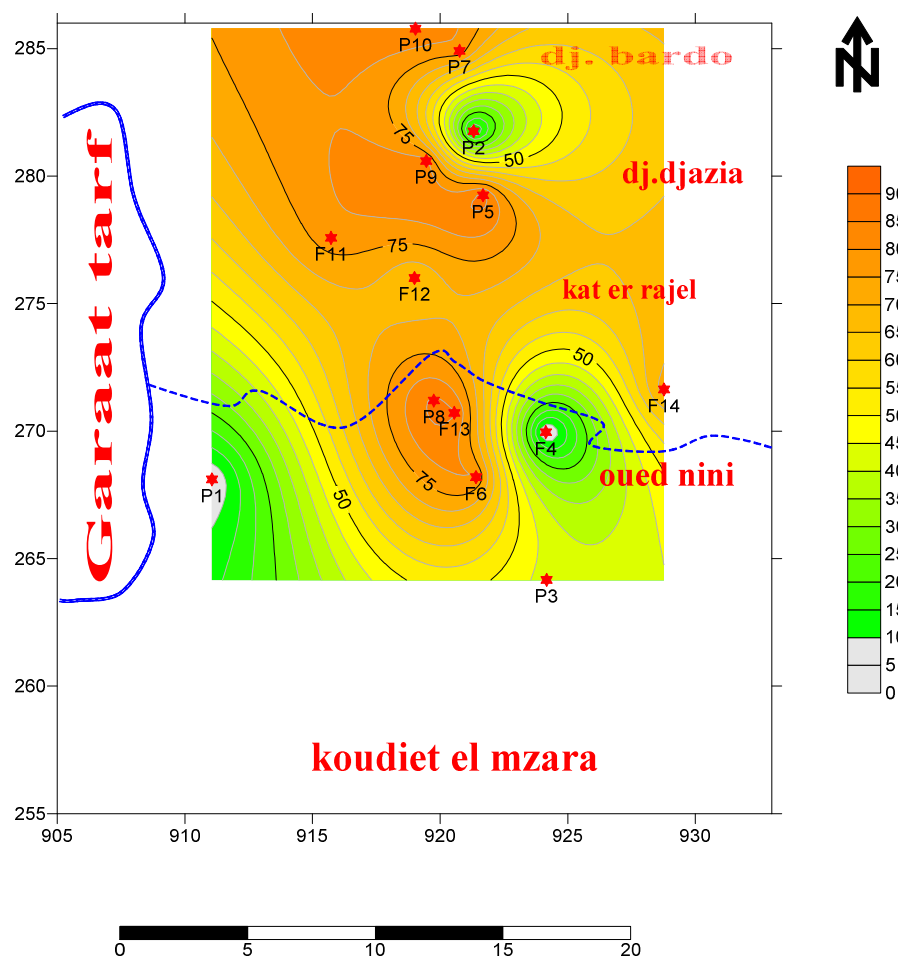


Figure 46: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Nitrate des eaux souterraines de la région d'étude en 2003.



**Figure 47: Cartes de la Variation spatiale des teneurs en Nitrate des eaux souterraines de la région d'étude en 2016 .**

Les teneurs en nitrates en 2003 sont alarmantes, où elles dépassent de loin les normes; Ainsi les foyers contaminés se trouvent au Nord et au Nord-ouest de la ville de F'Kirina; Cela est attribué à la pollution agricole par l'utilisation des engrais naturels et artificiels nitrates dans des cultures et l'élevage intensif. Au Sud-ouest, la contamination des eaux serait attribuée aux eaux usées domestiques de l'agglomération de F'Kirina qui sont rejetés d'une façon anarchique non contrôlés dans oued nini.

Même ci pour l'eau étudiée en 2016 au niveau des puits F5, F6, P7, P8, P9, P10 ; la valeur des nitrates obtenue est supérieure à la norme prescrite, elle est comprise entre 78 et 87 mg/l. Donc, elle est de qualité médiocre par rapport à la norme de potabilité d'OMS qui recommande pour les eaux naturelles une valeur limite de 50 mg/l au maximum; Car une teneur en nitrate supérieure à la valeur citée peut provoquer des risques de méthémoglobinémie chez les nourrissons de moins de six mois alimentés au biberon, en raison que les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) transformés en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) dans l'estomac, conduisent à l'oxydation et à la transformation de

l'hémoglobine. Cet effet toxique, appelée également «cyanose du nourrisson», « syndrome du bébé bleu » ou « la méthémoglobinémie », entraîne une réduction des capacités de transport de l'oxygène par le sang. Les fortes teneurs peuvent être dû au lessivage des terres cultivées ou de la contamination d'origine humaine ou animale (Hamed et *al.*, 2013; Mokadem et *al.*, 2016 ). Les résultats obtenues dans les échantillons d'eau analysés au niveau des puits P1, P2, F3, et F4 ont révélé que toutes les teneurs en nitrates sont dans les normes de potabilité (OMS).

**Tab 10 : les valeurs de concentration des éléments minéraux de points d'eaux prélevées en 2003 et en 2016**

Points d'eau	HCO <sub>3</sub>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		CL <sup>-</sup>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				
	2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016			
1	256	268,4	118	<b>350</b>	140	248,5	<b>14</b>	<b>4,8</b>			
2	207	292,8	<b>220</b>	<b>165</b>	45	202,35	3	8,2			
3	<b>354</b>	<b>164,7</b>	72	150	75	92,3	0	43			
4	256	292,8	<b>284</b>	<b>30</b>	<b>275</b>	<b>35,5</b>	<b>21</b>	<b>3,6</b>			
5	201	329,4	<b>919</b>	<b>175</b>	<b>445</b>	<b>234,3</b>	<b>134</b>	<b>87</b>			
6	244	329,4	66	175	180	230,75	23	<b>80</b>			
7	183	292,8	<b>490</b>	<b>280</b>	165	<b>284</b>	2	<b>78</b>			
8	183	305	170	<b>260</b>	<b>290</b>	<b>273,35</b>	44	<b>86</b>			
9	122	298,9	<b>348</b>	<b>250</b>	85	248,5	40	<b>82</b>			
10	293	298,9	<b>460</b>	<b>240</b>	<b>265</b>	<b>248,5</b>	2	<b>84</b>			
11	<b>293</b>	<b>183</b>	<b>252</b>	<b>195</b>	245	<b>284</b>	<b>75</b>	<b>78</b>			
12	220	1842,2	68	120	<b>110</b>	<b>88,75</b>	<b>50</b>	<b>65</b>			
12	171	195,2	<b>188</b>	<b>100</b>	<b>145</b>	<b>124,25</b>	41	<b>85,5</b>			
14	<b>171</b>	4,5	<b>256</b>	<b>45</b>	<b>275</b>	<b>53,25</b>	25	<b>72,5</b>			
CA <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>		Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		TDS		D.H.T.	
2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016
88	<b>196,4</b>	46	<b>74,16</b>	<b>75</b>	<b>61,1</b>	2	0,538	739	1204	41	80
70	<b>164,33</b>	<b>52</b>	<b>26,16</b>	44	81,42	1	0,722	642	941	39	52
<b>100</b>	<b>156,64</b>	22	25,92	<b>64</b>	<b>59,9</b>	1	0,488	688	693	34	50
<b>158</b>	<b>72,15</b>	<b>52</b>	<b>16,68</b>	<b>144</b>	<b>32,89</b>	2	0,212	<b>1192</b>	<b>484</b>	<b>61</b>	<b>25</b>
<b>380</b>	<b>152,31</b>	<b>74</b>	<b>23,76</b>	<b>276</b>	<b>118,11</b>	20	1,937	<b>2449</b>	<b>1122</b>	<b>125</b>	<b>48</b>
78	<b>160,32</b>	37	47,76	68	81,65	1	0,863	697	1106	35	60
<b>154</b>	<b>208,42</b>	<b>61</b>	<b>38,04</b>	110	120,75	2	2,044	1167	1304	64	68
<b>128</b>	<b>192,39</b>	<b>62</b>	<b>38,16</b>	100	104,19	1	1,866	978	1261	57	64
93	<b>184,37</b>	<b>52</b>	40,56	58	96,01	<b>1</b>	<b>0,9114</b>	799	1201	45	63
<b>166</b>	<b>184,37</b>	<b>68</b>	45,36	<b>160</b>	<b>94,58</b>	<b>2</b>	<b>0,898</b>	<b>1416</b>	<b>1197</b>	<b>69</b>	<b>65</b>
<b>144</b>	<b>156,32</b>	<b>55</b>	21,36	<b>155</b>	<b>140,07</b>	<b>4</b>	<b>2,655</b>	<b>1223</b>	<b>1060</b>	<b>59</b>	<b>48</b>
78	<b>192,39</b>	13	<b>64,56</b>	82	86,03	<b>2</b>	<b>0,614</b>	623	2460	25	75
96	<b>112,23</b>	<b>58</b>	<b>11,76</b>	<b>60</b>	<b>50,37</b>	<b>1</b>	<b>0,445</b>	<b>760</b>	<b>680</b>	<b>48</b>	<b>33</b>
<b>130</b>	<b>96,2</b>	<b>71</b>	<b>4,68</b>	<b>96</b>	<b>40,02</b>	<b>1</b>	<b>0,435</b>	<b>1025</b>	<b>317</b>	<b>62</b>	<b>26</b>

D'après les différentes interprétations précédentes, et le tableau ci-dessus on remarque que la majorité des valeurs de concentrations des éléments minéraux augmentent de 2003 à 2016 et dépassent de loin les normes de potabilité ; à l'exception de quelques éléments minéraux tels que  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{-2}$ , et  $Cl^-$  où on trouve les concentrations de la moitié des points sont faibles en 2016 que en 2003 à cause de la sécheresse ; ce qui explique l'impact direct des fluctuations climatiques sur la dilution de ces éléments au cours de temps ; sachant que l'année 2003 appartient à la période de pluvieuse ( $T^\circ$  faible et P élevées), et l'année 2016 appartient à la période de sécheresse ( $T^\circ$  élevée et P faible) (figure 24,25).

La période pluvieuse en 2003 c'est une période de rechargeabilité des aquifères, ce qui implique une infiltration importante, donc un lessivage important des minéraux. (TDS forte ou faible : dépend du temps de réponse de la nappe selon sa profondeur, sa nature, la lithologie de terrains traversés lors de l'infiltration des eaux).

L'excès de concentrations des différents minéraux en 2016 malgré c'est une période de sécheresse s'avèrent probablement soit à la rechargeabilité de l'aquifère par l'infiltration des eaux de l'année précédente et le diagramme dans la figure 24 montre ce résultat ; c.à.d. l'effet de la dilution des minéraux par les eaux météoriques, et qui influent indirectement dans la dissolution des formations carbonatées, (les calcaires, les dolomies) responsables à les fortes teneurs en calcium et en bicarbonates; soit au phénomène de retour des eaux d'irrigation chargés aux engrais chimiques dues à l'augmentation de concentration des nitrates. (sans oublier l'effet de l'augmentation de nombre de population donc l'augmentation des rejets domestiques incontrôlés, et l'augmentation de la superficie de périmètres irriguées entre 1987 et 2017).

On peut lier aussi les fortes teneurs de concentrations des éléments minéraux remarquées en 2016 par l'augmentation de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique superficielle sous l'effet de la température élevée accompagné par une précipitation faible, donc une salinité élevée.

#### **4. Etude des rapports caractéristiques:**

Le rapport caractéristique est le rapport de certain élément chimique exprimé en milliequivalent par litre (méq/l), ce paramètre donne une indication sur la zone d'alimentation, et la circulation des eaux souterraines.

#### 4.1. Rapport r $Mg^{2+}$ / r $Ca^{2+}$

En 2003, la droite montre qu'il y a un excès de magnésium vis-à-vis le calcium pour l'ensemble des points situés dans la plaine ce qui traduit un enrichissement en magnésium par désorption du calcium. Lors de la fixation du calcium par précipitation de la calcite. L'excès de magnésium peut être expliqué aussi par le processus de dolomitisation

Alors que en 2016, l'examen de cette relation montre une forte évolution de calcium vis-à-vis le magnésium; ce qui explique la forte dissolution et rapide de formations bicarbonatées par rapport aux dolomies.

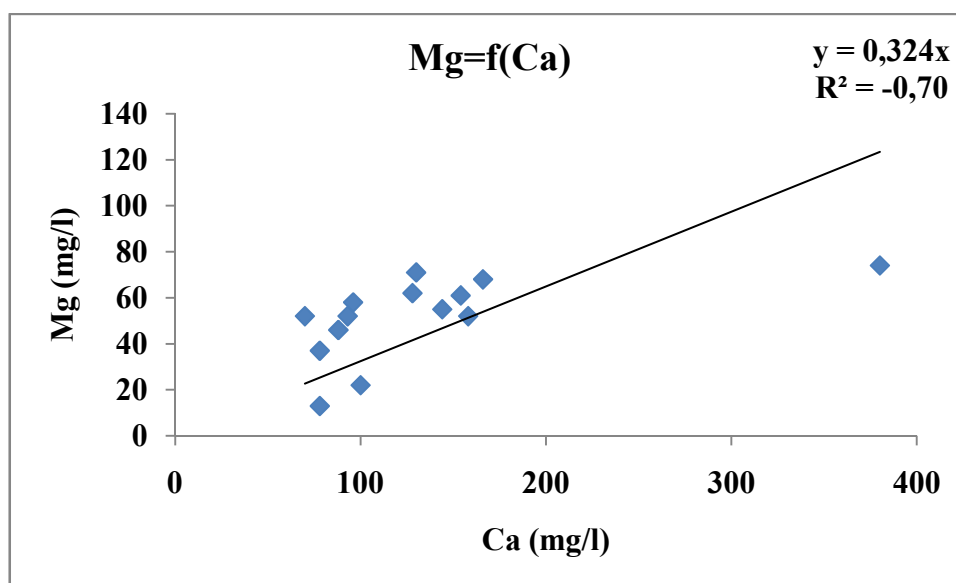


Figure 48 : Courbe de variation du rapport  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$  dans la nappe de F'kirina en 2003

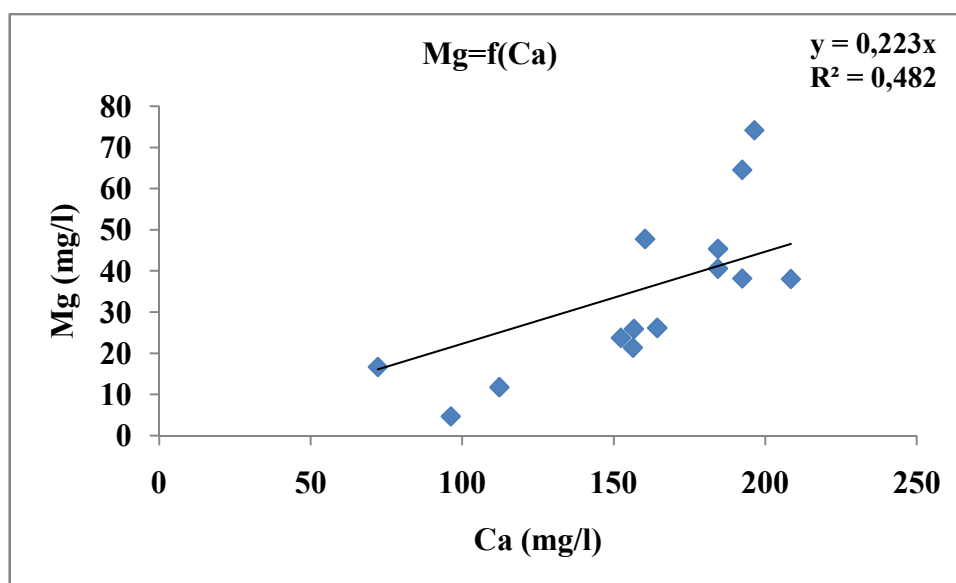


Figure 49: Courbe de variation du rapport  $Ca^{2+} / Mg^{2+}$  dans la nappe de F'kirina en 2016

4.2. Rapport r Ca<sup>2+</sup>/rSO<sub>4</sub>

L'examen de ce rapport montre que les eaux ont une même origine près des affleurements calcaires par dissolution simultanée de la calcite et du gypse, dans l'emplissage alluvionnaire, les eaux s'enrichissent d'avantage en calcium.(Figure 50,51)

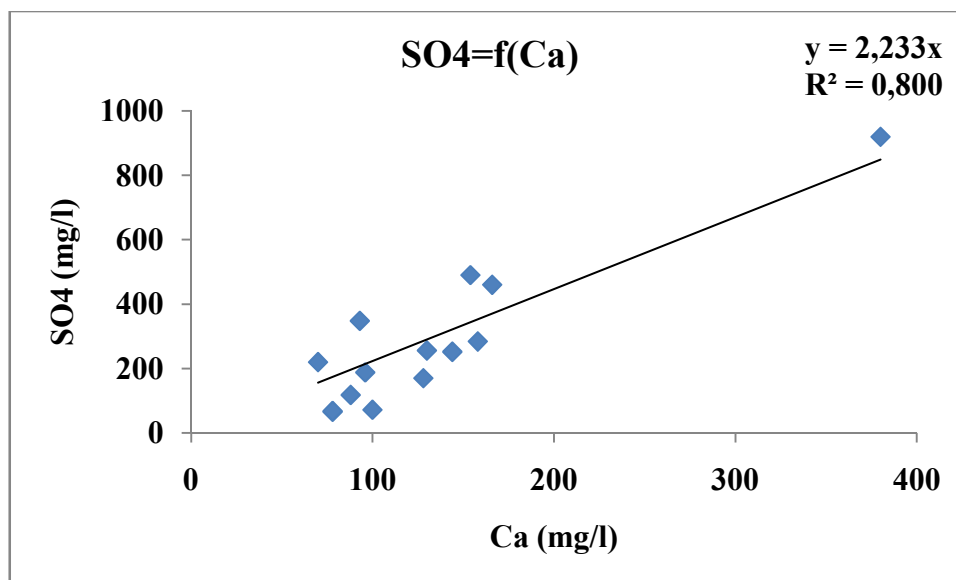


Figure 50 : Courbe de variation du rapport Ca<sup>2+</sup>/SO<sub>4</sub> dans la nappe de F'kirina en 2003

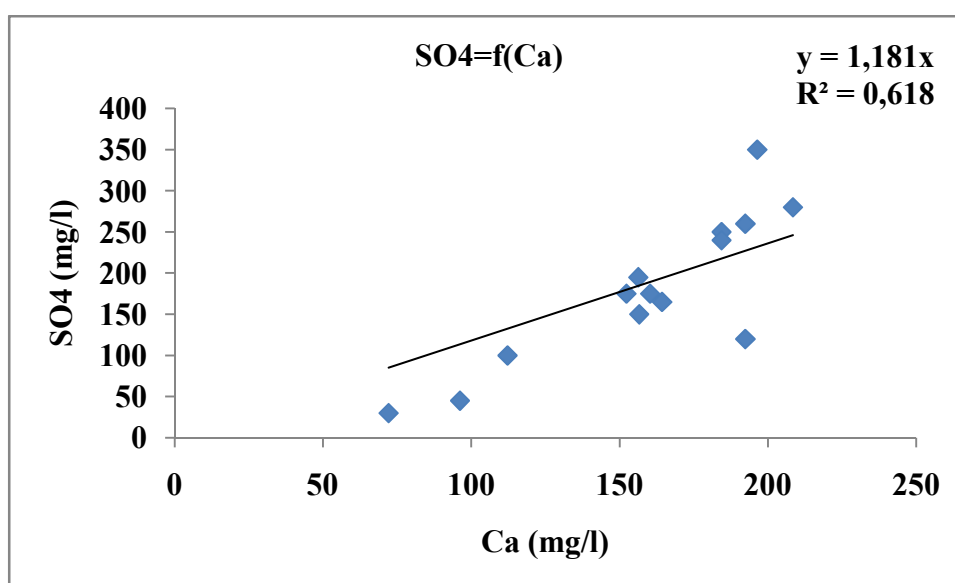


Figure 51: Courbe de variation du rapport Ca<sup>2+</sup>/SO<sub>4</sub> dans la nappe de F'kirina en 2016

4.3. Rapport r Na<sup>+</sup>/r Cl<sup>-</sup>

Le graphe montre l'évolution du sodium en fonction des chlorures en 2003, et en 2016. Le graphe montre une dispersion des points indiquant une évolution proportionnelle des deux

éléments, cette relation traduit la dissolution d'un chlorure de sodium contenue dans les roches évaporitiques.(Figure 52,53)

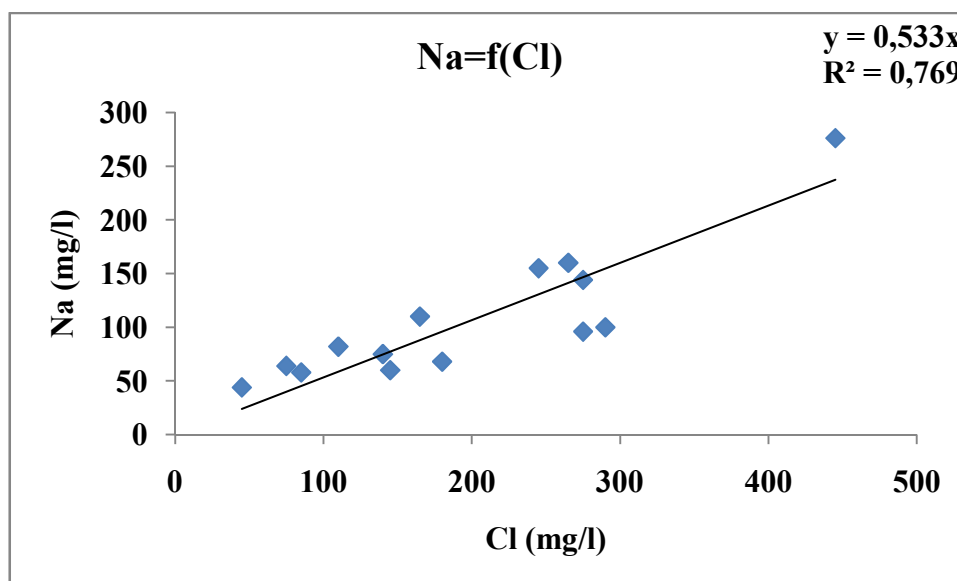


Figure 52 : Courbe de variation du rapport Na/Cl dans la nappe de F'kirina en 2003

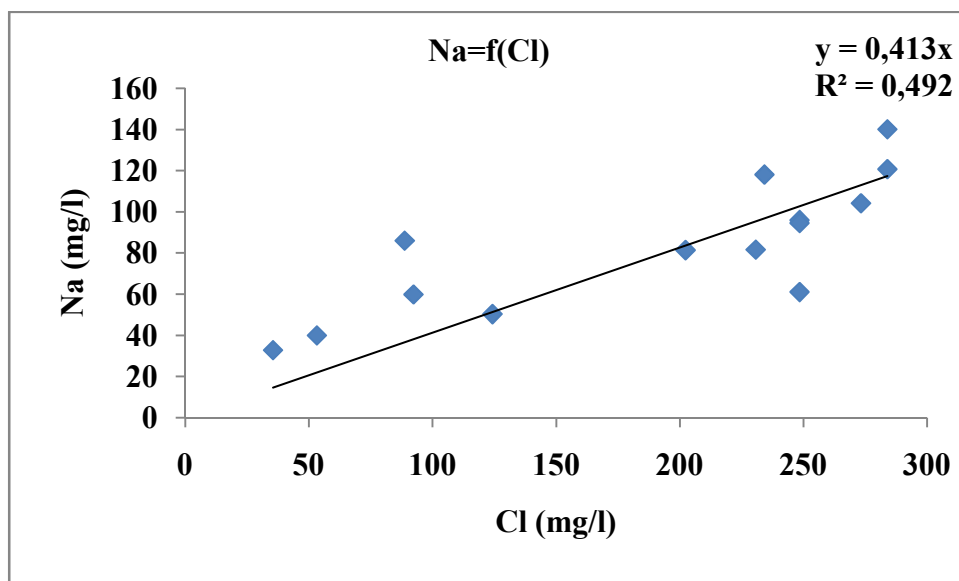


Figure 53 : Courbe de variation du rapport Na/Cl dans la nappe de F'kirina en 2016

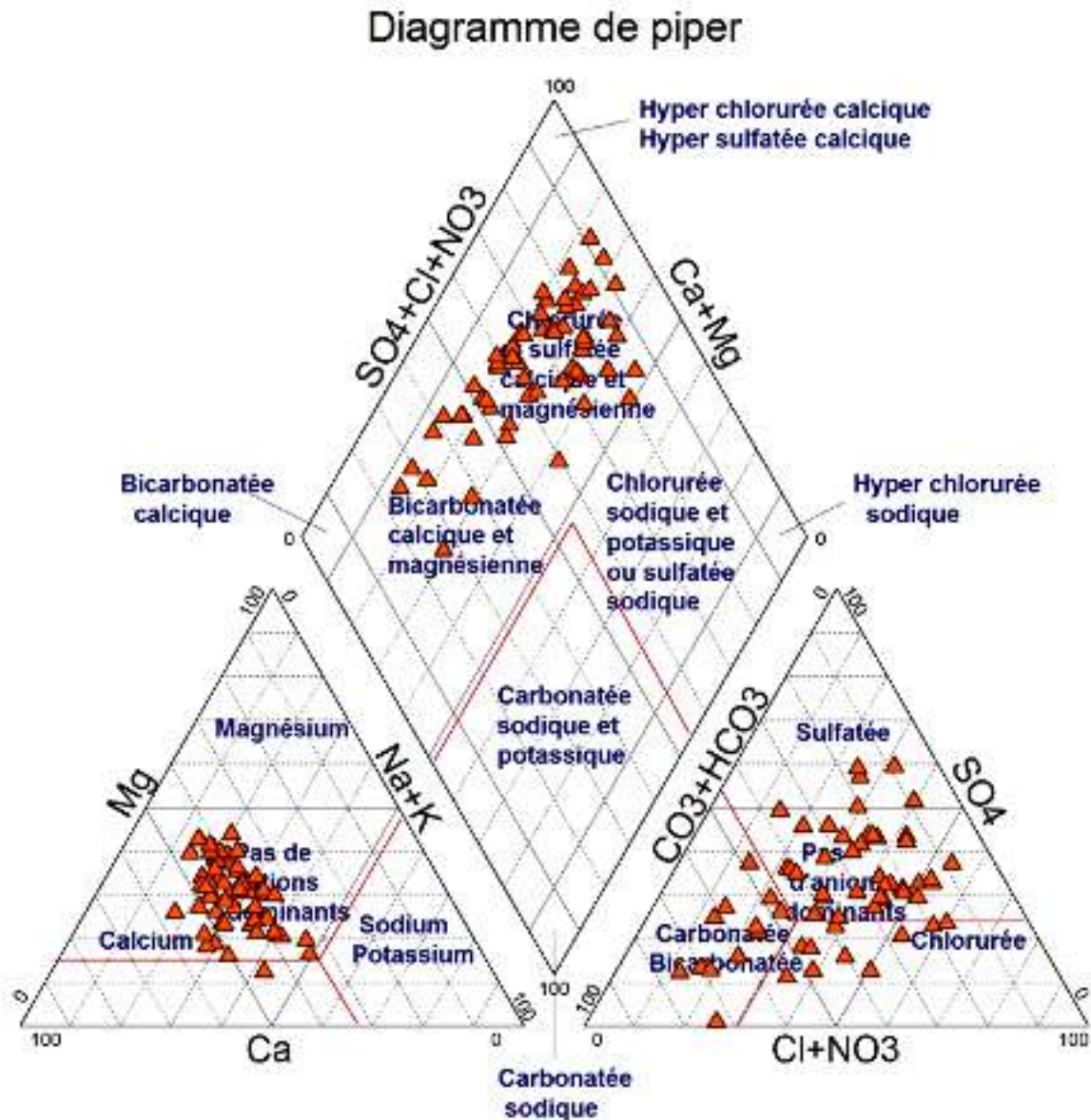
## 5. Les facies chimiques

### 5.1. Le diagramme de piper

Le report des résultats des analyses des eaux de l'aquifère Mio-Plio-Quaternaire sur le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau



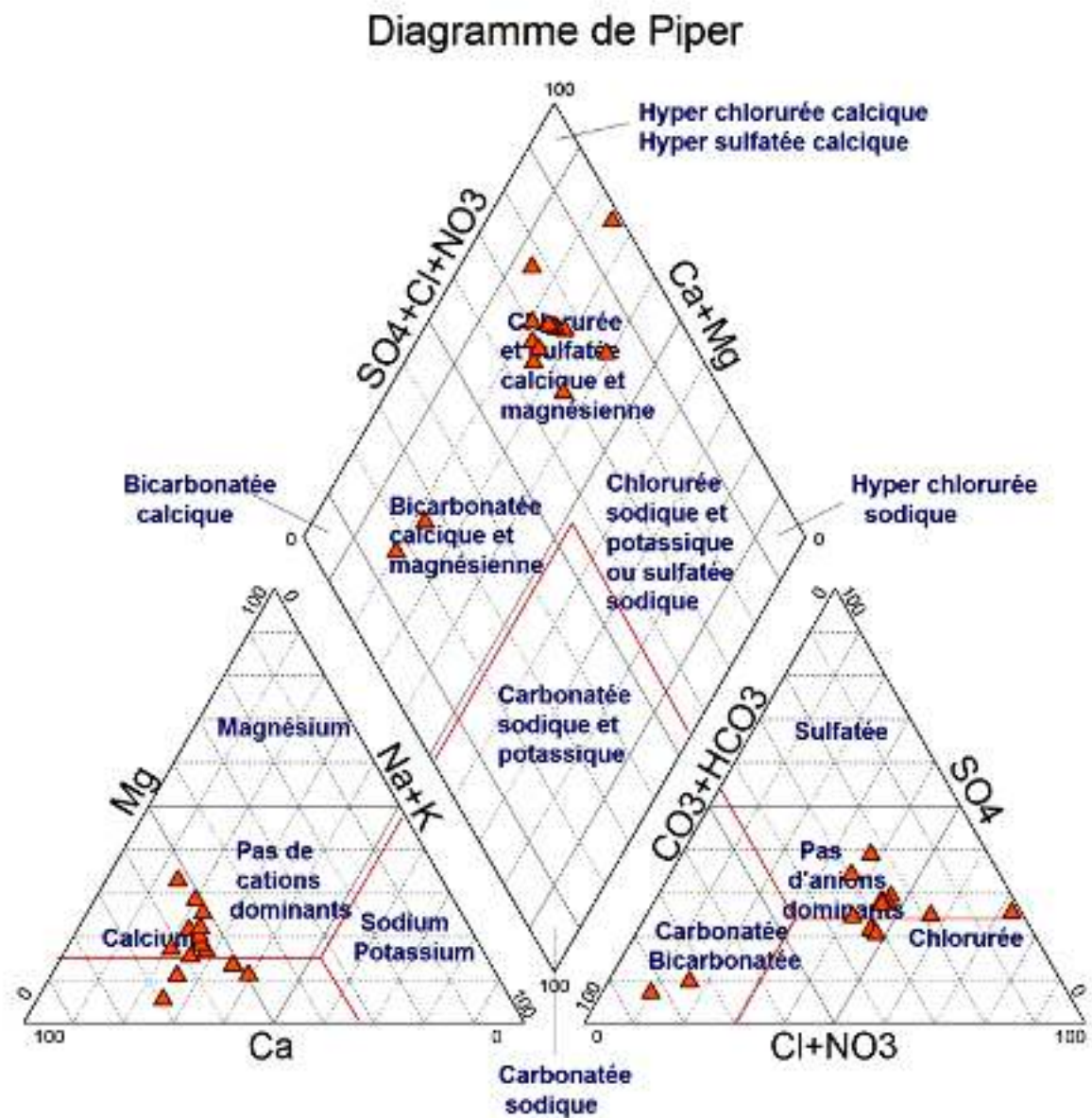
et permet aussi d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.



