

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie Civil

**Mémoire de fin d'études**

Présenté par :

**TALEB Mahmoud**

**BADAoui Said**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

**Filière : HYDRAULIQUE**

**Option : RESSOURCES HYDRAULIQUES**

**Thème :**

**Etude qualitative des eaux souterraines de la région  
de Bouira**

Soutenue le : 19/10/2019

**Devant le jury composé de :**

Mr : Ghernaout Redouane	MCA	UAMOB	Président
Mr : Metaiche Mehdi	MCA	UAMOB	Encadreur
Mr : Yahiaoui Abdelhalime	MCA	UAMOB	Examinateur
Mme : Rezig Amina	MAA	UAMOB	Examinateur

**Année Universitaire 2018/2019**

# Remerciements

*Nous remercions tout d'abord le grand DIEU qui nous a donné la foi et le courage d'accomplir notre cursus et d'achever ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur, Monsieur Dr : Metaiche Mahdi, pour sa patience, et surtout pour sa confiance, ses remarques et ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance.*

*Qu'il trouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.*

*Nous voudrions également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.*

*Nous tenons aussi à remercier les responsables de laboratoire de l'Algérienne des eaux (ADE) de Bouira pour leurs aides et disponibilité.*

*Nous tenons à remercier vivement tous ceux qui nous sont apportés un soutien pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude, particulièrement nos familles.*

*Nos vifs remerciements à tous nos enseignants, en signe d'un grand respect et d'un profond amour !*

*Sans oublier nos amis qui nous aiment et les membres de nos familles qui nous sont toujours encouragé pour atteindre nos objectifs*

*Merci à vous tous*

# Dédicace

*A ceux qui se sont sacrifiés tant à mon égard pour que  
je réussisse.*

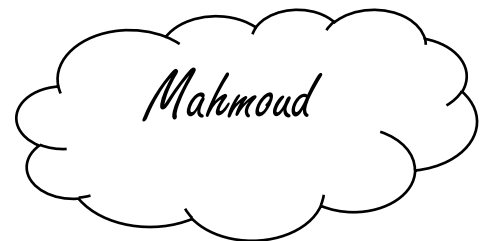
*A ceux à qui je dois énormément et que je ne  
remercierais jamais assez.*

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de  
reconnaissance : à mes chers parents. A toute ma  
famille.*

*Je le dédie aussi à tous les professeurs qui ont  
contribués à ma formation.*

*A toutes les meilleures personnes qui m'aiment et qui  
m'aident dans ma vie.*

*A tous mes amis et à toute la promotion de  
l'hydraulique.*



*Mahmoud*

# Dédicace

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman et ma femme que j'adore.*

*A mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.*

*Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur.*

*A toute la promotion de l'hydraulique.*



## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة جودة المياه الجوفية (صلاحية الشرب، الزراعة) لولاية البويرة. تحقيقا لهذه الغاية نحن نقوم استنادا على أساس القياسات والتحليلات الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية لهذه المنطقة التي قامت بها مصالح شركة الجزائرية للمياه والتي تسنى لنا من خلالها معرفة خصائص هذه المياه من أجل تحديد مدى صلاحيتها لاستخدامها للشرب والسقي، مع تحديد أصلها

أجريت هذه الدراسة من خلال فحص نتائج التحاليل الكيميائية لعينات المياه المأخوذة (35 بئر لعام 2016) باستخدام الرسوم البيانية الكيميائية (بايير، شولر، ستيف ويلكوكس) باستعمال برنامج d'Hydrogéochimie (Diagrammes) d'Avignon و تطبيق التحليلات الإحصائية بواسطة طريقة تحليل المكونات الرئيسية باستخدام البرنامج الإحصائي XLSTAT 2016

**الكلمات المفتاحية:** المياه الجوفية، الجودة، البويرة، العناصر الرئيسية

## Abstract

The objective of this work is study of the quality of the differential underground waters of the region of BOUIRA. To this end, we are based on measurements to the physic-chemical analyzed of groundwater in this region, carried out by the service of the Algerian water company (ADE). This made it possible to characterize the chemistry of this groundwater for use in the supply of drinking and irrigation, with their origin.

This study carried out by introspecting the results of the chemical analyzes of the water samples taken (35 drilling during the year of 2016) using chemical diagrams (piper, scholler, Stiff, Wilcox) using Avignon Hydrogeochemistry software (Diagrammes) and the application of statistical analyses by the Principal Component Analyses (PCA) method, using the XLSTAT 2016 statistical software.

**Key words:** Groundwater, quality, Bouira, Major elements.

## Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de la qualité des différentes eaux souterraines de la région de BOUIRA. A cet effet, nous sommes basés sur des mesures et des analyses physico-chimiques des eaux souterraines de cette région, effectuées par les services de la société de l'Algérienne des eaux (ADE). Ce qui nous a permis de caractériser le chimisme de ces eaux souterraines en vue de leur utilisation dans l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation, avec leur origine.

Cette étude a été réalisée par l'introspection des résultats des analyses chimiques des échantillons d'eau prélevés (35 forages durant l'année 2016), en utilisant les diagrammes chimiques (piper, Schoeller, Stiff, wilcox) à l'aide de logiciel d'Hydrogéochimie d'Avignon (DIAGRAMMES) et l'application des analyses statistiques par la méthodes de l'Analyse en Composante Principale (ACP), à l'aide du logiciel statistique XLSTAT 2016.

**Mots clé :** Eaux souterraines, qualité, Bouira, éléments majeurs.

## Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Recherche bibliographique sur les caractéristiques des eaux souterraines</b>	
I.1 Introduction .....	3
I.2 Propriétés de l'eau .....	3
I.3 Les sources naturelles de l'eau .....	4
I.3.1 Les eaux de pluie .....	4
I.3.2 Les eaux de mer .....	4
I.3.3 Les eaux de surface .....	4
I.3.4 Les eaux souterraines .....	4
I.3.4.1 Les nappes de l'eau .....	5
I.3.4.2 Les différents types de nappes .....	5
I.3.4.2.1 La nappe profonde .....	5
I.3.4.2.2 La nappe phréatique.....	6
I.3.4.2.3 La nappe alluviale.....	6
I.3.4.2.4 La nappe karstique.....	6
I.4 Cycle de l'eau .....	7
I.5 Les eaux d'approvisionnement.....	8
I.5.1 Eaux de surface .....	8
I.5.2 Eaux souterraines .....	9
I.6 Principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface .....	9
I.7 La circulation de l'eau dans le sous –sol .....	10
I.7.1 La zone non saturée (ZNS) .....	10
I.7.2 La frange capillaire .....	10
I.7.3 La zone saturée (ZS) .....	10
I.8 Les origines des eaux souterraines .....	11
I.8.1 Eaux météorique .....	11
I.8.2 Eaux connées .....	11
I.8.3 Eaux juvéniles.....	11
I.9 Constituants des eaux souterraines .....	11
I.9.1 Ions majeurs .....	12
I.9.2 Ions mineurs.....	12

I.9.3	Eléments traces et gaz dissous .....	12
I.10	La qualité de l'eau de consommation .....	12
I.10.1	La qualité des eaux souterraines.....	13
I.10.1.1	Qualité physico-chimique .....	13
I.10.1.1.1	La température .....	13
I.10.1.1.2	Le potentiel d'hydrogène (pH) .....	13
I.10.1.1.3	La turbidité.....	13
I.10.1.1.4	La conductivité électrique.....	14
I.10.1.1.5	Les matières en suspensions (MES) .....	14
I.10.1.1.6	L'ion de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ).....	14
I.10.1.1.7	L'ion de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) .....	14
I.10.1.1.8	L'ion de sodium ( $\text{Na}^+$ ).....	14
I.10.1.1.9	L'ion de potassium ( $\text{K}^+$ ) .....	15
I.10.1.1.10	L'ion de fer (Fe).....	15
I.10.1.1.11	Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) .....	15
I.10.1.1.12	Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	15
I.10.1.1.13	Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) .....	15
I.10.1.1.14	Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) .....	16
I.10.1.1.15	Le fluor (F).....	16
I.10.1.2	Qualité bactériologique .....	16
I.10.1.2.1	Les Germes totaux .....	16
I.10.1.2.2	Les Coliformes totaux.....	16
I.10.1.2.3	Les Coliformes fécaux ( <i>Escherichia coli</i> ).....	17
I.10.1.2.4	Les Streptocoques fécaux .....	17
I.10.1.2.5	Les Clostridium sulfito-réducteurs .....	17
I.11	Normes de la qualité de l'eau .....	17
I.12	Les nappes et l'eau souterraine.....	19
I.12.1	Concept d'aquifère .....	19
I.12.1.1	Les aquifères de roche sédimentaires .....	19
I.12.1.2	Les aquifères alluviaux .....	19
I.12.1.3	Les aquifères de roche cristallines et volcaniques .....	19
I.12.2	Les types d'aquifère .....	20
I.12.2.1	Nappe libre.....	20

I.12.2.2	Nappe captive.....	20
I.12.2.3	Nappe semi -captive ou à drainage .....	20
I.13	La pollution des eaux souterraines .....	20
I.13.1	Les différents critères de pollution des eaux souterraines .....	20
I.13.1.1	Selon l'origine de pollution .....	21
I.13.1.1.1	Pollution domestique .....	21
I.13.1.1.2	Pollution industriel.....	21
I.13.1.1.3	Pollution agricole.....	21
I.13.1.2	Selon la nature de pollution .....	22
I.13.1.2.1	Microbiologique .....	22
I.14	Transfert des polluants dans les eaux souterraines .....	23
I.15	Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines :.....	24
I.16	Vulnérabilité des eaux souterraines .....	25
I.17	Datation des eaux souterraines .....	25
I.18	Traitement des eaux souterraines .....	26
I.19	Critères de choix pour l'implantation des eaux souterraines.....	27
I.19.1	Le puits .....	27
I.19.2	Types de puits.....	27
I.19.2.1	Puits ordinaires.....	27
I.19.2.2	Puits de surface .....	27
I.19.2.3	Puits foncés ou puits tubulaire .....	27
I.19.2.4	Puits artésien .....	27
I.19.2.5	Puits d'infiltration .....	27
I.20	Conclusion.....	28

## **Chapitre II : Présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la région de Bouira**

### **Première partie : présentation hydrologiques de la zone d'étude**

II.1	Introduction :.....	29
II.2	Présentation de la wilaya de Bouira : .....	29
II.2.1	Localisation géographique de la wilaya de Bouira : .....	29
II.2.2	Présentation administratif de la wilaya de Bouira :.....	29
II.3	Contexte géographies :.....	30
II.3.1	Le relief : .....	31
II.3.2	Le réseau Hydrographie : .....	31

II.4	Le contexte climatologique :	32
II.4.1	Les précipitations :	33
II.4.1.1	Evaluation de la lame d'eau précipitée :	35
II.4.2	La Température :	36
II.4.3	Le vent :	37
II.4.4	Humidité relative :	38
II.4.5	Insolation :	39
II.4.6	Evaporation :	39
II.4.6.1	Relation évaporation-température :	40
II.4.6.2	Etude de l'évapotranspiration :	40
II.4.6.2.1	Evaluation de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) :	41
II.4.6.2.2	Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :	43
II.4.7	Estimation de la lame ruisselée (R) :	44
II.4.8	Calcul de l'infiltration efficace :	45
II.4.9	Régime climatique et identification du climat :	46
II.4.9.1	Indice d'aridité de la FAO :	46
II.4.9.2	Indice annuel d'aridité de De Martonne :	46
II.4.9.3	Diagramme pluviométrique (Ombrothermique) :	47
II.5	Contexte socio-économique :	48
II.5.1	Population :	48
II.5.2	Activités agricole :	48
II.5.3	Activités industrielles :	48
II.5.4	Potentialités et activistes touristiques :	49
<b>Deuxième partie : présentation hydrogéologiques de la région d'études</b>		
II.6	Introduction :	50
II.7	Contexte géologique :	50
II.7.1	Contexte géologique régional :	50
II.7.1.1	Domaine tellien :	50
II.7.1.1.1	Domaine interne :	51
II.7.1.1.2	Domaine des Flyschs :	51
II.7.1.1.3	Domaine externe :	52
II.7.1.2	Les hauts plateaux et les hautes plaines :	52
II.7.1.3	L'Atlas Saharien :	52

II.7.1.4	La plateforme Saharienne : .....	52
II.7.2	Cadre géologiques local : .....	52
II.7.2.1	Les flyschs du flanc du Sud du Djurdjura : .....	53
II.7.2.2	Le Miocène : .....	53
II.7.2.3	Le Quaternaire : .....	53
II.7.3	Lithostratigraphie : .....	54
II.7.3.1	Le Quaternaire : .....	54
II.7.3.2	Le Miocène post-nappe : .....	54
II.7.3.2.1	Le Crétacé : .....	54
II.7.3.2.2	Le Jurassique : .....	54
II.7.3.2.3	Le Trias : .....	54
II.7.4	Tectonique : .....	55
II.7.4.1	Formations autochtones et parautochtones : .....	55
II.7.4.1.1	Miocène poste-nappes : .....	55
II.7.4.1.2	Crétacé supérieur (Paléocène à Cénomaniens) : .....	55
II.7.4.1.3	Crétacé inférieur (Néocomien à Albien) : .....	55
II.7.4.2	Formations allochtones : .....	55
II.7.4.2.1	Nappe épitellienne : .....	55
II.7.4.2.2	Nappe sous numide : .....	55
II.7.4.2.3	Nappe Numidienne : .....	55
II.7.4.2.4	Nappe du flysch : .....	55
II.8	Carte piézométrique 2011 : .....	57
II.9	Conclusion : .....	58

### **Chapitre III : Moyens, résultats et discussions**

III.1	Introduction : .....	59
III.2	Moyens et méthode d'analyse : .....	60
III.3	Présentation de logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.) (diagrammes): .....	60
III.3.1	Diagramme de Piper : .....	60
III.3.2	Diagrammes d'équivalence de charge : .....	61
III.3.3	Diagramme de Schoeller Berkaloff : .....	61
III.3.4	Diagramme de Stabler –Collins : .....	61
III.3.5	Diagramme circulaire (camembert) : .....	61
III.3.6	Diagramme de Stiff : .....	61

III.3.7	Diagramme de Richards ou Riverside ou Wilcox	62
III.4	Présentation de logiciel XLSTAT	62
III.5	Résultats et discussions	63
III.5.1	Paramètres physico – chimique (année 2016)	63
III.5.1.1	Paramètres physiques	63
III.5.1.2	Paramètres chimiques	64
III.6	Vérification de la balance ionique	67
III.7	Evaluation de la qualité des eaux des forages pour la potabilité	68
III.7.1	Paramètres physiques	68
III.7.1.1	Température(T°)	68
III.7.1.2	Potentiel d'hydrogène (pH)	68
III.7.1.3	Conductivité électrique (CE)	69
III.7.1.4	La dureté (TH)	70
III.7.2	Paramètres chimiques	71
III.7.2.1	Cations	71
III.7.2.1.1	Calcium	71
III.7.2.1.2	Magnésium	72
III.7.2.1.3	Sodium	73
III.7.2.1.4	Potassium	73
III.7.2.2	Anion	74
III.7.2.2.1	Bicarbonate	74
III.7.2.2.2	Chlorure	75
III.7.2.2.3	Sulfate	76
III.7.2.2.4	Nitrate	77
III.8	Classification chimiques des eaux souterraines (eaux de Forages)	78
III.8.1	Classification des eaux souterraines selon diagramme de PIPER	78
III.8.2	Classification des eaux souterraines selon diagramme de Schoeller-Berkaloff	79
III.8.3	Classification des eaux souterraines selon diagramme de Stiff	83
III.8.4	Classification des eaux souterraines selon diagramme de de Stabler (collins)	85
III.9	Aptitude des eaux souterraines à l'irrigation	86
III.9.1	Conductivité électrique : (mesuré à 20°C)	86
III.9.2	Conductivité électrique : (calculé avec le logiciel Diagramme à 20°C)	86
III.9.3	Diagramme de Richards ou Riverside (taux d'absorption du sodium SAR)	87

III.9.3.1	Diagramme de SAR :	88
III.9.3.2	Diagramme de SAR :	89
III.9.4	Diagramme de Wilcox (Pourcentage de sodium Na%) :	90
III.9.5	Calcul des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole :	93
III.9.5.1	Indice de perméabilité (PI) :	93
III.9.5.2	Chlorure :	94
III.9.5.3	Nitrate :	94
III.9.5.4	Magnesium Hazard (MH) (Szaboles and Darab 1964):	95
III.9.5.5	Kelly's ratio (KR) (kelly 1946) :	96
III.9.5.6	Carbonate de sodium résiduel (RSC) :	97
III.9.5.7	Pourcentage d'échange de sodium (ESP) :	98
III.9.5.8	Salinité potentielle du sol (SP) :	98
III.9.5.9	L'indice d'échange de base (i.e.b) :	99
III.10	Étude des rapports caractéristiques :	101
III.10.1	TDS :	101
III.10.2	Rapport $Cl^- / \Sigma$ anions :	102
III.10.3	Rapport $HCO_3^- / \Sigma$ anions :	103
III.10.4	Rapport $Mg^{2+} / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ :	104
III.10.5	Rapport $Ca^{2+} / (Ca^{2+} + SO_4^{2-})$ :	105
III.10.6	Rapport $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / (HCO_3^-)$ :	107
III.10.7	Rapport $Na^+ / K^+$ :	109
III.10.8	Rapport $(Na^+ + K^+ - Cl^-) / (Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{2+})$ :	110
III.10.9	Rapport $Na^+ / (Na^+ / Cl^-)$ :	111
III.10.10	Rapport $(SO_4^{2-} + HCO_3^-) / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ :	113
III.10.11	Rapport $Ca^{2+} / Mg^{2+}$ :	113
III.10.12	Rapport $Ca^{2+} / SO_4^{2-}$ :	114
III.10.13	Rapport $Na / Cl^-$ :	114
III.11	Calcul des indices de saturation (degré de saturation) des différentes roches IS : ...	115
III.12	Etude statistique des données hydro- chimiques :	118
III.12.1	Statistique descriptive :	118
III.12.1.1	Le minimum et le maximum :	118
III.12.1.2	La moyenne arithmétique :	118
III.12.1.3	L'écart-type :	118

III.12.1.4	Le coefficient de variation (CV) : .....	118
III.12.2	Analyse de la matrice de corrélation : .....	119
III.12.3	Analyse en composantes principales (ACP) : .....	120
III.12.4	Principe de l'ACP : .....	120
III.12.5	Application de l'ACP : .....	120
III.12.6	Etude des valeurs propres : .....	120
III.12.7	Etude des variables : .....	121
III.12.8	Cercles de corrélation .....	121
III.13	Aptitude des eaux des années (2014 2015 2017 2018) à l'irrigation : .....	122
III.13.1	Taux d'Absorption du Sodium (SAR) : .....	122
III.13.2	Pourcentage de sodium : (%Na) : .....	123
III.13.3	Salinité Potentielle (SP) : .....	124
III.13.4	Kelly's ratio (KR) : .....	124
III.13.5	Indice de perméabilité PI : .....	125
III.13.6	Magnesium hazard : .....	125
III.13.7	Carbonate de sodium résiduel (RSC) : .....	126
III.13.8	L'indice d'échange de base (i.e.b) : .....	126
III.14	Conclusion : .....	129
	<b>Conclusion générale</b> : .....	131
	Recommandations : .....	133
	Références bibliographiques : .....	135
	Annexes : .....	143