**Figure 54: Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude 2003**

Le diagramme de Piper montre l'existence de trois faciès chimique qui sont suivants :

- Un faciès bicarbonatées calciques, riches en calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) près des affleurements carbonatés au Nord est de la région d'étude;
- Un faciès chloruré calciques à l'exutoire avec une intrusion des eaux de la Sebkh
- un faciès mixte sulfatés calcique au centre de la plaine dans le remplissage plio-quadernaires riche en gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). (**Figure 54**)



**Figure 55: Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude 2016**

Ce diagramme de Piper met en évidence les faciès des deux grandes catégories d'eau de l'étude :

- Le premier pôle : On observe que les eaux analysées sont principalement de faciès chloruré et sulfaté calcique, et magnésienne, surtout pour les points d'eau 1,2,3,5,6,7,8,9,10,11,13,14
- le deuxième pôle se caractérise par un faciès bicarbonaté calcique et magnésien (points d'eau 4, et 12), il est lié à la dissolution des calcaires des réservoirs aquifères. (Figure 55)

La répartition spatiale de ces faciès chimiques dépend de la nature lithologique de l'aquifère et des conditions de recharge (les conditions climatiques).

5.2. Le diagramme de Schoeller Berkalov

Le diagramme de Schoeller Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

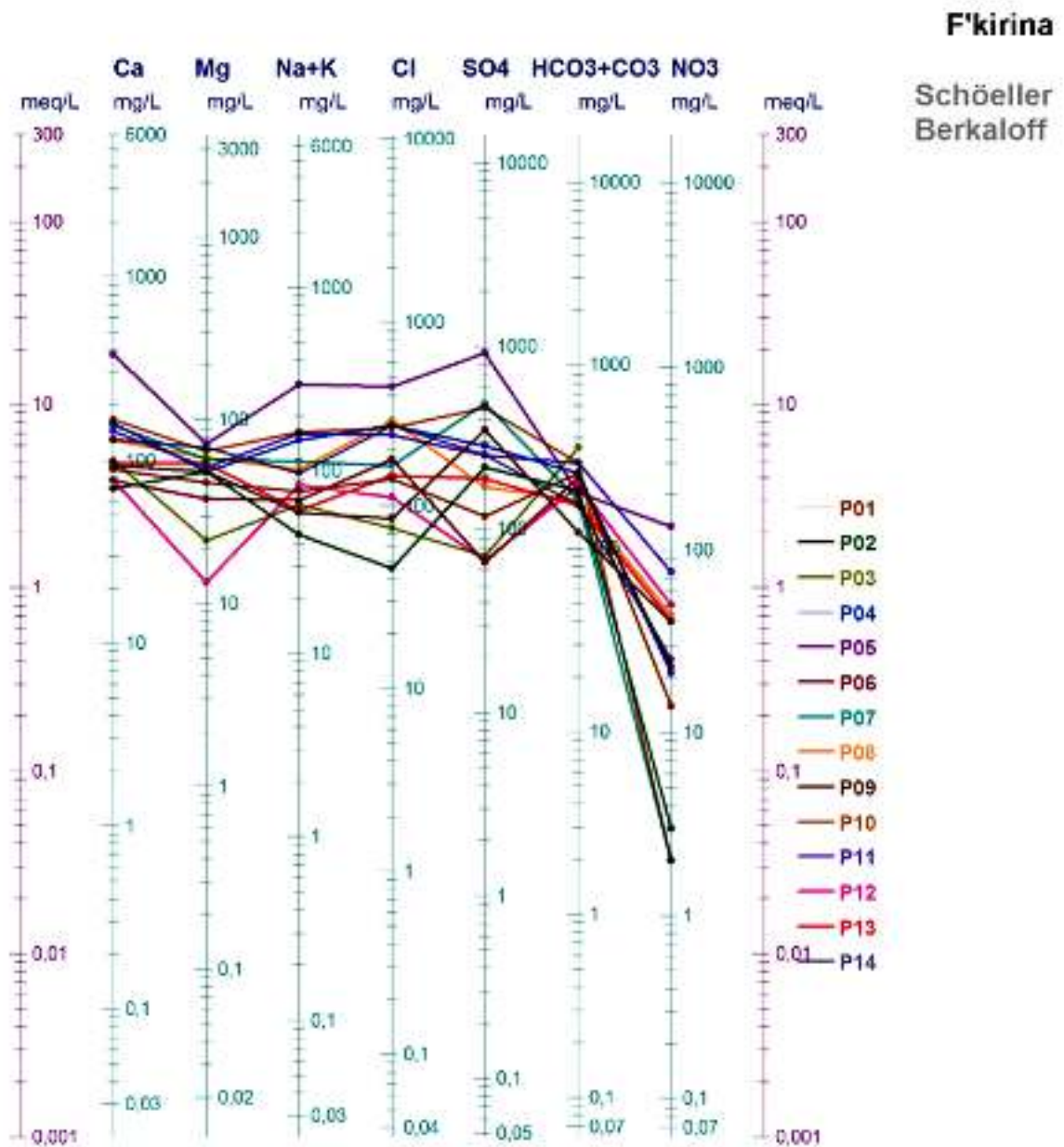


Figure56: Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003 de puits 01à puits 14

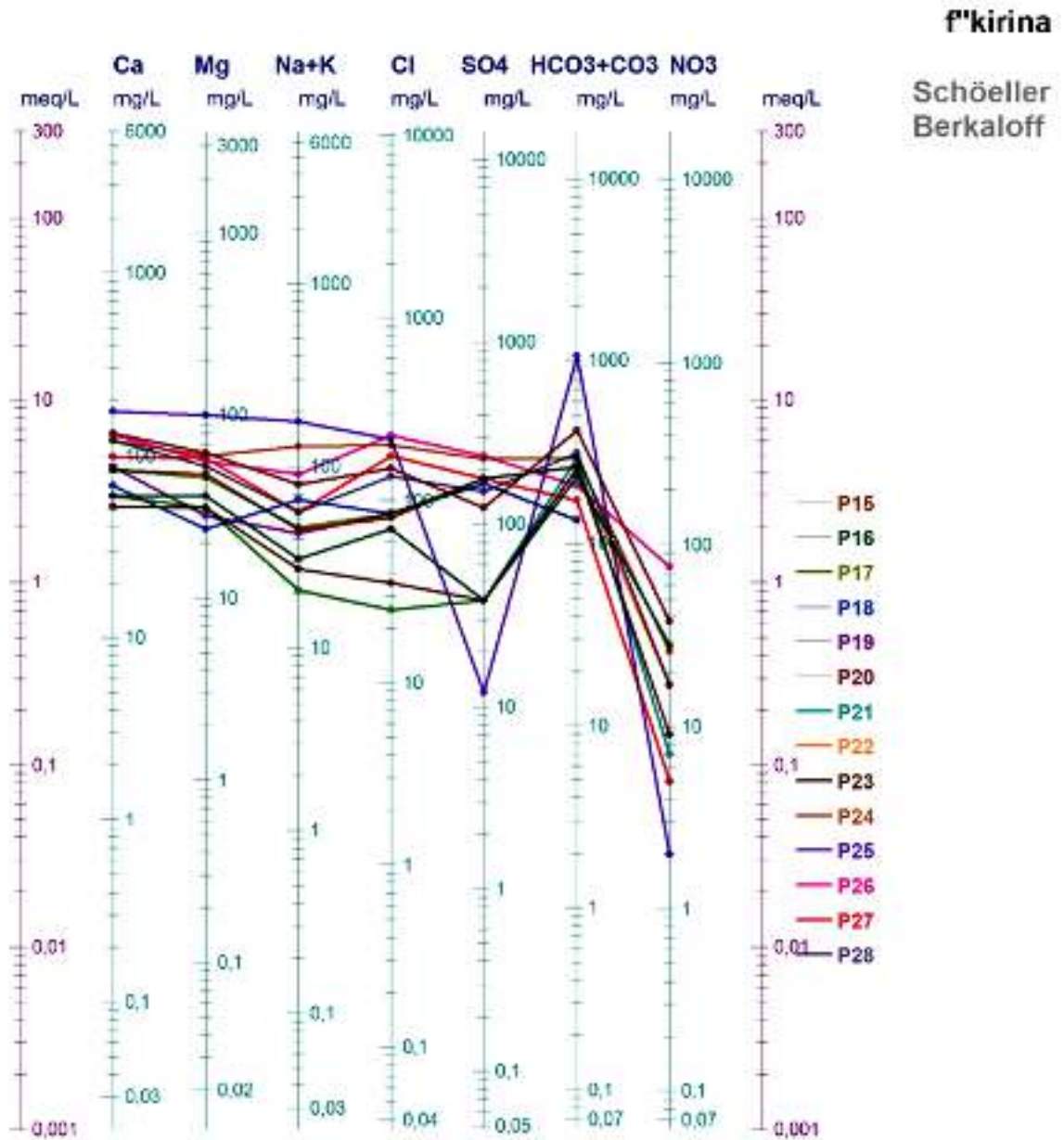


Figure 57: Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003

De 15 points à 28

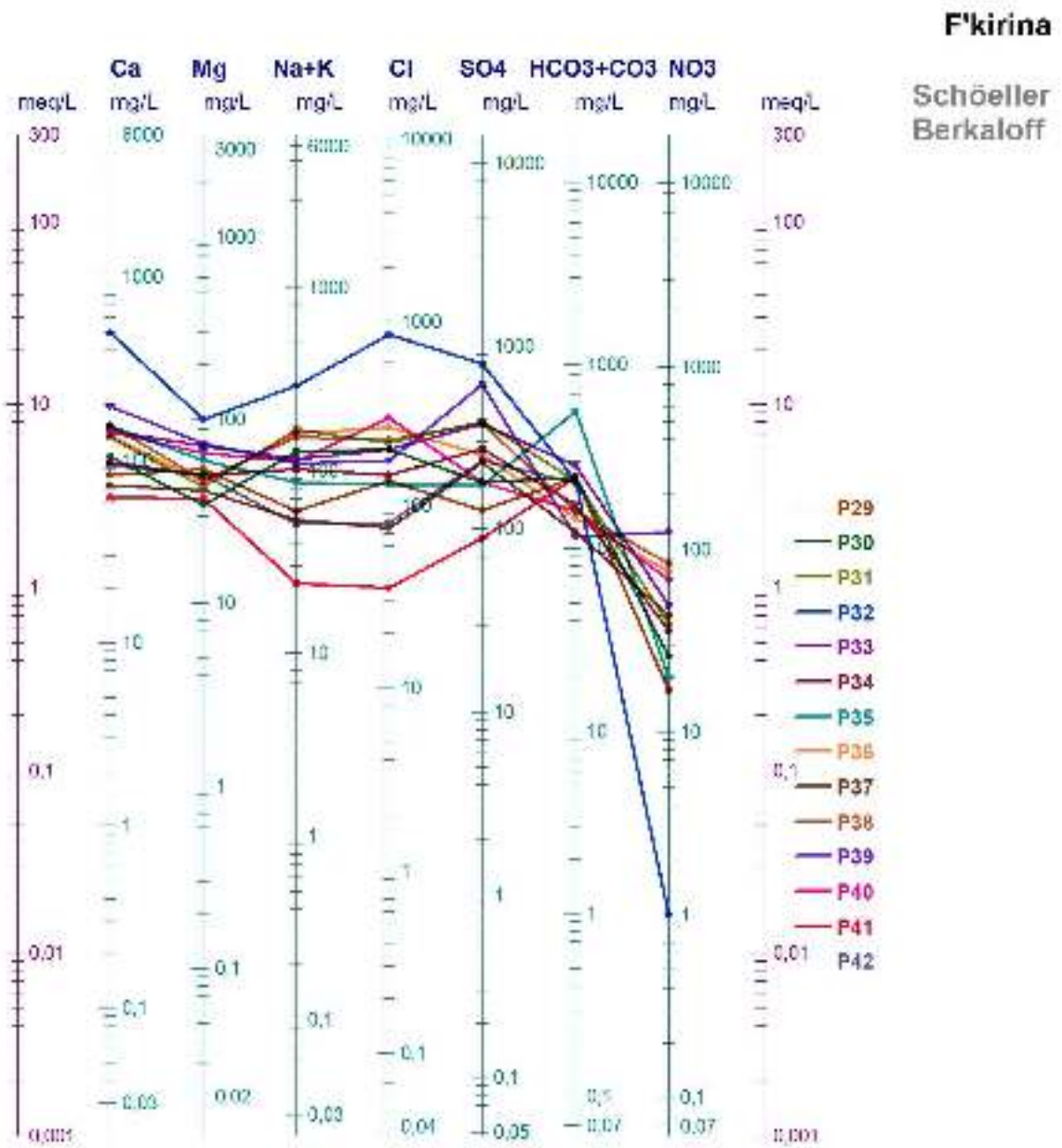


Figure 58 : Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003

De 16 points à 42

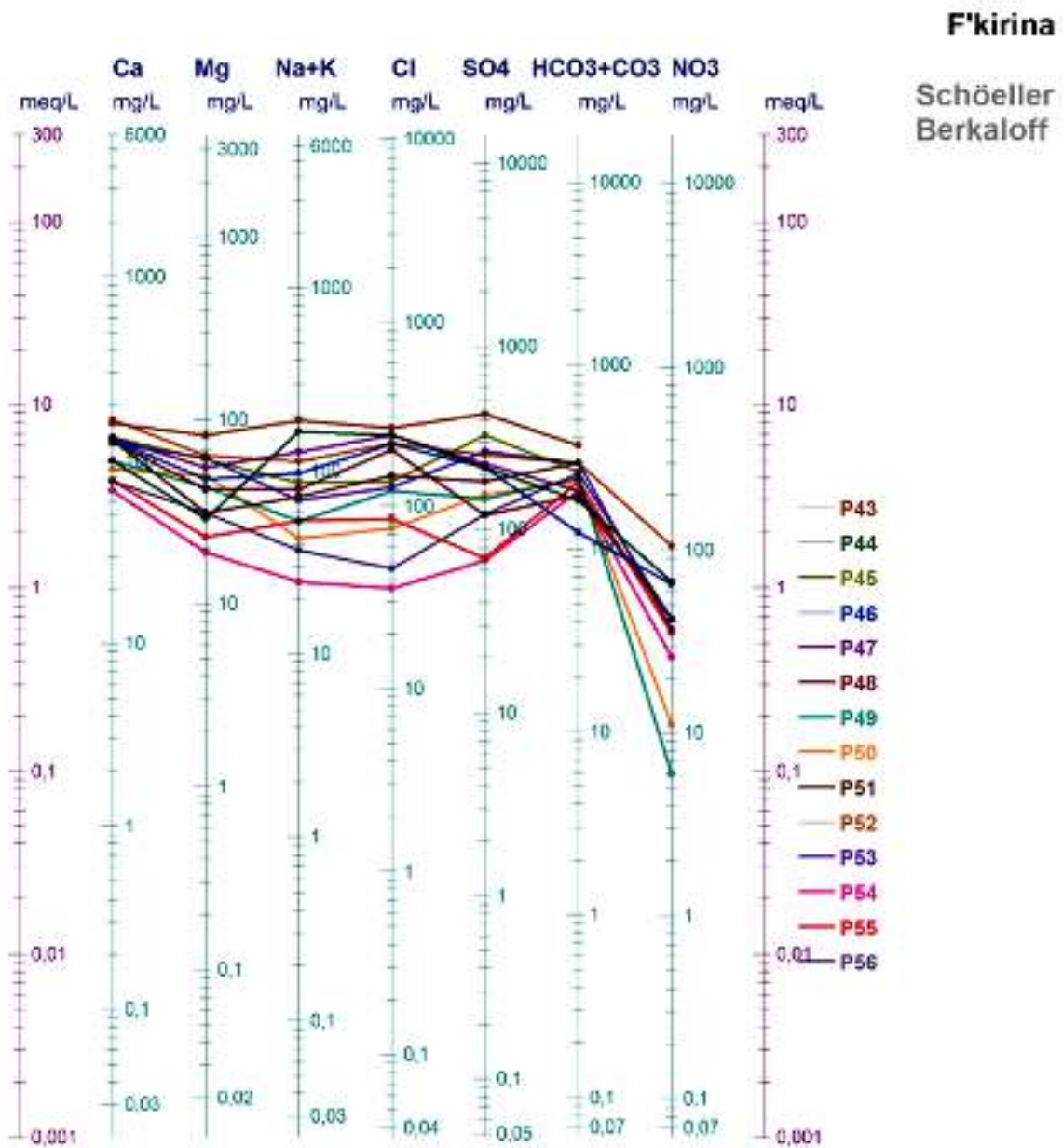


Figure 59 : Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003

De 43 points à 56

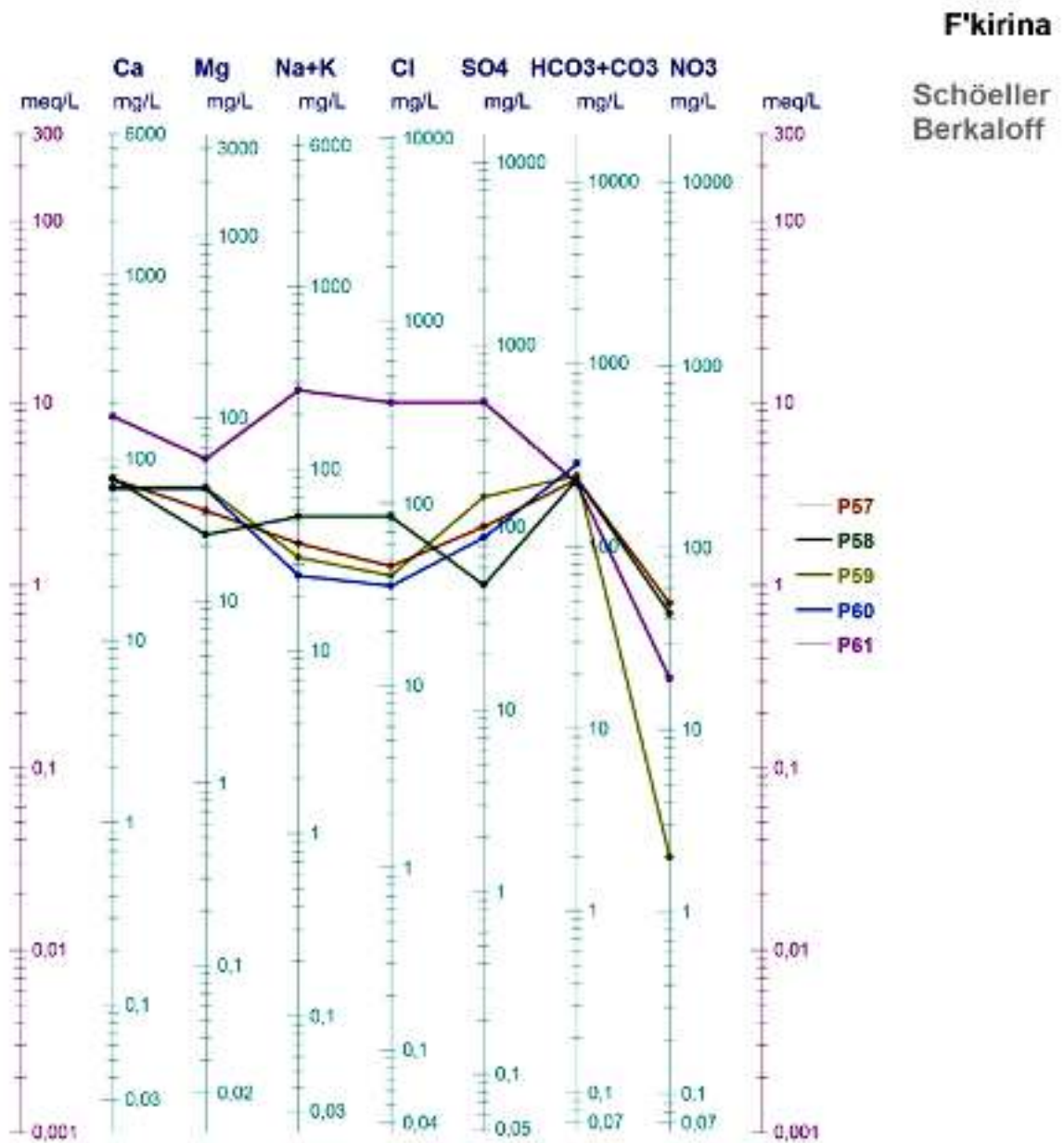
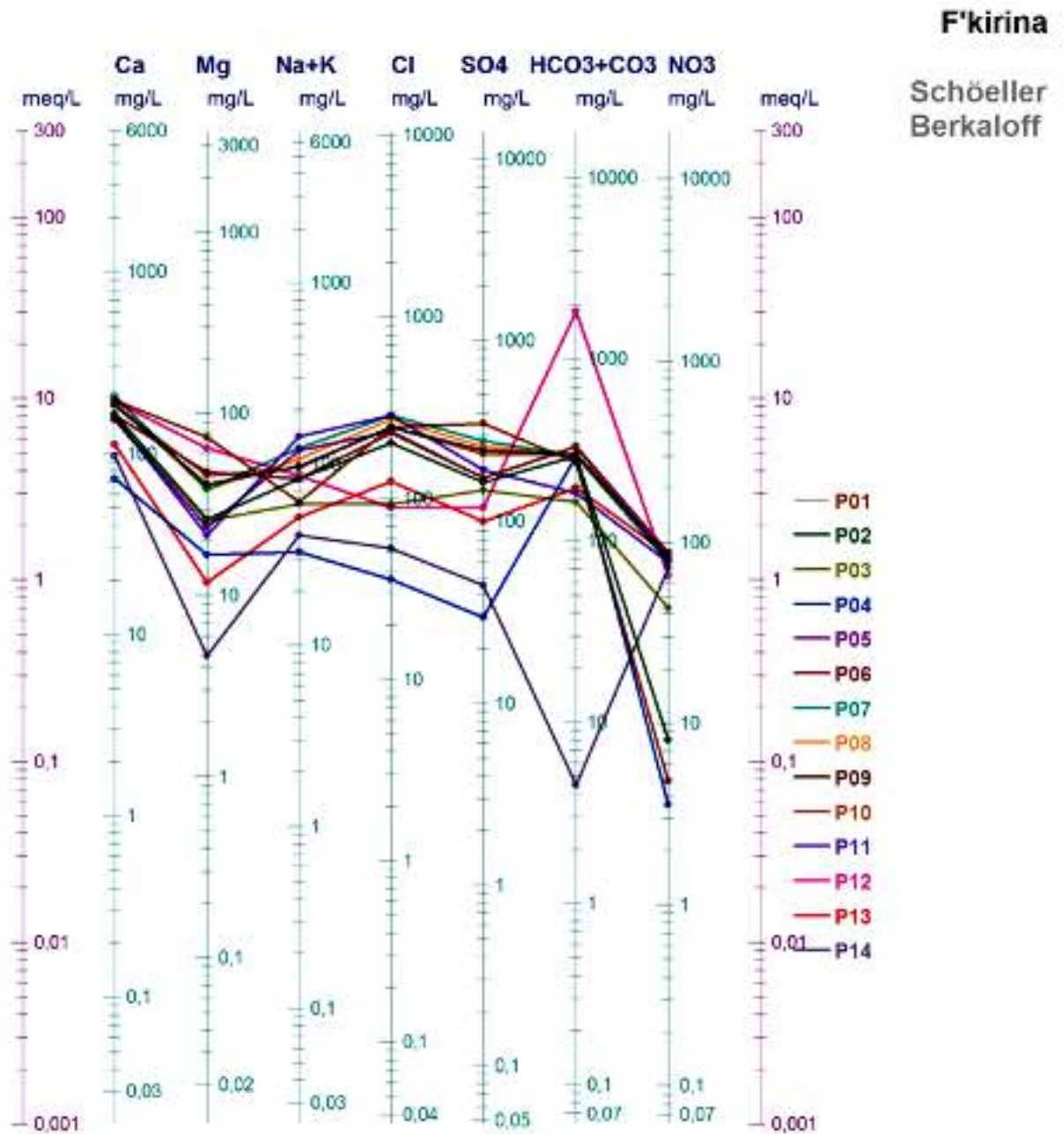


Figure 60: Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2003 de 57 points à 61



**Figure 61: Diagramme des analyses des eaux souterraines de la région d'étude en 2016**

D'après les figures (2003) il est noté qu'il existe une grande variation entre les teneurs des eaux issues des puits de la nappe phréatique. En général on a trois familles d'eau prédominantes, chloruré calcique, sulfaté calcique et bicarbonaté calcique

L'analyse du diagramme de Schoeller-Berkaloff nous permet de conclure que la majorité des eaux étudiées en 2016 présentaient des profils identiques (facies chloruré calcique), à l'exception des points d'eau P1, F3, et F4, et P12.



Donc les différents diagrammes de Schoeller-Berkaloff illustrent que la quasi-totalité des points d'eau de la région d'étude ayant la même allure, ce qui nous permet de dire que ces eaux ayant la même origine à l'exception de quelques points. (l'un a un pic de bicarbonaté de passe 1000meq due à la dissolution de formation companien maestrichin)

Donc Selon le Schoeller Berkaloff on peut dire que les eaux de F'kirina sont marquées par les calciums qui s'accompagnent tantôt de sulfate tantôt de chlorure, et tantôt de bicarbonate; ceci est en liaison directe avec la présence dominante des argiles, des terrains salifères, et des formations carbonatées et gypsifères

En fin et d'après les diagrammes de piper et Schoeller Berkaloff on a remarqué une modification de facies de plusieurs points d'eaux étudiées de l'année 2003 à 2016 par exemple :

- Le point 03 : d'un facies bicarbonaté calcique à un facies sulfaté calcique ;
- Le point 4 : d'un facies chloruré calcique à un facies bicarbonaté calcique.

Ce qui est explique probablement par l'influence direct de la sécheresse sur ces eaux.

## 6. Indice de saturation

D'après la loi d'action de masse, pour une solution aqueuse en équilibre avec un minéral, le produit d'activité ionique du minéral est égal à la constante d'équilibre thermodynamique (Ghrieb, 2007).

L'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux peut être déterminé par l'étude de leur indice de saturation et d'équilibre. (Adda, 2013)

L'indice de saturation (**Is**) est le logarithme du rapport du produit d'activité ionique (**PAI**) sur le produit de solubilité (**K**) lors de l'échantillonnage :

$$\text{Is} = \log (\text{PAI} / \text{K})$$

Nous prenons en considération la présence de calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) en solution par exemple :



Donc le produit d'activité ionique :

$$\text{PAI} = a_{\text{Ca}^{2+}} \cdot a_{\text{CO}_3^{2-}}$$

Sachant que :

$a_{Ca^{2+}}$  : activité de l'ion  $Ca^{2+}$

$a_{CO_3^{2-}}$  : activité de l'ion  $CO_3^{2-}$

A l'état d'équilibre thermodynamique, le produit de solubilité de la calcite  $K_{CaCO_3}$  est :

$$K_{CaCO_3} = (a_{Ca^{2+}} \cdot a_{CO_3^{2-}}) / a_{CaCO_3}$$

Alors, l'indice de saturation exprimé est:

$$I_{sc} = \log (PAI / K_{CaCO_3})$$

Si :

- **$I_s = 0$ , l'eau est saturée vis-à-vis à la calcite ;**
- **$I_s > 0$ , l'eau est sursaturée par rapport à la calcite ;**
- **$I_s < 0$ , l'eau est sous-saturée par rapport à la calcite.**

De la même manière, les indices de saturation vis-à-vis du gypse, à l'Anhydrite, à l'Aragonite, à la dolomite, à l'halite sont calculés.

Pour la zone d'étude, le calcul des indices de saturation a été obtenu en utilisant le logiciel Diagramme (Simler, 2013). Les températures de calculs ont été ramenées à 25°C dans la but d'harmoniser les calculs des indices de saturation.

Les résultats indiquent la présence de plusieurs minéraux particulièrement : l'anhydrite, le gypse, l'aragonite, la calcite, l'halite et la dolomite dont les indices de saturation varient dans un faible intervalle. Le tableau n° 11 donne les valeurs de l'indice de saturation calculée pour les eaux de la région de F'kirina.

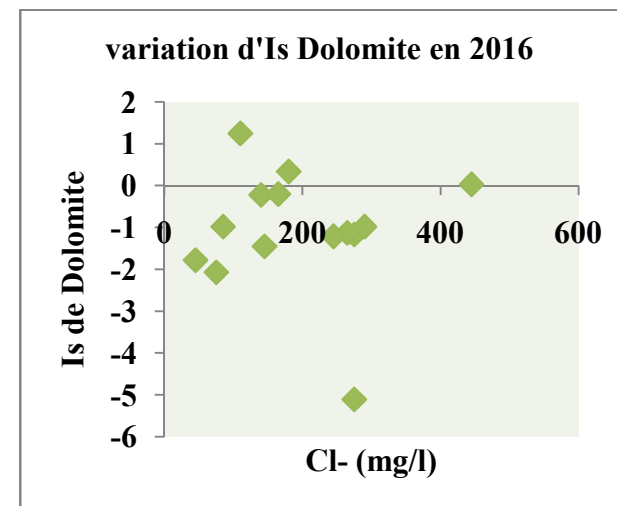
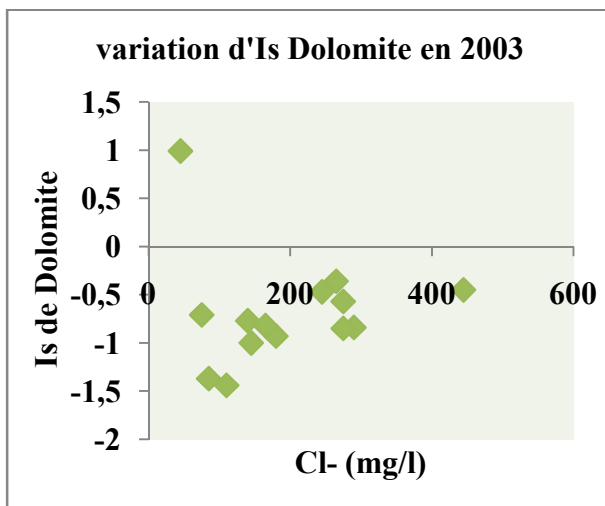
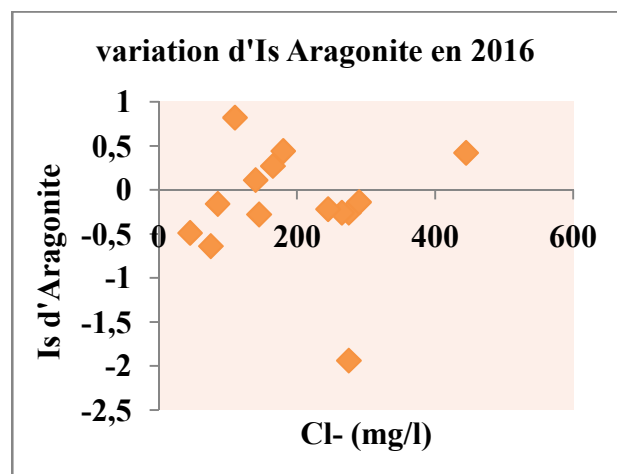
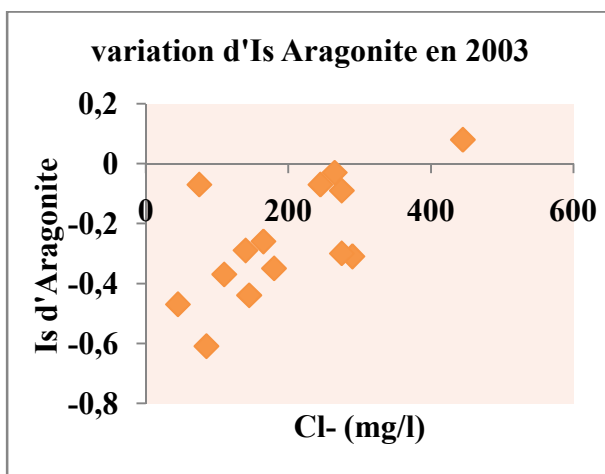
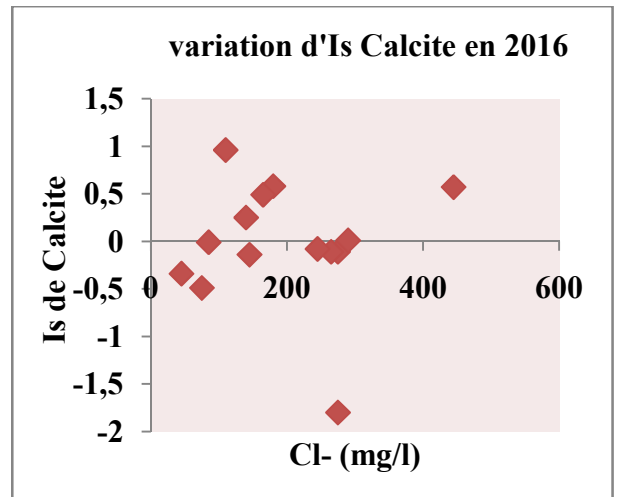
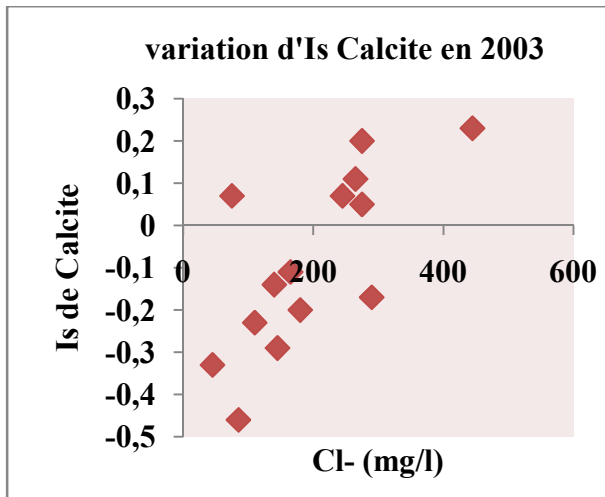
Tableau 11: Indices de saturation des eaux de la zone d'étude

nom	Anhydrite		Aragonite		Calcite		Dolomite		Gypse		Halite	
	2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016	2003	2016
P01	-1,79	-1,13	-0,34	-0,07	-0,2	0,07	-0,33	0,07	-1,57	-0,91	-6,58	-6,45
P02	-1,61	-1,42	-0,55	-0,05	-0,4	0,1	-0,59	-0,26	-1,39	-1,2	-7,3	-6,4
P03	-1,9	-1,45	-0,12	-0,29	0,02	-0,15	-0,27	-0,73	-1,68	-1,23	-6,91	-6,86
P04	-1,27	-2,34	-0,17	-0,3	-0,02	-0,16	-0,19	-0,6	-1,05	-2,12	-6,03	-7,51
P05	-0,61	-1,44	-0,04	-0,04	0,1	0,1	-0,17	-0,26	-0,39	-1,22	-5,58	-6,18
P06	-2,05	-1,45	-0,39	-0,03	-0,25	0,12	-0,47	0,06	-1,83	-1,23	-6,51	-6,34
P07	-1,08	-1,18	-0,36	0	-0,21	0,15	-0,49	-0,1	-0,86	-0,96	-6,37	-6,09
P08	-1,55	-1,23	-0,37	-0,01	-0,22	0,14	-0,42	-0,08	-1,33	-1,01	-6,16	-6,17
P09	-1,34	-1,26	-0,69	-0,03	-0,55	0,12	-1,01	-0,08	-1,12	-1,04	-6,92	-6,25
P10	-1,1	-1,28	-0,13	-0,03	0,01	0,12	-0,02	-0,03	-0,88	-1,06	-6,01	-6,25
P11	-1,36	-1,38	-0,15	-0,28	0	-0,14	-0,07	-0,8	-1,14	-1,16	-6,05	-6,02
P12	-1,99	-1,65	-0,42	0,7	-0,27	0,85	-0,98	1,58	-1,77	-1,43	-6,63	-6,76
P13	-1,58	-1,7	-0,5	-0,33	-0,36	-0,19	-0,59	-1,01	-1,36	-1,48	-6,67	-6,8
P14	-1,39	-2,02	-0,41	-1,97	-0,27	-1,82	-0,45	-4,62	-1,17	-1,8	-6,2	-7,25

Les résultats figurés dans le tableau n°11 montrent que :

- En 2003 et 2016, les eaux de la zone d'étude sont sous-saturées vis à vis des éléments évaporitiques : (par rapport l'Halite et l'Anhydrite (sous saturation augmentent la minéralisation des eaux), et au Gypse (s'explique par une dissolution qui enrichit les eaux en  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ), sachant que l'Anhydrite, l'Halite et le Gypse sont des indices accélérant le processus de salinité, cette augmentation se fait par dilution. Donc ces eaux sont encore capables de dissoudre ces minéraux ;
- Les eaux de la zone d'étude sont sursaturées vis-à-vis de la Calcite (pour les points d'eau :3,5,10 en 2003 et pour les points 1,2,5,6,7,8,9,10,12 en 2016 ), ceci est due à une précipitation de la Calcite, d'où en enrichissement possible des eaux en bicarbonate de calcium; par contre, elles sont sous-saturées par rapport à la Dolomite (à l'exception de trois points en 2016 (1,6, et 12), et à l'Aragonite (sauf le point 12 en 2016 qui est sursaturée)

Les chlorures étant les principaux éléments conditionnant la minéralisation des eaux. Nous avons représentés sur les diagrammes de la figure 62, les variations des indices de saturation de ces différents minéraux en fonction des chlorures.



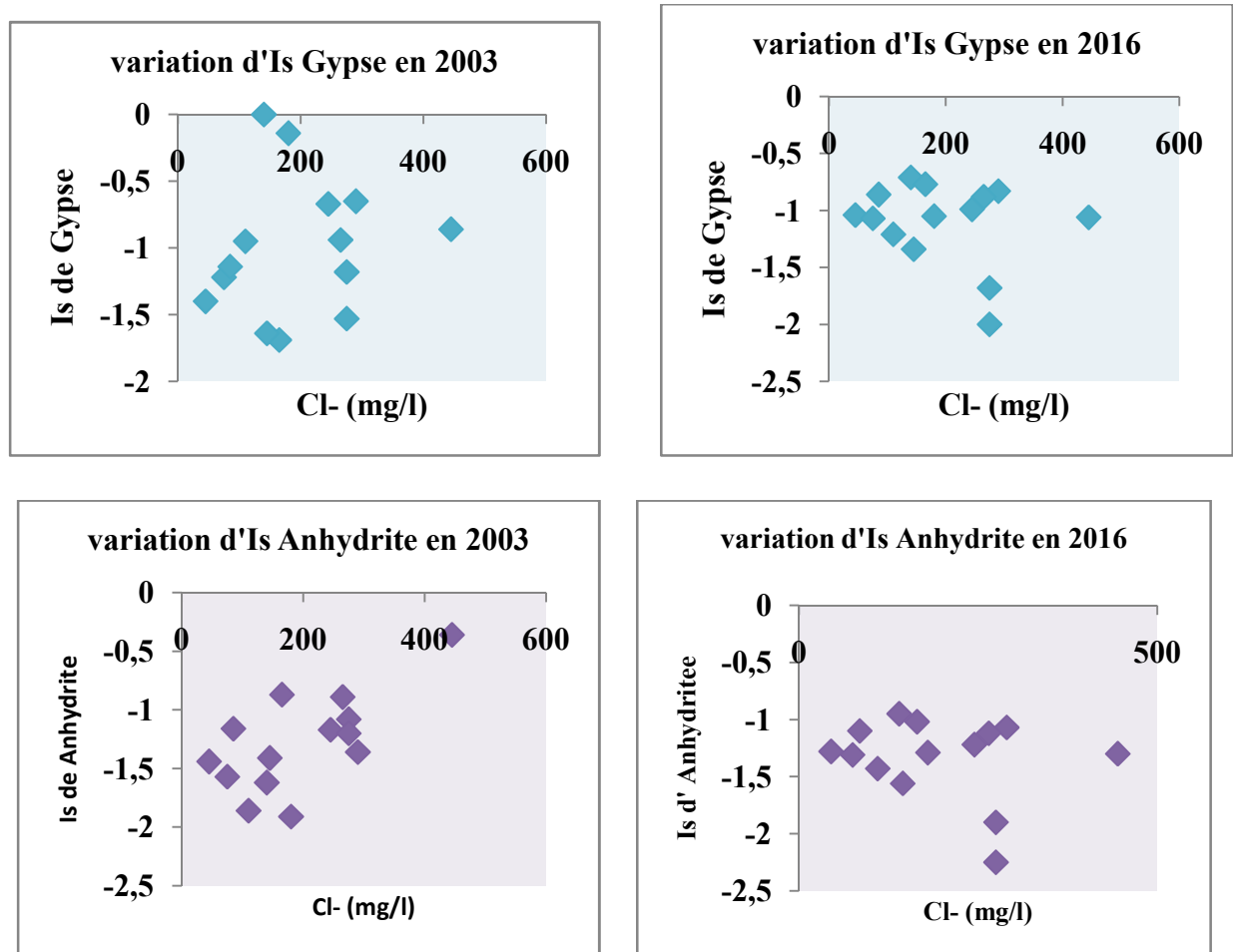


Figure 62: Variations d'indice de saturation

### 6.1. Conclusion

L'indice de saturation montre une sursaturation vis-à-vis des indices mettant en évidence l'influence des formations carbonatées caractérisées par la calcite et la dolomite, par opposition on note pour tous les points une sous saturation vis-à-vis des indices accélérant le processus de la salinité qui sont l'Anhydrite, l'Halite, et le Gypse. Cette augmentation de la salinité se fait par dilution.

## 7..Traitement statistique des données hydrochimiques

### 7.1. Etude statistique en composante principale

Pour toute étude hydrogéochimique, l'étude séparée de chacune des variables est une phase importante lors de l'analyse de comportement chimique, mais elle est souvent insuffisante. Il faut donc analyser les données en tenant compte leur caractère multidimensionnel. Pour étudier les source de pollution des eaux deux méthode statistique ont été utilisées : l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse de classification hiérarchique (ACH).

#### 7.1.1. statistiques élémentaires

Dans le tableau n° 12 nous avons présenté les minimums, maximums, moyennes et les écarts-types de la série de différents éléments chimiques.

**Tableau 12: calcul des moyennes et des écarts-type de la série**

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
HCO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	116,0000	1061,0000	253,6588	115,7751
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	12,0000	2660,0000	258,5773	307,7282
CL <sup>-</sup>	25,0000	1100,0000	185,2067	154,9019
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0000	134,0000	38,1299	31,4368
CA <sup>++</sup>	52,0000	720,0000	138,5335	88,9107
Mg <sup>++</sup>	8,0000	427,0000	50,2769	44,0321
Na <sup>+</sup>	14,0000	680,0000	98,3569	83,9773
K <sup>+</sup>	0,2120	24,0000	2,1230	3,6495

#### 7.1.2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation exprime les différentes corrélations entre les variables analysées (Tab.13). Les corrélations observées sont totalement fortes. En effet, plus de 52,94 % des coefficients de corrélation sont supérieur à 0,74. Ces fortes corrélations constatées lient des variables de même classe (Tab.13) à savoir

Tableau 13: Matrice de corrélation

Variabes	HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CL <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CA <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	<b>1,00</b>							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,01	<b>1,00</b>						
CL <sup>-</sup>	0,08	<b>0,78</b>	<b>1,00</b>					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,22	0,22	0,29	<b>1,00</b>				
CA <sup>2+</sup>	0,18	<b>0,89</b>	<b>0,91</b>	0,29	<b>1,00</b>			
Mg <sup>2+</sup>	0,19	<b>0,90</b>	<b>0,74</b>	0,08	<b>0,78</b>	<b>1,00</b>		
Na <sup>+</sup>	0,12	<b>0,88</b>	<b>0,92</b>	0,29	<b>0,88</b>	<b>0,81</b>	<b>1,00</b>	
K <sup>+</sup>	0,47	0,41	0,36	0,22	0,49	0,36	0,48	<b>1,00</b>

- Le sodium Na<sup>2+</sup> (mg/l) montre des corrélations positives avec des coefficients R significatifs respectivement avec Cl<sup>-</sup> (R=0,92), Ca<sup>2+</sup> (R=0,88), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (R=0,88) et Mg<sup>2+</sup> (R=0,81) ;
- Les chlorures Cl<sup>-</sup> (mg/l) sont corrélés positivement aux sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (R=0,78) ;
- Le calcium est corrélé positivement avec les chlorures Cl<sup>-</sup> (R=0,91) et les sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> R=(0,89) ;
- Le magnésium Mg<sup>2+</sup> est positivement corrélé avec les sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (R=0,90) et le calcium Ca<sup>2+</sup> (R=0,78) et en degré moindre avec les chlorures Cl<sup>-</sup> (R=0,74).

Le reste des corrélations est relativement faible. Il correspond à 47,06% des coefficients de corrélation qui sont inférieurs à 0,5. Il s'en suit qu'il y a des variables analysées qui ne sont pas corrélées entre elles. Ce constat réduit significativement la redondance de l'information et justifie du même coup la pertinence dans le choix de ces variables pour mener l'étude.

## 7.2. Analyse en composante principale

L'analyse en composantes principales (ACP) est une technique mathématique, statistique multidimensionnelles, essentiellement descriptive. (Boubekiri, 2013) permettant de déduire un système complexe de corrélation en un plus petit nombre de dimensions (Helmi et *al.*, 2007 ; Gaggai, 2009)

elle permet d'extraire et de présenter le maximum d'informations contenues dans une base de données (Hamzaoui et *al.*, 2012 ; Boubekhiri 2013) sous une forme de représentations graphiques

(Zerrouki,2013) ou d'indices simplifiés, permettant leur interprétation, telle que la mise en évidence de relations et des similarités entre les variables et/ou l'opposition entre les observations(Sandra,2004) et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.(Boubekiri ; 2013).

### 7.2.1. Principe de l'ACP

L'analyse en composantes principales, ou ACP, facilite l'analyse conjointe d'un grand nombre de données, en tenant compte de leur caractère multidimensionnel. (Sandra, 2004).

La methode cherche d'abord l'indice pour lequel la variation des individus est maximale : cet indice est appelé première composante principale ou premier axe principal.

En suite une seconde composante est recherchée et ceci ceux deux conditions :

- Avoir une corrélation nulle avec la première ;
- Avoir, à son tour, la plus grande variance.

Ainsi, cette deuxième composante fournit la plus grande information non expliqué par la première (Dervin,1998 ;Philippeau ,1992 in Zerrouki,2013 ; Feurouz, 2011)

Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale, la part d'information expliquée par chacune d'elle devenant de plus en plus faible (Philippeau,1992 in Zerrouki, 2013)

### 7.2.2. Application de l'ACP

#### 7.2.2.1. Etude des valeurs propres (Diagonalisation)

L'analyse a été poussée jusqu'à trois facteurs, les valeurs propres des facteurs de chaque axes factoriel sont présentées dans le tableau xx, ces valeurs sont exprimées en pourcentage de variance totale ainsi que leur cumul.

**Tableau 14: Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes principaux**

L'axe	F1	F2	F3
Valeur propre	4,7476	1,3679	0,9795
Variabilité (%)	59,3449	17,0986	12,2436
% cumulé	59,3449	76,4435	88,6872



Le premier axe a une valeur propre égale à 4,75, il explique 59.3449 % de la variance totale. Le second axe a une valeur propre égale 1.37 (le pourcentage de variance exprimées est de 17.0986% pour le facteur 2), le 3<sup>ème</sup> axe a une valeur propre égale 0.98 avec un 12.24% de la variance totale. Les pourcentages cumulé de F1,F2, et F3 est successivement de 59.35%, 76.44%, et 88.69%.

La représentation à l'aide des deux premiers facteurs rend compte de manière satisfaisante pour une approche d'analyse des variables et des individus et de la structure des nuages de points parcequ'ils englobent l'ensemble de l'information avec 76.45% de la variance totale. On peut aussi présenter l'ensemble d'axes sous forme d'histogramme d'information de chaque axes (Figure 63)



Figure 63: Histogramme des valeurs propres

Tableau 15 ;Vecteurs propres (coefficients des variables centrées induites dans l'équation linéaires des axes principaux)

variables	F1	F2	F3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0882	0,7744	0,1154
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,4264	-0,1237	-0,1798
Cl <sup>-</sup>	0,4195	-0,1131	-0,0739
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1439	-0,4246	0,7754
Ca <sup>++</sup>	0,4386	-0,0213	-0,0142
Mg <sup>++</sup>	0,4034	0,0397	-0,2998
Na <sup>+</sup>	0,4390	-0,0563	-0,0387
K <sup>+</sup>	0,2568	0,4321	0,5061

## 7.2.2.2. Etude des variables

Dans notre cas le cercle des corrélations (fig.55), nous permis de déduire que :

- Les éléments Mg, Na, Ca, K, Cl, SO<sub>4</sub> sont significativement corrélées positivement à l'axe I. Ces éléments sont aussi corrélés entre eux ;
- Le NO<sub>3</sub> est significativement corrélés négativement à l'axe II ;
- Le HCO<sub>3</sub> est significativement corrélés positivement à l'axe II.

Le cercle des corrélations est aussi utile pour interpréter la signification des axes. Dans notre cas, l'axe I peut être lié au magnésium ou à la dureté. L'axe II est lié au bicarbonate.

L'analyse des données est effectuées sur 09 variable et 97 observations, elle montre une variance de 78.6% sur le plan I-II, plusieurs relations entre les éléments chimiques ont été observées ;

- L'axe I ( 59.34 %), présente le pôle de la salinité avec une relation double de la dureté et des éléments chimiques, indiquant deux origines différentes : d'une part par une proportion avec Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> indiquant une origine naturelle de la salinité (Sebkha), et d'autre part avec Ca, Mg, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, indiquant une origine continentale (Salinité évaporitique).
- l'axe II (17.10%), indique à la fois le pôle d'oxydoréduction par une relation inverse entre les bicarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, et les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) avec les forages

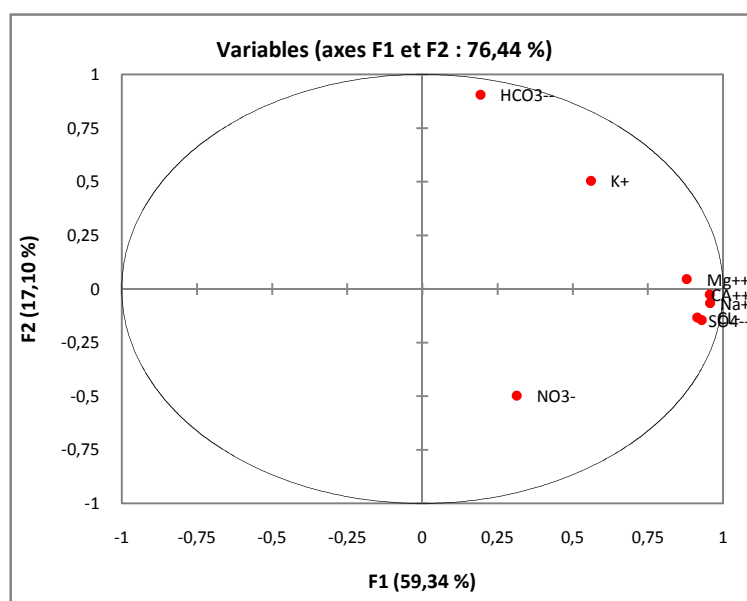


Figure 64 : Cercle des corrélations (axes 1 et 2)

Pour confirmer le fait qu'une variable est fortement liée à un facteur, il suffit de consulter le tableau n° 17 des cosinus : plus le cosinus est élevé (en valeur absolue, plus la variable est liée à l'axe. Plus le cosinus est proche de zéro, moins la variable est liée à l'axe. (Boubekeri, 2013).