## Liste des Figures :

### Chapitre I :

Figure.I.1 : Présentation des eaux souterraines (RAMSAR, 2010). .....	5
Figure I.2: Les différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012). .....	7
Figure I.3 : Cycle de l'eau (CIE, 2013). .....	8
Figure I.4: Circulation de l'eau dans le sous-sol.....	11
Figure I.5 : Différentes sources de pollution pouvant affecter les eaux souterraines. ....	22
Figure I.6 : schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique Frioua,2014) .....	24
Figure I.7 : Ages des eaux souterraines et temps de résidence (d'après Kazemi et al., 2006). 26	

### Chapitre II :

Figure II.1 : Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira (ANIRF 2013)29	
Figure II.2: Situation géographique de Bouira et des bassins versants (1, 2, 3), (source ANRH de Blida) .....	30
Figure 3 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants (Source : ANRH de Blida). .....	32
Figure II.4 : Histogramme des précipitations mensuelles pour la période 1970-2009.....	35
Figure II.5 : Répartition mensuelle des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales (station de Bouira) .....	37
Figure II.6 : Répartition mensuelle de vent, max et moy (station de Bouira).....	38
Figure II.7 : Humidité relative pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira) 38	
Figure II.8 : Evaporation pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira) .....	39
Figure II.9 : Evolution de l'évaporation en fonction de la température. ....	40
Figure II.10 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne. ....	47
Figure II.11 : Diagramme Ombrothermique de la région de Bouira.....	48
Figure II.12 : Carte structurale schématique de la chaîne des maghrébines montrant la disposition de la zone externe et la zone interne dans la grande Kabylie. (Durand Delga et al) .....	51
Figure II.13 : coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine Tellien (Durand Delga et al, 1969 ; modifiée par Ait, 1994) .....	52
Figure II.14 : Localisation des points d'eau dans la région de Bouir.....	56
Figure II.15 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau D'El Asnam (Mai 2011). .....	57

### Chapitre III :

Figure III.1 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie.....	62
Figure III.2: Variation de la température (°C) des forages étudiés .....	68
Figure III.3: Variation du pH des forages étudiés.....	69
Figure III.4: Variation de la conductivité des forages étudiés en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) .....	69
Figure III.5 : Variation de la dureté des forages étudiés en (°F) .....	70
Figure III.6 : Variation de la teneur en calcium dans les Forages d'eau .....	71
Figure III.7 : Variation de la teneur en magnésium dans les Forages d'eau. ....	72

Figure III.8: Variation de la teneur en sodium dans les Forages d'eau.....	73
Figure III.9: Variation de la teneur en potassium dans les Forages d'eau .....	74
Figure III.10: Variation de la teneur en bicarbonate dans les Forages d'eau.....	74
Figure III.11: Variation de la teneur en chlorure dans les Forages d'eau .....	75
Figure III.12 : Variation de la teneur en sulfate dans les Forages d'eau .....	76
Figure III.13: Variation de la teneur en nitrate dans les Forages .....	77
Figure III.14: Classification des Forages d'eau sur diagramme de PIPER .....	79
Figure III.15: Représentation des résultats d'analyses (12 Forages) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff. ....	80
Figure III.16: Représentation des résultats d'analyses (Forages 13-24) selon le diagramme de SchoellerBerkaloff. ....	81
Figure III.17: Représentation des résultats d'analyses (Forages 25-35) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff. ....	82
Figure III.18: Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de Stiff .....	83
Figure III.19: Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de Stiff .....	84
Figure III.20 : Classification des eaux souterraines selon diagramme de de Stabler ou de collins .....	85
Figure III.21: diagramme Richards ou Riverside selon la méthode de SAR .....	88
Figure III.22 : diagramme Richards ou Riverside selon la méthode de SAR .....	89
Figure III.23: Diagramme de wilcox.....	92
Figure III.24: Diagramme de wilcox.....	92
Figure III.25: Rapport $(SO_4^{2+} + HCO_3^-) / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ .....	113
Figure III.26 : Rapport $Ca^{2+} / Mg^{2+}$ .....	113
Figure III.27: Rapport $Ca^{2+} / SO_4^{2-}$ .....	114
Figure III.28 : Rapport $Na^+ / Cl^-$ .....	115
Figure III.29 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2). ....	121
Figure III.30 : Classification des eaux selon diagramme de piper(année 2014) .....	127
Figure III.31 : classification des eaux selon diagramme de pipe (année 2015) .....	127
Figure III.32 : Classification des eaux selon diagramme de piper (année 2017) .....	128
Figure III.33 : Classification des eaux selon diagramme de piper(année2018).....	128

## Liste des Tableaux :

### Chapitre I :

Tableau I.1 : Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Bourrier et Selmi, 2011) .....	9
Tableau I.2 : Normes bactériologiques des eaux souterraines (OMS, 1994).....	18
Tableau I.3 : Normes physico-chimique des eaux souterraines (NA, 1992 ; OMS, 1994 ; JORA, 2011).....	19
Tableau I.4 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut, 2011). .....	22

### Chapitre II :

Tableau II.1: Découpage administratif de Bouira (ANIRF 2013).....	30
Tableau II.2: Précipitations moyennes mensuelles (1970-2009) (ANRH Blida).....	34
Tableau II.3 : Evaluation de lame précipitée par la méthode arithmétique.....	36
Tableau II.4: Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007).....	36
Tableau II.5 : La vitesse du vent (max et moy) mensuelles et annuelles en m/s (1997-2007). 37	
Tableau II.6: Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative. Période 1997-2007 .....	38
Tableau II.7 : Evaporation moyenne mensuelle et annuelle à la station de Bouira (1997 – 2007).....	39
Tableau II.8 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évaporation en fonction de la température.....	40
Tableau II.9: Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Thornthwaite .....	41
Tableau II.10: Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Serra .....	42
Tableau II.11 : Résultats récapitulatifs des valeurs d'évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle sur la région de Bouira.....	44
Tableau II.12: Résultats de la lame ruisselée (R).....	45
Tableau II.13: Valeurs d'infiltration efficace.....	45
Tableau II.14 : Indice d'aridité de De Martonne.....	47

### Chapitre III :

Tableau III.1 : Caractères physiques des eaux de forages de la wilaya de Bouira (ADE 2016) .....	63
Tableau III.2 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2016)65	
Tableau III.3 : Résultats de la balance ionique des analyses physico-chimie.....	67
Tableau III.4 : Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité. (Elie, Sauret 2005).....	70
Tableau III.5 : Qualité de l'eau en fonction du TH (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)... 70	
Tableau III.6 : Classification de conductivité .....	86
Tableau III.7 : Résultat de calcul du SAR pour les forages étudiés.....	87
Tableau III.8 : Classification et interprétation des diagrammes.....	88

Tableau III.9 : Classification de ( $\text{Na}^+$ ) .....	91
Tableau III.10 : Résultats de ( $\text{Na}^+$ ) des forages étudiés .....	91
Tableau III.11 : Résultat de PI % et interprétation.....	93
Tableau III.12 : Potabilité des eaux étudiées en fonction de la Chlorure.....	94
Tableau III.13 : Potabilité des eaux étudiées en fonction de la Nitrate.....	94
Tableau III.14 : Résultats de MH des forages étudiés.....	95
Tableau III.15 : Résultats de KR des forages étudiés .....	96
Tableau III.16 : Résultats de RSC.....	97
Tableau III.17 : Résultats d'ESP .....	98
Tableau III.18 : Classification de l'eau selon la Salinité Potentielle du sol.....	99
Tableau III.19 : Valeurs de SP .....	99
Tableau III.20 : Résultats d'ieb .....	100
Tableau III.21 : Résultats de TDS .....	101
Tableau III.22 : Résultats de Rapport de $\text{Cl}^- / \Sigma$ anions .....	102
Tableau III.23 : Résultats de Rapport $\text{HCO}_3^- / \Sigma$ anions .....	103
Tableau III.24 : Résultats de Rapport $\text{Mg}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ .....	104
Tableau III.25 : Résultats de Rapport $\text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$ .....	106
Tableau III.26 : Résultats de rapport $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / (\text{HCO}_3^-)$ .....	108
Tableau III.27 : Evolution des eaux souterraines .....	109
Tableau III.28 : Résultats de Rapport $\text{Na}^+ / \text{K}^+$ .....	109
Tableau III.29 : Résultats de Rapport $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$ .....	110
Tableau III.30 : Résultat de Rapport $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$ .....	111
Tableau III.31 : Classification de Rapport $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ .....	115
Tableau III.32 : Indices de saturation des eaux souterraines de la zone étudiée calculé avec le logiciel PHREEQ .....	117
Tableau III.33 : Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira .....	118
Tableau III.34 : Matrice de corrélation entre les variables .....	119
Tableau III.35 : Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes.....	120
Tableau III.36 : Corrélations entre les variables et les facteurs .....	121
Tableau III.37 : Qualité de l'eau en agriculture en fonction du SAR .....	122
Tableau III.38 : Qualité des eaux pour l'irrigation à partir de l'évolution de la conductivité par rapport au SAR.....	122
Tableau III.39 : Qualité des eaux pour l'irrigation à partir de l'évolution du $\% \text{Na}^+$ .....	123
Tableau III.40 : Classification des eaux souterraines basée sur le SP.....	124
Tableau III.41 : Classification des eaux souterraines basée sur le RK .....	124
Tableau III.42 : Classification des eaux souterraines basée sur le PI .....	125
Tableau III.43 : Classification des eaux souterraines basée sur le MH.....	125
Tableau III.44 : Classification des eaux souterraines basée sur le RSC .....	126
Tableau III.45 : Classification des eaux souterraines basée sur l'ieb.....	126

### Introduction générale

L'eau est un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans des nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets. Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existée donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures.

Une eau destinée à la consommation humaine est dite potable lorsqu'elle est exemptée d'éléments chimiques et biologiques susceptibles à la santé des individus. Selon l'OMS (2005). Chaque année ; 1,8 millions de personnes dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement meurent de maladies diarrhéiques (y compris du choléra) ; où 88% des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse.

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides. 75 à 90 % de la population mondiale utilisent une eau d'origine souterraine. Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment de l'infiltration des eaux usées et de l'utilisation des engrais chimiques en agriculture. D'autres études ont révélées que la pollution des eaux souterraines est liée à la présence des fosses septiques, à l'absence du traitement, au manque du réseau d'assainissement et au non-respect des conditions d'hygiène publique.

En Algérie, les eaux de surface sont les principales sources pour notre approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus l'individu et la municipalité se tournent vers les nappes phréatiques qui renferment un volume énorme d'eau exploitable. Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Certaines régions algériennes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène et ainsi l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité.

Cette présente étude concerne la qualité des eaux souterraines au niveau de la région de BOUIRA. Elle est divisée en deux parties :

La première partie : est consacrée pour la collecte des données relatives à la qualité des eaux souterraines de la région plus spécialement : les éléments majeurs et les caractéristique physico chimique. Cette partie est composée de deux chapitres ; le premier chapitre est réservé à la recherche bibliographique sur l'eau et les eaux souterraines d'une façon générale ; le deuxième chapitre présente la présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la région de BOUIRA.

La deuxième partie : un chapitre qui concerne le traitement et l'exploitation des données à travers le tracé des différents diagrammes pour représenter les différentes faciès

## **Introduction générale**

---

chimique et classifications des eaux, et déterminer leur origines avec l'interprétation des différents résultats ainsi que de tirer le maximum d'informations possibles à l'aide des logiciels. Dans ce cadre , nous avons procédé à l'étude des résultats d'analyses chimiques de l'année 2016 au niveau de 40 avec élimination de 5 forages ce qui représente alors 35 forages gérés par laboratoire des services des eaux (ADE Bouira).dans ce travail on a étudié une campagne de prélèvement d'eau de 5 ans (2014 -2015-2016-2017-2018).

A la fin, l'étude se termine par une conclusion générale, et recommandations.

# **Chapitre I**

## **Recherches bibliographiques : Sur les caractéristiques des eaux souterraines**

### I.1 Introduction

L'eau est très présente sur notre planète, ainsi vue de l'espace, la terre apparaît bleue car les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70%). La totalité de l'eau sur terre représente un volume de 1,4 milliard de km<sup>3</sup> sous forme liquide, solide ou gazeuse. Cependant, la majeure partie de l'eau (97 %) est salée, elle est contenue dans les océans, ce qui la rend inutilisable par l'homme. (CIE, 2013).

L'eau douce n'en représente que 2,6 % :

- près de 2 % représente la majeure partie (les glaciers de montagne, les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique).
- moins de 1 % représente les eaux douces souterraines (la majorité des eaux souterraines est salée, donc ne sont pas douces).
- les eaux de surface (cours d'eau, sols gelés, marécages et lacs d'eau douce : 0,03%).
- L'atmosphère (0,001%).
- Les êtres vivants (0,0001%).

La moitié de cette eau douce représente l'eau disponible pour l'usage humain avec seulement 0,3% du volume d'eau de la planète, soit 4 millions de km<sup>3</sup>. Cette eau est accessible dans différentes ressources naturelles comme par exemple les cours d'eau, les nappes peu profondes, ou encore les lacs. (RPDE ,2007).

L'eau se trouve dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide, et gazeuse dépendant des conditions particulières de température et de pression .elle a des propriétés physico-chimique assez particulière par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro chargés (Aissaoui ,2013).

### I.2 Propriétés de l'eau

C'est un liquide, inodore, sans saveur et de PH neutre et un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants.

L'eau s'allie avec certains sels pour former des hydrates et réagit avec des oxydes métaux pour former des acides. Elle est utilisée comme catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques importantes (Encarta ,2006).

Dans la nature, sous l'action du soleil, de la pression atmosphérique et de la température, l'eau change d'état .on peut la trouver sous trois formes :

- **Etat solide** : à basse température, l'eau est appelée glace et possède des structures cristallines régulières.
- **Etat gazeuse** : caractérisé par une absence de forme et de limite physique, il n'y a pas de liaisons entre les molécules, elles sont indépendantes les unes des autres.

- **Etat liquide** : caractérisé par une forme non définie. Les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais elles restent proches car elles sont liées par des forces intermoléculaires (Marsily, 1995).

### **I.3 Les sources naturelles de l'eau**

On trouve quatre sources principales d'eaux brutes : les eaux de pluie, les eaux de mer, les eaux de surface et les eaux souterraines. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant.

#### **I.3.1 Les eaux de pluie**

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles sont très douces par la présence d'oxygène et d'azote et l'absence des sels dissous, comme les sels de magnésium et de calcium. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être souillées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (Desjardins, 1997 ; OFEFP, 2003).

#### **I.3.2 Les eaux de mer**

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Ces eaux sont caractérisées par une grande salinité (varie de 33000 à 37000 mg.L<sup>-1</sup>), elles sont dénommées aussi «eaux saumâtres». Ce qui rend l'utilisation de ces eaux difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement (Boeglin, 2009).

#### **I.3.3 Les eaux de surface**

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares).

Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (Degremont, 2005).

En plus, ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques (Molinie, 2009).

#### **I.3.4 Les eaux souterraines**

On dit « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels que les sables et les graviers. Contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas rassemblée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain (Myrand, 2008).

Le niveau de l'eau souterraine, au-dessous duquel les roches ou sédiments sont saturés, est appelé nappe phréatique. On trouve aussi de l'eau au-dessus de la nappe phréatique, dans la zone non saturée, par exemple l'eau du sol, mais cette eau n'est pas exploitée normalement par l'homme et on ne pas la considérée comme une eau souterraine. (Voire la figure I.1 suivante).

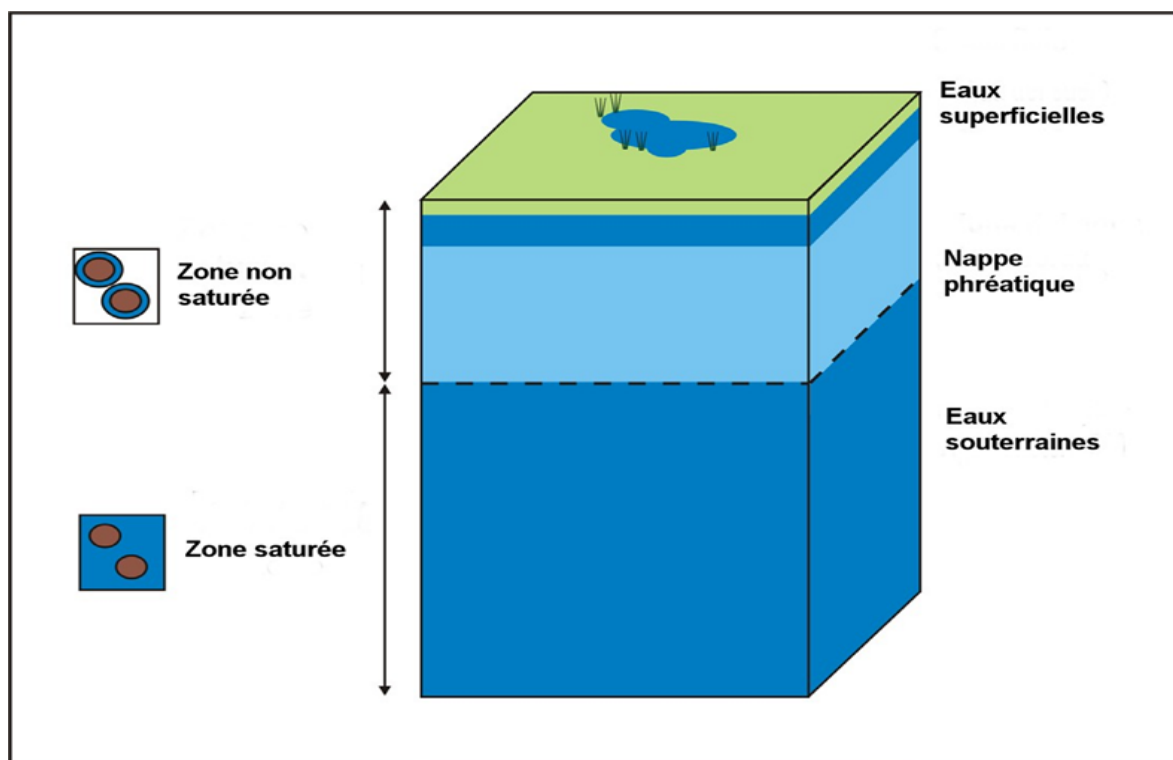


Figure I.1 : Présentation des eaux souterraines (RAMSAR, 2010).

### I.3.4.1 Les nappes de l'eau

Le mot « nappe » ou encore « aquifère » désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. C'est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau (Kettab, 1992 ; Arjen, 2010).

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains. Elles sont de l'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées (AEAG, 2012).

### I.3.4.2 Les différents types de nappes

La porosité et la structure du sol déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine (OMS, 2000).

#### I.3.4.2.1 La nappe profonde

Se repose sur une couche imperméable plus profonde, elle peut être :

**Une nappe libre :** Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression à cause d'un toit moins perméable que la formation qui la contient (Arjen, 2010).