Les résultats sont résumés dans le tableau xxx. Ce tableau nous a permis de déduire que les éléments Mg, Na, Ca, SO<sub>4</sub> contribuent à la formation de l'axe I Le Mg est fortement lié à cet axe I, HCO<sub>3</sub> est fortement lié à l'axe II,

**Tableau 16: étude de variables**

**1ere colonne :** Corrélations entre les variables et les axes principaux

**2eme colonne :** corrélation au carré

Variables	composantes principales					
	F1		F2		F3	
HCO <sub>3</sub> --	0,1923	0.0370	0,9057	0.8203	0,1142	0.0130
SO <sub>4</sub> --	0,929	0.8630	-0,1447	0.0209	-0,1779	0.0317
CL-	0,914	0.8354	-0,1323	0.0175	-0,0731	0.0053
NO <sub>3</sub> -	0,3135	0.0983	-0,4966	0.2466	0,7674	0.5888
CA++	0,9557	0.9133	-0,0249	0.0006	-0,014	0.0002
Mg++	0,8789	0.7724	0,0465	0.0022	-0,2967	0.0880
Na+	0,9565	0.9150	-0,0658	0.0043	-0,0383	0.0015
K+	0,5596	0.3132	0,5054		0,5009	0.2509

### 7.2.2.3. Etude des individus

**Tableau 17: étude des individus**

**1ere colonne :** coordonnées des individus sur les axes principaux

**2eme colonne :** cosinus carrés (qualité de présentation)

Observation	F1		F2		F3	
1	-0,7939	<b>0,6261</b>	0,0435	0,0019	-0,056	0,0031
2	-1,7007	<b>0,8935</b>	0,2061	0,0131	-0,0763	0,0018

3	-1,8127	<b>0,8904</b>	-0,0483	0,0006	0,4553	0,0562
4	-0,3405	0,1554	0,2096	0,0589	-0,6527	<b>0,5707</b>
5	-0,8495	<b>0,5517</b>	0,4427	0,1499	-0,4606	0,1622
6	-1,7836	<b>0,9529</b>	0,0363	0,0004	0,2855	0,0244
7	-0,3883	0,3695	-0,156	0,0597	-0,1104	0,0299
8	2,7224	<b>0,7218</b>	-0,5133	0,0257	-0,9904	0,0955
9	0,5709	0,2936	0,107	0,0103	-0,4461	0,1793
10	0,8577	0,2034	-0,0083	0	-0,8053	0,1793
11	15,9971	<b>0,9501</b>	-0,0254	0	-3,1362	0,0365
12	-1,1619	<b>0,897</b>	0,2243	0,0334	-0,2757	0,0505
13	-1,2241	<b>0,5116</b>	0,5976	0,1219	-0,9463	0,3057
14	-1,6435	<b>0,9386</b>	0,084	0,0025	-0,1027	0,0037
15	-1,2237	<b>0,5204</b>	0,5914	0,1216	-0,9354	0,3041
16	-1,5177	<b>0,5312</b>	-0,2941	0,0199	-0,9134	0,1924
17	-1,5073	<b>0,536</b>	-0,2799	0,0185	-0,9335	0,2056
18	-1,0208	<b>0,7308</b>	0,1115	0,0087	-0,3111	0,0679
19	-1,3698	<b>0,4692</b>	1,2217	0,3732	-0,6234	0,0972
20	-0,2711	0,0301	1,0591	<b>0,4597</b>	0,028	0,0003
21	-1,9145	<b>0,7858</b>	0,8145	0,1422	-0,5018	0,054
22	-1,8968	<b>0,8963</b>	0,4299	0,046	-0,2909	0,0211
23	-1,9146	<b>0,8458</b>	0,5291	0,0646	-0,4956	0,0567
24	0,0488	0,004	0,2895	0,1398	-0,4855	<b>0,393</b>
25	2,6428	0,0782	8,602	<b>0,8287</b>	2,7233	0,0831
26	0,1738	0,0222	-0,5536	0,2253	-0,7458	<b>0,4088</b>
27	0,1034	0,0061	-0,9568	<b>0,5212</b>	0,6687	0,2546
28	-0,7837	0,2641	-0,1527	0,01	-1,0416	<b>0,4665</b>
29	-0,7102	<b>0,3679</b>	0,675	0,3323	-0,5289	0,204
30	-0,89	<b>0,565</b>	0,3411	0,083	-0,4477	0,143
31	0,1197	0,0126	-0,7175	<b>0,4517</b>	-0,1593	0,0223
32	1,7968	<b>0,4879</b>	-0,3125	0,0148	-0,892	0,1202

33	-1,1794	<b>0,6664</b>	-0,2781	0,037	0,6638	0,2111
34	0,5463	0,2996	0,1236	0,0153	-0,5335	0,2856
35	-0,3222	0,1658	0,0816	0,0106	-0,1839	0,054
36	0,5045	0,2718	-0,2998	0,096	-0,09	0,0086
37	0,8544	0,3042	-0,0891	0,0033	1,1309	<b>0,5329</b>
38	5,592	<b>0,6801</b>	-0,5377	0,0063	-2,0852	0,0946
39	0,5127	0,3632	-0,1493	0,0308	-0,0941	0,0122
40	-0,4398	0,2104	-0,6299	<b>0,4318</b>	-0,2763	0,0831
41	-0,0438	0,0002	2,3879	<b>0,7344</b>	-0,1447	0,0027
42	0,5563	0,1014	-1,3408	<b>0,5889</b>	0,7533	0,1859
43	1,1869	0,272	-1,3281	<b>0,3405</b>	0,7275	0,1022
44	-0,7419	0,228	-0,9671	<b>0,3875</b>	-0,2323	0,0224
45	-1,1486	<b>0,4627</b>	-0,9552	0,32	-0,0041	0
46	-1,3218	<b>0,5153</b>	0,2028	0,0121	-0,96	0,2718
47	0,2748	0,0313	-0,0797	0,0026	-1,1911	<b>0,5885</b>
48	5,6417	<b>0,5937</b>	-0,1419	0,0004	4,0206	0,3015
49	0,7252	0,1515	-1,3936	<b>0,5597</b>	0,9309	0,2497
50	0,9762	0,3222	0,5684	0,1092	-1,1842	<b>0,4741</b>
51	1,4416	0,183	-2,004	<b>0,3536</b>	1,8702	0,308
52	0,4824	0,0986	-1,1035	<b>0,5161</b>	0,5061	0,1086
53	-1,8037	<b>0,7235</b>	0,5546	0,0684	-0,8025	0,1432
54	-1,0757	<b>0,4252</b>	0,3263	0,0391	-1,0365	0,3947
55	1,279	<b>0,3442</b>	1,217	0,3116	-1,1155	0,2618
56	0,0662	0,0017	-1,0832	<b>0,4631</b>	0,6038	0,1439
57	-0,2796	0,0426	0,4679	0,1192	-1,1779	<b>0,7556</b>
58	-0,1149	0,006	-1,3879	<b>0,871</b>	0,4045	0,074
59	0,2474	0,1335	-0,4253	<b>0,3944</b>	-0,0234	0,0012
60	-0,5046	0,364	-0,5262	<b>0,3958</b>	0,023	0,0008
61	-0,6787	<b>0,3796</b>	-0,6273	0,3242	-0,1357	0,0152
62	-1,0679	<b>0,5722</b>	0,3641	0,0665	-0,7892	0,3125

63	-1,213	<b>0,6429</b>	0,2613	0,0298	-0,7017	0,2151
64	-0,8063	0,3047	0,711	0,2369	-0,8536	<b>0,3415</b>
65	0,6824	0,0921	-0,8044	0,128	1,4215	<b>0,3996</b>
66	1,6994	<b>0,4999</b>	-0,7709	0,1029	0,2837	0,0139
67	0,8593	0,1397	-1,7372	<b>0,571</b>	0,9631	0,1755
68	4,7024	<b>0,5625</b>	1,2657	0,0408	2,6461	0,1781
69	1,5309	<b>0,5082</b>	-1,1042	0,2644	0,552	0,0661
70	-0,3289	0,1809	0,2212	0,0818	-0,1857	0,0577
71	-1,8738	<b>0,9526</b>	-0,0567	0,0009	-0,0603	0,001
72	-1,4408	<b>0,985</b>	-0,0659	0,0021	0,1208	0,0069
73	-1,447	<b>0,8765</b>	0,0273	0,0003	0,26	0,0283
74	-1,4533	<b>0,8239</b>	-0,2216	0,0192	0,4215	0,0693
75	-1,4241	<b>0,9264</b>	-0,167	0,0127	0,3311	0,0501
76	-1,5671	<b>0,6597</b>	0,4969	0,0663	-0,8291	0,1846
77	-1,701	<b>0,6651</b>	0,805	0,149	-0,7935	0,1447
78	0,6758	0,0933	-1,4094	<b>0,4059</b>	0,9195	0,1728
79	-0,0053	0	2,699	<b>0,7084</b>	0,3932	0,015
80	-0,5864	0,2267	-0,7075	<b>0,33</b>	0,4549	0,1364
81	-0,4339	0,045	1,0726	0,2749	0,5673	0,0769
82	-1,0093	<b>0,8568</b>	0,0901	0,0068	0,0417	0,0015
83	1,1516	<b>0,4609</b>	-0,5908	0,1213	-0,0157	0,0001
84	-1,2982	<b>0,6274</b>	-0,1287	0,0062	0,8783	0,2872
85	-1,8217	<b>0,9708</b>	0,1077	0,0034	0,0119	0
86	-0,3526	0,0241	-1,5698	<b>0,4786</b>	1,387	0,3736
87	-0,8397	0,2534	-0,5025	0,0907	1,1699	<b>0,4918</b>
88	0,3565	0,0503	0,3124	0,0387	-1,272	<b>0,6409</b>
89	-0,4737	0,1308	0,5113	0,1524	-0,6826	<b>0,2717</b>
90	-0,9021	<b>0,4338</b>	-0,7473	0,2977	0,0936	0,0047
91	-1,9725	<b>0,7975</b>	0,7364	0,1112	-0,6064	0,0754
92	0,2149	0,0132	-0,2193	0,0137	1,4572	<b>0,6068</b>

<b>93</b>	0,1662	0,0106	-0,2051	0,0161	0,987	0,3731
<b>94</b>	0,8581	0,2512	-0,4117	0,0578	1,0189	<b>0,3541</b>
<b>95</b>	0,6695	0,1348	-0,4285	0,0552	1,2309	<b>0,4555</b>
<b>96</b>	0,4366	0,0701	-0,4969	0,0907	0,999	0,3667
<b>97</b>	0,4676	0,0761	-0,5163	0,0927	1,0204	0,3621

Les valeurs en gras correspondent pour chaque observation au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

#### 7.2.2.4. La projection des individus

La projection des individus sur le plan nous renseigne sur les critères de ressemblance entre les différents points échantillonnés ceci est en rapport avec la distance de rapprochement entre ces points. par cette relation de distance on essaye de repérer d'éventuels groupements qui forment des unités homogène et cohérentes indiquant un même comportement. (HAFID, 2011).

D'après la disposition des individus on peut avoir une distribution en trois différents groupes :

- Le premier groupe situé dans la partie positive de l'axe F1 marqué par une dominance des eaux riche en chlorure ;
- Un second groupe placé dans le coté positive de l'axe F2, caractérisés par une existence sérieuse des bicarbonates les ouvrages sont proches de Sebkhah et d'Oued Nini, ce qui implique un risque probable par les eaux charriées par l'Oued et par le pompage extensive de Sebkhah, ce qui exposera ces ouvrages à d'éventuelles pollution
- Le troisième groupe aligné à la partie négative de l'axe F2, caractérisés par une présence importantes des nutriments, cette dernière serait liée aux activités agricoles et à la faible profondeur des ouvrages ;

Donc on conclure que la répartition des ouvrages se fait en général suivant deux paramètres :

- La géologie des formations captées ;
- L'utilisation des sols, en effets les nutriments sont des indicateurs de l'utilisation excessive d'intrants agricoles.

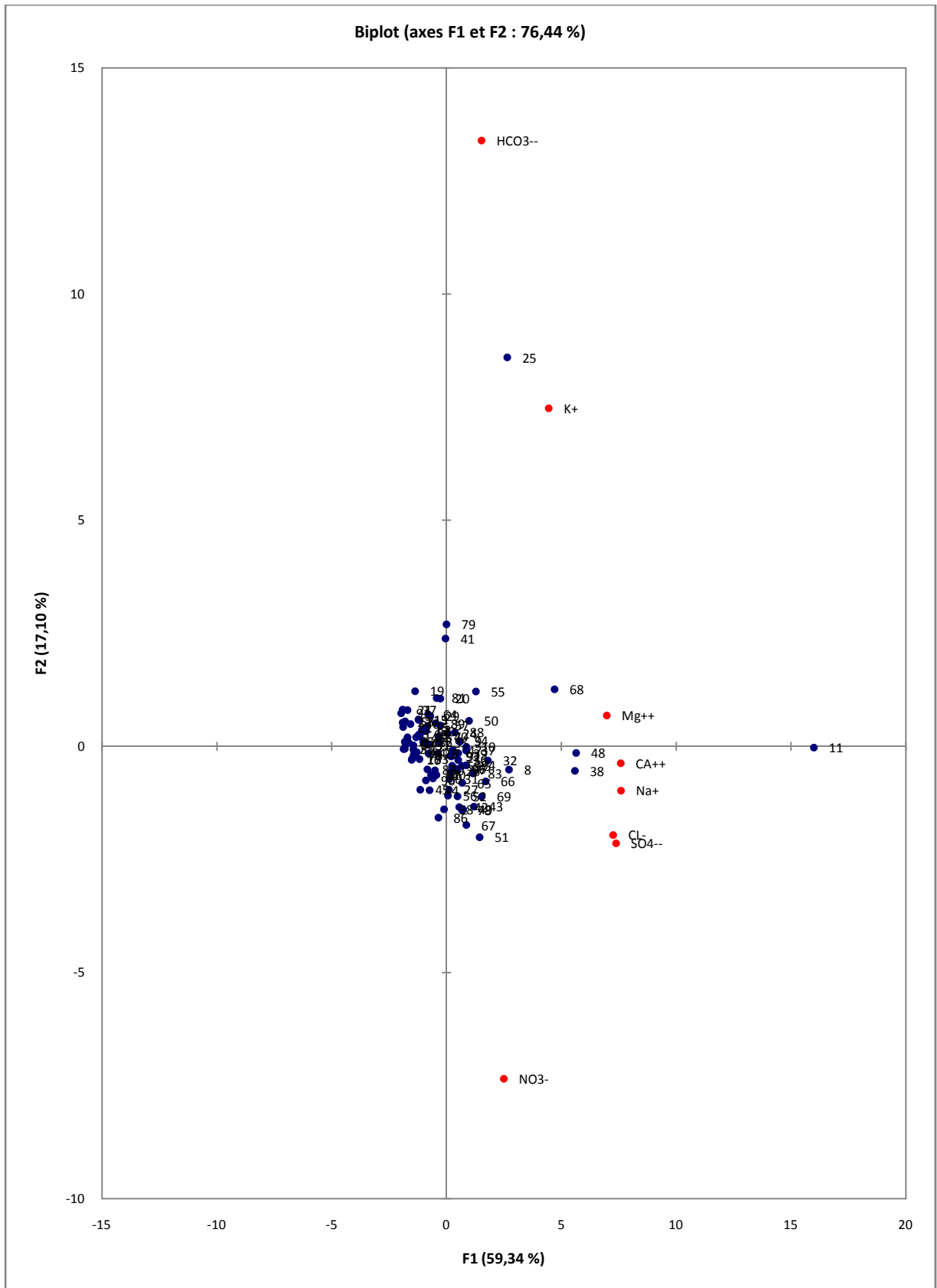


Figure n° 65: projection des variables et des individus sur le plan formé par les deux premiers axes



## Conclusion

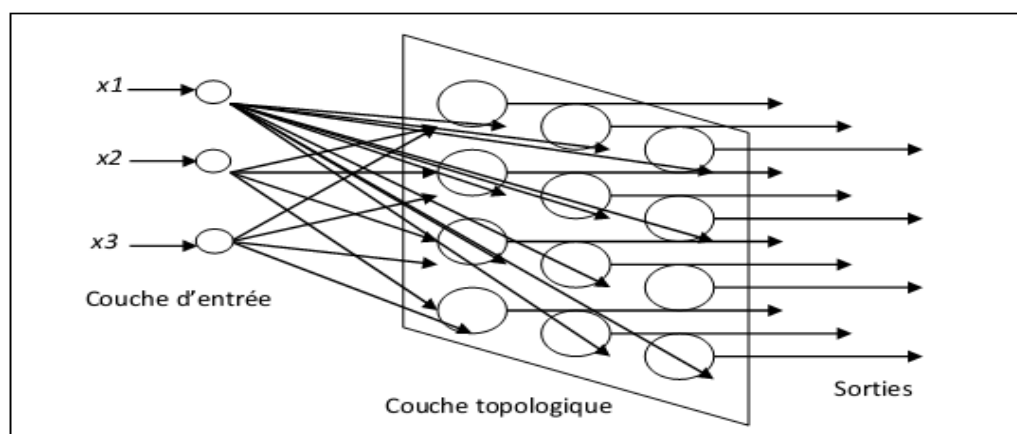
L'analyse en composantes principales montre que : Les chlorures, les sulfates, le sodium présentent des concentrations importantes, ce qui traduit la salinité des puits situées à l'est et au centre de la plaine. Ceci peut être expliquées par le lessivage des sels et à l'évaporation. Les bicarbonates présentent des teneurs importantes montrant ainsi l'effet des apports qui se font par les bordures calcaires. La présence importante des nutriments, cette dernière serait liée aux activités agricoles et à la faible profondeur des ouvrages.

### 7.3. Cartes auto-organisatrices (SOM)

La méthode des cartes auto-organisatrices de Kohonen ou "Self-Organizing Maps (SOM)", et un outil de classification de données permettant de réaliser une partition d'un espace de données en M classes. Cette partition est représentée par une carte (grille souvent en 2D) contenant M nœuds (dits neurones) reliés entre eux par des arrêts. (Ouanes et al., 2017)

L'affectation des données à un neurone doit assurer leur homogénéité, mais aussi conserver la topologie de la carte. C'est à dire que deux neurones qui sont voisins sur la carte doivent correspondre à des données proches sur l'espace des données. La carte permet alors de visualiser les données de dimension élevée (ici la dimension est 8) sur une carte en dimension 2. L'algorithme SOM peut être vu comme une projection non linéaire d'un espace de données sur une carte.(Ouanes et al,2017)

La carte SOM se compose d'une couche d'entrée, représentant la matrice de présence-absence des individus (représentés ici par les points de mesure) qui est directement reliée à une couche bidimensionnelle de sortie qu'on appelle carte de Kohonen. Celle-ci représente la couche de sortie du processus de classification (Figure 66).



**Figure 66 :** Structure d'une carte topologique.

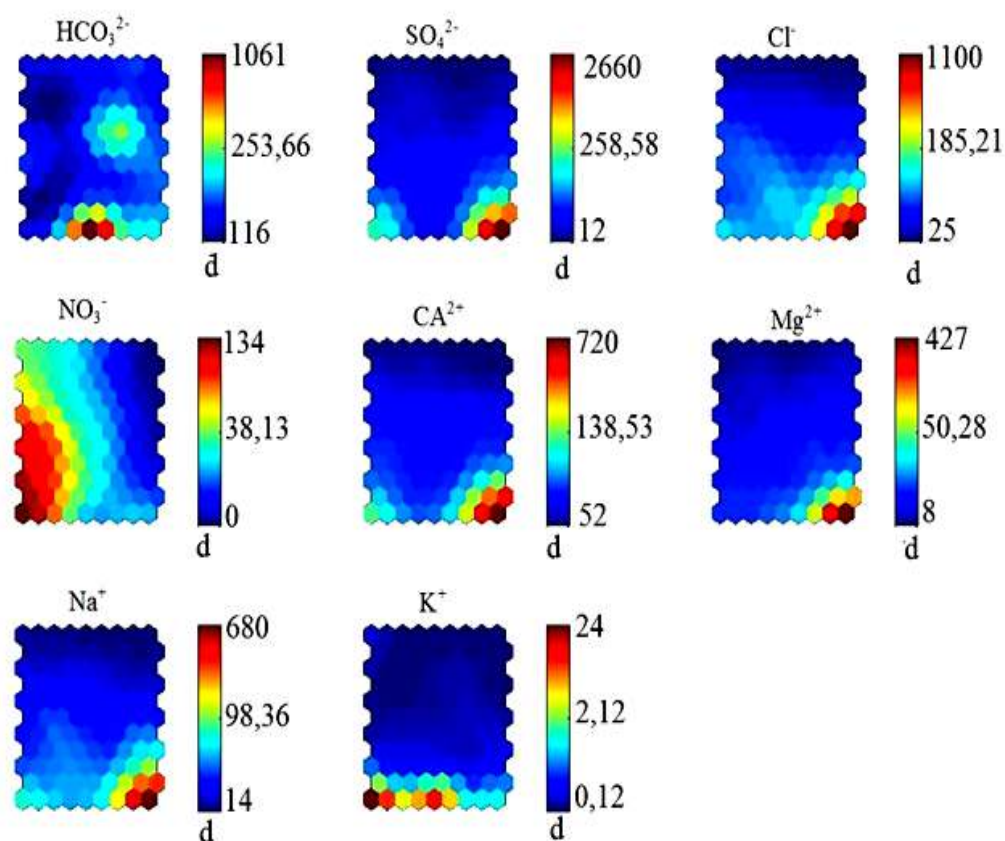
La carte SOM estime les intensités de connexion entre les couches d'entrée et de sortie en utilisant un procédé concurrentiel non supervisé, décrit par Kohonen (1982). Ce procédé recherche itérativement des similarités parmi les données observées et les représente dans la carte de sortie. Enfin, la carte SOM produit une matrice de sortie avec les valeurs finales des poids, où les neurones de sortie se trouvent en lignes, et les points de mesure en colonnes (Kohonen, 1998).

L'apprentissage de la carte SOM se fait avec différentes tailles et architectures de cartes et la taille optimale est choisie en minimisant les erreurs dites de quantification (QE) et topologique (TE). Pour valider la classification SOM, les deux critères : erreur topologique (TE) et erreur de quantification (QE) sont généralement utilisés. Selon Kohonen (2011), la QE qui mesure la résolution de la carte est la moyenne des distances entre chaque vecteur d'entrée et son BMU (Best Matching Unit) ou neurone vainqueur (Kohonen, 2001). La TE représente la proportion des vecteurs de données pour lesquels les 1er et 2ème BMU ne sont pas adjacents (Caban et *al.*, 2001 ; Uriatre et *al.*, 2005 ; Griandel, 2001).

### 7.3.1. Classification des échantillons des eaux souterraines par SOM

Le principe de l'algorithme des SOM consiste à effectuer une classification non linéaire des bases de données complexes en identifiant des groupes semblables. Les cartes de distribution (distribution maps) ou (component planes), issues de la carte de Kohonen, sont représentées dans la figure 4. Elles permettent de visualiser la répartition des eaux souterraines de la plaine de F'kirina en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les cellules rouges foncées représentent des valeurs élevées, alors que les cellules bleues (pâles) représentent des valeurs faibles. Les valeurs sont représentées avec une échelle logarithmique.

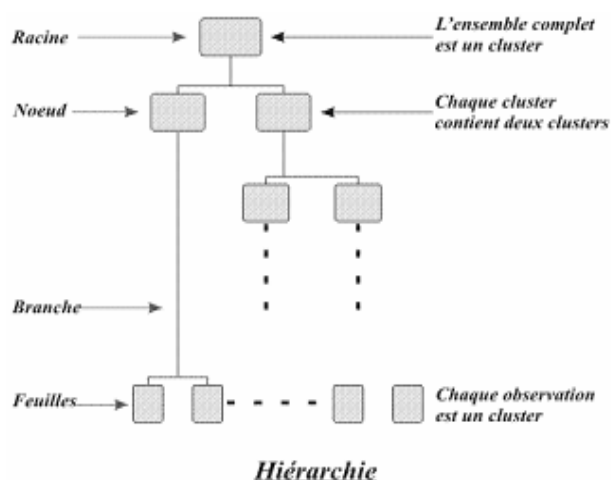
Dans le cadre de ce travail, une carte topologique de 99 cellules (11 colonnes x 9 lignes) a été retenue pour cette analyse prédéterminée à l'aide de la formule de Park avec des erreurs de quantification  $QE=0,113$  et de topographie  $TE=0,01$ . Chaque carte est représentative de la variable correspondante..



**Figure 67:** Gradient de valeurs des paramètres physico-chimiques sur la carte de Kohonen.

#### 7.4. Classification ascendante hiérarchique par SOM (SOM-CHA)

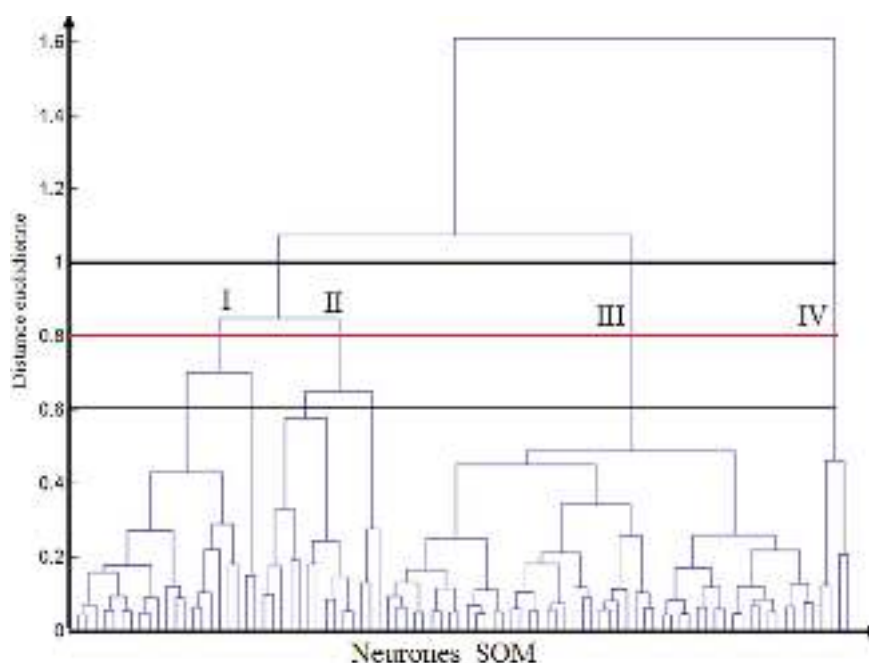
Sous l'hypothèse d'un bon ordre topologique de la carte SOM, il est très probable que deux neurones voisins sur la carte représentent des données de même classe. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) permet de les retrouver. La première itération de l'algorithme de CAH consiste à considérer la partition formée par les singletons : chaque nœud est alors affecté à un sous-ensemble distinct. A l'itération  $k$  et pour une partition donnée, on cherche les deux sous-ensembles les plus proches au sens du critère de similitude choisi, et on les fusionne de manière à former un seul sous-ensemble. Ce processus est répété jusqu'à obtenir une partition contenant un seul sous-ensemble. Le résultat de l'algorithme est un arbre de classes, appelés le dendrogramme, qui montre comment les classes sont reliés (Bamory et al., 2010) (Figure 68).



**Figure 68: Hiérarchisation d'une classification non supervisée (Bamory et al., 2010).**

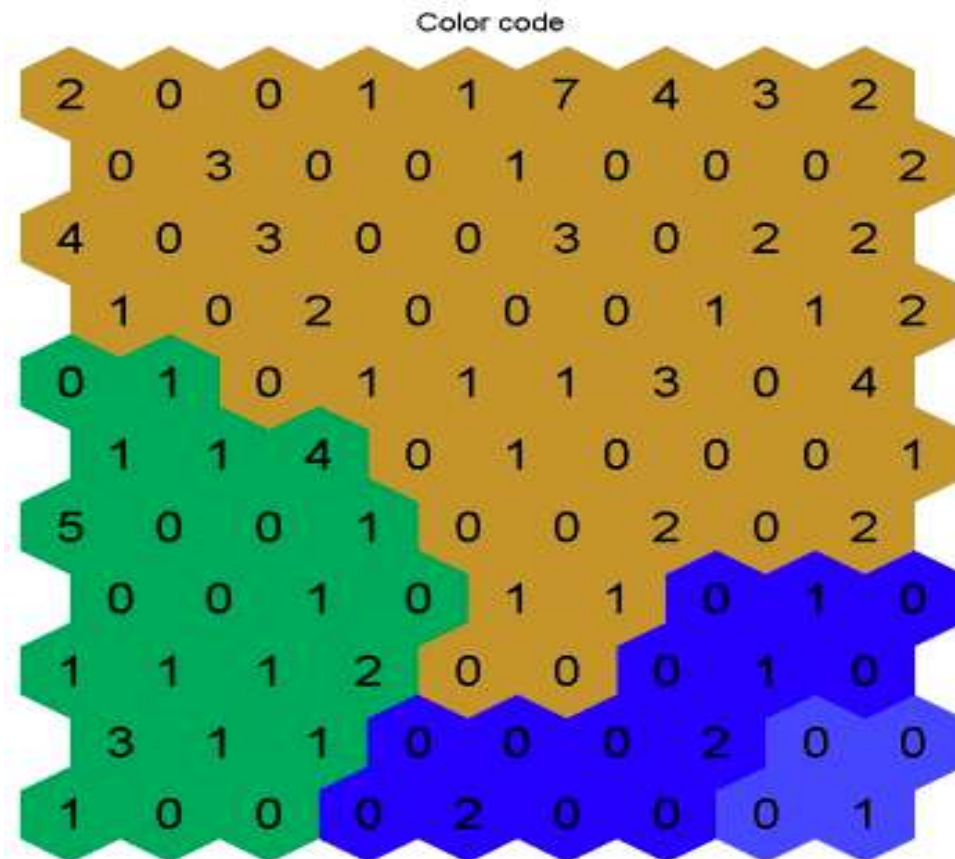
#### 7.4.1. Résultat pour la classification ascendante hiérarchique dans le secteur d'étude

La classification ascendante hiérarchique de Ward (1963) a ensuite permis de regrouper les cellules en groupes des échantillons (Figure 59). Le nombre de classes est alors déterminé en fonction de la distance euclidienne choisie. Ainsi, une distance de 0,6 aboutit à la distribution de 6 classes, une distance de 0,8 aboutit à 4 classes et une distance de 1 permet de distinguer 3 classes de stations.



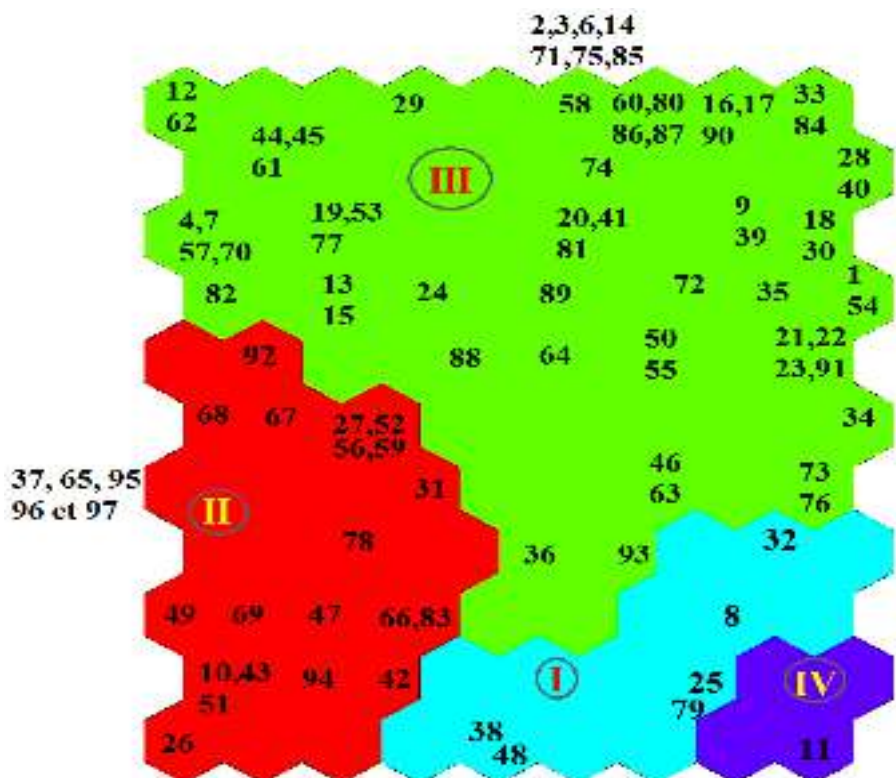
**Figure 69: Arbre de classification des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de F'kirina avec la méthode des cartes topologiques (SOM).**

Le choix du nombre de classes provenant de cette classification est laissé au choix de l'utilisateur : il doit être donc déterminé selon les objectifs de l'application et l'appréciation de l'analyse. Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi de distinguer quatre (4) classes de paramètres avec une coupure à la distance euclidienne de 0,8 car elle constitue un bon compromis entre un nombre de classes restreint et une bonne représentativité des différences de propriétés. Les quatre classes ainsi obtenues sont représentées à la figure 70



**Figure 70 : Répartition des échantillons sur la carte de Kohonen à partir des variables physico-chimiques des eaux souterraines étudiées.**

On constate sur cette figure que la classe 4 est plus restreinte que les autres avec un seul échantillon. L'expertise de l'analyse est également nécessaire à ce stade pour valider ou corriger cette classification. Dans notre cas, sur la base des représentations graphiques, nous avons décidé d'éliminer la cellule de la classe 4 (en bleu pâle). En effet, le seul échantillon, non significatif, appartenant à cette classe peut être négligé.



**Figure 71 : Répartition finale des stations selon les classes sur la carte de Kohonen à partir des variables physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine de F'kirina.**

La première classe contient 6 échantillons et représente 6,19 % de l'ensemble des données. Elle regroupe les eaux dont la concentration en éléments chimiques très élevées par rapport aux normes d'OMS : ( $\text{Cl}^-$  (422,5mg/l),  $\text{Na}^+$  (215,33mg/l),  $\text{Ca}^{2+}$  (277,67mg/l),  $\text{SO}_4^{2-}$  (492,83mg/l),  $\text{Mg}^{2+}$  (72,667mg/l)) et des faibles concentrations en ( $\text{NO}_3^-$ ) (35mg/l) et ( $\text{k}^+$  (1 mg/l)).

La deuxième classe contient 24 échantillons et représente 24,74 % de l'ensemble de la base de données totale. Elle est caractérisée essentiellement par des concentrations en éléments chimiques élevées ( $\text{HCO}_3^-$ ) (215,692 mg/l),  $\text{Cl}^-$  (255,266 mg/l) et  $\text{Ca}^{2+}$  (166,577 mg/l),  $\text{NO}_3^-$  (69,84mg/l),  $\text{SO}_4^{2-}$  (344,04mg/l),  $\text{Mg}^{2+}$  (57,1524 mg/l)) et des alors que les concentrations faibles sont ( $\text{Na}^+$ ) (131,753 mg/l) et ( $\text{k}^+$  (2,65 mg/l)).

La troisième classe comprend le plus grand nombre avec 61 échantillons qui représentent 62,89 % de la base de données. Elle est caractérisée par des concentrations en éléments chimiques faibles ( $\text{Cl}^-$ (122,283mg/l),  $\text{Na}^+$  (65,7662mg/l),  $\text{K}^+$ (1,19589 mg/l),  $\text{SO}_4^{2-}$  (167,138mg/l),  $\text{NO}_3^-$  (25,9785 mg/l),  $\text{Mg}^{2+}$  (39,77)) et des concentrations relativement élevées par rapport aux normes de potabilité fixées par l'OMS ( $\text{HCO}_3^-$ (249,686 mg/let  $\text{Ca}^{2+}$ (105,959 mg/l)).

Finalement, la quatrième classe ne comprend qu'un seul échantillon avec des concentrations très élevées et très alarmantes et représente 1,03 % de la base de données totale (Tab.18 et Figure. 70, 71).

**Tableau 18 : Grandeurs statistiques de base (minimum, moyenne, maximum) pour les paramètres physico-chimiques, respectivement pour toute la base de données et pour les 3 classes obtenues.**

	base de données totales			Classe I			Classe II			Classe III		
	min	Moy	max	min	moy	max	min	moy	max	min	Moy	Max
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	116	253,659	1061	201	428	1061	116	215,692	329,4	122	249,686	561
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	12	258,577	2660	12	492,83	919	165	344,04	880	30	167,138	460
CL <sup>-</sup>	25	185,207	1100	185	422,5	860	125	255,266	450	25	122,283	275
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0	38,1299	134	1	35	134	2	69,84	124	0	25,9785	97
CA <sup>2+</sup>	52	138,534	720	166	277,67	490	100	166,577	330	52	105,959	196,4
Mg <sup>2+</sup>	8	50,2769	427	30	72,667	100	23,76	57,1524	98	8	39,77	86
Na <sup>+</sup>	14	98,3569	680	88	215,33	288	68	131,753	260	14	65,7662	185
K <sup>+</sup>	0,212	2,12298	24	1	8,6667	24	0,898	2,64786	20	0,2	1,19589	3,34

### Conclusion

L'analyse statistique basée sur l'approche de la carte auto-organisatrice (SOM) de Kohonen a été appliquée sur une base de données, constituée de 8 paramètres physico-chimiques réalisés sur les échantillons des eaux souterraines de la plaine de F'kirina pour les années 2003, 2008 et 2016. Elle a mis en exergue les différentes corrélations positives et négatives entre les différents paramètres étudiés.

La classification hiérarchique de la carte SOM (SOM-HC) a détecté des variations spatiales d'un échantillon à l'autre en identifiant le comportement physico-chimique des eaux souterraines de la plaine de F'kirina. Cette différenciation serait probablement en relation avec la nature géologique des terrains traversés, la différence d'altitude et les rejets domestiques des communes avoisinantes.

## 7.5. Evaluation de la qualité des eaux

### 7.5.1. Aptitude des eaux à l'irrigation

La qualité chimique des eaux influe directement sur le rendement des terres agricoles et sur la préservation des sols. A cet effet et étant donné que la zone d'étude est à vocation agricole, une étude chimique des eaux pour l'irrigation est indispensable pour mettre en évidence le danger que peut présenter certains éléments chimiques pour les plantes et pour les sols.

Afin d'apprécier la valeur agricole d'une solution, Wilcox (1948) a proposé le premier diagramme délimitant des classes basées sur la minéralisation totale et le pourcentage du sodium absorbé par l'eau; puis en 1954 le laboratoire de salinité du département de l'agriculture en USA (Richards) a proposé un deuxième diagramme délimitant aussi des classes fondées sur la minéralisation totale et le sodium absorbé par le sol (S.A.R).

#### 7.5.1.1. Classification des eaux par la méthode de Richards :

Cette classification a été proposée par Richards. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Une eau chargée en sels peut provoquer un risque pour l'irrigation. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio, SAR). Ce paramètre comme étant une détermination du pouvoir d'échange des ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , par le  $\text{Na}^+$  dans les argiles et les colloïdes, Il est défini par l'expression suivante :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2)^{1/2}$$

Avec :

- Na : concentration de l'eau en ions sodium en méq/l
- Ca : concentration de l'eau en ions calcium en méq/l
- Mg : concentration de l'eau en ions magnésium en méq/l

Cette classification se fait donc, en reportant sur le diagramme les conductivités électriques en (uS/cm) à 20 °C, en fonction du taux d'absorption du sodium (S.A.R).

La classification de Richards basée sur la conductivité et le S.A.R, permet de définir plusieurs classes d'eau, présentant chacune un danger de salinisation et d'alcalinisation variable, les plus caractéristiques sont quatre qui sont:



- **Classe S1C1** : Eau à salinité faible (C1) convenable pour l'irrigation de toutes les cultures avec faible risque (S1) d'accumulation des sels sauf pour les sols à faible perméabilité.
- **Classe S2C2** : Eau de salinité moyenne (C2), convenable pour l'irrigation avec précaution (S2) d'une dose de lessivage des cultures semi résistantes.
- **Classe S3C3** : Eau à salinité élevée (C3) ne convient pas aux sols à faible capacité de drainage (S3), les cultures doivent être résistantes.
- **Classe S4C4** : Eau à salinité très élevée (C4), ne convient pas à l'irrigation sous conditions ordinaires, pour quelles soit utilisée un drainage adéquat doit être mis en place pour des cultures résistantes.

La représentation des échantillons analysés sur le diagramme de Richards soit en 2003 ou en 2016 (Figure 63,64), montre que les eaux de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire appartiennent aux deux classes : C2S1, C3S1, mais la plupart des points d'eaux 90% appartiennent au classe C3S1. Elles se manifestent par un faible danger d'alcalinisation et par une salinisation élevée. En général on constate que ces eaux ne convient pas à l'irrigation des cultures dans des conditions normales et peut être utilisées si les espèces tolérantes aux sels sur des sols particulièrement bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. La salinisation est causée par la dissolution des gypses et la forte évaporation des eaux lors la chute des eaux météorique, à la surface, et/ou lors de l'infiltration.

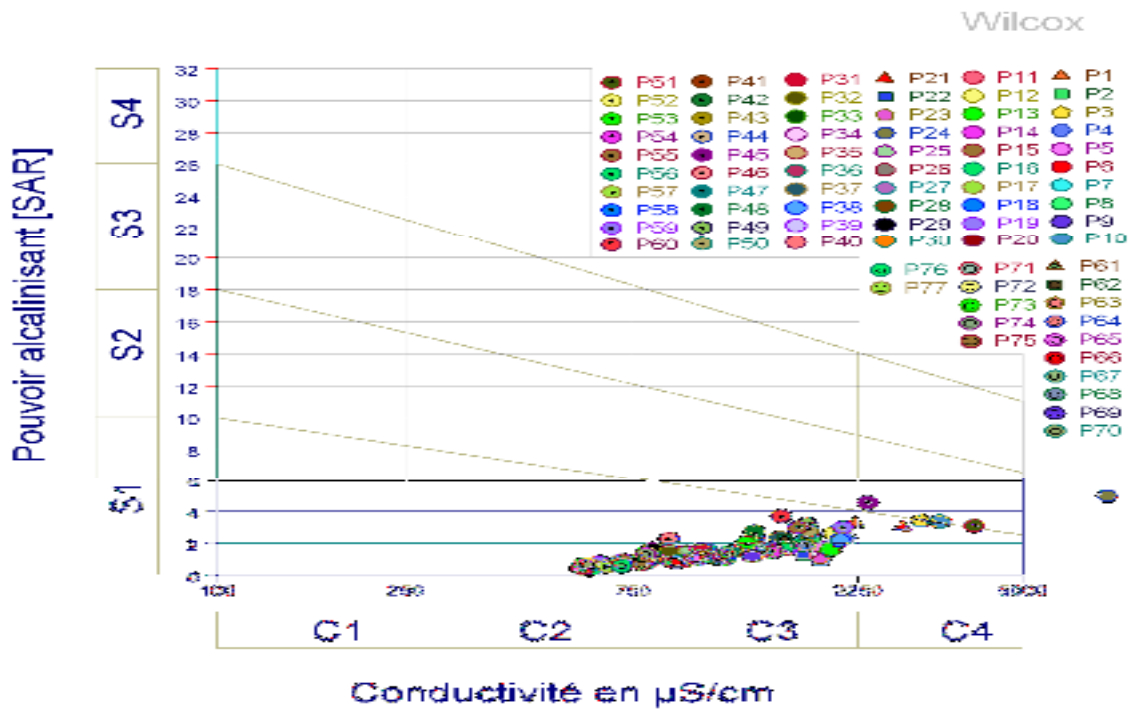


Figure 72: Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation de bassin  
Selon la méthode du SAR en 2003

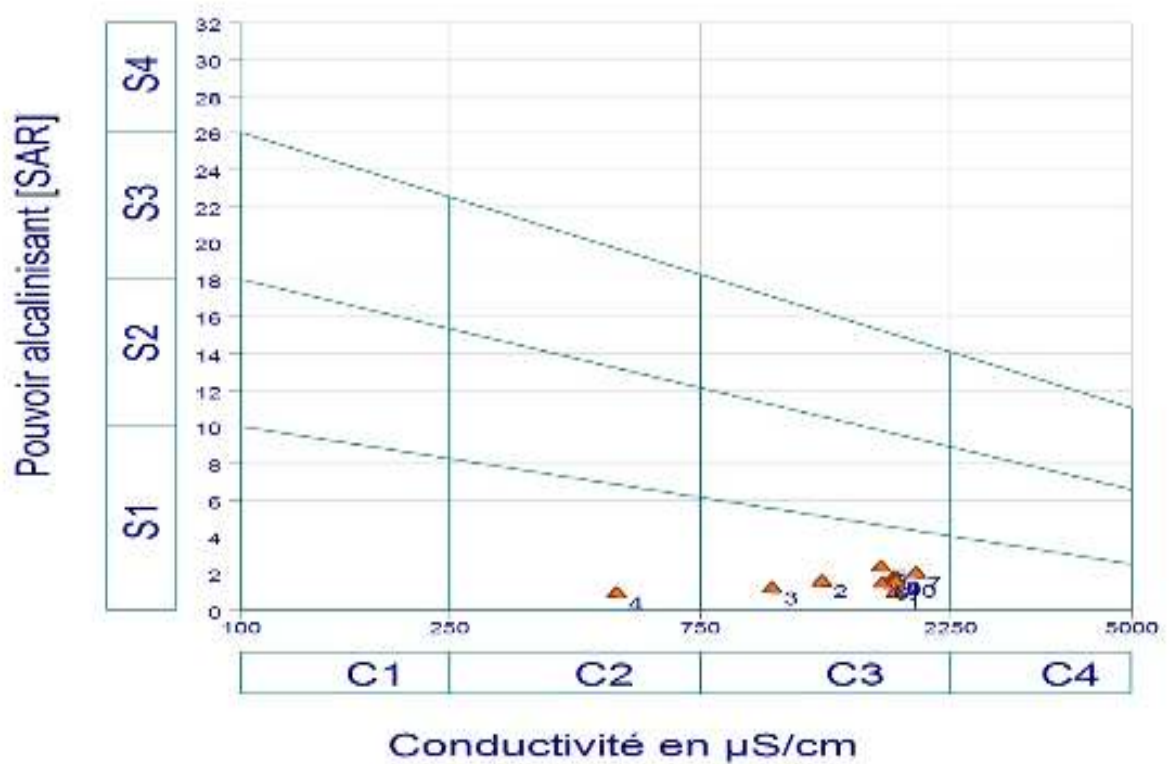


Figure 73: Diagramme de classification des eaux pour l'irrigation de bassin  
Selon la méthode du SAR en 2016

### 7.5.1.2. Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards.

Dans le but de mettre en relief l'effet de la lithologie sur l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous avons cartographié la qualité des eaux à l'irrigation qui englobe le maximum de puits.

La répartition de cette qualité a fait apparaître quatre classes (**figure 74**) :

- Bonne : Elle représente les eaux de faible minéralisation qui sont issues des formations carbonatées de bordures ;(Au centre de la plaine)
- Admissible : Elle englobe, généralement les eaux moyennement minéralisées avec des risques de salinisation moyens et de faible alcalisation; Elle est la plus répandue dans la nappe.
- Médiocre : Cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne. On la rencontre au Sud de la plaine. (due à la présence de trias)
- Mauvaise : elle représente les eaux de très forte minéralisation avec des risques de salinisation très importants. (Elle est remarquée Occasionnellement au puits 24)

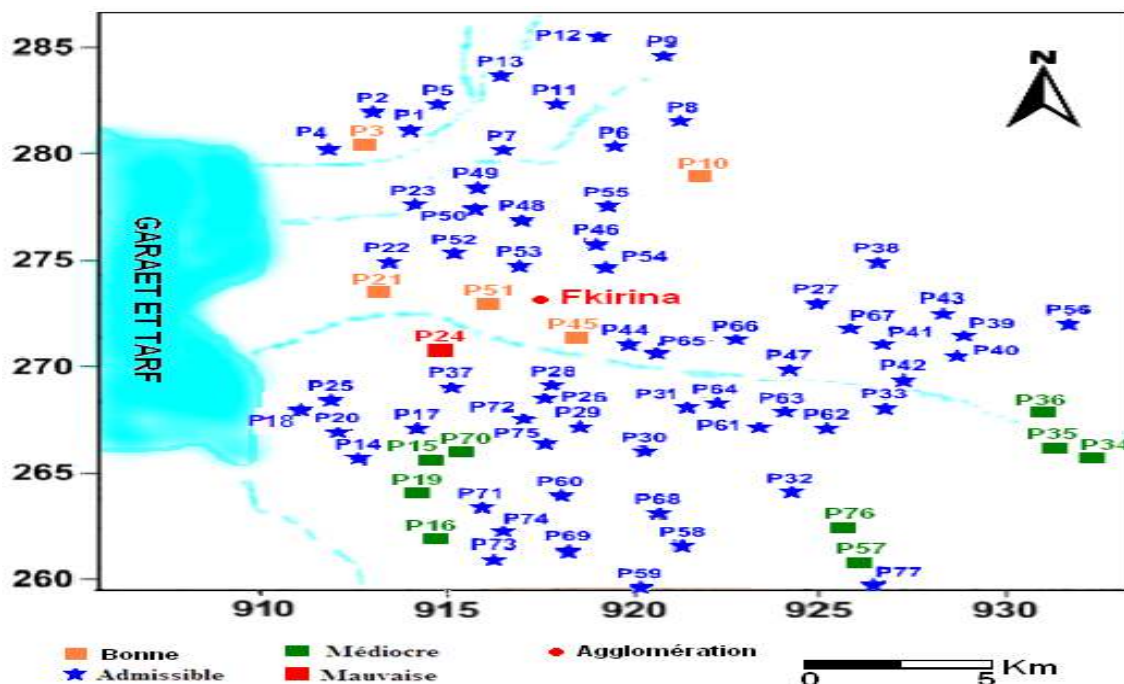


Figure 74 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richards, pour la nappe de F'kirina.

**Conclusion :**

L'étude hydrochimique, nous a permis de mettre en évidence les paramètres physico-chimiques ayant une influence directe sur la qualité des eaux ; ces paramètres sont liés directement aux systèmes aquifères existant, ou à l'influence de la géologie, ou à l'effet de changement climatique.

Au terme de ce travail, nous avons essayé d'évaluer les aspects qualitatifs des eaux souterraines dans la nappe Mio-Plio-Quaternaire de F'kirina. La nécessité de cette recherche est due aux problèmes que vit la région comme la salinité, le changement climatique et la mauvaise odeur bien remarquable autour de la station turbine à gaz ainsi que la forte demande en eau résultant des activités agricoles.

La minéralisation des eaux de la région est importante, et peuvent entraîner des risques de salinisation des sols, les faibles valeurs se localisent près des massifs calcaires et les fortes valeurs nous les y trouvons en aval près du Garaet Et Tarf.

L'interprétation des classifications de, Schoeller-Berkaloff et Piper, montrent l'existence de trois faciès: le faciès chlorurée calcique, bicarbonatée calcique et sulfatée calcique. Et l'existence de changement d'un faciès à l'autre pour plusieurs points de prélèvement. Le changement de ces faciès est dus à la présence d'un remplissage formés par des dépôts calcaires (graviers et croûtes calcaires) et des dépôts salifères venant de l'érosion des formations carbonatées et gypsifères des massifs entourant la plaine ; sans oublier le facteur de lessivage du milieu qui est l'un des processus concentrateurs susceptibles de varier les faciès hydrochimiques, selon les solubilités des sels dues à des fluctuations climatiques de ces derniers trentaines années.

La classification de Richard a montré la dégradation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

L'interprétation des cartes hydrochimiques, montre que la majorité des échantillons analysés présentent des valeurs supérieures aux normes. Ces eaux sont très dures, ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive.

L'utilisation de ces eaux à l'irrigation, sont convenable à l'irrigation de culture tolérante aux sels sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

Donc nous pouvons constater que le changement climatique a des effets sur les eaux de la région d'étude, ces effets entraînaient des conséquences terribles comme les déjà cités, et pourraient à long termes dégrader la qualité de ces eaux complètement

# **Conclusion générale**

## *Conclusion générale et recommandations*

---

Le changement climatique constitue un facteur d'aggravation de risques naturels déjà connus en Algérie, le réchauffement planétaire est désormais une réalité incontestable et ses effets sur le climat global et les climats régionaux sont pratiquement inévitables dans le siècle à venir.

Les impacts affecteront en priorité des secteurs sensibles, tels que les ressources en eau et l'agriculture. L'estimation des incidences dues aux changements climatiques, en matière de ressources en eau, est de l'ordre de 1,0 milliard de m<sup>3</sup> à l'horizon 2020

Les températures ont augmenté presque partout dans le monde

L'exploitation des analyses physico-chimiques relatives aux ressources en eaux de la plaine de F'kirina prélevées, nous a permis d'appréhender l'impact de changements climatiques, de l'agriculture employant des engrais fertilisants, d'une urbanisation anarchique liée à un accroissement démographique sur la qualité physico-chimiques de ces eaux.

Pour circonscrire ces différentes parties, nous nous sommes efforcés à définir les supports de base (la topographie, la géologie, la climatologie,...etc.) qui conditionnent et entretiennent l'évolution des paramètres physico-chimiques, autrement dit la qualité des ressources.

- Les études géologiques disponibles, nous montrent que la zone d'étude est une plaine méo-plio-quadernaire.
- L'étude hydro-climatique succincte, montre que les précipitations sont conséquentes et avoisinent les 404 mm alors que la moyenne annuelle de la température est de l'ordre de 15.16 °C ; Ce qui explique que la plaine de F'kirina est située dans l'étage bioclimatique semi aride.
- l'examen et l'interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques des eaux souterraines prélevés nous a permis de caractériser l'état de la qualité de la ressource et son évolution spatio- temporelle. En effet :
  - Selon les diagrammes de Piper et Scholler Berkhaloff, le faciès hydro-chimique dominant est de type calcique (et les variantes : Magnésien, Chloruré, bicarbonatée, Sulfaté et Sodique) reflètent l'origine de la minéralisation à travers les faciès géologiques de la plaine
  - les eaux sont caractérisées par des paramètres physiques (pH, conductivités) qui augmentent en aval et leur confèrent un caractère incrustant et une minéralisation forte qui peuvent entraîner des risques de salinisation des sols.. les valeurs élevées en titre hydrotimétrique total (DHT) désignent les eaux comme étant des eaux dures.
  - Les eaux souterraines de la nappe alluviale, issues généralement des eaux de surface par le biais des infiltrations directes ou indirectes, présentent les mêmes caractéristiques

## *Conclusion générale et recommandations*

---

qualitatives et évolutives. Néanmoins du point de vue quantitatif, leur minéralisation est plus importante du fait de leur circulation et leur séjour dans les alluvions ; sans oublier les paramètres chimiques qui sont enregistrées avec des valeurs alarmantes dans la quasi-totale des points d'eaux analysées. ce qui entraîne des inconvénients de cuisson et pour la lessive.

En effet, la totalité des eaux étudiées sont dégradées, et probablement dues aux changements climatiques, aux rejets domestiques et industriels et aux utilisations intensives des engrais chimiques

Prenant en compte ces résultats qui font état d'une situation préoccupante, il apparaît urgent, par mesure préventive:

- ❖ d'instaurer un contrôle rigoureux des rejets domestiques en procédant à l'assainissement de toutes les contrées environnantes dont les rejets véhiculés par le réseau hydrographique aboutissent dans la plaine alluviale ;
- ❖ d'assurer une gestion rationnelle de l'entretien de station d'épuration existante au sein la centrale ;
- ❖ De réaliser de nouvelles stations d'épuration appropriées aux agglomérations ;
- ❖ D'initier une politique de la gestion des déchets ;
- ❖ De réglementer l'emploi des engrais fertilisants au niveau des surfaces irriguées et aux abords immédiats des ouvrages d'exploitation.

En conclusion, nous espérons que l'étude que nous avons menée au niveau de la plaine de F'kirina a apporté un certain nombre d'informations supplémentaires et de précisions qui pourront orienter les futures travaux dans le domaine de la maîtrise et la gestion des ressources en eaux et de limiter le problème des effets de changements climatiques sur la qualité des eaux souterraines de la plaine.