**Une nappe captive :** Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est donc pas alimentée directement par le sol et elle se situe à des grandes profondeurs et par conséquent peu sensible aux pollutions (Degremont, 2005 ; Cardot, 1999).

### **I.3.4.2.2 La nappe phréatique**

Les nappes phréatiques sont celles qui se reposent sur la première couche imperméable, non loin de niveau du sol. Elles sont toujours libres et souvent contaminées. Ces nappes revêtent une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde.

Une nappe phréatique affleure parfois à la surface du sol sous la forme de source ou bien peut être captée au moyen de puits (Mourey et Vernoux, 2000 ; Arjen, 2010).

### **I.3.4.2.3 La nappe alluviale**

Elle est contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse.

Par exemple Ces nappes fournissent 60% des eaux souterraines captées en France, en particulier grâce à leur facilité d'accès et leur bonne productivité (OFEFP, 2003).

### **I.3.4.2.4 La nappe karstique**

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes).

Dans ces conduites, les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterraines

Aux points de sortie, les sources présentent des débits souvent variables dans le temps (leur valeur varie au cours de l'année) (Mourey et Vernoux, 2000).

(Voire la figure I.2 suivante).

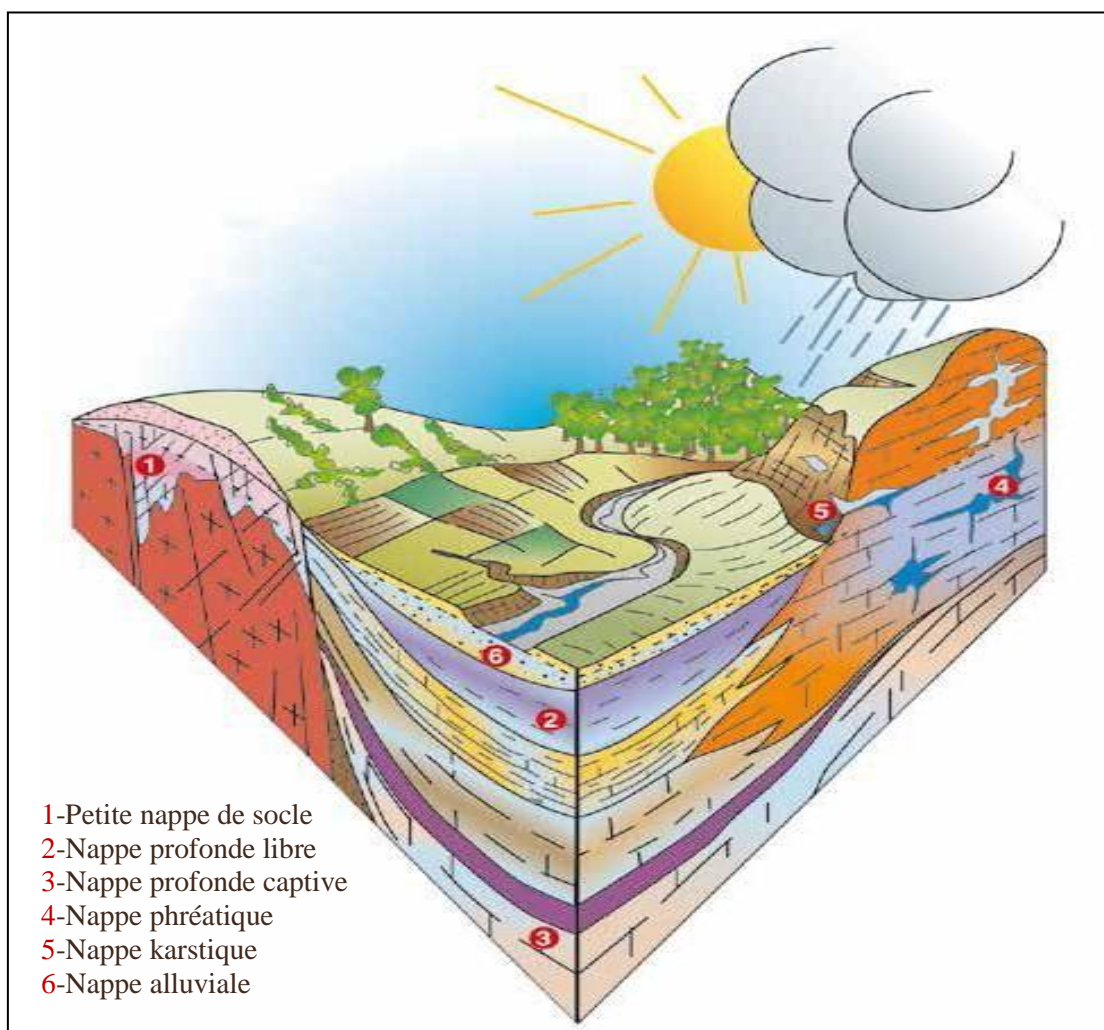


Figure I.2: Les différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012).

#### I.4 Cycle de l'eau

La connaissance de l'origine de l'eau, de son cycle, de sa dynamique dans la nature et sa répartition dans l'espace et dans le temps est une donnée fondamentale. L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère.

L'eau s'évapore constamment au-dessus des océans, des lacs et des forêts, elle est condensée sous forme de nuages et ensuite transportée dans le ciel par vent ou elle se condense sous forme de vapeur d'eau autour des particules de poussières, puis tombent en précipitations comme pluie ou neiges sous l'action de phénomènes météorologiques complexes où interviennent surtout les vents et les différences de températures.

L'eau qui ruisselle pénètre dans le sol où elle s'infiltre et va remplir les nappes souterraines. Elle traverse des couches de plus en plus profondes du sol et va abandonner dans son cheminement la quasi-totalité des impuretés dont elle s'était chargée (Bouziani, 2000).

Par circulation des eaux souterraines, une partie se jetant directement dans la mer et le reste venant alimenter les rivières à leur source ou par le biais d'un affluent.

Enfin, l'eau peut revenir directement à sa phase liquide dans l'atmosphère par la transpiration des végétaux qui éliminent ainsi une partie de l'eau contenue dans le sol et conservent une partie de l'eau de pluie dans leur feuillage (Valverde, 2008). (Voire la figure I.3 suivante).

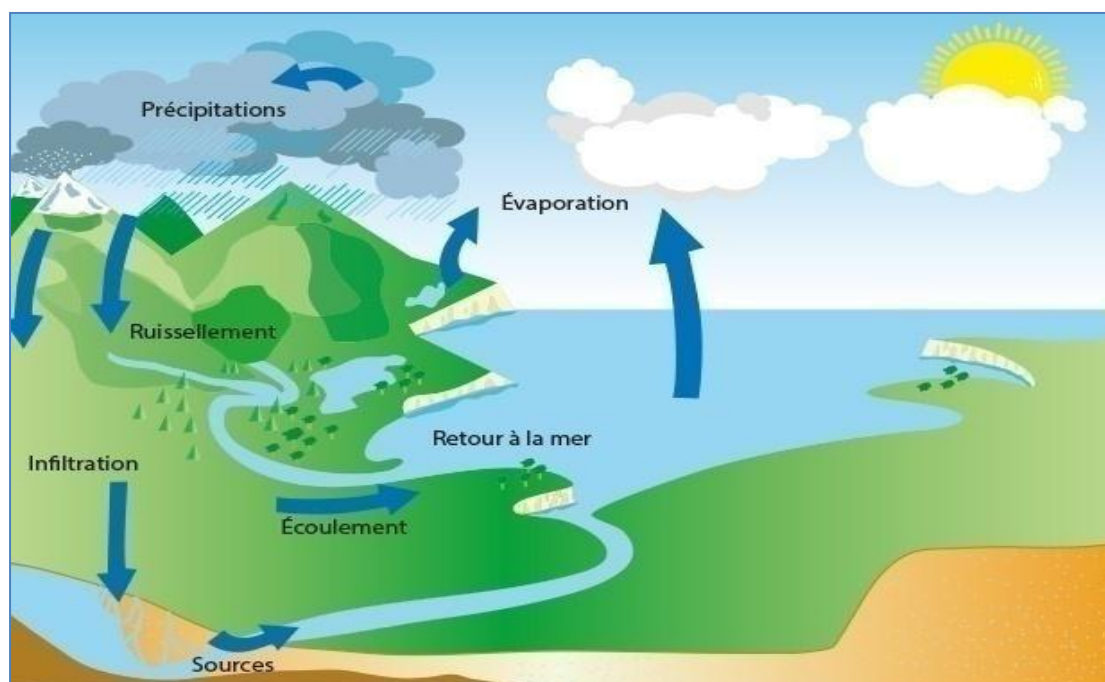


Figure I.3 : Cycle de l'eau (CIE, 2013).

La durée des diverses phases de ce cycle sont souvent méconnues, elles atteignent quelques jours entre l'océan et la pluie, quelques heures à quelques mois entre la pluie et la nappe (la recharge), plusieurs années ou millénaires entre la nappe et la source ou le puits (écoulement-souterrain) (Collin, 2004).

### I.5 Les eaux d'approvisionnement

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenue de barrage) ou en écoulement (rivières) (Degremont, 2005).

#### I.5.1 Eaux de surface

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.

Les eaux de surface sont moins stables, et contiennent des matières minérales et organiques en suspension qui peuvent engendrer désagrément olfactifs et gustatifs. Elles nécessitent un traitement physico-chimique parfois complexe dans des infrastructures importantes (Degremonts, 2005).

### I.5.2 Eaux souterraines

Ce sont les plus potables, souvent de meilleure qualité, mais moins celles provenant chargées de matière organique en traversant les couches supérieures des sols et s'enrichissent en sels minéraux provenant de terrains rencontrés sur leur parcours (Aliouane ,2010).

### I.6 Principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface

Les eaux de surface sont plus chargées de matières en suspension que les eaux souterraines, ainsi que de matières colloïdales, plancton animal et végétal. Les eaux souterraines sont souvent considérées comme des eaux naturellement pure ce qui est une erreur, car souvent elles contiennent du fer, manganèse, ammoniacque et matières organiques sans parler de la teneur excessive en fluor et nitrates (Kettab, 1992). (Voir le tableau I.1 suivant).

Tableau I.1 : Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Bourrier et Selmi, 2011)

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues)	Liée surtout aux matières en solution (acide humique par exemple)
Fe et Mn divalent (à l'état dissous)	Généralement absents sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation.	Généralement présents Sensiblement
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets.	Constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
CO2 agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité.
Oxygène dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées.	Absent dans la plupart du temps.
H2S (Le sulfure d'hydrogène)	Généralement absent.	Souvent présent
NH4 (Ammonium)	Présent seulement dans les	Présent fréquemment sans

	eaux polluées.	être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondant en général	Teneur parfois élevée.
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogénies), virus, plancton.	Ferro bactéries fréquentes.

### I.7 La circulation de l'eau dans le sous –sol

L'eau qui s'infiltré dans le sol rencontre différentes régions :

#### I.7.1 La zone non saturée (ZNS)

L'eau ne remplit pas l'intégralité des pores et se trouve en mouvement, vers la surface et vers les profondeurs. Dans cette zone l'eau n'est présente que sous forme d'humidité ou les pores sont remplis partiellement d'eau et d'air.

#### I.7.2 La frange capillaire

Ou l'eau remonte de la zone saturée vers la zone non saturée .cette région correspond à la partie inférieure de la zone sous saturée.

#### I.7.3 La zone saturée (ZS)

Qui renferme la nappe. L'eau remplit tous les pores et s'écoule dans le sous-sol sur la couche imperméable, et occupe la totalité des vides disponibles (fissures, pores des sédiments ou des roches). (Voire la figure I.4 suivante)

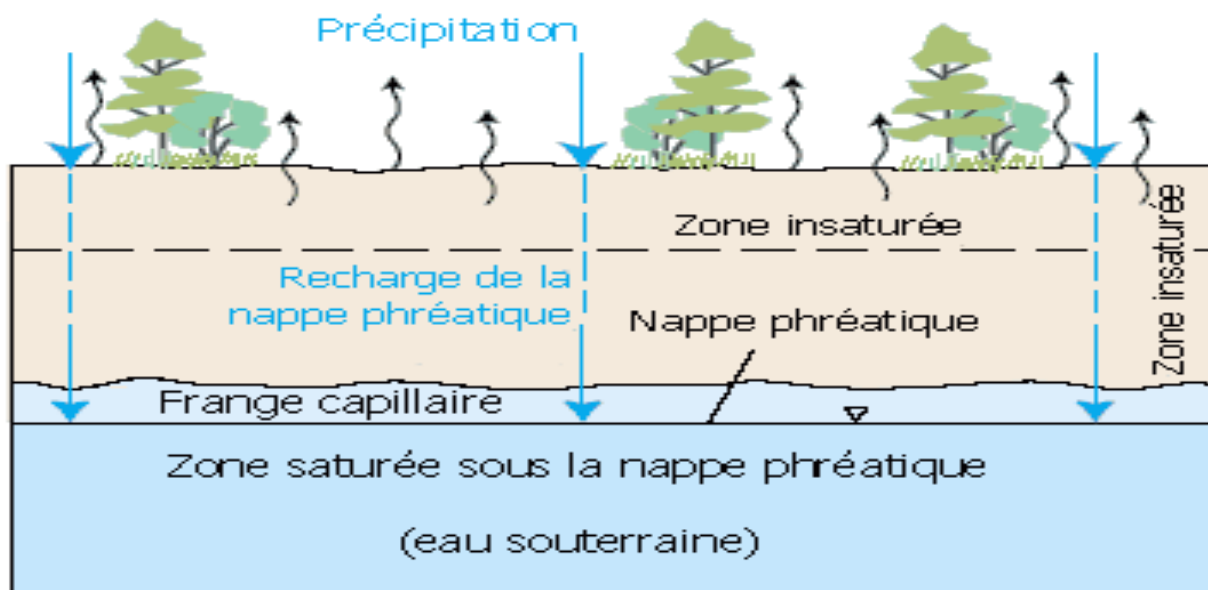


Figure I.4: Circulation de l'eau dans le sous-sol

### I.8 Les origines des eaux souterraines

#### I.8.1 Eaux météorique

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, c'est-à-dire proviennent des précipitations (pluie, neige) et de leurs infiltrations dans le sous-sol. Dans les aquifères de grande taille, l'eau peut provenir de périodes où le climat était différent et peut donc servir comme indicateur de paléoclimats. (Renard 2015).

#### I.8.2 Eaux connées

Les eaux que l'on trouve en profondeur dans la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 km) sont dérivées de réservoirs d'eaux météoriques qui ont réagi avec les roches environnantes, souvent ces eaux sont relativement salées. Les eaux connées peuvent contribuer à l'hydrologie de formation géologique qui s'est enfouies très récemment ou bien rester piégées dans des roches dont la perméabilité est faible et dont toute l'eau n'a pas été expulsée. Souvent cette eau est présente depuis la formation de la roche (Renard 2015).

#### I.8.3 Eaux juvéniles

L'eau juvénile est l'eau qui provient directement des profondeurs du manteau terrestre. Elle quitte généralement ce compartiment lors du dégazage des volcans terrestres, de la cristallisation du magma ou des éruptions des sources hydrothermales.

### I.9 Constituants des eaux souterraines

Les eaux souterraines contiennent des molécules d'eau autour desquelles sont dissous des ions (majeur, mineur et de traces), des gaz dissous (oxygénés, gaz carbonique) et parfois de la matière organique dissoute (Renard 2015).

### I.9.1 Ions majeurs

- Cation majeurs : calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ), potassium ( $\text{K}^+$ )
- Anion majeurs: chlores ( $\text{Cl}^-$ ), bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

\* Dans les saumures, le strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ ) et les ions bromide ( $\text{Br}^-$ ) peuvent aussi avoir des concentrations élevées.

\* Dans les eaux naturelles on trouve aussi de la silice ( $\text{SiO}_3$ ), du fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ), éventuellement des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

Les concentrations de ces ions majeurs sont utilisées pour déterminer le type d'eau, par exemple une eau du type (Na- $\text{HCO}_3$ ) ou (Na-Cl). Il n'y a pas de définition rigoureuse de ces types d'eaux, mais on les utilise pour différencier les eaux provenant de réserves différentes telle que les aquifères, les précipitations ou l'eau océanique (Renard, 2015).

**La dureté totale** d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue :

- Une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates de Ca et Mg.
- Une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

### I.9.2 Ions mineurs

Alors que les ions majeurs se retrouvent dans la plupart des eaux souterraines, des eaux d'aquifères peuvent avoir des teneurs en ions mineur différentes. On trouve les ions suivants : Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), Silice ( $\text{SiO}_3^0$ ), Fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ), Manganese ( $\text{Mn}^{2+}$ ), Aluminium ( $\text{Al}^{3+}$ ), strontium ( $\text{Sr}^{2+}$ ), Bore ( $\text{Bo}_4^{3-}$ ), Bromide ( $\text{Br}^-$ ).

Le fer est un élément assez abondant dans les roches sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. Le fer est soluble à l'état d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  ion ferreux mais insoluble à l'état  $\text{Fe}^{3+}$  (ions ferrique). (Renard 2015).

### I.9.3 Eléments traces et gaz dissous

Les espèces dissoutes à très faible concentration représentent des métaux lourds et des composants organiques. Leur concentration est souvent inférieure au mg/l ou même au  $\mu\text{g/l}$ .

- Métaux traces (Zinc, Chrome, Cuivre, Nickel, Arsenic, Mercure, Cadmium, Plomb).
- Traces d'hydrocarbures.

### I.10 La qualité de l'eau de consommation

La qualité de l'eau potable est évaluée à partir des critères de qualité. En effet, l'utilisation d'une eau médiocre pour la production d'eau potable peut accroître les risques pour le consommateur si cette eau contient des produits nuisibles pour la santé. L'eau est considérée souvent comme un symbole de pureté, elle est progressivement devenue le produit alimentaire le plus surveillé, et est soumise aux normes de qualité les plus sévères (Defranceschi, 1996 ; MDDEFP, 2013)

La surveillance de la qualité de l'eau correspond à la conduite des analyses, de tests et d'observation de certains paramètres à des points clés du réseau d'alimentation en eau potable. L'objectif principale de ce suivi de la qualité de l'eau est de vérifier que l'eau distribuée remplit les critères de potabilité. C'est un moyen de protéger la santé publique (Muriel, 2010).

### **I.10.1 La qualité des eaux souterraines**

Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan bactériologique (UNICEF, 1999) elles constituent une meilleure solution que les eaux de surface en termes de génie sanitaire (Fiambsch, 1998). Dans la réalité, la qualité naturelle de l'eau souterraine ne concerne pas seulement les aspects sanitaires et techniques de l'eau potable. Il faut se souvenir en particulier que l'eau des nappes alimente les rivières et que, par conséquent, certaines propriétés chimiques et microbiologiques des eaux souterraines peuvent avoir des incidences sur la vie aquatique (Collin, 2004). Donc les qualités requises sont d'ordre bactériologique et physico-chimique.

#### **I.10.1.1 Qualité physico-chimique**

Les qualités physico-chimiques de l'eau se basent sur des paramètres qualitatifs relativement facile à déterminer. Parmi ces paramètres on distingue les suivants :

##### **I.10.1.1.1 La température**

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels et dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques (Rodier et al., 2005).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (OMS, 1994). Par contre une température inférieure à 10°C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (Rodier et al., 2009).