# Référence bibliographique



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Aberkane M. (2014)** : Ecologie de la Sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris* dans les zones humides de l'Est algérien, these de doctorat, universite badji mokhtar – annaba, 149p.
- **Adji I. (2009)** : impact du changements climatiques sur l'énergie éolienne Cas du Niger Msc Génie Sanitaire et environnement maires esphysique à option ER
- **Amraoui. f, 2000** : étude hydro chimique des nappes de temara et de la chaouia côtière (meseta marocaine); bulletin de l'institut scientifique, 80p.
- **ANRH, 2009 (agence nationale des recherches hydrique)** : carte topographique de la région de f'kirina 1/50000
- **Arnell N.W (1999a)**: Climate change and global water resources, Global Environ. Change 9, S31– S49.
- **Bahir. m et al. 2003**: impact de la secheresse sur la ressource en eau en zone semi-aride: cas de l'aquifere barremien-aptien de la zone cotiere d'essaouira (maroc); 796p.
- **Bamory kamagate, Adamamariko, Lucseguis, Amid oudao, Hamadoun bokar & Drohlancine gone.** Différenciation hydrogéochimique entre les nappes superficielles des altérites et profondes du socle fissuré dans le bassin versant de kolondièba (sud du mali): approche statistique par la méthode SOM des réseaux de neurones. (2011) 03-05
- **Barnett T.P, Pierce D.W et Schnur R (2001)**: Detection of anthropogenic climate change in the world's oceans. Science, 292, 270-274. beghdadi, 2014:
- **Beghdadi, 2014**: L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch mémoire , universite abou bekr belkaid – tlemcen 89p.
- **Benzaoui. A.** Etude du réseau d'assainissement de la ville de f'kirina- étude technique et économique. Université d'Oum El Bouaghi(2010) 161p.
- **Bertin, R.I (2008)**: Plant phenology and distribution in relation to recent climate change. Journal of the Torrey Botanical Society 135, 126–146.
- **Béthoux JP, Gentili B (1996)**: The Mediterranean Sea, coastal and deep-sea signatures of climatic and environmental changes. J Mar Syst 7, 383–394.
- **Bethoux, J.P., Gentili, B., Tailliez, D (1998)**: Warming and freshwater budget change in the Mediterranean since the 1940s, their possible relation to the greenhouse effect. Geophys. Res. Lett. 25, 1023–1026.
- **Boeglin. j, 2010** : contrôle des eaux douces et de consommation humaine

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Boubekhiri, 2013**: vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel: cas de la zone de Hassi Ameur, région d'Oron-Algérie, thèse de magister, université d'Oron, 173p.
- **Brohan, P., Kennedy, J.J., Harris, I., Tett, S.F.B., Jones, P.D (2006)**: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new data set from 1850. *Journal of Geophysical Research* 111, D12106. doi:10.1029/2005JD006548.
- **Bryson R.A (1974)**: A Perspective on Climatic Change, *Science*, Volume 184, (4138), 753-760
- **Cabanes G., Bennani Y.** Apprendre les contraintes topologiques dans les cartes auto-organisatrices. In EGC, (2011) 137-148.
- **Camuffo et al., 2010** Camuffo D, Bertolin C, Barriendos M, Dominguez-Castro F, Cocheo C, Enzi S, Sghedoni M, della Valle A, Garnier E, Alcoforado M.-J, Xoplaki E, Luterbacher J, Diodato N, Maugeri M, Nunes M.F. et Rodriguez R.(2010): 500-year temperature reconstruction in the Mediterranean basin by means of documentary data and instrumental observations, *Clim. Change* 10, 1169–1199
- **Circonscription de forêt d'oum el bouaghi**, rapport sur la caractérisation des formations forestières de la wilaya d'oum el bouaghi..
- **Cottrell M., IbbouS., Letrémy P., Rousset P.** Cartes auto-organisées pour l'analyse exploratoire de données et la visualisation. *Journal de la société française de statistique*, tome 144, n°4, (2003) 67-106.
- **Dib. i 2010** : l'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de gadaine - ain yaghout (Est Algérien. thèse de magistère. université de Batna, 127p.
- **Direction de l'hydrologie de khenchela** : étude de la station d'épuration des eaux usées de la ville de khenchela wilaya de khenchela. phase 3. avant projet détaillé
- **Direction de l'hydrologie de oum el bouaghi** : étude géophysique de f'kirna (zones d-e-f-g-h), coupes géologiques des forages, coupes électriques des zones de sondage
- **Djebbari.f, (2002)**. croissance et productivité du pin d'alep dans le massif de ouled yagoub wilaya de khenchela. mémoire d'ingénieur d'état. univ hadj lakhder – batna.57 p.

## REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Djoudi S, (2019):** Assessing Groundwater Vulnerability to Contamination in A Semi-Arid Environment Using DRASTIC And GOD Models, Case Of F'kirina Plain, North Of Algeria. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology Volume 13, Issue 7 Ser. I (July. 2019), PP 39-44.
- **Duplessy J.-C (2001):** État des connaissances et incertitudes sur le changement climatique induit par les activités humaines. Earth and Planetary Sciences, 765– 773
- **EIE :** Etude d'impact de la centrale turbines à gaz de F'kirina sur l'environnement, (2004) 31p.
- **El wartiti. m et al. :** hydrochimie et vulnérabilité des aquifères souterrains
- **Elmeddahi Y, Issaadi A, Mahmoudi H, Tahar abbes M et Goossen M.FA (2014):** Effect of climate change on water resources of the Algerian Middle Cheliff basin. Desalination and Water Treatment 52(9-12), 2073-2081.
- **Elmeddahi Y, Issaadi A, Mahmoudi H, Tahar abbes M et Goossen M.FA (2014):** Effect of climate change on water resources of the Algerian Middle Cheliff basin. Desalination and Water Treatment 52(9-12), 2073-2081..
- **Elmeddahi ; 2016;** Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff. These de doctorat. Univ Hassiba Ben Bouli-Chlef 199p.
- **Emberger.I.** aperçu général sur la végétation du maroc.veroff geobot-rube.igs.inst.zurikh :(1939),pp : 14-40.
- **Fahmi, f., tahrouch, s., bouzoubâa, z., & hatimi, a. (2011).** effet de l'aridité sur la biochimie et la physiologie d'argania spinosa. actes du premier congrès international de l'arganier, 299-308.
- **Gaagai. a, 2009 :** etude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de babar sur oued el arab region est de l'algerie. thèse de magister. universités de Batna, 113p.
- **Gartet. a et al 2001** hydrochimie des eaux, dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'oued lebene (prerif central, Maroc septentrional); papeles de geografía, universidad de murcia. pp. 143-161

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Gausсен. h** théories et classification des climats de point de vu phytoécologique.cong-iterbot.paris : (1953). pp : 253-267.
- **Ghodbane. m 2009** : étude de la contamination des eaux souterraines de la zone nord de chemora par les nitrates –est algérien. thèse de magister. université de Batna, 147p.
- **GIEC (2014)**: Climate Change 2013: The Physical Science Basis . Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen,
- **GIEC(2001)** : Changements climatiques 2001 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II, et III au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat [Édité par Watson R.T. de la Banque Mondiale et l'Equipe de rédaction principale]. GIEC, Genève, Suisse, 184 p.
- **GIEC, (2008)** : Résumé à l'intention des décideurs. In: Bilan 2007 des changements climatiques : Les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. [Solomon, S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. et Miller H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA.
- **Giorgi F et Lionello P (2008)**: Climate change projections for the Mediterranean region, Global Planet. Change 63, 90–104
- **Giraudel J.L. et Lek S.** A comparison of self-organizing map algorithm and some conventional statistical methods for ecological community ordination. EcologicalModelling, 146 (1), (2001) 329-339.
- **Glossaire, 2009) Gouaidia. l 2008** : influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algérien. thèse de doctorat. université badji mokhtar Annaba, 130p.
- **Hamed , Riadh Ahmadib, Abdeslam Demdoumc, Salem Bourib, Imed Gargourib, Hamed Ben Dhiab, Samir Al-Gamald, Rabah Laouare, Abedjabar Choura;2014** : Use of geochemical, isotopic, and age tracer data to develop models of groundwater flow: A case study of Gafsa mining basin-Southern Tunisia, Journal of African Earth Sciences, 19pp

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Hamed, Sadek Awad & Amina Ben Sâad , 2015 :** Nitrate contamination in groundwater in the Sidi Aïch–Gafsa oases region, Southern Tunisie, Environmental Earth Sciences journal, 16p.
- **Hansen J, Sato M, Ruedy R, Lo K, Lea D.W. et Medina-Elizade M (2006):** Global temperature change, PNAS 103, 14288–14293.
- **Houghton J, Ding Y, Griggs D, Noguer M, van der Linden P, Dai X, Maskell K et Johnson C (2001):** Climate change 2001: the scientific basis, Vol. 881, Cambridge University Press Cambridge, UK
- **Houha, B.** Etude du fonctionnement hydrogéochimique et salin d'un bassin semi-aride. Remila, Khenchela. Diss. Doctorate thesis, university of Annaba, Algeria, 2007.
- **Hubert P, Carbonnel J.P et Chaouche A (1989) :** Segmentation des séries hydrométéorologiques : application à des séries des précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. J. Hydrologie 110, 349-367.
- **Huybrechts P., de Wolde J (1999):** The dynamic response of the Greenland and Antarctic ice sheets to multiple-century climate warming, J. Climate 12 (8), 2169– 2188. J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- **Jacques. b :** qualité et pollution des eaux souterraines, universite de picardie jules verne
- **KhedairiaS.** Contribution à la classification non supervisée : application aux données environnementales. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'Informatique, université Badji Mokhtar Annaba, Algérie 128p, 2014
- **Kohonen T.** Self-organizing maps.3rd ed. Springer, Berlin.(2001)
- **Kohonen T.** The Self-Organizing-Maps.Neurocomputing, 21, (1998)1-6.
- **Laala, a., rached-kanouni, m., & alatou, d. (2013).** les variations thermiques saisonniers et leurs impacts sur le comportement ecophysiologiques des semis de pin d'alep. european scientific journal, 9(24).
- **Lalaouna. h et khelifia.ch,** 2014 comparaison entre la foret domaniale d'el hractas (ain el beida) et celle de hafir (tlemcen).thèse de master. université abou bakr belkaid telemcen, 65 p.
- **Landis w.g.and yu m.h.** introduction to environmental toxicology. impacts of chemicals upon ecological systemes. –crc press, inc. boca raton, usa : 1995.328 p.
- **Legrain. m.** (2002) dictionnaire encyclopédique. ed larousse. france. pp 325.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Lehninger a. I.** principes de biochimie. aminoacides et peptides ; la photosynthèse.-eds. flammarion médecine-sciences, johns hopkins université, paris : 1989. 1001 p.
- **Lehout.a. (2008).** limites thermiques et adaptation de pin pignon dans la région de constantine .magister écologie et environnement, univ mantouri constantine.167p
- **Levitus, S., Antonov, J.I., Wang, J., Delworth, T.L., Dixon, K.W., Broccoli, A.J( 2001):** Anthropogenic warming of Earth's Climate system. Science 292, 267–270.
- **M'rah .s, nedjar .y et ouannes .m,** 2008 l'impact d'exploitation des gisements de baryte sur le pin d'alep (pinus helepensis mill.) dans la région de ain mimoun (w.khenchela).mémoire d'ingénieur d'état. centre universitaire de khenchela, 79p.
- **Mahi, z., dedaldechamp, f., maurousse, l., lemoine, r., et belkhodja, m. (2015).** etude de la peroxydation lipidique (mda) et l'activité antioxydative (pod) chez deux halophytes: atriplex halimus l. et atriplex canescens (pursh) nutt sous l'effet du sel [study of lipid peroxidation (mda) and antioxidative activity (pod) in two halophyte: atriplex halimus l. and atriplex canescens (pursh) nutt under salt effect]. international journal of innovation and applied studies, 10(1), 450.
- **Mann M .E, Bradley R. S et Hughes M.K (1998):** Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. Nature .Vol 392, 779-787.
- **manuel sur l'environnement (m.s.e)z :** documentation pour l'etude et l'evaluation des effets sur l'environnement/ministere federal de la cooperation economique et du developpement. volume 1, 571pp.
- **MATE, GEF/PNUD 00039149 (2010) :** Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC, 211p
- **Matini. I et al. :** evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au sud-ouest de brazzaville, congo.
- **McBean, G., Ajibade, I., 2009.** Climate change, related hazards and human settlements. Current Opinion in Environmental Sustainability 1 (2), 179–186.
- **Meddi. H, Meddi.M (2007) :** Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du nord-ouest de l'Algérie. Geographia Technica, no.2 : 49-55.
- **Merzougui.H.** Etude de protection de la ville de fkirina contre l'inondation. universite d4oum el bouaghi, (2009) 95p
- **Mohammed, m. b.** contribution a l'étude morphométrique et biogéographique des ophidiens de la kabylie (algérie).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Mokadem Naziha, Younes Hamed, Mohamed Hfaid, Hamed Ben Dhia:** Hydrogeochemical and isotope evidence of groundwater evolution in El Guettar Oasis area, Southwest Tunisia, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 201, 21pp 2016
- **Mouchet. p, 2010 :** traitement des eaux avant utilisation. matieres particulaires.
- **Mouri, c., benhassaini, h., bendimered, f. z., & belkhodja, m. (2012).** variation saisonnière de la teneur en proline et en sucres solubles chez l'oyat (*ammophila arenaria* (L.) link) provenant du milieu naturel de la côte ouest de l'algérie. *acta botanica gallica*, 159(1), 127-135.
- **Nahal. i. (1962).**le pin d'alep. etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Annales de l'école nationale des eaux et forêts* 19 (4) : 533-627.
- **Ndyaye, a. (2011).** adaptation phénologique du pin d'alep au changement climatique.
- **Nepstad, D.C., Veríssimo, A., Alencar, A., Nobre, C., Lima, E., Lefebvre, P., Schlesinger, P., Potter, C., Moutinho, P., Mendoza, E., Cochrane, M.A., Brooks, V (1999):** Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398, 505–508.
- **Nichhane. m. (2014)** contribution à l'étude de l'entomofaune de quelque espèce résineuses de la région des traras occidentaux (w.tlemcen). mémoire de magister. univ abou beker belkaid a tlemcen. 112 p.
- **Nicholson, S.E (2001):** Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Research* 17 (1), 123–144, ISSN: 0936 577X.
- **Ousmana H.** Application de la methodesom des reseaux de neurones artificiels pour la classification de la qualite environnementale des systemes lacustres dans le moyen atlas marocain : cas des lacs ifrah, iffer et afourgagh (2016) 53-55.
- **Ouanes, M., et al.** "Self Organizing Map of Artificial Neural Network for Groundwater Quality Classification in the F'kirina Plain: Oum El Bouaghi Province-NE of Algeria." *Journal of New Technology and Materials* 277.5673 (2017): 1-9.Ouzza. a et akdim. b : la pollution hydrique au tadla : perceptions et realites. pp. 1-10.
- **Ozenda paul.**les végétaux : organisation et diversité biologique. 2ème édition-dunod. belgique.516 p.
- **PDEAU :** Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme, F'kirina,Willaya d'Oum El Bouaghi (2016) 18 p.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Perret C.** (2008) : Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'ouest, série environnement 13p.
- **Petit M (2001)** : L'humanité face à l'effet de serre additionnel qu'elle crée. *Earth and Planetary Sciences*. 333, 775–786.
- **Quezel.p.** (1980). biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. dans : actualités d'écologie forestière (éd. : Pesson), édition Gauthier Villars, Paris, p. 205-256.
- **Ramade François.** dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2<sup>ème</sup> édition. Dunod, Paris : (2002) .534 p.
- **Ramade François.** éléments d'écologie : écologie appliquée. 6<sup>ème</sup> édition. -Dunod. Belgique : (2005). 864 p.
- **Rathgeber, C.** (2002). impact des changements climatiques et de l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers: exemple du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Provence Calcaire (France). Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie. Marseille, Université d'Aix-Marseille III, 276.
- **Remini .B (2010)** : La problématique de l'eau en Algérie du Nord, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 08, 27-46
- **Saoudi A, 2017** : Spécificités géologiques et hydrogéologiques de la région des lacs et de la plaine de Remila et son impact sur le tracé routier Oum el Bouaghi – Khenchela. Mémoire master en géologie Université Alarbi Ben Mehidi Oum el Bouaghi
- **Smaïhi, A. H.** (2009). influence du type de pineraies (pineraie, pineraie chenaie) sur la mobilisation de N, P et le comportement de plantules de pin d'Alep dans des sols forestiers de la région de Batna (doctoral dissertation, Université El Hadj Lakhdar de Batna 1).
- **Solomon S, Plattner G, Knutti R and Friedlingstein P (2009)**: Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(6), 1704.
- **Sonatrach, 1990** : carte géologique internationale de l'Afrique pour le nord-est algérien
- **Sylvestre F, Servant-Vildary S and Servant M (1998)**: The last glacial maximum (21 000-17 000 14C yr BP) in the southern tropical Andes (Bolivia) based on diatom studies, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Series IIA Earth and Planetary Science* 327(9), 611–618.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Tabet-Aoul M (2008)** : Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb. Les notes d'alerte du Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM), N° 48 – 4 juin, 6 p
- **Toumi .m, barris.s et aid.f.(2014)**. effets des stress hydrique et osmotique sur l'accumulation de proline et de malondialdehyde (mda) chez deux varieties de colza (*brassica napus l.*), 24 p.
- **Uriarte E. A., Martin F.D.** Topology preservation in SOM. International journal of applied mathematics and computer sciences, 1(1), (2005) 19-22.
- **Vennetier, m., girard, f., didier, c., ouamim, s., ripert, c., misson, l., et ndiaye-boubacar, a. (2011)**. adaptation phréologique du pin d'alep au changement climatique. forêt méditerranéenne, 32(2), p-151.
- **Vesanto J., Alhoneimi E.** Clustering of the Self Organizing Map. IEEE Trans, Neural Networks, 11 (3), (2000) 586-600.
- **Ward, J. H.** Hierarchicagrouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58(301), (1963) 236-24
- [www.futura-science.com/planete/définition/météorologique-rosée](http://www.futura-science.com/planete/définition/météorologique-rosée).
- **Younssi, H.** Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des ressources en eau. Faculté des Sciences de la Terre Département de géologie. Thèse de Magister, université Badji Mokhtar Annaba, Algérie (2009)97p.
- **zereg. s 2010:** impact des retours d'eau d'irrigation sur la ressource en eau souterraine des region semi arides, exemple des plaines de tebessa, cheria et el ma el abioud, est algerien. these de magistere. universite de batna, 109p.
- **Zerroumda, m. e. (2012)**. approches physiologiques et métaboliques pour la sélection de variétés d'orge tolérantes vis-à-vis d'une contrainte saline (doctoral dissertation).
- **Ziani. d 2009:** impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualite des eaux souterraines de l'aquifere de ain djasser.est algerien. these de magistere. universite de batna, 133p.
- **Zine. b 2010** : la remonte des eaux souterraines en surface : mecanisme et l'impact sur l'environnement (cas de oued souf). these de magistere. universite de batna, 116p.
- **Zitouni.w. (2004)**.contribution à l'étude de la croissance et la productivité du pin d'alep du massif ouled yagoub. mémoire d'ingénieur d'état.univ hadj lakhder- batna.49p.

## REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES

مراجعة المخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير لبلديتي عين البيضاء وفكرينة 128: شركة الهندسة المعمارية والتقنية لام البواقي  
صفحة

مراجعة المخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير لبلديتي عين البيضاء وفكرينة: شركة الهندسة المعمارية والتقنية لام البواقي  
128 صفحة

# Annexes

**Annexe 01 :Matériel et Méthode**

**Introduction**

Nous nous sommes intéressés aux paramètres physicochimiques suivantes : la température, la le Potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE), la dureté (DHT), les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les chlorures ( $\text{CL}^-$ ), les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ), le potassium ( $\text{Na}^+$ ) et le sodium ( $\text{K}^+$ )

**1. Techniques de mesures et d'analyses des solutions**



**Figure : les prélèvements d'eaux effectués**

**1.1. Distillation d'eau**

Dans un laboratoire de chimie, l'eau est une matière d'œuvre essentielle. Elle est le solvant de presque toutes les solutions que nous sommes amenés à préparer. En cas d'absence d'eau distillé il faut le préparé au niveau de laboratoire a l'aide de distillateur. (Figure x)

Dans un laboratoire, l'eau doit répondre à trois critères principaux :

- Son pH doit être le plus proche possible de 7
- Sa concentration en chlorure doit être la plus faible possible
- Sa dureté (Quantité d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  dissous) doit être la plus faible possible.

La distillation est la technique la plus utilisée dans les laboratoires de l'enseignement.

La méthode est simple : on distille en continu l'eau du robinet. Les impuretés restent dans le fond du distillateur. (Havre ; 2009)

La distillation est un procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes. Elle permet de séparer les constituants d'un mélange

homogène. Sous l'effet de la chaleur ou d'une faible pression (loi des gaz parfaits), les substances se vaporisent successivement, et la vapeur obtenue est liquéfiée pour donner le distillat.



Figure : Appareil de distillation (distillateur)

### 1.2. Test de chlore

Pour effectuer les analyses au niveau de laboratoire, tout d'abord, il faut faire un test de chlore par des comprimés DPD 01 et DPD 02 qui nous donne une idée sur l'état actuelle de la qualité de l'eau prélevés, pour prendre une décision de continuité d'analyser ou non (eau traitée ou l'inverse c.à.d. l'analyse ne peut pas être effectuée si l'eau est traitée précédemment au chlore) (Figure x)



Figure : Test de Chlore par des comprimés DPD 1 et DPD 2

### 1.3. Paramètres physiques

#### 1.3.1. La température :

La température de l'eau est un paramètre d'une grande utilité en ce qui concerne les études hydrogéologiques. Elle est nécessaire pour déterminer les équilibres chimiques entre les diverses espèces en présence. On peut en déduire des informations sur la profondeur de l'écoulement souterrain, le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère (les eaux souterraines sont influencées par les propriétés thermiques de la roche), ainsi que son origine. Habituellement, on mesure également la température de l'air (ou mieux encore, on donne une indication de la température moyenne du jour de mesure) qui permet de vérifier, les conditions climatiques dans lesquelles l'échantillonnage s'est déroulé et d'expliquer d'éventuelles anomalies dans les résultats des analyses géochimiques. **(Ouanes 2016)**

La température des eaux souterraines est relativement constante toute l'année, par contre celle des eaux superficielles est très variable selon les saisons et peut passer de 2°C à 30°C. La diminution de la température entraîne la diminution de l'efficacité des traitements dont la désinfection et entraîne aussi l'augmentation de la viscosité de l'eau. L'augmentation de la température a diverses conséquences comme : la croissance bactérienne, les problèmes de saveur, de couleur, corrosion. **(Savary. 2010)**

#### 1.3.2. La conductivité : (ISO N°7888)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle s'exprime généralement en micro siemens par centimètre (μS/cm) .La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante : Résistivité (Ω.cm) =1000000/conductivité (μS/cm).

##### 1.3.2.1. Principe

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

- Si R est la résistance de la colonne d'eau en ohms, S sa section en cm<sup>2</sup>, et l sa longueur en cm

La résistivité électrique en ohms.cm est

$$P = R * S/l$$

La conductivité électrique en S/cm est :

$$V = 1/P= 1/R * l/S$$

l/S est appelé constante de l'élément de mesure.

### 1.3.2.2. Mode opératoire :

D'une façon générale, opérer avec de la verrerie rigoureusement propre et rincée avant usage avec l'eau distillée. Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.

Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes. Introduire alors le thermomètre aussi près que possible de la cellule. La température du liquide ne devra en aucun cas varier pendant la mesure.



Figure : Appareil de mesure de la conductivité électrique type HI 2315

### 1.3.3. Le pH

Le pH est une mesure de la concentration de protons ( $H^+$ ) présent dans l'eau. Cette mesure est importante car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Il est l'un des paramètres importants influençant les tendances entartrantes ou agressives d'une eau. (Dalhoun; 2010). On a  $pH = \log_{10}(H^+)$ , donc à chaque changement d'une unité pH, le nombre de protons dans l'eau change d'un ordre de grandeur (un facteur 10). Sachant que le pH de l'eau pure est de 7, une eau ayant un pH inférieur à 6 est dite acide (elle contient plus d' $H^+$ ) alors qu'au-dessus de 8 l'eau est dite basique.

Un acide (selon la définition la plus simple) est une espèce qui va avoir tendance à libérer un ou des protons en solution, alors qu'une base va avoir tendance à capturer un ou des protons. (Olivier; 2005)

### **1.3.3.1.Principe :**

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel-KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$ .

- **Appareil :** pH mètre (
- **Electrode :** Electrode de pH
- **Réactifs :** Tampon pH =9  
Tampon pH = 7  
Tampon pH = 4

### **1.3.3.2.Mode opératoire :**

#### **1.3.3.2.1. Etalonnage de l'appareil**

- Allumer le pH Mètre (bouton rouge).
- Brancher l'électrode de pH.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Vérifier l'électrode (niveau de la solution de KCl).
- Afficher la température ambiante.
- Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH=7.
- Régler l'agitation à faible vitesse.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH=7.
- Laisser stabiliser un moment.
- Affiner avec le bouton de droite de pH=7.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH=9 et pH=4.
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

#### **1.3.3.2.2. Dosage de l'échantillon**

- Prendre environ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- Puis noter le pH.





**Figure : Appareil de pH Mètre type HI 2211 PH/ORP Meter**

#### **1.3.4. Mesure de la turbidité (NF T 90-033Ou ISO 7027)**

La turbidité est une réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

##### **1.3.4.1. Principe**

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoute, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

##### **1.3.4.2.Appareillage :**

- HACH 2100 N
- Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre.

##### **1.3.4.3. Etalonnage de l'appareil :**

A l'aide des solutions d'étalonnage de Formazine de 400 NTU on prépare une solution fille de 40 NTU et effectuer la mesure.

##### **1.3.4.4.Mode opératoire :**

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

##### **1.3.4.5. Expression des résultats :**

La mesure est obtenue directement en NTU.



**Figure : Appareil de turbidimètre type HI 88703**

### **1.3.5. Dosage de la matière organique**

La matière organique des eaux naturelles est souvent assimilée en totalité à la matière organique naturelle (MON), bien que certains micropolluants présents dans les milieux aquatiques soient d'origine anthropique. (Rodier *et al.*, 2009).

#### **1.3.5.1.Principe**

Les matières organiques d'origine animale ou végétale sont oxydées par un excès de permanganate de potassium en milieu acide. L'excès de permanganate est réduit par l'acide oxalique titré. La quantité de matières oxydables est proportionnelle au permanganate de potassium consommé. La méthode est sujette à de nombreuses critiques à cause des facteurs pouvant influencer le dosage, mais elle donne une idée sur la teneur en matières oxydables de l'eau analysée.

#### **1.3.5.2.Matériel**

- Erlenmeyers de 250 ml ;
- Pipettes précision de 10, 25 et 50ml ;
- Pipette bâton de 5ml avec la poire aspirante ;
- Burettes précision de 25ml ;
- Bain marie.

#### **1.3.5.3.Réactifs**

- Acide sulfurique concentré  $H_2SO_4$  ;
- Solution de permanganate de potassium titré  $KMnO_4$  ;
- Solution d'acide oxalique titré.

#### 1.3.5.4.Mode opératoire :

- Prendre 25 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 5ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Porter à ébullition douce 98° puis ajouter 5 ml KMnO<sub>4</sub> à 2 mmol/l ;
- Après 10min ;
- Ajouter 5ml oxalate à 5 mmol/l ;
- Titrer après décoloration. Alors que la solution est encore chaude avec KMnO<sub>4</sub><sup>2</sup> mmol/l..... coloration rose.

#### 1.3.5.5.Calcul

$(a-b) \times 0.8 \times 1000$  / différence de deux prises en ml

a : lecture de la burette pour la prise de 50ml

b : lecture de la burette pour la prise de 25ml



Figure : Dosage de la matière organique

#### 1.3.6. La Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelque fois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium.

##### 1.3.6.1.Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA

Cette méthode permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium ; avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux.