##### **I.10.1.1.2 Le potentiel d'hydrogène (pH)**

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes  $H^+$  présents dans cette eau. Dans les eaux naturelles cette activité est due à des différentes causes en particulier l'ionisation de l'acide carbonique et de ses sels (Rodier et al., 2009). Les valeurs limites du pH sont comprises entre 6,5 et 9 (JORA, 2011). Au-dessous de ce seuil l'eau est dite « agressive », elle a un effet corrosive sur les canalisations et peut mener à la dissolution de certains métaux toxiques tels que le plomb des conduites (Savary, 2010 ; Bouziani, 2000).

##### **I.10.1.1.3 La turbidité**

C'est le premier paramètre aperçu par le consommateur (Andriamiradis, 2005). La turbidité est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute (débris organiques, argiles, organismes microscopiques ...) (Rodier et al., 2009). Une forte

turbidité de l'eau révèle la précipitation de fer, aluminium ou manganèse due à une oxydation dans le Réseau (Jean, 2002), et favorise aussi la fixation et la multiplication des micro-organismes, rendant sa qualité bactériologique suspecte (OMS, 2004). Selon (Desjardins (1990); Kettab (1992); Boeglin (2000)), parmi les caractéristiques générales des eaux souterraines, il faut retenir leur très faible turbidité.

### **I.10.1.1.4 La conductivité électrique**

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique ; Elle détermine la teneur globale des minéraux présent dans une solution : une eau douce accusera généralement une conductivité basse et bien au contraire une eau dite dure affichera une conductivité élevée. Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (Bremaude et al., 2006).

### **I.10.1.1.5 Les matières en suspensions (MES)**

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les matières en suspension limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, réduisant la teneur en oxygène dissous et nuisant au développement de la vie aquatique (Hakmi, 2006). Pour une eau qui contient des matières en suspensions à des teneurs de quelques milligrammes par litre, ne pose pas de problèmes majeurs (Dégremont, 2005).

### **I.10.1.1.6 L'ion de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )**

Le calcium est l'élément présent dans toutes les eaux naturelles (Benamar et al. 2011). C'est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il existe principalement à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme sulfate, chlorure...etc (Rodier et al., 2005).

Le calcium est aussi fréquent dans les roches sédimentaires. Il peut provenir également des formations gypsifères ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) qui sont facilement solubles (Sedrati, 2011). Le calcium ne pose pas des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage (Gaujour, 1995).

### **I.10.1.1.7 L'ion de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )**

Il constitue l'élément significatif de la dureté de l'eau avec les ions calcium, c'est l'un des éléments les plus répandus dans la nature (Rodier et al., 2009). La variation du magnésium dans les eaux souterraines est due à l'influence des formations carbonatées telles que les calcaires, d'une part, et les formations salifères d'autre part, comme les argiles et les marnes qui sont riche en  $\text{Mg}^{++}$  (Dib, 2009).

Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes (SEVESC, 2013).

### **I.10.1.1.8 L'ion de sodium ( $\text{Na}^+$ )**

C'est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre (Bouziani, 2000). Son origine peut être naturelle (mer, terrain salé....) ; humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ou industrielle (potasse, industrie pétrolière).

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Rodier et al., 2005).

### **I.10.1.1.9 L'ion de potassium ( $K^+$ )**

Le potassium est étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules (Mercier, 2000).

### **I.10.1.1.10 L'ion de fer (Fe)**

Le fer est un métal assez soluble que l'on peut retrouver dans l'eau et qui précipite par oxydation à l'air. Ce métal se classe en 4<sup>ème</sup> rang des éléments de la croûte terrestre.

Un excès de fer dans l'eau, se précipite au contact de l'air en formant des flocons rouges qui troublent l'eau et tachent le linge (Bouziani, 2000).

### **I.10.1.1.11 Les chlorures ( $Cl^-$ )**

Les chlorures sont très répandus dans la nature généralement sous forme de sels du sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium ( $CaCl_2$ ) (SEVESC, 2013). L'ion chlorure n'est pas adsorbé par les formations géologiques, reste très mobile et ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques. Il constitue un bon indicateur de la pollution (Chaker et Slimani, 2014).

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250  $mg.L^{-1}$  surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (Rodier et al., 2005).

### **I.10.1.1.12 Les nitrates ( $NO_3^-$ )**

Le nitrate, sel de l'acide nitrique, a pour formule chimique  $NO_3^-$ . Pour se former, il a donc besoin d'azote (N) et d'oxygène (O).

Les nitrates sont naturellement présents dans l'eau mais selon les milieux, leur concentration varie de 0,1 à 1  $mg.L^{-1}$  pour l'eau souterraine.

L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est donc fortement lié à la quantité de matières organiques présente et aux conditions de milieu. Les actions anthropiques sont donc importantes : utilisation d'engrais azotés et de lisier. De même, les rejets de stations d'épuration ou plus simplement de latrines et fosses septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates (Demdoun, 2010).

### **I.10.1.1.13 Les nitrites ( $NO_2^-$ )**

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles. Ils résultent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Ils peuvent aussi provenir de l'étape de traitement des eaux en cas de

gestion inadéquate des filtres à sable, des filtres à charbon actif ou des étapes de nitrification-dénitrification biologique.

Toutefois, une eau renfermant une quantité élevée de nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique (Bouziani, 2000 ; Savary, 2010).

### **I.10.1.1.14 Les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Les sulfates qui se dissolvent dans l'eau proviennent de certains minéraux en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux (Beriere, 2000). Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entraîner des troubles intestinaux. Les concentrations admissibles sont de l'ordre de  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  (Bouziani, 2000).

### **I.10.1.1.15 Le fluor (F)**

Le fluor, premier élément de la famille des halogènes dans le tableau périodique des atomes, est gazeux à température et pression normales. Étant fortement réactif, il se retrouve généralement dans la nature sous forme de fluorure ( $\text{F}^-$ ) lié à des matrices minérales ou dans des liaisons covalentes formant des composés organiques ou inorganiques.

Les fluorures sont également libérés dans l'environnement par des sources anthropiques de nature industrielle (Beaudoin, 2012).

## **I.10.1.2 Qualité bactériologique**

C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau potable. Elle se mesure par la présence d'organismes indicateurs de pollution : les Germes totaux et les Coliformes qui vivent normalement dans les intestins humains et animaux. Les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les Coliformes connus sous le nom d'*Escherichia coli* (E.coli), les Streptocoques fécaux et les *Clostridium sulfito-réducteurs*. Elles se multiplient très facilement et sont utilisées généralement comme germes tests de contamination fécale (Ahonon, 2011).

### **I.10.1.2.1 Les Germes totaux**

La numération des germes aérobies mésophiles ou germes totaux, vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable. Elle permet ainsi une appréciation globale de la salubrité générale d'une eau, sans toutefois déterminer les sources de contamination (Levallois, 2003). D'une manière générale, ce dénombrement est utilisé comme indicateur de pollution et également comme indicateur d'efficacité de traitement, en particulier des traitements physiques comme la filtration par le sol, qui devrait entraîner soit une très forte diminution de la concentration bactérienne, soit même une absence de bactéries (CEAEQ, 2000 ; El Haissoufi et al., 2011).

### **I.10.1.2.2 Les Coliformes totaux**

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau car ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet,

aérobies ou anaérobies facultatifs, possédant l'enzyme  $\beta$ -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié (Archibald, 2000; CEAEQ, 2000; Edberg et al., 2000). Ce groupe composé des principaux genres suivants : Citrobacter, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella et Serratia (Chevalier, 2003). La plupart des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'Escherichia coli (E. coli) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes (Edberg et al., 2000; OMS, 2000).

### **I.10.1.2.3 Les Coliformes fécaux (Escherichia coli)**

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux ont la capacité de fermenter le lactose à une température de 44,5°C. L'espèce la plus habituellement associé à ce groupe bactérien est l'Escherichia coli (E. coli) (Elmund et al., 1999; Edberg et al., 2000). E. coli est la seule bactérie indicatrice qui représente sans équivoque une contamination d'origine fécale animale ou humaine. Sa détection dans une eau doit être considérée comme reflétant la présence possible des germes pathogènes d'origine entérique.

E. coli est considérée en fait comme le meilleur indicateur de contamination fécale de l'eau (Edberg et al., 2000) qui selon son origine, comporte des risques plus ou moins importants d'infection à caractère entérique (Bopp et al., 1999). Sa détection dans un puits peut donc être indicatrice d'une source ponctuelle de contamination (Gouvernement du Québec, 2004).

### **I.10.1.2.4 Les Streptocoques fécaux**

Les entérocoques font partie d'un groupe de bactéries naturellement présentes dans la flore intestinale des animaux et des humains ; certains streptocoques fécaux sont très apparentés aux entérocoques et sont encore utilisés à titre d'indicateurs de contamination fécale (Gleeson et Gray, 1997). Ils se retrouvent habituellement dans les eaux souterraines à la suite d'une pollution d'origine fécale (Gleeson et Gray, 1997 ; Edberg et al., 2000).

### **I.10.1.2.5 Les Clostridium sulfito-réducteurs**

Parmi les paramètres retenus pour déterminer la qualité microbiologique d'une eau d'alimentation, les Clostridium sulfito-réducteurs sont pris en compte aussi. Les Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent utilisés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore, beaucoup plus résistante que les formes végétatives, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux, permettrait ainsi de déceler une pollution fécale ancienne ou intermittente. Sans débattre de l'intérêt réel d'une telle indication concernant la date de la pollution, il faut cependant considérer que si les Clostridium sulfito-réducteurs peuvent certes être des germes fécaux, ce sont encore des germes telluriques et que, de ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence (Rodier et al., 2009).

## **I.11 Normes de la qualité de l'eau**

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux

## Chapitre I : Recherche bibliographique sur les caractéristiques des eaux souterraines

normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (Alouane, 2012).

Globalement, les qualités de l'eau de boisson doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales (Bouziani, 2000).

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (JORA, 2011) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.(voir les tableaux I.2-3 suivant).

Tableau I.2 : Normes bactériologiques des eaux souterraines (OMS, 1994).

Microorganismes	Les valeurs indicatives	Remarque
A-Toutes les eaux destinées à la consommation : E. Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes	0 0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
B- Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution : E.Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml Non détectables dans un échantillon de 100 ml
C-Eaux traitées dans le réseau de distribution : E.coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes Coliformes totaux	0 10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml Non détectables dans un échantillon de 100 ml. Dans les installations importantes, lorsqu'un nombre suffisant d'échantillons sont examinés on ne doit pas trouver de coliformes dans 95% des échantillons prélevés sur une période de 12 mois.

Tableau I.3 : Normes physico-chimique des eaux souterraines (NA, 1992 ; OMS, 1994 ; JORA, 2011)

Paramètres physico-chimiques	Unité	Normes OMS	Normes Algériennes
Température	°C	/	25
pH	/	7-8.5	6,5 – 9
Conductivité électrique à 20°C	µS/cm	/	2800
Turbidité	NTU	5	5
Oxygène dissous	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	5	5
Chlorures	mg.L <sup>-1</sup>	/	500
Dureté Totale	mg.L <sup>-1</sup> en CaCO <sub>3</sub>	500	200
Calcium	mg.L <sup>-1</sup>	/	200
Magnésium	mg.L <sup>-1</sup>	/	150
Nitrates	mg.L <sup>-1</sup>	50-100	50
Nitrites	mg.L <sup>-1</sup>	/	0,1

### I.12 Les nappes et l'eau souterraine

#### I.12.1 Concept d'aquifère

Un aquifère est une formation hydrogéologique perméable permettant l'écoulement, significatif d'une nappe d'eau souterraine et le captage de quantité d'eau appréciables par des moyens économique.

Les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des rivières souterraines ; il s'agit d'eau contenue dans les pores ou les fissures des roches saturées par les eaux de pluie qui se sont infiltrées. On distingue trois grandes familles d'aquifères (Pierre et al., 2003).

##### I.12.1.1 Les aquifères de roche sédimentaires

Composés de roche sédimentaires (calcaire, sable, grès, craie), ils caractérisent les dépôts en couche (comme dans les grands bassins parisien et aquitain), dépôts qui peuvent avoir été morcelés ou avoir été déformés dans les chaînes de montage.

##### I.12.1.2 Les aquifères alluviaux

Ils sont constituée de matériaux déposés par les cours d'eau dans leur vallées (sables et graviers, intercales dans des limons fins). Ces nappes en relation avec les eaux de surface servent souvent de relais aux grandes nappes libres qui s'écoule vers les points bas que sont les vallées.

##### I.12.1.3 Les aquifères de roche cristallines et volcaniques

Ils stockent l'eau dans les fissures et les sables issus de l'altération du granite. Ils abritent de petites nappes et sont fréquents en Bretagne, dans les alpes, le massif centrale, les Pyrénées, la corse. Leurs deux propriétés, la porosité (pourcentage de vide dans les roches) et la perméabilité (capacité à laisser circuler l'eau) les répartissent en trois types :

- **Poreux** : l'eau s'accumule et s'écoule dans les interstices de la roche, meuble (sable, graviers) ou consolidée (grés, craie).
- **Fissuré** : les roches cristallines, les laves, les calcaires non karstifiés sont très peu poreux. L'eau est contenue et circule dans les failles ou fissures de la roche.
- **Karstique** : les terrains calcaires ou crayeux sont organisés en un réseau de drainage souterrains dont une partie des vides, élargis par la dissolution, peut atteindre la taille de gouffres et de cavernes.

### **I.12.2 Les types d'aquifère**

#### **I.12.2.1 Nappe libre**

C'est une nappe qui peut se développer librement vers le haut puisque le terrain perméable, le siège d'une nappe aquifère, n'est pas couvert par une couche imperméable (Bonnin, 1982).

#### **I.12.2.2 Nappe captive**

Lorsque la couche perméable est emprisonnée entre deux couches imperméables, la nappe ne peut se développer vers le haut et est alors appelé nappe captive (Bonnin, 1982).

Les nappes profondes dites subordonnées reposent sur une couche imperméable plus profonde et peuvent être libres ou captive (Dupont, 1974).

#### **I.12.2.3 Nappe semi -captive ou à drainance**

Soit le toit ou le substratum(ou les deux) de l'aquifères sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable .dans certaines condition hydrodynamique favorables, il y a des différences de charges qui favorisent des échanges d'eau (ou de pression) avec l'aquifère superposé ou sous-jacent, appelé drainance. La formation est alors incorporés a un aquifère multicouche (Pierre et al., 2003).

### **I.13 La pollution des eaux souterraines**

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol, subit donc les dégradations de ces deux milieux (Bouziani, 2000).

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines (Rodier et al., 2005).

#### **I.13.1 Les déférents critères de pollution des eaux souterraines**

La nature des sols et les activités humaines sur un territoire conditionnent et modifient la qualité des eaux souterraines. La source de pollution de cette ressource peut donc être d'origine naturelle ou anthropique (Frioua, 2014).

Les pollutions peuvent être classées sur différents critères :

- ✓ Selon l'origine de pollution.
- ✓ Selon la nature de pollution.
- ✓ Selon la répartition spatiale.
- ✓ Selon la répartition temporelle.

### **I.13.1.1 Selon l'origine de pollution**

Généralement ce type de pollution d'origine humaine due à l'activité de l'homme peut causer l'émission de substances susceptible de contaminer les sols et s'infiltrer jusqu'aux eaux souterraines. Le risque de contamination est non seulement fonction des activités humaines et de leur intensité, mais aussi de la vulnérabilité des eaux souterraines. Puisque les eaux souterraines constituent un vecteur de propagation des contaminants au sein de sols. Leur mouvement dans les formations géologiques pourra :

- ✓ Menacer des ouvrages de captage existants situé sur son parcours d'écoulement.
- ✓ Comportement de potentiel d'exploitation d'une formation aquifère.
- ✓ Constituer un rejet diffus de contaminants susceptibles d'altérer de façon significative la qualité de l'eau.

#### **I.13.1.1.1 Pollution domestique**

Dans le cas d'un assainissement (collectif ou individuel) défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organique, détergent, solvant, antibiotique, micro-organismes...). Le cas se manifeste avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçue ou mal dimensionné, les stations d'épuration urbaines surchargée.

Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviations riches en polluants (Faurie et al., 2003).

#### **I.13.1.1.2 Pollution industriel**

Les activités industrielles restent principalement des métaux, des hydrocarbures, des acides, et augmentent la température de l'eau. En moyenne, de 2004 à 2009, le SOES (Service de l'Observation et de Statique du Ministère en charge du Développement Durable) en France, à montrer que les secteurs de métallurgie et la chimie sont des responsables des rejets de pollution dans les eaux les plus importants (Benmaid, 2013).

#### **I.13.1.1.3 Pollution agricole**

Le régime et la qualité des eaux sont fortement influencés par les pratiques actuelles des cultures et l'élevage (Faurie et al., 2003).

L'utilisation des engrains chimique azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires (pesticides) destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxique lorsqu'ils sont utilisé en excès vont contaminer en période de pluie les surface et les eaux souterraines par infiltration (Djabri,1996).(voire la figure I.5 suivante ).

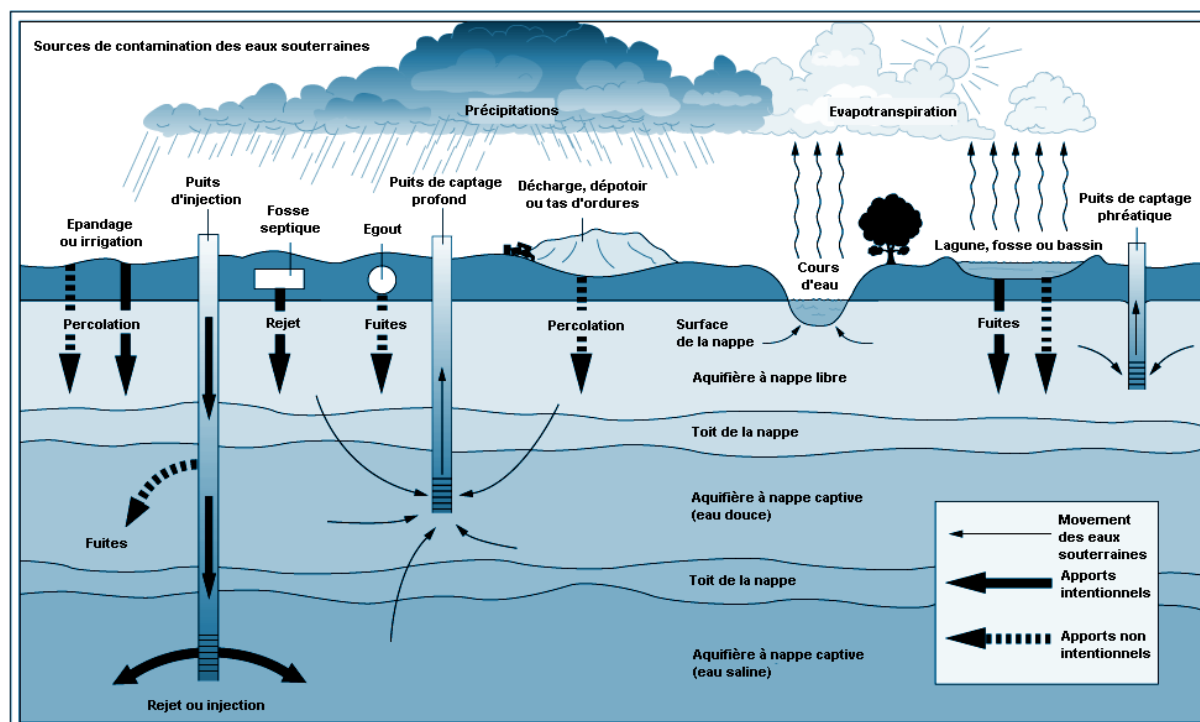


Figure I.5 : Différentes sources de pollution pouvant affecter les eaux souterraines.

(Jerry Spiegel et Lucien Y. Maestre partie VII. L'environnement Chapitre 55 - La lutte contre la pollution de l'environnement)

### I.13.1.2 Selon la nature de pollution

Généralement ce type de pollution est d'origine naturelle. La contamination de source naturelle est ponctuelle puisqu'elle est liée au contexte géologique. En fonction du contexte minéralogique, nous pouvons retrouver des problèmes de fluor, de fer, de manganèse, de carbonates de calcium, de sulfate, de salinités, d'arsenic, de baryum, de plomb, de cuivre, de zinc, de sélénium, d'uranium et d'autres métaux présents naturellement dans les eaux souterraines.

#### I.13.1.2.1 Microbiologique

De nombreux micro-organismes, virus, bactéries et protozoïdes, et des algues sont présents dans l'eau. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisation ou d'égouts ou à l'infiltration des eaux superficielles. Chimique, les micropolluants métalliques, les détergents, les pesticides, les hydrocarbures, les solvants chlorés. (Voir le tableau I.4 suivant).

Tableau I.4 : Origines et natures de différentes sources de pollution de l'eau (Henaut, 2011).

Types de pollution	Nature	Origine
Physique	Rejet d'eau chaude	Centrale thermique nucléaires
	MES	Rejet bains, érosion de sol

	(matières en suspension)	
Chimique	Matière organique	Effluents domestique agricoles agroalimentaire
	Métaux (Cd,Pb,Al,As)	Industrie, agricultures Déchets
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture lessives
	Pesticide (insecticides herbicides, fongicides)	Industries, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvants)	Industrie
	Composées organique de Synthèse	Industrie
	Détergents	Effluents domestique
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, Transports
Biologique	Bactéries, virus, champignons	Effluents urbains, agricoles

#### **I.14 Transfert des polluants dans les eaux souterraines**

Il s'agit d'une pollution diffuse de type agricole ou d'une pollution accidentelle, le schéma générale de contamination des eaux souterraines est le même, le point de départ est la surface du sol jusqu'à la nappe en passant par la zone non saturée, puis le cheminement subhorizontal avec étalement progressif du panache de pollution, comme indiqué dans la (figure I.6 suivante).

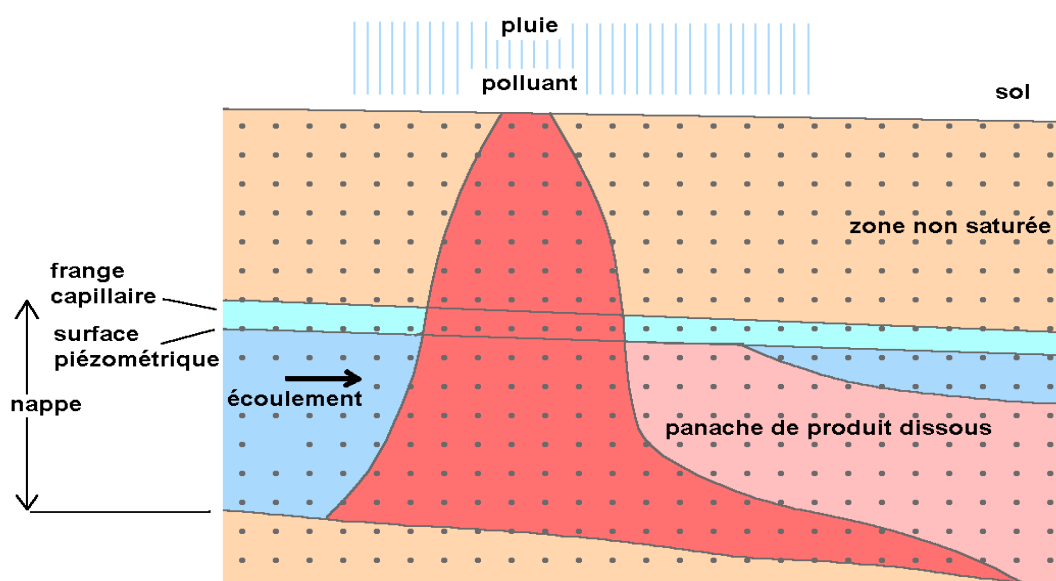


Figure I.6: schéma simplifié de migration de polluant dans les formations géologique (Frioua,2014)

Le transfert d'un polluant étant indissociable de l'écoulement du fluide qui est le véhicule, l'écoulement de liquide avec différents facteur influent sur le transfert des polluants vers les ressources en eau souterraines.

### I.15 Mécanisme de transfert des polluants dans les eaux souterraines :

Les polluants sont rarement rejetés directement dans les nappes souterraines. Leur présence est due à leur transfert depuis la surface, au cours duquel différents processus physiques, chimiques et biologiques vont jouer un rôle dans l'atténuation, le délai de transfert, la distance de propagation et la rétention plus ou moins réversible du produit.

Dans les différents compartiments d'un système aquifère (sol, zone non saturée et eau souterraine), les processus sont de nature et d'ampleur variable.

Les principaux processus qui contrôlent le transfert d'éléments sont la convection (entraînement de l'élément à la même vitesse que l'eau), la dispersion (étalement du panache de pollution sous l'effet de l'hétérogénéité du milieu), les échanges avec la phase solide (adsorption sur la matière organique ou la matrice rocheuse, précipitation/dissolution) et la dégradation (chimique ou biologique).

Les propriétés intrinsèques des polluants (solubilité, adsorption, dégradation), les propriétés intrinsèques des milieux traversés, (perméabilité, teneur en matière organique, degré d'oxydation), les interactions entre les polluants et le milieu ainsi que le contexte climatique sont autant de facteurs qui contrôlent ces différents processus de migration des polluants. (Amalric et al., 2003).

### **I.16 Vulnérabilité des eaux souterraines**

La vulnérabilité est définie comme étant un défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraines contre es menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques. de ce fait, certaines eaux souterraines ne sont pas à l'abri des pollutions éventuelles, malgré l'idée de pureté naturelle qui leur est communément attachée. En effet, certains types de sol notamment les sols minces et hautement perméables, favorisent l'infiltration directe de polluants vers les eaux souterraines. Aussi dans les aquifères sableux, la porosité d'interstice favorise l'infiltration des eaux superficielles conduisant ainsi à la contamination des eaux souterraines.

Par ailleurs, les aquifères en nappe libre semblent plus vulnérables que les aquifères en nappe captive parce qu'ils ne sont pas protégés par une couverture imperméable.

1. La vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être effectuée par la pollution en provenance de la surface du sol.
2. Plusieurs paramètres interviennent donc dans le transfert vertical de la pollution à partir de la surface du sol, notamment :
  - ✓ la recharge de la nappe (par les précipitations, les cours d'eau, l'infiltration des eaux d'irrigation, etc...).
  - ✓ la nature et l'épaisseur du sol.
  - ✓ les caractéristiques (lithologie, perméabilité, etc...) de la zone non saturée
  - ✓ la profondeur de l'eau par rapport au sol.
3. En plus des raisons géologiques, d'autres critères naturel et anthropique interviennent telle que :
  - ✓ l'accroissement démographique et la densité de populations.
  - ✓ évaporation intense et le faible pluviomètre.
  - ✓ les catastrophes naturelles telles que : les inondations et la sécheresse.
  - ✓ accroissement industriel.
  - ✓ accroissement agricole et touristique (tourab 2013).

### **I.17 Datation des eaux souterraines**

Le concept de « l'âge des eaux souterraines » est un concept fondamental en hydrogéologie. Il existe une certaine variété de termes se référant à cette notion d' « âge ». Les autres notions en relation avec « l'âge des eaux souterraines » sont celles du « temps de transit des molécules d'eau » et du « temps de résidence ». L'âge des eaux souterraines est le temps qui s'est écoulé entre le moment où une molécule d'eau pénètre dans le système environnemental jusqu'à ce que cette molécule atteigne un emplacement spécifique de l'aquifère. C'est donc le temps parcouru par une particule d'eau depuis la recharge jusqu'à l'échantillonnage dans un puits ou au niveau d'un exutoire naturel (source, rivière...). Etant donné qu'un échantillon d'eau souterraine est l'intégration de nombreuses lignes de flux, le résultat de la datation ne représente pas un âge « unique » mais plutôt une moyenne pondérée d'une distribution de l'âge des eaux souterraines.

(Voir la figure I.7 suivante).

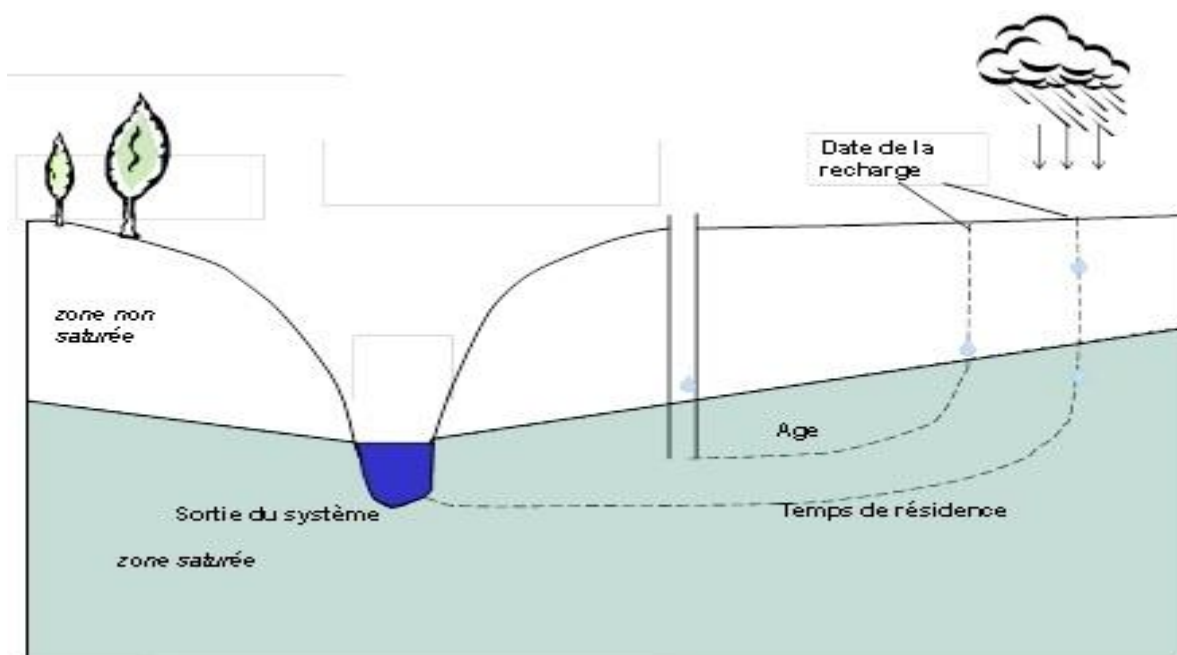


Figure I.7 : Ages des eaux souterraines et temps de résidence (d'après Kazemi et al., 2006)

### I.18 Traitement des eaux souterraines

La moitié des eaux souterraines que nous consommons n'a besoin d'aucun traitement (Myrand, 2008), mais certaines d'entre elles présentent toutefois, naturellement, des teneurs excessives en certains éléments (fer, manganèse, turbidité). D'autres dépourvues de protection naturelle, sont soumises à des pollutions ponctuelles (souvent accidentelles), diffuses (nitrates et produits phytosanitaires) ou microbiologiques (liées à certains aquifères sensibles tels que les milieux fissurés karstiques ou à des contaminations de proximité au niveau des installations de captage) et donc doivent subir un traitement spécifique avant mise en distribution (Jestin, 2006).

Le traitement de ces eaux souterraines comportera en générale les étapes suivantes (le nombre et le choix des étapes étant fonction de la qualité de l'eau) :

- Décantation : celle-ci peut être accélérée par l'addition d'un flocculant (sels de fer ou d'aluminium).
- Filtration sur lit de sable : cette opération étant parfois combinée à la première, ou plus récemment sur filtres en matériaux céramiques ou cellulosiques.
- Elimination des composés organiques ou minéraux indésirables ou en excès par passage sur charbon actif (adsorption des molécules organiques) ou sur résine échangeuse des ions (élimination des sels minéraux) (Jestin, 2006).
- Désinfection par traitement oxydant à l'ozone, au chlore, au bioxyde de chlore ou aux dichloramines, qui élimine les micro-organismes.
- Post-chloration, avant envoi dans le réseau, ou les réservoirs de façon à maintenir une teneur résiduelle en chlore libre actif de 0,1 mg.L<sup>-1</sup> environ (Festy et al., 2003).

### **I.19 Critères de choix pour l'implantation des eaux souterraines**

#### **I.19.1 Le puits**

On peut tenter de définir un puits de captage d'eau comme étant un ouvrage réalisé au-dessous de la surface du sol dans le but de permettre l'exhaure des eaux qui peuvent s'y trouver incluses ou y circuler. Généralement le puits à une profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m) et un diamètre supérieur à 1,20 m. Les puits, jadis creusés à la main, à l'aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée des granites), sont à peu près tombés en désuétude (Collin, 2004 ; Emand Barres et Roux, 1999).

#### **I.19.2 Types de puits**

A partir de différente manière de creusement, on distingue plusieurs types de puits :

##### **I.19.2.1 Puits ordinaires**

Les puits ordinaires sont des puits fréquemment réalisés dans des zones rurales (puits individuels ou semi collectifs). Ils sont généralement creusés à la main et où la nappe phréatique se trouve à moins de 20 mètre du niveau de sol. Leur profondeur généralement de 1 à 15 mètre, avec un diamètre de 1 à 2,5 mètres environ (Bouziani, 2000).

##### **I.19.2.2 Puits de surface**

C'est un ouvrage de captage dont le diamètre intérieur est généralement supérieur à 60cm et qui a une profondeur plus de 9 m à partir de la surface du sol. Comme il est alimenté à partir de la nappe phréatique (ou aquifère libre), ce puits est plus vulnérable à la contamination puisqu'il exploite la portion supérieure de la nappe phréatique (Barrette, 2006).

##### **I.19.2.3 Puits foncés ou puits tubulaire**

Un puits tubulaire est un ouvrage de captage généralement de petit diamètre (152 mm), de grande profondeur et aménagé avec une foreuse par une firme de puisatier (Bouziani, 2000).

##### **I.19.2.4 Puits artésien**

Le puits artésien est obtenu en perforant une couche de sol ou de roc imperméable pour accéder à une nappe d'eau sous pression nommée la nappe artésienne. Cette nappe est généralement située à plus de 100 pieds de profondeur. Le puits artésien est habituellement fiable et stable toute l'année et est l'option de choix parce qu'il est moins vulnérable à la contamination bactérienne que le puits de surface (Renald, 2003).

##### **I.19.2.5 Puits d'infiltration**

Les puits d'infiltration sont des structures qui permettent l'évacuation du ruissellement de surface par des canalisations souterraines. Cependant, contrairement aux avaloirs et aux puisards, les puits d'infiltration ne renferment pas d'entrée d'eau directe à la surface du sol : ils accroissent plutôt la capacité d'infiltration du sol grâce à l'installation de matériel poreux et dans la plupart des cas, d'un drain en serpentif entre la surface du sol et les canalisations souterraines.

Les puits d'infiltration sont essentiellement utilisés pour les eaux de toiture. Ils peuvent garantir une protection de la qualité des eaux souterraines en cas de pollution (Stämpfli, 2007).

### **I.20 Conclusion**

Dans ce chapitre on à montrer des déférents paramètres et notions sur la qualité des eaux souterraines avec des normes de potabilités et déférents critères de choix pour l'implantation des Forages.

**Chapitre II :**  
**Présentation de l'hydrologie et**  
**l'hydrogéologie de la région de**  
**Bouira**

### Première Partie : présentation hydrologique de la zone d'étude

#### II.1 Introduction :

Le présent chapitre a pour objectif de donner une idée générale sur notre région d'étude, de traiter ces caractéristiques particulièrement, sa situation géographique, topographique et climatique, et sa situation socio-économique.

#### II.2 Présentation de la wilaya de Bouira :

##### II.2.1 Localisation géographique de la wilaya de Bouira :

La wilaya de Bouira s'étend sur une superficie de 4454 Km<sup>2</sup>, elle est limitée :

- Au nord et au nord-est par la wilaya de Tizi-Ouzou et la chaîne montagneuse du Djurdjura.
- Au sud-est par la wilaya de Bordj-Bou-Arredj et la chaîne montagneuse des Bibans.
- Au sud-ouest par la wilaya de M'Sila et les montagnes de Dirah.
- Et enfin à l'ouest par les wilayas de Médéa et de Blida. (ANDI 2013).

(Voir la figure II.1 suivante)



Figure II.1 : Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira (ANIRF 2013)

##### II.2.2 Présentation administratif de la wilaya de Bouira :

Issue du découpage administratif institué par ordonnance n° 74/69 du 02 juillet 1974, relative à la refonte de l'organisation territoriale des Wilayas.

Nombre de Daïras : 12. Nombre de communes : 45. (Voir le tableau II.1 suivant)

Tableau II.1: Découpage administratif de Bouira (ANIRF 2013)

daïra	communes	daïra	communes
Bouira	Bouira, Ain turk, Ait laaziz	Bir gghbalou	Bir-gghbalou,Raouraoua,Khebouzia
Haizer	Haizer, Taghzout	Ain bessem	Ain bessem,Ain laloui,Ain elhadjar
Bechloul	Bechloul, El-esnam, El adjiba, Ahl el ksar, Ouled rached	Souk el khemis	Souk el khemis,El mokrani
M'chedallah	M'chedallah, Saharidj, Chorfa ,Ahnif, Aghbalou, Ath-mansour	El hachimia	El-hachimia, Oued el berdi
Kadiria	Kadiria,Aomar,djebahia	Sour el ghozlane	Sour el ghozlane, Maamora, Ridane, El hakimia, Hechmia, Dirah
Lakhdaria	Lakhdaria, Boukram, Guerrouma,Maala,Bouderbala	Bordj-okhriss	Bordj okhriss, Mesdour, Ttaguedite, Hadjra zerga

### II.3 Contexte géographiques :

Elle comporte trois sous bassins versants (01), (02), (03) regroupés sous la dénomination de «Bassin versant du Sahel». Ils appartiennent au grand bassin versant de la Soummam portant le numéro « 15 » selon la nomenclature adoptée par l'ANRH. (voir la figure II.2 suivante).