### 1.3.6.2.Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

### 1.3.6.3.Réactifs

#### a/ Solution de noir ériochrome T à 0,5 % :

- sel de sodium de l'acide
- [(hydroxy-1-naphtylazo-2) nitro-6-naphtol-2-sulfonique-4)](\*) 0,5 g
- triéthanolamine *q.s.p.* 100 mL

#### b/ Solution tampon pH 10 :

- chlorure d'ammonium (NH<sub>4</sub>Cl) 67,5 g
- ammoniaque (*d* = 0,925) 570 ml
- sel disodique de magnésium de l'EDTA (C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>Mg) 5 g
- eau déionisée *q.s.p.* 1 l

Conserver la solution en flacon de polyéthylène. Vérifier le pH qui doit être égal à 10 sur une dilution au 1/10 de la solution avec de l'eau déionisée.

#### c/ Solution d'EDTA :

- sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique 3,725 g
- eau déionisée *q.s.p.* 1 l

Conserver la solution en flacon de polyéthylène et vérifier son titre périodiquement à l'aide de la solution étalon de calcium. Prélever 20 ml de solution étalon de calcium, les diluer à 50 ml puis procéder au dosage comme décrit dans le mode opératoire. La concentration de la solution d'EDTA en mol. / l est donné par l'expression

$$c = 0,01 \times v1/v2$$

v1 = Volume en mL de la solution étalon.

v2 = Volume en mL de la solution d'EDTA.

#### d/ Solution étalon de calcium à 0,4008 g/L :

- carbonate de calcium déshydraté 1,001 g
- acide chlorhydrique dilué au 1/4 *q.s.p.* dissoudre
- rouge de méthyle quelques gouttes
- ammoniaque diluée au 1/10 *q.s.p.* virage de l'indicateur
- eau déionisée *q.s.p.* 1 L

Mettre le carbonate de calcium dans un bécher, ajouter 100 mL d'eau puis de l'acide chlorhydrique en quantité juste suffisante pour dissoudre le carbonate de calcium. Ajouter 200ml d'eau et porter la solution à l'ébullition quelques minutes pour éliminer le dioxyde de carbone. Après refroidissement, ajouter quelques gouttes de solution de rouge de méthyle puis de la solution d'ammoniaque jusqu'au virage de l'indicateur à l'orange. Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1 litre, compléter le volume avec de l'eau déionisée. 1 ml de la solution contient 0,4008 mg de calcium.

### 1.3.6.4.Mode opératoire

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml
- Ajouter 4 ml de solution tampon (K10)
- Ajouter trois gouttes de solution de noir ériochrome T.

La solution se colore en rouge foncé ou violet, le *pH* doit être de 10. En maintenant une agitation

- verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu.
- Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

### 1.3.6.5.Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression

$$1\ 000 \times (c \times v1) / v2$$

*c* = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

*v1* = Volume en mL de la solution d'EDTA.

*v2* = Volume d'échantillon.



Figure : dosage de la dureté ou titre hydrotimétrique

## 1.4. Paramètres chimiques

### 1.4.1. Spectrophotométrie

C'est la méthode analytique la plus utilisée en analyse d'eau. Elle nécessite la mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché. Elle s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière ne laisse passer qu'une fraction de la lumière incidente; la quantité de la lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché.

L'appareil est un spectrophotomètre type DR-2000 dans le domaine du visible (325 à 900 nm), Il est pré-programmé pour la quantification de divers éléments et composés minéraux « inorganiques » contenus dans l'eau. L'analyse de l'élément ou du composé est réalisée suite à une complexation de celui-ci avec le réactif ajouté ce qui développe certaines couleurs. L'intensité de la couleur obtenue et le choix approprié de la longueur d'onde permettent l'analyse (i.e. l'obtention de la concentration) de l'élément ou du composé dans l'échantillon.

#### 1.4.1.1. Méthode

- mettre l'appareil sous tension;
- choisir la méthode no 0, pour lecture de l'absorbance;
- ajuster la longueur d'onde à 560 nm;
- emplir une cellule d'eau déionisée et faire le zéro de l'appareil avec cette cellule;
- emplir une cellule avec une solution standard;
- ajouter le contenu d'une gélule de réactifs à la cellule, bien agiter, attendre au moins 2 minutes pour permettre au complexe de se former complètement;
- mesurer l'absorbance de solution.



Figure : Spectrophotomètre de type DR-2000

## 1.4.2. Les cations

### 1.4.2.1. Détermination du $\text{Ca}^{2+}$ et du $\text{Mg}^{2+}$ (Rodier 8<sup>ème</sup> ED2005)

#### 1.4.2.1.1. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

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) (Glinka ; 1977).

Les ions  $\text{Ca}^{2+}$  sont dosés par complexométrie dans un milieu alcalin à  $\text{pH}=12$  en présence de la soude (NaOH) avec le Murexide comme indicateur coloré (Rodier, 2009)

#### 1.4.2.1.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

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 ( $\text{MgCO}_3$ ), ainsi que la minérale dolomite ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ) (Glinka, 1977), Il constitue 2.1% de l'écorce terrestre.

Les ions  $\text{Mg}^{2+}$  mesuré par La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne directement la dureté magnésienne (la teneur en magnésium) (Rodier, 2009).

#### 1.4.2.1.3. Principe

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'Acide Ethylène diamine tétra cétique à  $\text{pH} 10$ . La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage de deux indicateurs sur un même échantillon s'effectue le dosage successif du Calcium et du Magnésium.

#### 1.4.2.1.4. Réactifs :

##### 1.4.2.1.4.1. Solution d'EDTA 0.02 N

Dissoudre 3.721 g d'EDTA di sodique (cristallisé  $2 \text{H}_2\text{O}$ ) dans 1000 ml d'Eau distillée. 1ml d'EDTA 0.02N correspond à 0.4008 mg de Calcium, 1mg de Carbonate de Calcium et 0.243 mg de Magnésium.

##### 1.4.2.1.4.2. Solution tampon

Mettre dans 400 ml d'Eau distillée 55ml d'HCl concentré. Ajouter 310 ml de 2-Aminoéthanol, 100 mg d'EDTA magnésien. Compléter à 1000 ml d'Eau distillée.

##### 1.4.2.1.4.3. Solution de Noir d'Eriochrome :

- Noir d'Eriochrome.....0.5 g
- Ethanol.....25 ml

##### 1.4.2.1.4.4. Solution de Bleu d'Eriochrome

- Bleu d'Eriochrome.....100 mg
- Eau distillée.....100 ml
- Chlorhydrate de d'hydroxylamine.....0.25 g

**1.4.2.1.4.5. Solution de NaOH 1N**

- NaOH.....4 g
- Eau distillée.....100 ml

**1.4.2.1.4.6. Solution d'HCl 1 N**

- HCl.....8.3 ml
- Eau distillée.....100 ml

**1.4.2.1.5. Mode opératoire**

Prendre 50ml d'eau à analyser. Ajouter 3ml de NaOH puis 3 gouttes de Bleu d'Eriochrome. Verser la quantité nécessaire de solution d'EDTA pour obtenir le virage au violet. Noter  $V_1$ . Ajouter à la même solution 3.2 ml d'HCl 1 N et agiter durant 1mn jusqu'à parfaite dissolution du précipité magnésien. Verser 5ml de la solution tampon et 1goutte de solution de Noir d'Eriochrome. Bien mélanger. Introduire la quantité de solution d'EDTA nécessaire au virage au bleu. Noter  $V_2$ .

**1.4.2.1.6. Expression des résultats : Pour une prise d'essai de 50 ml**

- La teneur en Calcium est égale à  $Ca (mg/l) = (V1*0.4008*1000)/50$
- La teneur en Magnésium est égale à  $Mg (mg/l) = (V2*0.243*1000)/50$
- La dureté totale est égale à  $CaCO_3 (mg/l) = [(V1+V2)*1000]/50$



**Figure : Dosage de Calcium et de Magnésium**

**1.4.2.2. Détermination du L'AZOTE AMMONIACAL ( $NH_4^+$ ) (ISO 7150)**

La verrerie doit être rincée avec une solution d'Hydroxyde de Potassium « 25g dans 214ml d'Ethanol et compléter à 250 ml d'eau distillée ». La lecture se fait à la longueur d'onde de 655 nm.



### 1.4.2.2.1. Principe

Mesure spectrophotométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de Nitroprussiate de Sodium.

### 1.4.2.2.2. Réactifs

#### 1.4.2.2.2.1. Réactif I

- ❖ Acide dichloroisocyanurique..... 2 g
- ❖ Hydroxyde de sodium (NaOH)..... 32 g
- ❖ Eau distillée..... q.s.p 1000 ml

#### 1.4.2.2.2.2. Réactif II (coloré) :

- ❖ Tri citrate de Sodium.....130 g
- ❖ Salicylate de Sodium.....130 g
- ❖ Nitroprussiate de Sodium.....0,97 g
- ❖ Eau distillée ..... q.s.p 1000 ml

#### 1.4.2.2.3. Solution mère étalon d'azote ammoniacal de 0,1 g/l :

Dessécher une quantité de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  à 105 °C pd 1 heure et peser 0,03821 g puis dissoudre dans 100 ml d'eau distillée. Prendre 1 ml de la solution mère qu'on met dans 100 ml d'eau distillée pour avoir une solution intermédiaire de 1 mg/l.

#### 1.4.2.2.4. Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 4 ml de réactif I ;
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1 h. ;
- L'apparition de la coloration verdâtre vers bleuâtre indique la présence de :  $\text{NH}_4^+$

#### 1.4.2.2.5. Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

**Tableau xx : Gamme et étalonnage dans une série de fioles de 50 ml**

Solution fille 1 mg/l	0	1	2,5	5	25	40
Eau distillée (ml)	50	49	47,5	45	25	10
Réactif I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactif II (ml)	4	4	4	4	4	4
Attendre 1 h						
$[\text{NH}_4^+]$ en mg/l	0	0,02	0,05	0,1	0,5	0,8



Figure : Mesure de l'azote ammoniacal par Spectrophotomètre

### 1.4.3. Les anions

#### 1.4.3.1. Détermination du Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) (Méthode de MOHR)

L'ion chlorure existe toujours dans les eaux naturelle à des concentrations très variable, c'est un traceur conservatif dans les environnements naturels. Il ne participe pas aux réactions d'oxydoréduction et il ne forme pas de précipité insoluble (Lakhdari, 2012).

##### 1.4.3.1.1. Principe

Les Chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de Nitrate d'Argent ( $\text{AgNO}_3$ ), en présence de Chromate de Potassium ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ). La fin de réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du Chromate d'Argent.

##### 1.4.3.1.2. Réactifs

###### ❖ Solution de Nitrate d'Argent 0.02 mole/l

- $\text{AgNO}_3$ .....3.4g
- Eau distillée.....1000 ml

###### ❖ Solution de Chromate de Potassium 100 g/l

- $\text{K}_2\text{CrO}_4$ .....10 g
- Eau distillée.....100 ml

❖ **Solution de Chlorures de Sodium 0.02 mole/l**

- NaCl.....0.117 g
- Eau distillée.....100 ml

**1.4.3.1.3. Mode opératoire**

➤ **Le blanc**

Prendre 100 ml d'eau distillée + 1 ml de  $K_2CrO_4$ . Puis titrer avec le l'AgNO<sub>3</sub> à 0.02 mole/l.

➤ **Le titre**

Prendre 10 ml de NaCl à 0.02 mole/l +90 ml d'eau distillée + 1 ml de  $K_2CrO_4$ . Puis titrer avec le l'AgNO<sub>3</sub> à 0.02 mole/l.

➤ **L'échantillon**

Prendre 100 ml d'échantillon + 1 ml de  $K_2CrO_4$ . Puis titrer avec le l'AgNO<sub>3</sub> à 0.02 mole/l.



**Figure : Dosage de chlorure**

➤ **Calcul**

$$[Cl] = (V_E - V_B) * C * F / PE$$

VE : Volume de l'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour l'échantillon.

VB : Volume de l'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour le blanc.

PE : la prise d'essai 100 ml

C : La concentration réelle de l'AgNO<sub>3</sub> en mole/l ( $C = 0.02 * \text{Titre} / \text{Titre} = 10 / V_T$ )

F : La masse molaire du Chlore M=35.5 g/mole.

**1.4.3.2. Détermination des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (RODIER 84)**

La verrerie doit être lavée avec une solution de HCl (2 mole/l), rincée à l'eau distillée « 8,3 ml de HCl pure dans 50 ml d'eau distillée »

La lecture se fait à la longueur d'onde 543 nm.

### 1.4.3.2.1. Principe

La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec la le N(Naphtyle) éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage colorimétrique.

### 1.4.3.2.2. Réactif

#### ➤ Réactif mixte

- Sulfanilamide.....40 g
- Acide phosphorique..... 100 ml
- N-1 Naphtyle éthylène diamine.....2 g
- Eau distillée .....q.s.p 1000 ml

### 1.4.3.2.3. Solution mère étalon d'azote nitreux à 100 mg/l

Dessécher le Nitrite de Sodium à 105 °C pd 1 h, puis peser 0.0492 g et dissoudre dans 100 ml d'eau distillée.

### 1.4.3.2.4. Solution fille étalon d'azote Nitreux à 1 mg/l

Pipeter 1 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée (à préparer chaque jour).

### 1.4.3.2.5. Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 1 ml d réactif mixte ;
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2^-$ .

**Tableau xx : Gamme et étalonnage**

Solution fille 1 mg/l	0	1	2.5	5	7.5	10
Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	42.5	40
Réactif mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 10 mn						
$[\text{NO}_2^-]$ en mg/l	0	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2



**Figure : Dosage de nitrite**

**1.4.3.3. Détermination des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Méthode au Salicylate de Sodium (RODIER 71))**

La lecture se fait à la longueur d'onde 420 nm.

**1.4.3.3.1. Principe**

En présence de Salicylate de Sodium, les Nitrates donnent d Paranitrosnylate de Sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

**1.4.3.3.2. Réactifs**

➤ **Solution de Salicylate de Sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 heures)**

0.5 g de Salicylate de Sodium dans 100 ml d'eau distillée.

➤ **Solution d'Hydroxyde de Sodium à 30 %**

30 g de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

➤ **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.**

**1.4.3.3.3. Tartrate double de Sodium et de Potassium**

- Hydroxyde de Sodium.....400 g
- Tartrate de Sodium et de Potassium.....60 g
- Eau distillée.....q.s.p 1000 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 ml. Cette solution doit être conservée dans flacon de polyéthylène.

**1.4.3.3.4. Solution mère étalon d'azote Nitrique à 1 g/l.**

- Nitrate de Potassium anhydre .....0.722 g
- Eau distillée.....1000 ml
- Chloroforme.....1 ml

**1.4.3.3.5. Solution fille étalon d'Azote Nitrique à 5 mg/l**

Pipeter 5 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée

**1.4.3.3.6. Mode opératoire**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 % ;
- Ajouter 1 ml de Salicylate de Sodium ;
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve à une température de 75-88 °C ;
- (Ne pas surchauffer ni surcharger très longtemps) laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu avec 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pur laissé reposer 10 mn ;
- Ajouter 15 ml d'eau distillée ;
- Ajouter 15 ml de Tartrate double de Sodium et de Potassium.

**Tableau xx : Gamme et étalonnage**

Solution fille 5 mg/l	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Salicylate de Sodium (ml)	1	1	1	1	1
[NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] en mg/l	0	0.5	1	2.5	5

- Evaporer à sec de 75-88 °C et poursuivre de la même manière que pour l'échantillon à analyser ;
- Multiplier par 4.43 pour obtenir la concentration en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.



**Figure : Dosage des nitrates**

#### **1.4.3.4. Détermination des phosphates (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) (Méthode au Salicylate de Sodium) (ISO N° 6878)**

La lecture se fait à la longueur d'onde de 880 nm.

##### **1.4.3.4.1. Principe**

Formation en milieu acide d'un complexe avec le Molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de Potassium. Réduction par l'acide ascorbique que en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 800 nm.

1.4.3.4.2. Réactifs

➤ Réactif mixte :

- Heptamolybdate d'Ammonium.....13 g } A
- Eau distillée.....q.s.p 100 ml }
- Tartrate d'Antimoine.....0.35 g } B
- Eau distillée.....q.s.p 100 ml }
- Acide Sulfurique.....150 ml } C
- Eau distillée.....150 ml }

(A + B) + C.....q.s.p 500 ml

➤ Acide Ascorbique à 10 % :

- Acide Ascorbique.....10 g
- Eau distillée.....q.s.p 100 m

➤ Solution mère à 50 mg/l  $PO_4^{3-}$

➤ Solution fille à 2 mg/l  $PO_4^{3-}$

Tableau : Gamme et étalonnage

Solution fille 2 mg/l	0	0.3	0.6	1.2	2.4
Eau distillée (ml)	0	39.7	39.4	38.8	37.6
Acide Ascorbique (ml)	1	1	1	1	1
Réactif mélange (ml)	2	2	2	2	2
[P] mg/l	0	0.015	0.03	0.06	0.12
[ $PO_4^{3-}$ ] mg/l	0	0.0459	0.0918	0.1836	0.3672

1.4.3.4.3. Mode opératoire

- 40 ml d'eau à analyser ;
- 1 ml d'Acide Ascorbique ;
- 2 ml du réactif mixte ;
- Attendre 10 mn le développement de la couleur.



Figure : Dosage d'ortho phosphates

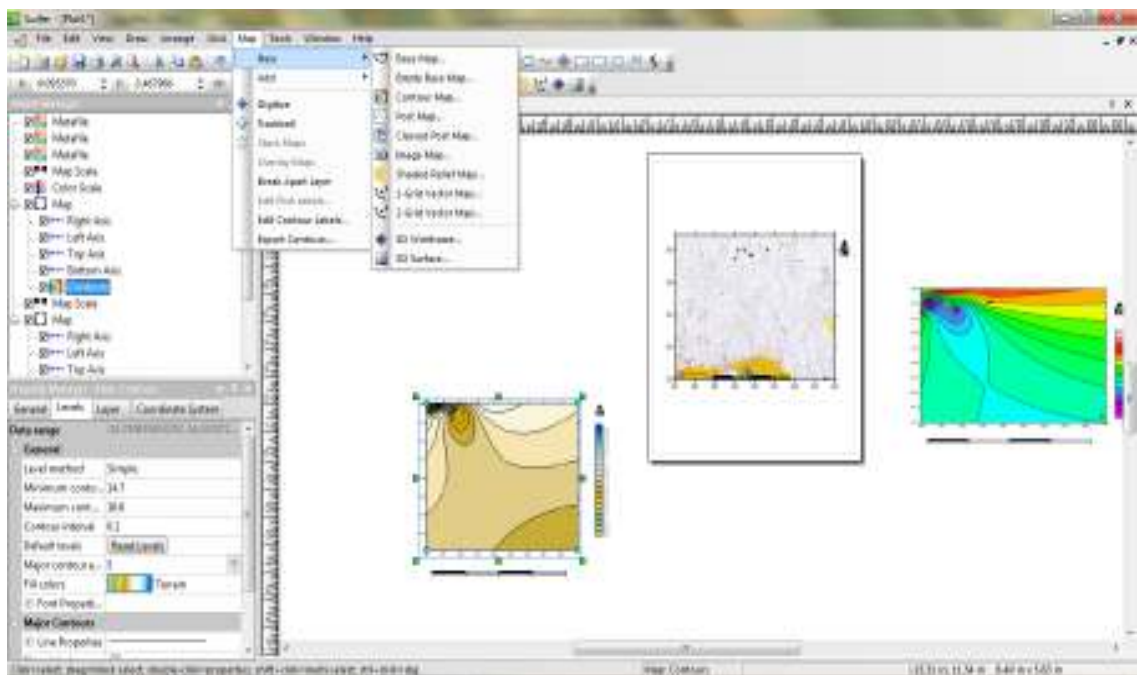
## 1.5. Outils d'analyse des données

Pour interpréter les résultats d'analyses, nous avons utilisé les logiciels suivants :

### 1.5.1. Logiciel Surfer 10

Le logiciel Surfer est conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données quand aura récoltées sur le Terrain via De GPS ou bien en ce basant sur une carte déjà préétablie.

Le surfer a comme principe de permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y afin de les ordonnées. C'est à partir de ces grilles que l'ont pourra créer plusieurs types de cartes: Base map, contour map, 2D surface, vector et bien d'autres.



**Figure: Représentation de l'interface du logiciel Surfer10.**

### 1.5.2. Logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.) :

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie d'Avignon (version 4, 2008), qui nous permet de classer les eaux en faciès chimique et en classe d'eau potable et d'irrigation, et de construire en particulier les diagrammes de Piper, de Schoeller Berkaloff et de Riverside.





**Annexe 02 : les paramètres climatologiques**

**Station meteo oum el bouaghi**

**Année 2006**

Mois Paramètres	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluie en 1/10 mm	74.6	52.9	8.8	57.1	88.5	6.4	13.2	8.0	19.9	29.1	11.3	89.7
Nombre de Jour	15	08	07	07	11	02	04	06	06	06	06	12
T°moy En 1/10°C	4.3	6.0	10.8	15.8	20.1	24.6	26.3	25.4	20.0	18.8	11.8	7.5
T°moy min En 1/10°C	0.6	1.4	3.9	9.0	13.4	16.4	17.5	17.6	13.6	11.6	5.3	3.6
T°moy mX 1/10°C	9.0	11.7	18.2	23.0	26.9	32.2	34.1	33.2	28.2	26.4	18.2	12.2
T°min abs En1/10°C	-3.9	-3.3	-5.4	1.6	7.0	3.0	13.5	12.0	8.4	7.5	0.3	-1.8
T°mx abs En1/10°C	16.0	17.3	27.0	30.5	35.7	40.4	39.0	40.2	33.8	35.6	24.4	18.2
T°d le sol 50 cm	7.9	8.8	12.0	17.9	20.8	25.1	28.5	28.7	25.1	20.5	15.5	11.4
T°d le sol 1m 1/10°C	11.1	10.7	11.7	16.2	18.4	21.9	25.4	26.4	25.0	21.5	18.8	15.0
Hmoy en %	83	78	66	61	68	41	46	53	59	63	75	84
H moy min En%	62	52	55	34	39	21	22	25	30	36	49	63
Hmoy max En%	97	96	93	88	95	68	74	84	86	88	96	97
Evap en Mm	33	41	94	124	107	230	217	196	137	119	53	24
Vent moy 1/10 m/s	XX	XX	XX	XX	2.6	3.2	2.5	2.7	2.0	1.7	1.6	1.8

## Les Annexes

<b>Vent max</b> En m/s et Date	XX	XX	XX	XX	19 le29	18 le01	17 le05	17 le24	15 le24	15 le06	14 le22	16 le07
<b>Dir du max</b>	XX	XX	XX	XX	24	06	06	24	20	04	28	34
<b>Orage</b>	0	0	1	5	12	3	5	7	4	2	0	0
<b>Brouillard</b>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	4	1
<b>Neige</b>	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Grêle</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gelée</b>	13	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	5
<b>Rosée</b>	0	1	7	7	7	1	0	0	3	7	10	6
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0

### Année 2007

<b>Mois</b> <b>Paramètres</b>	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
<b>Pluie en</b> <b>1/10 mm</b>	11.1	14.8	59.5	48.3	38.3	4.7	NT	14.4	53.1	30.4	14.3	24.8
<b>Nombre de</b> <b>Jour</b>	05	08	17	17	06	03	NT	04	10	08	07	10
<b>T°moy</b> <b>En 1/10°C</b>	8.0	8.7	9.0	13.4	17.5	24.6	26.8	26.4	21.7	16.9	10.0	6.6
<b>T°moy min</b> <b>En 1/10°C</b>	1.4	3.3	3.7	8.3	10.1	17.0	16.8	18.3	14.5	11.3	4.5	1.8
<b>T°moy mX</b> <b>1/10°C</b>	14.6	14.2	14.2	18.4	24.8	32.3	34.8	34.4	29.0	22.5	15.5	11.3
<b>T°min abs</b> <b>En1/10°C</b>	-2.1	-0.5	-1.3	3.2	4.4	6.5	11.8	13.0	8.3	5.5	-3.4	-5.6
<b>T°mx abs</b> <b>En1/10°C</b>	21.5	22.2	25.5	26.3	34.7	40.7	39.0	39.0	36.3	34.0	23.7	19.3
<b>T°d le sol</b> <b>50 cm</b>	9.7	11.1	12.0	14.9	19.8	23.9	29.4	29.1	25.7	21.5	14.2	10.5
<b>T°d le sol</b> <b>1m 1/10°C</b>	12.3	12.7	12.8	14.2	17.5	21.6	25.7	26.8	25.5	22.7	14.4	13.8

## Les Annexes

<b>Hmoy en %</b>	77	75	77	75	64	54	51	50	63	70	77	81
<b>H moy min En%</b>	49	49	52	49	37	30	29	26	29	45	50	60
<b>Hmoy max En%</b>	97	95	97	95	93	81	77	80	91	91	95	96
<b>Evap en Mm</b>	41	42	46	59	113	229	239	231	116	103	61	36
<b>Vent moy 1/10 m/s</b>	1.4	3.3	2.9	3.2	2.6	3.1	2.5	2.5	2.2	2.6	1.7	2.1
<b>Vent max En m/s et Date</b>	18 le03	17 le26	26 le09	14 le08	21 le21	15 le06	18 le11	17 le19	21 le14	17 le21	19 le25	15 le30
<b>Dir du max</b>	34	04	04	02	26	18	04	18	04	34	14	36
<b>Orage</b>	0	0	1	2	2	4	1	4	8	3	1	0
<b>Brouillard</b>	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	1
<b>Neige</b>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Grêle</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gelée</b>	12	1	3	0	0	0	0	0	0	0	3	9
<b>Rosée</b>	3	8	3	2	6	0	0	0	2	1	3	3
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0

### Année 2008

<b>Mois Paramètres</b>	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
<b>Pluie en 1/10 mm</b>	7.1	23.0	42.8	18.4	75.7	16.0	27.4	39.9	67.7	42.2	15.3	35.4
<b>Nombre de Jour</b>	04j	04j	09j	04j	09j	05J	04j	07j	10j	09j	06j	13j
<b>T°moy En 1/10°C</b>	7.1	8.0	9.7	14.0	19.0	29.3	27.5	26.4	22.1	16.6	9.6	5.8
<b>T°moy min</b>	0.5	0.9	3.5	6.4	12.5	14.7	19.0	18.3	15.7	10.9	4.0	0.8

## Les Annexes

<b>En 1/10C</b>												
<b>T°moy mX 1/10°C</b>	13.6	15.1	15.8	21.6	25.5	22.0	36.0	34.6	28.4	22.3	15.1	10.9
<b>T°min abs En1/10°C</b>	-5.0	-5.0	-2.8	0.0	7.0	8.6	12.2	12.5	8.8	3.0	0.0	-3.1
<b>T°mx abs En1/10°C</b>	18.3	20.0	26	31.0	34.5	37.3	42.0	41.7	37.0	27.3	21.1	15.6
<b>T°d le sol 50 cm</b>	9.5	11.0	12.7	16.1	20.6	24.0	28.5	29.0	25.5	20.2	14.0	9.5
<b>T°d le sol 1m 1/10°C</b>	12.1	12.0	13.7	15.4	18.9	21.4	25.4	26.7	25.2	21.4	17.1	13.0
<b>Hmoy en %</b>	78	71	71	59	57	52	44	49	61	75	75	83
<b>H moy min En%</b>	52	40	44	30	31	25	20	23	37	46	48	59
<b>Hmoy max En%</b>	96	95	95	86	83	81	74	78	85	96	93	96
<b>Evap en Mm</b>	41	63	80	148	158	190	252	223	134	72	53	30
<b>Vent moy 1/10 m/s</b>	1.5	1.4	2.9	3.2	3.3	2.4	2.8	2.3	2.0	1.8	2.7	2.3
<b>Vent max En m/s et Date</b>	19 le 23	10 le 04	19 le 23,31	20 le 01	26 le 28	21 LE 02	23 le 07	24 le 23	16 le04	18 le27	18 le30	15 le14
<b>Dir du max</b>	32	30	28	02	34	34	30	36	30	26	22	24
<b>Orage</b>	0	1	0	0	6	01	5	7	5	3	0	0
<b>Brouillard</b>	4	3	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4
<b>Neige</b>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Grêle</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gelée</b>	15	11	3	1	0	0	0	0	0	0	2	12
<b>Rosée</b>	2	0	11	1	0	1	0	0	1	9	9	3
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Les Annexes