Figure II.2: Situation géographique de Bouira et des bassins versants (1, 2, 3), (source ANRH de Blida)

### II.3.1 Le relief :

Le relief comporte cinq 05 grands ensembles physiques :

- ✚ La dépression centrale représentée par la plaine des Aribes, ain laloui, le plateau d'El Asnam et les vallées d'Oued Ed Dous et Oued Sahel, le plateau de taghzout El Madjen, Le Plateau d'El Hachimia , Ath Mansour.
  
- ✚ La terminaison orientale de l'Atlas blidéen : Constitué d'un ensemble de collines de formations à dominance marneuse très sensible à l'érosion, on y trouve :
  - Un important potentiel hydro-agricole.
  - D'importantes agglomérations : Lakhdaria , Kadiria et Aomar.
  - De grands axes de communications (RN5, voie ferrée et projet Autoroutier Est – Ouest);
  - Le barrage de Koudiet Acerdoune.
  
- ✚ Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya) : Il se rapporte surtout aux parties centrales et occidentales du massif du Djurdjura.
  
- ✚ La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud : Cette région essentiellement forestière est interrompue à l'Ouest par la dépression de Sour-El Ghozlane. Ces reliefs sont prolongés vers le Sud par trois importants massifs et composés par :
  - Le massif de Djebel Dirah, culminant à 1810 m ;
  - Le Djebel Ketef à 1434 m ;
  - Le Djebel Ben Abdellah à 1314 m ;
  - Le Djebel Taguedite;
  - Le Djebel Afroun qui culmine à 1547 m.
  
- ✚ La dépression sud bibanique : Elle se rapporte à la terminaison septentrionale de la plaine du Hodna et aux basses collines s'étendant entre Maâmora et l'extrémité Sud–Est de Bouira. Cet espace est constitué principalement de terres de parcours. (ANDI 2013).

### II.3.2 Le réseau Hydrographie :

La wilaya de Bouira renferme d'importantes ressources en eau. Elle est traversée par des bassins versants importants dont l'apport moyen annuel est de l'ordre de 561 millions de m<sup>3</sup> constitué par (ANDI 2013) :

- ✚ Bassin versant d'Isser : 135 millions de m<sup>3</sup>/an ;
- ✚ Bassin versant Sahel Soummam : 380 millions m<sup>3</sup>/an ;
- ✚ Bassin versant du Hodna : 35 millions m<sup>3</sup>/an ;
- ✚ Bassin versant Humus : 11 millions m<sup>3</sup>/an

Du Nord au Sud, on distingue trois zones différentes :

- ✚ Au Nord : les zones de montagne représentent 31% des terres de la Wilaya. Elles présentent de fortes pentes et sont occupées par la pratique de l'arboriculture rustique, la céréaliculture combinée avec un élevage de type familial.
- ✚ Au centre : les plaines constituent 40% des terres et sont représentées par les plateaux de Bouira, El Asnam et El Hachimia. Ces espaces sont utilisés pour la céréaliculture, l'arboriculture fruitière et les cultures fourragères.
- ✚ Au Sud : les zones agropastorales où prédomine l'élevage bovin, s'étendent sur 29% des terres. (voir la figure II.3 suivante).

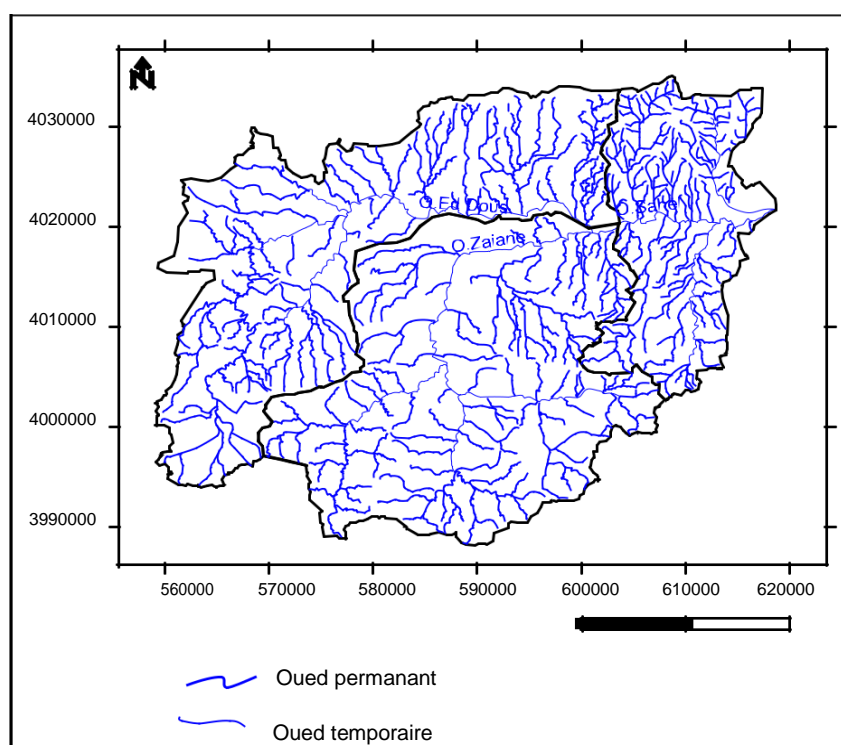


Figure II.3 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants (Source : ANRH de Blida).

### II.4 Le contexte climatologique :

Plus que d'autres facteurs, le climat est le facteur le plus déterminé des ressources en eau. L'étude de la caractéristique climatologique joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela l'étude climatologique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydrologique de surface d'une région donnée. Les précipitations, les températures, le vent, l'humidité, l'évapotranspiration et l'ensoleillement et d'autres phénomènes atmosphériques constituent le climat de la région d'étude. Ainsi, l'étude des possibilités de la maîtrise des ressources en eau dans les bassins est extrêmement liée à ces phénomènes qui régissent les écoulements. Pour cela, il est très utile de faire l'approche hydro climatique (boutouga 2012).

**II.4.1 Les précipitations :**

L'analyse de la variabilité moyenne mensuelle des précipitations pour la période 1970-2009 montre l'existence au niveau des différentes stations d'une saison froide et humide s'étalant de Octobre à Avril avec un maximum de précipitations en Décembre et une saison sèche entre Mai et Septembre où les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois de Juillet. (Voir le tableau II.2 suivant) et (Voir la figure II.4 suivante).

## Chapitre II : Présentation de l'hydrologie et l'hydrogéologie de la région de Bouira

Tableau II.2: Précipitations moyennes mensuelles (1970-2009) (ANRH Blida)

Station/mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Annuel
SEG	32,94	36,12	42,46	68,14	57,21	41,7	45,17	47	37,02	9,2	6,47	13,63	437,06
El hachimia	36,77	46,96	49,88	65,91	57,95	52,92	48,9	49,87	38,86	10,73	6,75	10,9	476,4
Bouira	33,49	34,4	45,71	64,85	56,21	47,68	44,55	41,51	33,24	10,41	4,72	10,43	427,2
Hammam ksena	35,8	43,9	49,59	65,4	57,8	50,82	49,1	42,9	38,8	10,67	4,28	10,94	460,0
Bordj Okhris	26,77	40,36	43,82	60,13	57,94	51,85	43,61	42,74	32,25	9,91	3,41	9,41	422,2
Créte rouge	30,44	25,35	42,58	45,55	40,47	30,92	37,12	30,6	26,4	7,02	1,92	6,33	324,7
Benni Hmrad	24,14	30,22	49,93	55,74	52,43	45,85	35,59	39,15	24,51	4,38	3,8	2,76	368,5
Khebouzia	27,26	34,19	55,75	58,94	58,16	57,58	50,66	48,62	32,09	6,77	1,54	3,95	435,51
Lakhdaria	33,2	57,36	94,75	112,13	93,29	93,36	82,44	71,6	50,13	10,42	3,89	6,19	708,76
Djebahia	31,05	46,2	70,83	100,73	80,08	78,63	76,61	58,33	44,25	9,45	5,64	7,91	609,71
Souagi	26,35	32,88	30,73	39,17	41,56	37,45	34,14	37,51	38,15	10,35	8,18	7,97	344,44
M'chedallah	28,26	27,18	37,16	41,8	40,1	27,3	38,12	25,9	25,13	7,85	3,7	8,1	310,6
Précipitations moy	30,54	37,93	51,10	64,87	57,77	51,34	48,83	44,64	35,07	8,93	4,53	8,21	443,75

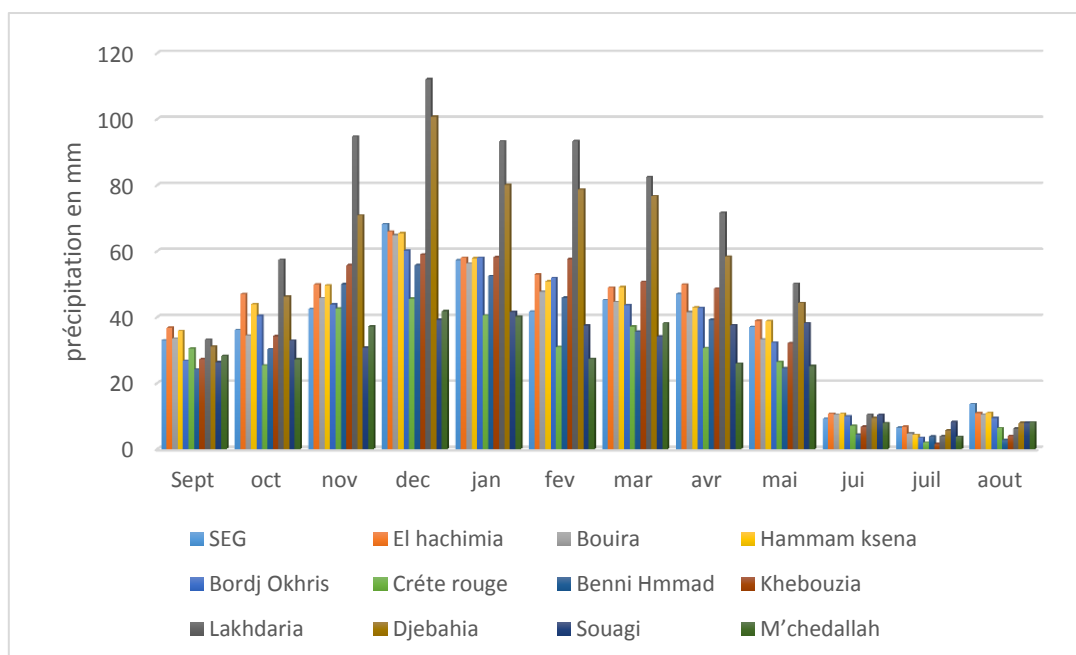


Figure II.4 : Histogramme des précipitations mensuelles pour la période 1970-2009.

#### II.4.1.1 Evaluation de la lame d'eau précipitée :

L'estimation de la lame d'eau précipitée sur les stations de la wilaya a été effectuée par la méthode arithmétique.

##### a) Méthode arithmétique :

C'est la méthode la plus simple qui consiste à calculer la moyenne arithmétique des valeurs obtenues aux stations étudiées. Elle s'applique uniquement si les stations sont bien réparties et si le relief du bassin est homogène.

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N}$$

Avec :

P moy : précipitation moyenne sur le bassin en mm

Pi : Précipitations enregistrées dans la station i en mm

N : nombre de station.

(Voir le tableau II.3 suivant).

Tableau II.3 : Evaluation de lame précipitée par la méthode arithmétique

Station	Précipitations (mm)
SEG	437,06
El hachimia	476,4
Bouira	427,2
Hammam ksena	460,0
Bordj Okhris	422,2
Crête rouge	324,7
Benni Hammad	368,5
Khebouzia	435.51
Lakhdaria	708.76
Djebahia	609.71
Souagi	344.44
M'chedallah	310,6
N= 12	$\Sigma = 5325.08$
	Pmoy= 443.75

#### II.4.2 La Température :

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique. Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 10 ans (1997-2007), par la station de Bouira. Les températures ambiantes ont été mesurées à l'aide de thermomètre à minima et à maxima. Le tableau suivant résume les moyennes mensuelles et annuelles correspondant à la période d'observation.

(Voir le tableau II.4 suivant) et (voir la II.5 suivante).

Tableau II.4: Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007).

paramètres	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	année
T° min	17.1	13.8	8.3	5.2	3.7	4.0	6.4	8.7	12.8	17.3	20.1	20.3	11.6
T° max	30.0	25.4	17.5	13.6	13.0	14.4	18.2	20.7	25.9	32.5	35.6	35.2	23.6
T° moy	23.5	19.6	12.9	9.4	8.4	9.2	12.3	14.7	19.4	24.9	27.9	27.8	17.5

Source : ONM Bouira

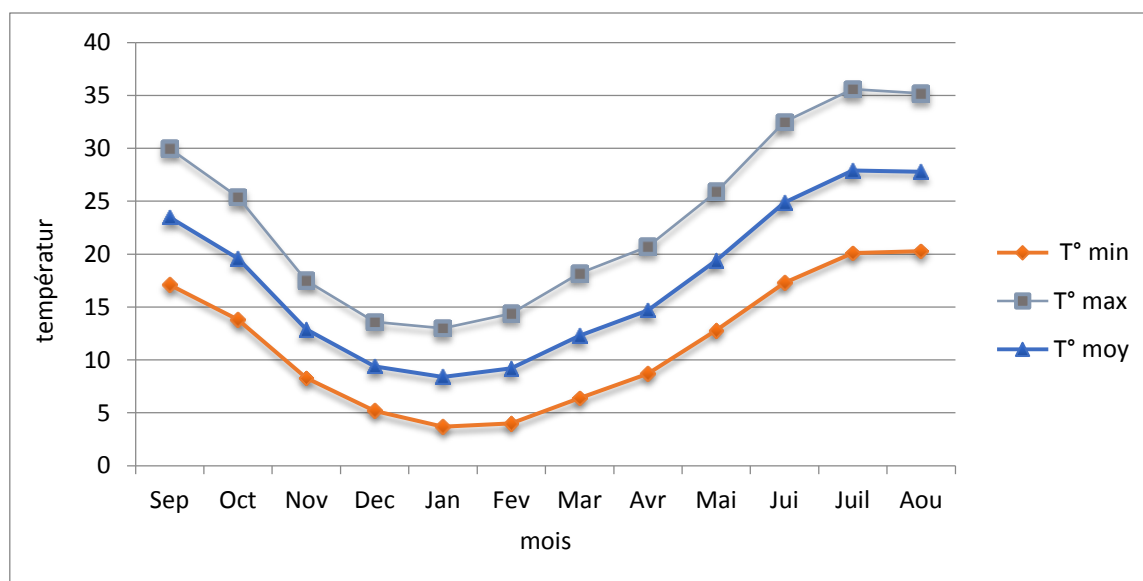


Figure II.5 : Répartition mensuelle des températures moyennes mensuelles, maximales et minimales (station de Bouira)

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,5 °C. On constate que les mois les plus chauds sont juillet et août avec une température de 35,6°C en raison des courants chauds provenant du Sud. Les mois froids sont décembre, janvier et février.

#### II.4.3 Le vent :

C'est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région, en raison des dégâts qu'il cause, notamment en agriculture. Dans la zone d'étude, les vents soufflent dans des directions à différentes intensités en fonction des saisons, les vents les plus dominants sont ceux du West et Est. Durant les trois mois : janvier, février, mars, la valeur maximale reste inférieure à 28 m/s. Pendant le reste de l'année, elle dépasse 28m/s en moyenne pour atteindre son maximum en mois d'avril 38 m/s. Ces vents agissent sur la nébulosité en réduisant les écrans nuageux pour faire place aux rayons solaires qui augmentent les températures favorisant l'évaporation. Le vent du Sud ou siroco, souffle dès la fin du printemps et durant l'été accentuant ainsi le dessèchement du sol et l'évapotranspiration des végétaux. (Voir le tableau II.5 suivant) et (voir la figure II.6 suivante).

Tableau II.5 : La vitesse du vent (max et moy) mensuelles et annuelles en m/s (1997-2007).

Station de Bouira	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Moy. Annuel.
Vmoy (m/s)	3.8	2.5	4.7	5.5	3.8	5.2	4.3	3.8	4.5	4.9	3.8	5.0	4.3
Vmax (m/s)	25	20	26	38	28	34	30	29	34	30	29	36	30

Source : ONM Bouira

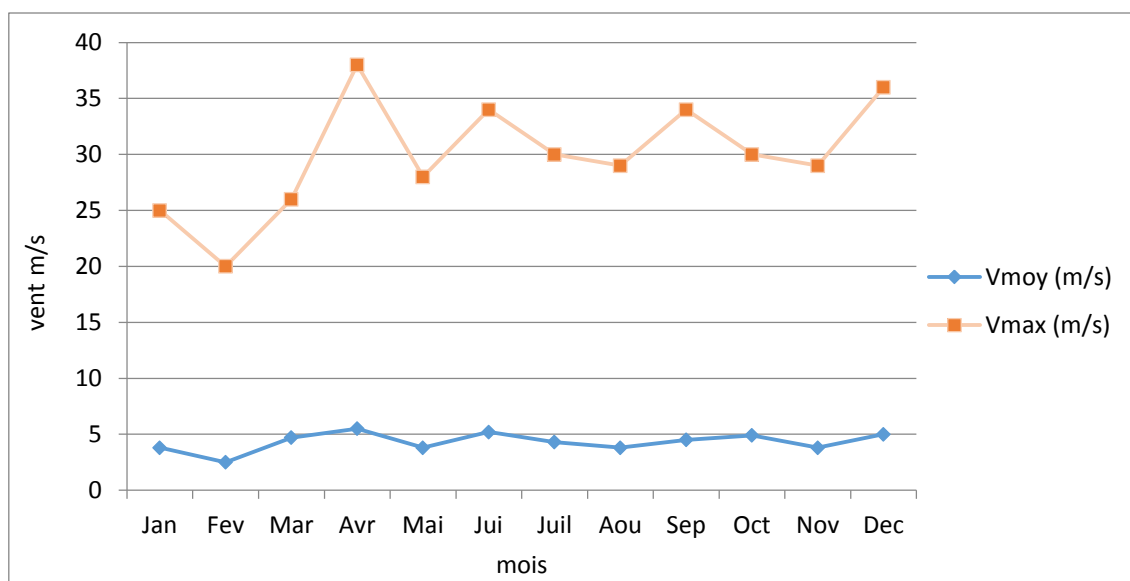


Figure II.6 : Répartition mensuelle de vent, max et moy (station de Bouira)

#### II.4.4 Humidité relative :

C'est le quotient entre la tension de vapeur réelle et la tension de vapeur saturante. L'humidité de la région montre un écart important entre la période hivernale et estivale. Les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Bouira sont portées dans le (tableau suivant II.6) Et (la figure II.7 suivante) :

Tableau II.6: Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative. Période 1997-2007

mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	déc
Moyenne mensuelle (%)	84	83	74	71	66	53	48	54	65	70	74	85

Source : ONM Bouira

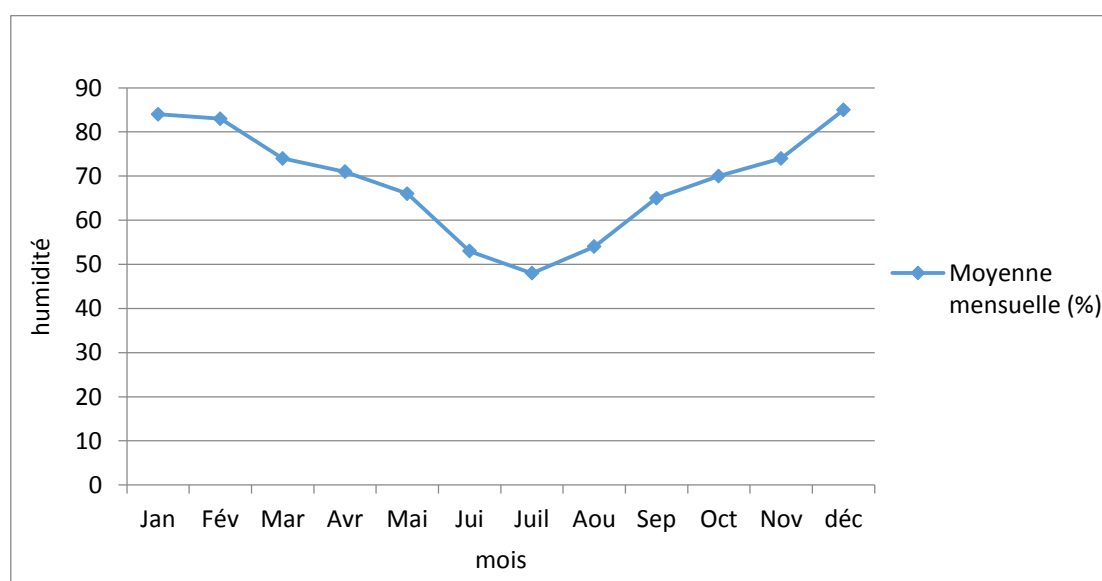


Figure II.7 : Humidité relative pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira)

L'humidité est supérieure à 70% sur les 6 mois de l'année et ceci à partir du mois d'Octobre. Le maximum est enregistré en saison hivernale 85% alors que le minimum 48% est observé en été.

### II.4.5 Insolation :

L'insolation ou radiation solaire globale représente la durée totale mensuelle d'ensoleillement en supposant un ciel dégagé de nuages, elle est mesurée à l'aide de l'héliographe CAMPBELL et exprimée en heures. Nous remarquons que les heures d'insolation augmentent en été jusqu'à atteindre 334 heures en juillet pour décroître en hiver avec une insolation minimale de 170 heures en décembre. (Source ONM Bouira)

### II.4.6 Evaporation :

L'évaporation se définit comme étant le passage de la phase liquide à la phase vapeur, il s'agit de l'évaporation physique. Les plans d'eau et la couverture végétale sont les principales sources de vapeur d'eau. On parle de sublimation lors du passage direct de l'eau sous forme solide (glace) en vapeur. Le principal facteur régissant l'évaporation est la radiation solaire. Les mesures de l'évaporation ont été effectuées sous abri à l'aide de l'évaporimètre "Piche" à la station de Bouira, le tableau résume les moyennes mensuelles de l'évaporation en mm sur une période de 10 années (1997-2007). (Voir le tableau II.7 suivant) et (voir la figure II.8 suivante).

Tableau II.7 : Evaporation moyenne mensuelle et annuelle à la station de Bouira (1997 – 2007).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
Evaporation (mm)	193.6	156.3	79.3	63.4	65.3	71.1	115.4	137.5	179.3	284.4	336.1	307.3	1989

Source : ONM Bouira

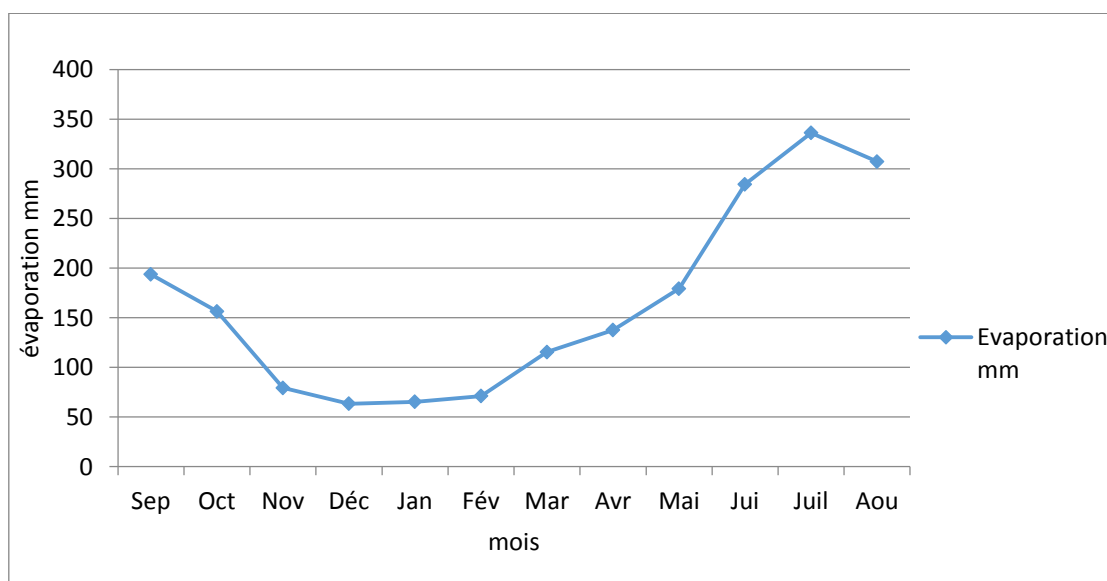


Figure II.8 : Evaporation pour la région Bouira (Période 1997-2007 station de Bouira)

D'après ce tableau, l'évaporation est relativement faible dans la période allant de Novembre à Février et importante en période estivale. L'évaporation annuelle est égale à 1989 mm (presque 2m).

### II.4.6.1 Relation évaporation-température :

Comme bien illustré dans le tableau, l'évaporation est pratiquement proportionnelle à la température, ses valeurs minimales correspondent aux mois de basses températures, et l'inverse. (Voir le tableau II.8 suivant) et (la figure II.9 suivante).

Tableau II.8 : Répartition des moyennes mensuelles de l'évaporation en fonction de la température

Paramètre	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Année
T <sub>moy</sub> (°C)	23.5	19.6	12.9	9.4	8.4	9.2	12.3	14.7	19.4	24.9	27.9	27.8	17.5
Evaporation Piche (mm)	193.6	156.3	79.3	63.4	65.3	71.1	115.4	137.5	179.3	284.4	336.1	307.3	1989

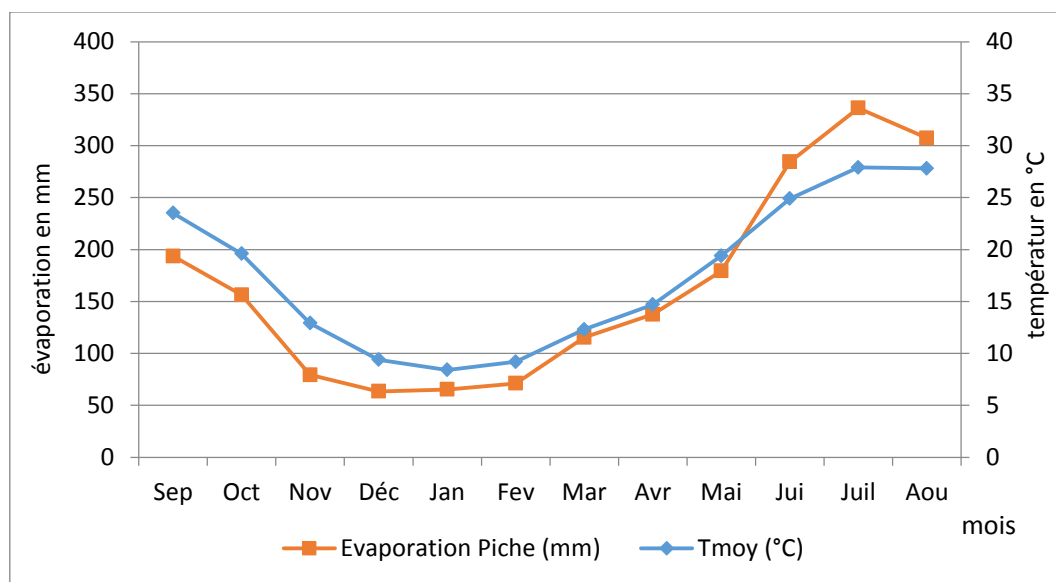


Figure II.9 : Evolution de l'évaporation en fonction de la température.

### II.4.6.2 Etude de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée si la quantité d'eau disponible était illimitée. C'est le terme le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, mais elle est difficile à estimer du fait qu'elle résulte de plusieurs facteurs climatiques et géographiques. selon la Formule de Penman-Monteith:

$$ETP = \frac{0.408 * \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{Cste}{T + 273} U2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u2)}$$

Rn = rayonnement global.

G = flux de chaleur dans le sol par conduction.

Δ et γ = constantes en kPa/°C,

Cste = 900.

T = température en °C.

P = pression atmosphérique en kPa,

z = altitude par rapport à la mer (m).

$e_s(T) = e_{sat}(T)$ , la pression de vapeur saturante en kPa,

$e_a(T)$  = pression de vapeur actuelle en kPa = humidité relative \*  $e_s$  / 100,

$u_2$  = vitesse du vent à 2 mètres du sol en m/s.

En raison de l'indisponibilité de caractéristiques de la méthode de Penman on a utilisé d'autres formules pour avoir une estimation d'évapotranspiration.

#### II.4.6.2.1 Evaluation de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) :

L'ETP se définit comme la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue en phase vapeur, sous un climat donné, par un couvert végétal continu spécifié (gazon) bien alimenté en eau et pour un végétal sain en pleine croissance. Elle comprend donc l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration du couvert végétal pendant le temps considéré pour un terrain donné.

##### ➤ La formule de Thornthwaite :

Elle est très employée, car elle n'exige en dehors de la latitude de la station, que la température moyenne mensuelle.

$$ETP = 16 \left( \frac{10T}{I} \right)^a$$

$$ETPc = ETP * K$$

ETPc : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée en (mm).

T : température moyenne mensuelle en °C

$$I = \sum_i ET_i = (t/5)^{1,514}$$

i: indice thermique

$$a = (1.6 * I / 100) + 0.5$$

K : coefficient de correction en fonction de la latitude. (Voir le tableau II.9 suivant).

Tableau II.9: Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Thornthwaite

Mois	T(C°)	i	I=Σ i	a	ETP calculé	K	ETP corrigée
Jan	8.4	2.19	84.94	1.86	15.67	0.87	13.63
Fév	9.2	2.52			18.56	0.85	15.78
Mar	12.3	3.91			31.86	1.03	32.82
Avr	14.7	5.12			44.38	1.10	48.82

Mai	19.4	7.79			74.35	1.21	89.97
Jui	24.9	11.37			118.28	1.22	144.30
Juil	27.9	13.50			146.15	1.24	181.23
Aou	27.8	13.43			145.18	1.16	168.41
Sep	23.5	10.41			106.21	1.03	109.40
Oct	19.6	7.91			75.78	0.97	73.51
Nov	12.9	4.19			34.81	0.86	29.94
Déc	9.4	2.60			19.32	0.84	16.23
Année	17,5	84.94			830.55	-	924.04

D'après le tableau ci-dessus, on remarque une augmentation des valeurs de l'ETP à partir du mois de Mai pour atteindre les plus fortes valeurs au mois de Juillet, cela est dû à l'intensité du rayonnement solaire dans cette période de l'année. Une diminution apparaît à partir du mois de Novembre jusqu'à Avril.

➤ **La formule de Serra :**

Ce dernier a repris la formule de Thornthwaite avec une approximation largement suffisante aux expressions. Avec :

T : température moyenne annuelle (mm)

I : indice thermique égale à la somme des indices mensuels

k= coefficient d'ajustement mensuelle.

$I = \sum i$  avec  $i = 0.09T^{3/2}$

$a = (1,6.I/100) + 0,5$

(Voir le tableau II.10 suivant)

Tableau II.10: Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm selon Serra

Mois	T(C°)	i	I=Σ i	a	ETP calculé	K	ETP corrigée
Jan	8.4	2.19	83.79	1.84	16.07	0.87	13.98
Fév	9.2	2.51			19.00	0.85	16.15
Mar	12.3	3.88			32.42	1.03	33.39
Avr	14.7	5.07			45.01	1.10	49.51

Mai	19.4	7.69			74.99	1.21	90.74
Jui	24.9	11.18			118.70	1.22	144.81
Juil	27.9	13.26			146.34	1.24	181.50
Aou	27.8	13.19			145.37	1.16	168.63
Sep	23.5	10.25			106.71	1.03	109.91
Oct	19.6	7.81			76.42	0.97	74.13
Nov	12.9	4.17			35.39	0.86	30.43
Déc	9.4	2.59			19.77	0.84	16.61
Année	17,5	83.79			836.19	-	929.79

#### **II.4.6.2.2 Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) :**

Correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée par l'action biologique. Elle est calculée à partir des formules empiriques qui utilisent les données de températures et de précipitations dont nous disposons.

##### **A. Formule de Turc :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec :

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

T = Température moyenne annuelle (°C)

P = Précipitation moyenne annuelle en (mm)

ETR : l'évapotranspiration réelle (en mm/an)

P : la hauteur annuelle de pluie (en mm)

- L'application de (L) donne  $L = 1005.47$
- L'application de ETR donne  $ETR = 424.11 \text{ mm/an}$

### B. Formule de COUTAGNE :

Le déficit d'écoulement calculé à partir de cette formule peut être rapproché de l'évapotranspiration réelle, elle fait intervenir la température et la hauteur des pluies.

$$ETR = P - \lambda T^2$$

Avec :

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

ETR : Evapotranspiration réelle (en m/an).

P : Pluie annuelle (m).

T : Température moyenne annuelle (°C).

Cette formule est applicable pour la condition suivante :

$$\lambda = 0.31 \quad \frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

➤ L'application donne ETR = 348.81 mm/an

(Voir le tableau II.11 suivant)

Tableau II.11 : Résultats récapitulatifs des valeurs d'évapotranspiration potentielle et évapotranspiration réelle sur la région de Bouira

Paramètres	Méthodes	Valeurs	Moyennes arithmétiques (mm)
ETP	Thornthwaite	924.04	926.91
	Serra	929.79	
ETR	Turc	424.11	386.46
	Coutagne	348.81	

### II.4.7 Estimation de la lame ruisselée (R) :

Le ruissellement est estimé à partir des débits journaliers récupérés au niveau des stations hydrométriques, mais, la mauvaise qualité des données et l'arrêt complet de certaines stations hydrométriques nous obligent à utiliser la formule ci-dessous qui permet d'évaluer la lame ruisselée à partir de la lame précipitée P (mm) et l'ETP.

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

R : Lame d'eau ruisselée moyenne annuelle (mm).

P : Lame d'eau précipité moyenne annuelle (mm).

ETP : évapotranspiration potentielle (mm).

➤ L'application donne une valeur égale à 33.90mm.

La lame d'eau ruisselée peut également être calculée par la méthode de SOGREAH établie pour les oueds de l'Algérie du nord ;

$$Lr = 720 \left( \frac{Pa-250}{1000} \right)^{1.85}$$

Lr : lame ruisselée (mm)

Pa : pluie moyenne annuelle sur le bassin (mm)

- Après calcul, on obtient une lame d'eau ruisselée égale à 34.57mm.

(Voir le tableau II.12 suivant)

Tableau II.12: Résultats de la lame ruisselée (R)

Région	P moyennes (mm)	ETP moyenne (mm)	Lame ruisselée (mm)
Bouira	443.75	926.91	34.23

### II.4.8 Calcul de l'infiltration efficace :

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité.

$$P = ETR + R + I \text{ D'où } I = P - ETR - R$$

Avec :

I : Infiltration efficace moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

R : Ruissellement annuel (mm).

(Voir le tableau II.13 suivant)

Tableau II.13: Valeurs d'infiltration efficace

Region	P moy (mm/an)	ETR (mm/an)	R (mm/an)	I (mm/an)
Bouira	443.75	386.46	34.23	23.06

Selon les valeurs calculés d'infiltrations (Tableau 13) pour la région de Bouira, 5% des précipitations sont infiltrées.

### II.4.9 Régime climatique et identification du climat :

Pour classer le climat de la région de Bouira, nous avons utilisé le diagramme Ombrothermique et on a calculé l'indice d'aridité de De Martonne et FAO.

#### II.4.9.1 Indice d'aridité de la FAO :

Il est défini par la formule suivante :

$$I = P / ETP$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm),

Les expériences de la FAO distinguent quatre zones bioclimatiques :

I < 0 : Zone désertique ;

0.06 < I < 0.2 : Zone aride ou désertique atténuée ;

0.2 < I < 0.5 : Zone semi-aride ;

I > 0.7 : Zone subhumide.

➤ L'application donne I= 0.48

D'après l'indice d'aridité de la FAO, la région de Bouira est une zone à climat semi-aride.

#### II.4.9.2 Indice annuel d'aridité de De Martonne :

Il est défini comme le rapport entre les précipitations et les températures et permet de trouver le type de climat qui règne dans la région, la formule utilisée est la suivante :

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

Avec :

I : l'indice d'aridité annuelle

P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;

T : Températures moyennes annuelles en °C

Le climat est défini selon la valeur de I :

- I < 5 : Climat Hyperaride
  - 5 < I < 7.5 : Climat Désertique
  - 7.5 < I < 10 : Climat Steppique
  - 10 < I < 20 : Climat Semi-Aride
  - 20 < I < 30 : Climat Tempéré
- (Voir le tableau II.14 suivant).

Nous obtenons un indice d'aridité I qui est égale à I=16.14

Tableau II.14 : Indice d'aridité de De Martonne

P (mm)	T (°C)	I	Cadre climatique
443.75	17.5	16.14	Semi-aride

D'après l'abaque de E. De Martonne, la région du Bouira est une zone à climat semi-aride à écoulement temporaire.

(Voir la figure II.10 suivante).