### Année 2009

Mois Paramètres	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluie en 1/10 mm	78.8	19.1	66.4	97.2	51.1	1.1	5.2	34.0	73.9	24.0	4.2	20.0
Nombre de Jour	16j	13j	07j	14j	06j	04j	07j	08j	09j	10j	06j	11j
T°moy En 1/10°C	6.4	5.9	9.3	10.4	17.0	22.9	27.5	25.7	20.6	15.2	11.6	9.4
T°moy min En 1/10C	1.9	0.9	3.1	4.8	9.6	12.4	18.1	17.5	14.7	9.1	4.0	3.5
T°moy mX 1/10°C	10.9	11.0	15.5	15.8	24.4	31.6	37.0	34.0	26.5	21.2	19.2	15.3
T°min abs En1/10°C	-2.6	-3.6	-4.0	-0.2	2.9	8.0	13.0	12.4	10.3	2.2	-3.0	-3.2
T°mx abs En1/10°C	16.8	18.1	25.6	24.3	32.8	35.7	41.0	39.2	37.5	29.6	26.2	26.4
T°d le sol 50 cm	8.8	8.5	10.6	12.6	18.5	25.2	29.1	28.4	24.4	19.7	14.7	11.4
T°d le sol 1m 1/10°C	11.2	10.6	11.6	12.8	16.1	22.2	25.6	26.8	24.5	20.6	16.5	13.2
Hmoy en %	84	55	76	80	68	49	40	52	71	74	63	77
H moy min En%	62	54	48	57	42	22	19	24	44	46	37	55
Hmoy max En%	97	97	96	97	92	81	68	81	93	96	87	94
Evap en Mm	28	45	63	56	105	199	239	165	80	82	59	56
Vent moy 1/10 m/s	3.4	4.0	3.3	3.1	2.0	2.3	2.8	2.7	2.6	3.0	2.3	3.6
Vent max En m/s et	19	23	18	19	17	13	18	27	15	19	13	17

## Les Annexes

Date	24	06	5.6.7	26	15,31	07	13	13	18	22	08	22
Dir du max	28	20	18	34	32	02	22	22	30	27	18	21
Orage	0	1	1	1	4	0	8	7	3	2	0	0
Brouillard	0	0	1	1	1	0	0	0	1	2	0	2
Neige	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Grêle	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Gelée	8	12	8	1	0	0	0	0	0	0	2	6
Rosée	1	1	4	3	7	0	0	0	3	5	2	2
Sirocco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Année 2010

Mois Paramètres	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluie en 1/10 mm	58.2	15.0	35.4	50.6	49.2	37.8	5.3	10.9	26.5	31.4	67.6	17.8
Nombre de Jour	10j	09j	07j	04J	09J	07J	03J	06J	04J	08J	12J	07J
T°moy En 1/10°C	7.3	9.1	11.0	14.2	15.5	22.2	25.8	25.7	21.1	16.3	11.4	8.1
T°moy min En 1/10C	2.3	3.2	4.5	7.7	8.5	14.2	17.1	17.2	14.1	9.6	6.6	2.1
T°moy mX 1/10°C	12.4	15.0	17.5	20.6	22.5	30.3	34.4	34.3	28.1	23	16.1	14.2
T°min abs En1/10°C	-3.4	-3.6	-3.0	1.4	2.6	7	12.4	12.8	6.8	30	-0.6	-4.3
T°mx abs En1/10°C	20.6	29.2	26.5	27.4	30.8	38.5	41.4	39.6	35.6	33.6	21.2	24
T°d le sol 50 cm	10.4	9.8	13.5	17.1	19.9	23.4	28.1	28.4	25.3	20	14.3	11.2
T°d le sol 1m 1/10°C	11.2	11.0	13.1	16.3	19	21.6	25.5	26.7	25.1	21.5	16.4	13.5
Hmoy en %	79	70	68	71	67	59	50	51	62	65	76	69

## Les Annexes

<b>H moy min</b> En%	57	45	42	45	41	31	26	26	34	37	53	43
<b>Hmoy max</b> En%	95	92	94	95	93	88	76	79	89	89	95	90
<b>Evap en</b> Mm	48	65	73	68	95	192	233	213	117	100	65	61
<b>Vent moy</b> 1/10 m/s	3.8	3.8	3.0	3.3	3.4	3.7	2.6	3.1	3.2	2.8	4.1	3.2
<b>Vent max</b> En m/s et Date	22 01	20 18	18 04	25 22	17 30	16 10	22 05	21 13	18 24	16 13	25 30	24 01
<b>Dir du max</b>	25	21	27	28	32	15	32	22	20	27	21	20
<b>Orage</b>	0	0	0	6	3	6	5	5	5	1	0	0
<b>Brouillard</b>	1	0	2	4	1	0	0	0	0	2	0	0
<b>Neige</b>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<b>Grêle</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gelée</b>	6	6	3	0	0	0	0	0	0	0	1	9
<b>Rosée</b>	3	2	3	8	3	1	0	0	0	2	2	0
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Année 2011

<b>Mois</b> <b>Paramètres</b>	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
<b>Pluie en</b> 1/10 mm	16.8	99.9	38.1	63.9	110.1	18.4	1.0	4.7	60.2	69.2	3.8	33.5
<b>Nombre de</b> <b>Jour</b>	08j	14j	11	07j	12j	08j	01j	02J	03J	06J	05j	13j
<b>T°moy</b> En 1/10°C	7.2	5.8	9.4	13.8	16.0	21.0	26.6	26.1	22.6	15.2	11.6	7.1
<b>T°moy min</b> En 1/10C	1.2	0.6	4.3	7.0	9.2	13.6	18.3	17.4	14.9	09.3	6.6	1.8
<b>T°moy mX</b> 1/10°C	13.3	11.0	14.6	20.5	22.9	28.4	34.8	34.7	30.3	25.2	16.6	12.4
<b>T°min abs</b>	-2.8	-4.2	-1.8	-0.6	3.0	9.3	13.4	11.4	8.3	04.0	02.0	-2.0



## Les Annexes

<b>En1/10°C</b>												
<b>T°mx abs En1/10°C</b>	21.2	15.6	15.3	26.0	30.5	35.2	41.0	39.0	38.8	25.2	21.7	18.9
<b>T°d le sol 50 cm</b>	9.1	8.8	10.8	16.3	18.7	22.9	28.7	39.3	26.5	11.6		11.3
<b>T°d le sol 1m 1/10°C</b>	11.1	10.3	11.0	15.4	17.8	21.1	26.4	27.6	26.3	17.9		13.4
<b>Hmoy en %</b>	77	82	78	72	70	66	48	46	61	75	81	82
<b>H moy min En%</b>	47	57	52	45	45	38	24	21	31	49	60	59
<b>Hmoy max En%</b>	95	98	97	96	94	93	78	73	88	96	96	97
<b>Evap en Mm</b>	54	43	64	68	89	117	220	189	126	66	46	29
<b>Vent moy 1/10 m/s</b>	2.1	3.6	2.9	2.8	2.9	2.5	3.0	2.5	2.7	2.1	2.1	2.5
<b>Vent max En m/s et Date</b>	29 12	20 26	21 15	22 29	21 02	19 22	21 19	21 31	21 03	16 09	17 27	19 22
<b>Dir du max</b>	34	36	27	24	26	27	18	30	16	30	32	32
<b>Orage</b>	0	0	1	2	5	6	6	04	02	02	01	0
<b>Brouillard</b>	2	3	1	2	0	0	0	00	02	02	01	1
<b>Neige</b>	1	2	2	0	0	0	0	00	00	00	00	1
<b>Grêle</b>	1	0	0	0	0	0	0	00	00	00	00	0
<b>Gelée</b>	11	09	3	0	0	0	0	00	00	00	00	8
<b>Rosée</b>	2	0	3	3	4	0	0	00	01	06	00	2
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	0	1	00	00	00	00	0

**Les Annexes**

**Année 2012**

<b>Mois Paramètres</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>AVR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUIN</b>	<b>JUIL</b>	<b>AOUT</b>	<b>SEPT</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>
<b>Pluie en 1/10 mm</b>	32.8	51.0	37.2	32.6	44.9	4.4	12.2	14.3	29.3	20.5	12.5	4.4
<b>Nombre de Jour</b>	10j	14j	8j	12j	8j	02j	06j	5j	10j	07j	07J	04j
<b>T°moy En 1/10°C</b>	10.6	3.4	9.8	13.0	17.7	25.5	27.5	27.6	22.1	18.6	13.0	7.2
<b>T°moy min En 1/10C</b>	0.2	-1.4	3.5	6.7	9.6	16.5	18.8	18.5	14.8	12.1	6.5	0.9
<b>T°moy mX 1/10°C</b>	10.6	8.1	16.1	19.7	25.7	34.5	36.3	36.6	29.3	25.0	19.4	13.6
<b>T°min abs En1/10°C</b>	-5.3	-8.3	-2.4	1.5	5.0	10.4	11.2	14.5	09.0	3.8	0.1	-4.1
<b>T°mx abs En1/10°C</b>	16.5	15.0	22.4	29.6	32.7	38.9	42.0	41.0	35.5	32.4	28.2	22.8
<b>T°d le sol 50 cm</b>	6.7	6.9	11.6	14.7	20.7	26.7	29.7	30.3	24.7	22.9	17.1	11.0
<b>T°d le sol 1m 1/10°C</b>	10.7	9.1	11.5	14.2	19.1	23.7	27.4	28.6	25.0	23.3	18.8	14.8
<b>Hmoy en %</b>	55	82	47	73	63	47	48	42	58	65	74	78
<b>H moy min En%</b>	55	60	47	44	36	25	26	22	30	37	46	51
<b>Hmoy max En%</b>	98	97	65	95	92	74	74	65	83	90	96	97
<b>Evap en Mm</b>	29	34	66	63	102	205	245	267	130	87	058	50.2
<b>Vent moy 1/10 m/s</b>	2.8	3.1	2.6	3.2	2.6	2.3	2.6	2.5	2.5	2.1	2.3	2.3
<b>Vent max En m/s et</b>	25	18	17	22	17	15	21	21	21	16	15	15

## Les Annexes

<b>Date</b>	6	22	10	4	2	03	09	16	03	26	13	02
<b>Dir du max</b>	36	35	32	30	30	36	30	27	18	24	14	36
<b>Orage</b>	0	0	1	4	7	6	7	9	6	3	0	0
<b>Brouillard</b>	2	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Neige</b>	1	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Grêle</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>Gelée</b>	16	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	10
<b>Rosée</b>	1	0	0	3	3	0	0	0	1	1	3	3
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Année 2013

<b>Mois</b>	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
<b>Paramètres</b>												
<b>Pluie en 1/10 mm</b>	31.6	38.3	23.7	29.3	20.4	3.1	42.8	55.0	49.3	22.1	53.1	18.1
<b>Nombre de Jour</b>	12j	13j	11j	09j	06j	02j	06j	07j	05j	05j	10j	12j
<b>T°moy En 1/10°C</b>	6.3	5.7	11.7	14.7	17.1	21.2	26.0	24.4	21.7	20.4	10.1	6.3
<b>T°moy min En 1/10C</b>	1.1	0.4	5.6	7.7	9.7	13.2	18.0	16.8	15.6	13.0	5.4	0.9
<b>T°moy mX 1/10°C</b>	11.5	11.0	17.7	21.8	24.5	29.2	33.9	31.9	27.8	27.7	14.9	11.7
<b>T°min abs En1/10°C</b>	-2.8	-6.7	-3.5	0.3	4.2	6.4	11.0	13.2	10.4	6.5	-3.2	-3.0
<b>T°mx abs En1/10°C</b>	17.9	21.1	24.5	28.5	30.5	36.6	39.6	37.5	36.0	35.0	25.5	15.4
<b>Hmoy en %</b>	78	77	68	78	63	52	57	53	65	59	80	84
<b>H moy min En%</b>	53	51	43	53	34	29	33	27	39	32	56	59
<b>Hmoy max En%</b>	96	96	93	96	90	77	82	79	89	85	97	99

## Les Annexes

<b>Evap en Mm</b>	46	46	82	104	134	178	194	190	120	139	57	37
<b>Vent moy 1/10 m/s</b>	3.9	4.0	3.6	3.8	3.3	3.3	2.7	2.9	2.3	1.7	3.1	1.9
<b>Vent max En m/s et Date</b>	26 29	19 22	19 05	23 05	18 15	25 17	21 21	22 26	15 09	14 05	20 11	26 17
<b>Dir du max</b>	36	26	24	23	24	24	24	24	08	09	24	27
<b>Orage</b>	0	0	1	0	4	02	07	7	2	4	0	0
<b>Brouillard</b>	0	0	1	0	2	00	00	0	1	1	2	5
<b>Neige</b>	2	9	2	0	0	00	00	0	0	0	0	0
<b>Grêle</b>	0	0	0	1	0	00	00	0(2)d région	0	0	0	0
<b>Gelée</b>	12	11	1	0	0	00	00	0	0	0	2	11
<b>Rosée</b>	0	0	0	0	0	00	00	0	0	1	2	3
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	00	00	0	0	0	0	0

### Année 2014

<b>Mois Paramètres</b>	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
<b>Pluie en 1/10 mm</b>	41.0	21.4	99.3	5.8	56.7	14.4	00	3.4	11.5	14.2	8.9	60.5
<b>Nombre de Jour</b>	10j	11j	18j	03J	08j	07j	00	02j	07j	04j	06j	17j
<b>T°moy En 1/10°C</b>	7.7	8.5	8.5	13.4	17.5	22.4	25.8	27.0	24.2	18.5	13.5	6.5
<b>T°moy min En 1/10C</b>	2.3	2.6	3.7	5.8	9.8	14.8	17.4	18.7	16.7	11.4	7.4	2.0
<b>T°moy mX 1/10°C</b>	13.1	14.5	13.2	20.9	25.1	30.0	34.1	35.3	31.6	25.6	19.6	11.2
<b>T°min abs En1/10°C</b>	-2.7	-1.4	-0.7	0.8	0.9	06.4	12.0	13.3	12.0	2.7	1.9	-3.1
<b>T°mx abs</b>	19.4	23.4	20.1	28.7	32.7	38.0	40.0	41.2	37.0	33.5	26.3	17.0

## Les Annexes

<b>En1/10°C</b>												
<b>Hmoy en %</b>	78	76	80	63	61	56	46	44	49	57	63	84
<b>H moy min En%</b>	53	51	57	34	33	32	23	21	24	30	38	61
<b>Hmoy max En%</b>	99	96	96	99	88	83	73	69	75	83	86	98
<b>Evap en Mm</b>	57	66	49	104	147	195	259	256	215	143	110	44
<b>Vent moy 1/10 m/s</b>	2.8	2.6	3.4	2.8	2.8	2.9	3.0	3.2	2.0	1.9	2.2	2.7
<b>Vent max En m/s et Date</b>	21 19	18 10	19 26	17 04	18 26	17 02	15 07	15 03	17 21	14 01	19 29	17 31
<b>Dir du max</b>	20	36	24	26	02	36	24	04	26	35	23	36
<b>Orage</b>	0	0	2	1	4	5	02	04	7	4	0	0
<b>Brouillard</b>	1	1	2	2	0	0	00	0	0	1	1	2
<b>Neige</b>	2	1	2	0	0	0	00	0	0	0	0	3
<b>Grêle</b>	0	0	1	1	0	0	00	0	0	0	0	0
<b>elée</b>	4	5	2	0	0	0	00	0	0	0	0	11
<b>Rosée</b>	1	4	2	0	0	1	00	0	0	1	0	4
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0

### Année 2015

<b>Mois Paramètres</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>AVR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUIN</b>	<b>JUIL</b>	<b>AOUT</b>	<b>SEPT</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEC</b>
<b>Pluie en 1/10 mm</b>	46.3	51.9	49.9	3.1	21.4	7.9	27.0	67.4	8.4	47.2	42.2	0.2
<b>Nombre de Jour</b>	13j	15j	10j	02j	05j	04j	04j	10j	06j	09j	07j	01j
<b>T°moy En 1/10°C</b>	5.8	5.6	9.3	14.2	19.1	22.2	26.2	26.0	22.3	17.4	11.1	7.8

## Les Annexes

<b>T°moy min En 1/10C</b>	0.6	1.4	3.5	6.6	11.1	14.5	17.5	18.4	15.9	11.8	5.8	0.5
<b>T°moy mX 1/10°C</b>	11.1	9.7	15.1	21.8	27.0	30.0	34.8	33.6	28.7	23.1	16.4	15.1
<b>T°min abs En1/10°C</b>	-3.5	-5.6	-1.5	-4.0	4.5	9.0	12.4	14.4	9.0	5.4	0.7	-2.8
<b>T°mx abs En1/10°C</b>	19.6	15.7	25.1	29.9	37.0	35.6	39.3	40.2	37.0	31.1	21.5	19.2
<b>Hmoy en %</b>	81	80	71	60	54	52	46	51	59	68	77	79
<b>H moy min En%</b>	57	57	43	31	29	26	22	23	33	43	53	50
<b>Hmoy max En%</b>	97	96	79	88	82	77	72	80	83	89	95	97
<b>Evap en Mm</b>	49.4	41.4	86	114.3	189.1	250.4	259.5	208.4	162.2	104.2	51.0	44.9
<b>Vent moy 1/10 m/s</b>	2.7	3.6	2.4	2.3	3.2	2.9	2.5	2.2	2.2	2.7	2.5	1.2
<b>Vent max En m/s et Date</b>	21 31	16 24	16 28	13 28	14 15	18 23	15 22	26 24	12 23	15 22	17 26	09 13
<b>Dir du max</b>	26	32	34	02	03	26	28	28	22	32	32	30
<b>Orage</b>	0	0	0	0	2	6	6	13	3	4	0	0
<b>Brouillard</b>	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3	6
<b>Neige</b>	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Grêle</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gelée</b>	10	9	3	1	0	0	0	0	0	0	0	18
<b>Rosée</b>	1	0	1	3	2	0	0	1	0	1	6	4
<b>Sirocco</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Les Annexes

### Année 2016

Mois Paramètres	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluie en 1/10 mm	17.1	5.8	28.0	38.1	36.4	4.8	0.0	1.2	18.7	3.5	30.0	21.4
Nombre de Jour	05j	7j	09j	06j	06j	03j	0j	01j	07j	04j	06j	11j
T°moy En 1/10°C	8.2	9.3	10.0	15.8	18.6	23.1	25.6	24.8	20.7	19.4	11.9	8.7
T°moy min En 1/10C	1.8	3.0	3.7	9.1	10.9	15.2	16.9	16.4	13.8	12.6	6.0	4.5
T°moy mX 1/10°C	14.8	15.5	16.2	22.6	26.2	23.1	34.3	32.4	27.6	26.2	17.8	13.0
T°min abs En1/10°C	-1.8	-2.1	-1.6	1.6	0.8	7.2	7.5	10.7	8.5	3.8	0.1	-1.8
T°mx abs En1/10°C	22.5	26.5	28.1	31.0	39.5	38.9	40.4	38.2	34.0	32.8	25.1	16.5
Hmoy en %	74	70	66	63	58	47	39	49	64	70	70	82
H moy min En%	48	42	39	38	30	23	18	25	35	44	43	62
Hmoy max En%	93	92	91	89	85	75	64	74	88	92	91	95
Evap en Mm	50.3	69.7	101.9	115.2	170.5	195.6	245.2	214.8	131.7	132.8	68.0	43.6
Vent moy 1/10 m/s	3.1	4.0	4.1	3.7	3.5	3.8	3.3	3.4	4.0	3.0	2.9	3.0
Vent max En m/s et Date	22 17	22 27	19 01	17 06	24 27	25 12	29 05	15 05	16 15	24 13	22 19	18 19
Dir du max	32	23	32	06	25	32	30	04	18	21	23	16
Orage	0	0	1	0	5	3	0	1	3	3	1	0
Brouillard	4	3	2	0	3	0	0	0	1	3	5	3

## Les Annexes

---

<b>Neige</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Grêle</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Gelée</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Rosée</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Sirocco</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



Annexe 03 : les données hydrochimiques

	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CA <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	D.H.T.
P01	256	118	140	14	88	46	75	2,0	41
P02	207	220	45	3	70	52	44	1,0	39
P03	354	72	75	0	100	22	64	1,0	34
P04	256	284	275	21	158	52	144	2,0	61
P05	201	919	445	134	380	74	276	20,0	125
P06	244	66	180	23	78	37	68	1,0	35
P07	183	490	165	2	154	61	110	2,0	64
P08	183	170	290	44	128	62	100	1,0	57
P09	122	348	85	40	93	52	58	1,0	45
P10	293	460	265	2	166	68	160	2,0	69
P11	293	252	245	75	144	55	155	4,0	59
P12	220	68	110	50	78	13	82	2,0	25
P13	171	188	145	41	96	58	60	1,0	48
P14	171	256	275	25	130	71	96	1,0	62
P15	262	178	80	0	84	48	44	1,0	41
P16	232	38	70	28	60	36	30	1,0	30
P17	262	178	85	0	84	46	45	1,0	40
P18	134	168	85	0	68	24	64	1,0	27
P19	134	168	85	0	86	28	42	1,0	33
P20	415	124	150	38	132	62	78	1,0	58
P21	293	38	25	7	60	31	20	1,0	28
P22	256	38	25	17	60	31	20	1,0	28
P23	256	38	35	9	52	31	26	1,0	26
P24	293	230	200	26	120	60	128	1,0	55
P25	1061	12	215	2	174	100	150	24,0	85
P26	207	240	225	75	130	56	90	1,0	55
P27	171	178	175	5	98	59	55	1,0	49
P28	314	152	135	17	120	53	55	1,0	52
P29	244	128	135	17	82	54	58	2,0	43
P30	244	180	200	26	104	34	125	2,0	40
P31	232	388	220	39	132	43	165	2,0	51
P32	232	800	860	1	490	100	288	2,0	163
P33	281	378	200	49	144	72	115	1,0	66
P34	171	278	145	36	96	50	100	1,0	45
P35	561	174	130	20	152	60	84	2,0	63
P36	146	258	265	75	136	46	158	2,0	53
P37	122	232	75	43	72	41	53	1,0	35
P38	159	380	225	84	154	47	150	2,0	58
P39	116	620	175	124	196	74	106	4,0	79
P40	159	180	300	68	142	66	110	2,0	63
P41	244	90	35	0	62	37	23	1,0	31

## Les Annexes

P42	226	240	80	0	92	50	50	1,0	44
P43	366	428	265	0	158	83	185	3,0	74
P44	183	220	245	67	100	29	164	1,0	37
P45	262	330	135	0	134	61	85	1,0	59
P46	122	220	215	65	128	48	96	1,0	52
P47	207	230	245	42	132	55	125	2,0	56
P48	195	120	200	42	126	42	78	1,0	49
P49	244	148	120	6	100	43	52	1,0	43
P50	232	156	75	11	88	50	42	1,0	43
P51	293	184	145	0	128	31	72	1,0	45
P52	293	255	220	105	166	64	112	1,0	68
P53	293	268	125	37	124	62	68	1	56
P54	207	68	35	26	68	19	24	1	25
P55	232	70	85	35	78	23	52	1	29
P56	256	122	45	42	76	31	36	1	32
P57	232	100	45	49	76	31	38	1	32
P58	232	48	85	43	78	23	54	1	29
P59	244	148	40	2	70	42	32	1	35
P60	281	88	35	0	68	41	25	1	34
P61	220	488	355	19	168	60	270	2,0	67
P01	268,4	350	248,5	4,8	196,4	74,16	61,1	0,538	80
P02	292,8	165	202,35	8,2	164,33	26,16	81,42	0,722	52
P03	164,7	150	92,3	43	156,64	25,92	59,9	0,488	50
P04	292,8	30	35,5	3,6	72,15	16,68	32,89	0,212	25
P05	329,4	175	234,3	87	152,31	23,76	118,11	1,937	48
P06	329,4	175	230,75	80	160,32	47,76	81,65	0,863	60
P07	292,8	280	284	78	208,42	38,04	120,75	2,044	68
P08	305	260	273,35	86	192,39	38,16	104,19	1,866	64
P09	298,9	250	248,5	82	184,37	40,56	96,01	0,9114	63
P10	298,9	240	248,5	84	184,37	45,36	94,58	0,898	65
P11	183	195	284	78	156,32	21,36	140,07	2,655	48
P12	1842,2	120	88,75	65	192,39	64,56	86,03	0,614	75
P13	195,2	100	124,25	85,5	112,23	11,76	50,37	0,445	33
P14	4,5	45	53,25	72,5	96,2	4,68	40,02	0,435	26

## RESUME

Le principal objectif de cette étude est un diagnostic de la qualité d'eaux souterraines de F'kirina et l'impact du changement climatiques sur eux. L'analyse de la qualité physico-chimique apportée sur des échantillons prélevés de forages et de puits de la nappe aquifère exploitée dans la région, et utilisées pour la consommation humaine. Les résultats obtenus ont montré que l'eau est dégradée. Ceci concerne plus particulièrement la conductivité (minéralisation), la dureté totale. L'étude des paramètres de pollution a mis en évidence qu'il y avait un excès dans la concentration de la majorité des éléments chimiques dans l'espace et dans le temps. Cela peut probablement être dû à la proximité de terres agricoles ainsi que l'effet de fluctuations climatiques qui a été le responsable de changement de facies de ces eaux au cours de dernières trentaines années. À cet effet, l'évaluation continue de la qualité de l'eau est impérative et un traitement pour réduire la détérioration de la qualité des eaux et éliminer les problèmes de santé peut s'avérer nécessaire.

**Mots clés :** eaux souterraines, changements climatiques, parametres physico-chimique, pollution, F'kirina.

## ملخص

الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تشخيص نوعية المياه الجوفية لفكرينة واثّر تغيرات المناخ عليها, وعليه تم إجراء التحاليل الفيزيو- كيميائية على عينات من الماء مأخوذة من الآبار والآبار الارتوازية المستخدمة في استغلال المياه الجوفية في المنطقة, والمستعملة من اجل الاستهلاك البشري. النتائج المتحصل عليها أظهرت أن نوعية هذه المياه متدهورة وذلك يتعلق خصوصا بقابلية التوصيل, التمعدن, النقاوة الإجمالية للمياه. دراسة معايير التلوث أبرزت أن هناك زيادة في تركيز معظم العناصر الكيميائية بتغير الزمان والمكان. وهذا ربما يكون بسبب قربة الأراضي الزراعية وكذلك تأثير التقلبات المناخية والتي كانت مسئولة عن تغير شكل ونمط هذه المياه خلال ثلاثين سنة الأخيرة, وعلى هذا الأساس, فان تقييم ومراقبة نوعية هذه المياه باستمرار أمر حتمي و لابد منه وكذا معالجتها للحد من تدهور نوعيتها وبالتالي ضرورة القضاء على المشاكل الصحية المختلفة.

الكلمات الأساسية: المياه الجوفية, وتغيرات المناخ, والمعايير الفيزيو-كيميائية, التلوث, فكرينة.

## ABSTRACT

The main objective of this study is a diagnosis of the groundwater quality of F'kirina and the impact of climate change on them. Physico-chemical quality analysis carried out on samples taken from boreholes and wells in the aquifer exploited in the region; and used for human consumption. The results have shown that water is degraded. This relates more particularly to conductivity (mineralization), total hardness. The study of pollution parameters revealed that there was an excess in the concentration of the majority of chemical element in space and time. This can probably be due to the proximity of farmland and the effect of climatic fluctuations which has been responsible for the change of facies of these waters over the past thirty years. To this end, continuous water quality assessment is imperative and treatment to reduce water quality deterioration and eliminate health problems may be necessary.

**Keywords:** groundwater, climate change, physico-chemical parameters, pollution, F'kirina.