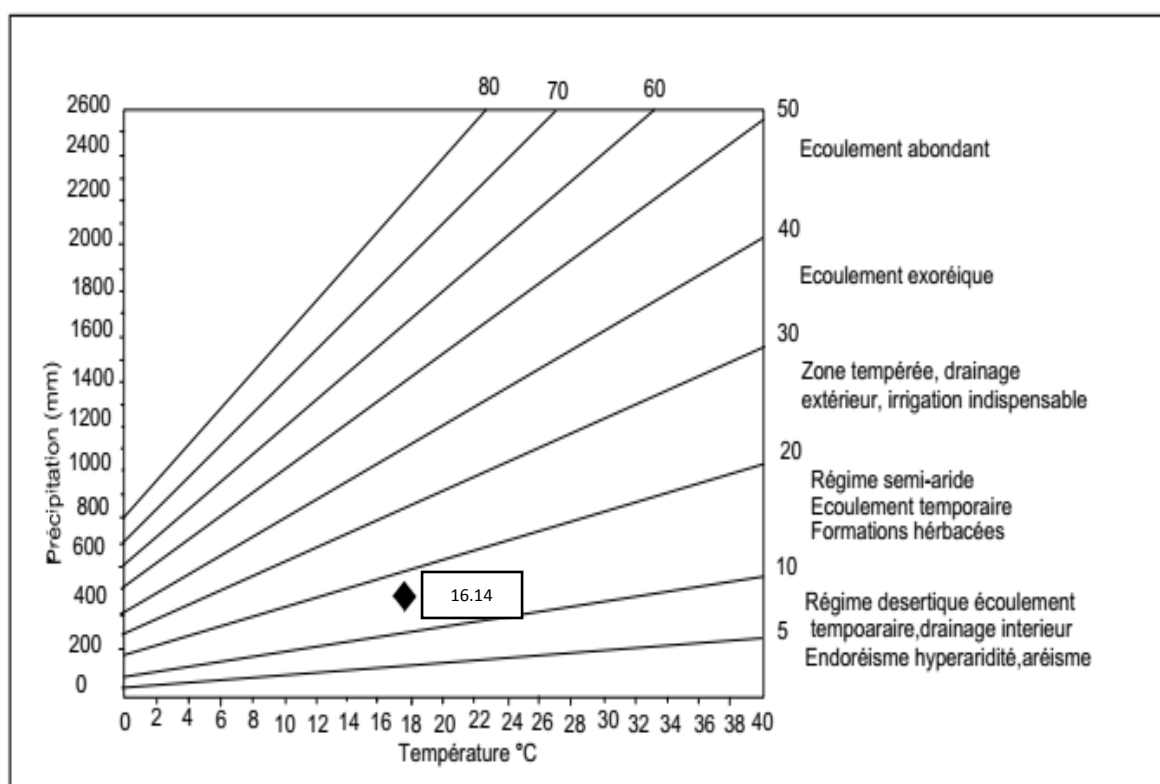


Figure II.10 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

### II.4.9.3 Diagramme pluviométrique (Ombrothermique) :

Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, est une méthode graphique qui permette de mettre en évidence les périodes sèches d'une région. Ce diagramme est représenté en abscisse par les mois de l'année, en ordonnée à gauche par les précipitations (en mm) et en ordonnées à droite par les températures moyennes (en °C), avec une échelle de  $P = 2T$ . L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche.

La période correspondante est dite déficitaire (sèche) en eau lorsque les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, et elle est dite période (humide) lorsque la courbe des précipitations passe au-dessus de celle de température. (Voir la figure II.11 suivante).

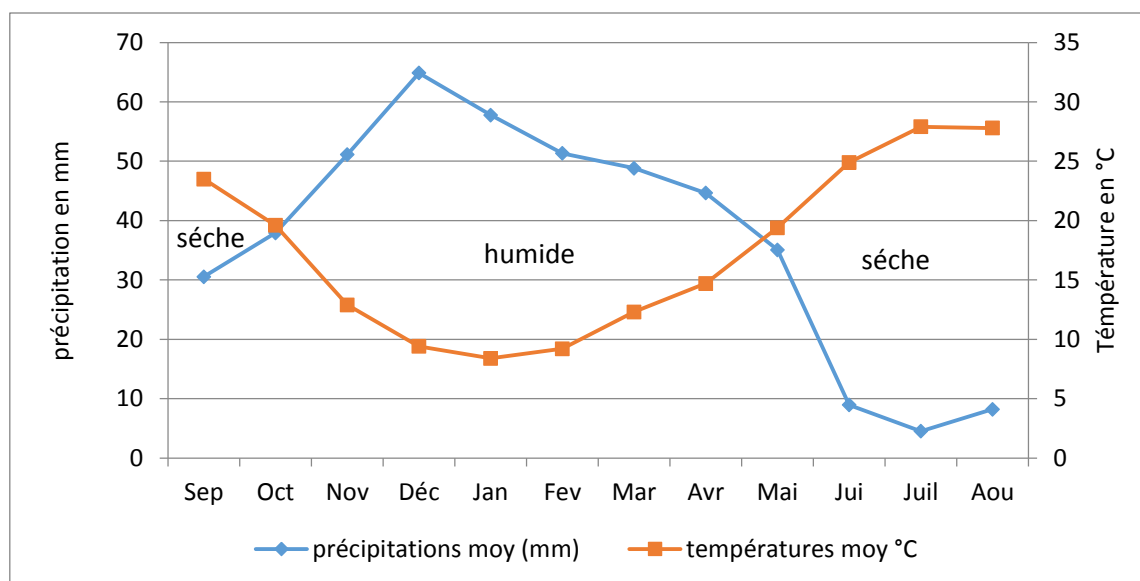


Figure II.11 : Diagramme Ombrothermique de la région de Bouira

L'établissement de diagramme pluviothermique de notre zone d'étude, (figure11), permet de ressortir deux saison, saison humides (du mois de mi-octobre au moi mi-mai) et une saison sèche (du mi du mois mi-mai au mois de mi-octobre) avec la remarque que l'écart entre les températures et les précipitations et d'autant plus grand durant la période sèche, par rapport à celui de la période humide.

## II.5 Contexte socio-économique :

### II.5.1 Population :

La population totale de la wilaya est estimée 695583 habitants soit une densité de 160 habitants / km<sup>2</sup>. (ANDI 2013).

### II.5.2 Activités agricole :

Sa vocation principalement agricole, lui ouvre de larges perspectives dans le domaine de la PMI/PME à travers notamment les activités de transformation agro-alimentaire.

La wilaya dispose de deux grands périmètres agricoles : à l'Est (périmètre de M'chedallah) : 1.600 ha et à l'Ouest (périmètre des Aribes (Ain Bessem)) : 2.200 ha.

La production agricole au niveau de la wilaya est à prédominance céréalière et oléicole. (ANDI 2013).

### II.5.3 Activités industrielles :

D'importance ressources minières sont disponibles à travers la wilaya, tels que le gypse, pierre taillée et argile, exploitées entres autres par la cimenterie de Sour El Gozlane, les Briqueteries d'Aomar et plusieurs unités d'exploitations de carrières d'agrégats pour les besoins du BTPH. L'existence d'un poste transformateur de 400KV implanté à Bir Ghbalou.

La Wilaya de Bouira dispose d'une zone industrielle dans la commune d'Oued El Berdi d'une superficie total de 2 244 043 m<sup>2</sup> dont 2 108 804 m<sup>2</sup> cessible soit 93,97%. Le nombre de projets créé est de 49 dont 08 opérationnels avec effectifs de 180.

Le Réseau routier de la wilaya se répartit comme suit :

- Autoroute Est-Ouest : 101 Km
- Routes Nationales : 355,44 Km
- Chemins de wilaya : 800,191Km
- Chemins communaux : 1411,375 Km. (ANDI 2013).

### **Réseau Ferroviaire de la wilaya :**

La voie ferrée qui traverse la wilaya de Bouira au Nord sur 101 Km environ, fait partie du réseau national reliant l'Est à l'Ouest du pays. Il s'agit d'une voie unique, avec 7 gares au niveau des principaux centres urbains, vétustes, qui nécessitent d'importants aménagements au niveau des clôtures, des infrastructures d'accueil et de l'éclairage. L'étude du projet de voie ferrée reliant la gare d'El-Esnam à Sour El Ghozlane en passant par la zone industrielle de Sidi Khaled (Oued El Berdi) est en cours. Ce projet constitue un atout certain dans le développement Nord -Sud de la wilaya de Bouira. (ANDI 2013).

### **Réseau électrique :**

- Taux d'électrification urbain : 98 %.
- Taux de couverture en gaz de ville : 60%.

Ressources et Mobilisation des Eaux :

- Barrage koudiet asserdoune commune de Maala capacité 640 000 000 m<sup>3</sup> ;
- Barrage tilesdit commune de Bechloul capacité 167 000 000 m<sup>3</sup> ;
- Barrage lakhal commune d'Ain bessem capacité 30 000 000 m<sup>3</sup> ;
- Retenus collinaires : 30.

### **II.5.4 Potentialités et activistes touristiques :**

La Wilaya de Bouira est un carrefour routier et de civilisation offre à ne pas en douter des potentialités touristiques indéniables permettant plusieurs types de tourisme dont :

- Un tourisme de loisirs et de détente (à travers le parc national du Djurdjura, les massifs forestiers, les plans d'eau et barrages).
- Un tourisme thermal (curatif et de relaxation) (source thermale Hammam K'sana
- Un tourisme historique et archéologique (vestiges préhistoriques, romains, turcs, français etc... à découvrir).
- Un tourisme culturel et de particularités traditionnelles (à découvrir à travers les Zaouiate, les Mosquées, les fêtes et manifestations ancestrales traditionnelles dont « Aid El Hassad » et fête de l'olivier).
- Un tourisme lié aux curiosités artisanales et culinaires.

### **Deuxième Partie : présentation hydrogéologique de la région d'étude :**

#### **II.6 Introduction :**

La géologie est une partie très importante dans toute étude hydrologique et hydro chimique. Ainsi, la lithologie, jouent un rôle primordial sur la qualité des eaux souterraines (MEKAOUSSI .2014).

Pour une meilleure connaissance des différentes caractéristiques chimiques de cette eau, il est indispensable de donner un aperçu plus ou moins détaillé sur l'aspect géologique du terrain. Dans cette partie de notre travail, nous nous intéresserons particulièrement à la région de Bouira.

Le plateau d'El Asnam abrite une nappe d'eau importante, exploitée pour les besoins en eau potable des principales agglomérations de la zone Bouira - El .Asnam.

L'aquifère d'El Asnam présente une superficie de 21.34 km<sup>2</sup> et un périmètre de 36.60 km. Le plateau d'El Asnam a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique et particulièrement agricole (culture de pomme de terre, céréaliculture, élevage de volailles...etc.), après l'application du PNDA en 2000. Ceci a augmenté et a exposé la demande en eau, ces dernières années, la nappe souterraine en raison de la remontée appréciable du niveau statique (irrigation par le barrage de Telesdit (ANRH 2010) à différentes pollutions résultant de l'activité humaine et agricole tels que :

- L'irrigation incontrôlée qui entraîne la percolation de ces derniers.
- Les rejets urbains, qui déversent des eaux usées domestiques dans le plateau, sans traitement préalable, et l'absence des réseaux d'assainissement dans certaines régions tel que le village socialiste.
- Les décharges ménagères sauvages.

#### **II.7 Contexte géologique :**

##### **II.7.1 Contexte géologique régional :**

L'Algérie présente quatre grands ensembles structuraux qui sont du Nord au Sud :

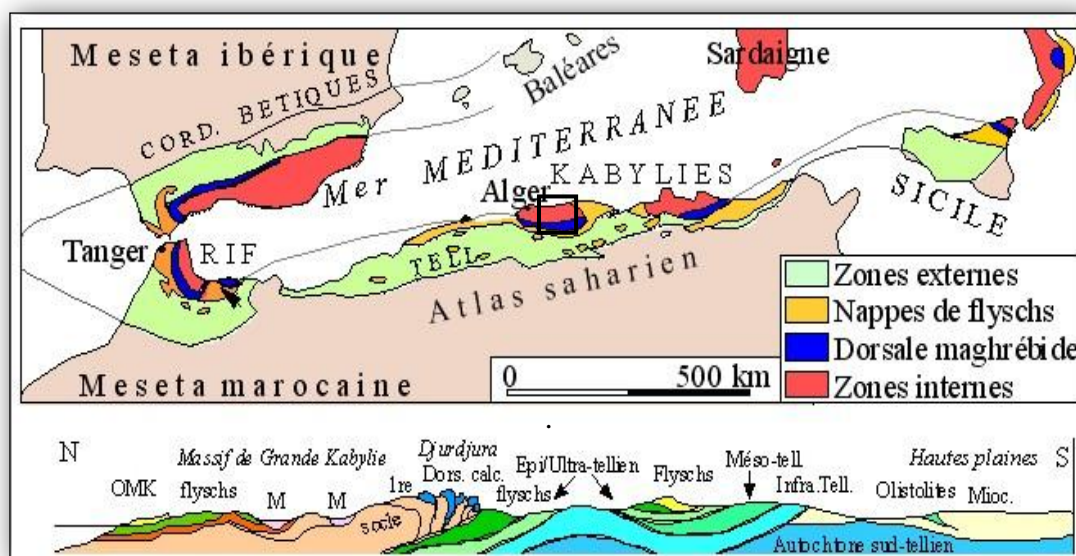
- Le domaine tellien
- Les hauts plateaux et les hautes plaines
- Atlas saharien
- La plateforme saharienne

##### **II.7.1.1 Domaine tellien :**

La région d'étude se situe dans les limites de la chaîne orogénique périméditerranéenne d'âge alpin qui est formée de trois domaines paléogéographiques, on distingue :

- Domaine interne ;
- Domaine des flyschs ;
- Domaine externe.

(Voir la figure II.12 suivante).



### II.7.1.1.1 Domaine interne :

Se localise en Algérie dans les massifs de Chenoua, d'Alger, de grande et petite Kabylie. Il est de structure très complexe, et il regroupe de bas en haut les ensembles suivants :

- le socle Kabyle
- la couverture paléozoïque
- la dorsale Kabyle

### II.7.1.1.2 Domaine des Flyschs :

Ces flyschs se situent au sud du domaine interne auquel nous y rattachons trois types de nappes :

- Nappe du flysch mauritanien.
- Nappe du flysch massylien.
- Nappe du flysch numidien.

(Voir la figure II.13 suivante)

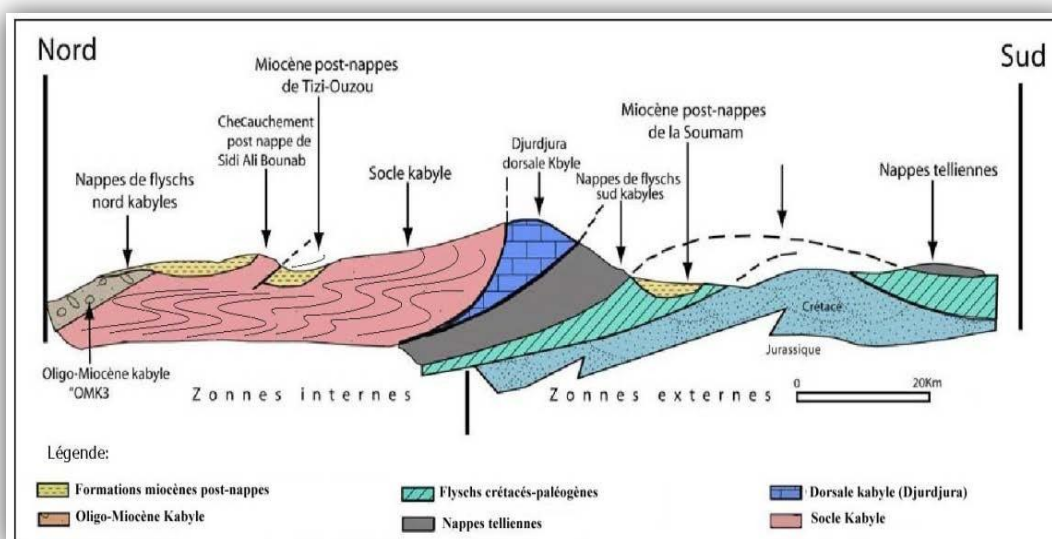


Figure II.13 : coupe synthétique et interprétative N-S de la partie centrale du domaine Tellien (Durand Delga et al, 1969 ; modifiée par Ait, 1994)

### II.7.1.1.3 Domaine externe :

Il est situé au sud du domaine des flyschs, ce sont des dépôts telliens miogéosynclinaux, observés sur presque toute la région de la Soummam.

### II.7.1.2 Les hauts plateaux et les hautes plaines :

Ce sont des terrains autochtones et tabulaires formés d'un matériel sédimentaire mésozoïque transgressif sur un socle primaire qui affleure parfois à la faveur des grandes failles.

### II.7.1.3 L'Atlas Saharien :

Il est séparé du domaine tellien par un grand accident appelé communément « l'accident nord atlasique ». Du point de vue stratigraphique, l'Atlas Saharien est composé essentiellement de sédiments mésozoïques, qui ont été plissés au cours des différentes phases orogénique d'âge tertiaire, formant de grands plis d'orientation WSW-ENE. Le jurassique est présenté par une série très épaisse de sédiments calcaro-dolomitiques.

### II.7.1.4 La plateforme Saharienne :

Elle apparaît au-delà de la flexure sud atlasique, non perturbée par les déformations, la plateforme saharienne est formée de vastes bassins sédimentaires, où les couvertures d'âge paléozoïque ou mésozoïque laissent apparaître à la faveur de l'érosion le gigantesque bombement du Hoggar et le massif de l'Eglab.

## II.7.2 Cadre géologiques local :

Le secteur d'étude se localise dans la partie occidentale de la dépression de la Soummam. Cette dernière forme la jonction entre le Tell septentrional au Nord et le Tell méridional au

Sud. Le secteur d'étude est bordé au Nord par les flyschs du flanc Sud du Djurdjura et au Sud par des affleurements du Miocène. Les séries stratigraphiques s'étendant sur la région sont :

### **II.7.2.1 Les flyschs du flanc du Sud du Djurdjura :**

Sur le flanc méridional de la chaîne du Djurdjura, s'étendent de façon continue d'Ouest en Est des formations à faciès flyschs. Cet ensemble puissant de plus de 500m (J.Flandrin) attribué au Crétacé est représenté par des schistes verdâtres, des quartzites, des bancs de microbrèches, des conglomérats et des lentilles de calcaires.

#### **A- Les flyschs inférieurs :**

Ils peuvent être réparties en trois types de faciès :

- Flysch tertiaire représenté par une série pélitique bleue sombre avec des degrés.
- Flysch sénonien à micro brèches. Cette série est essentiellement constituée de marne se débitant en fine pallètes
- Flysch cénomano-turonien. Il est formé de phtanite associés à de petits bancs de calcaires.

#### **B- Les flyschs supérieur :**

Ces flyschs surmontent les précédents. Ils sont plus ordonnés, mais la série est renversée.

### **II.7.2.2 Le Miocène :**

Il s'agit de formations du Miocène inférieur post-nappe. Cette puissante formation continentale se développe largement dans la vallée de la Soummam. Ce Miocène forme la majeure partie des affleurements de bordure de la plaine.

Les dépôts miocènes sont essentiellement formés d'assises conglomératiques jaunâtres à rouge brique avec des argiles sableuses ainsi que des passées argileuses et des grés. Les formations sont caractérisées par d'importantes variations de faciès. Elles sont recouvertes sur le plateau de Bled el Madjen par des formations quaternaires.

### **II.7.2.3 Le Quaternaire :**

Dans le secteur d'étude le Quaternaire est représenté par divers types de dépôts :

- Les alluvions actuelles, constituées par des limons sablonneux résultant des crues. Les alluvions occupent le fond de l'oued Ed Dous.
- Les alluvions anciennes des vallées sont représentées par des dépôts caillouteux, limoneux et argilo-sableux.
- Les terrasses anciennes, ce sont des formations caillouteuses composées de conglomérats et degrés à ciment argileux. Ces formations constituent la majeure partie de la couverture de la plaine du Hamza. A ces formations s'ajoutent les dépôts de cônes de déjections et éboulis de pentes.

### **II.7.3 Lithostratigraphie :**

L'histoire géologique et structurale du Tell, du Trias au Quaternaire, peut se diviser en trois grandes périodes :

- a- Une période pré-tectogénique, débutant au Trias et s'achevant à l'Eocène moyen. Cette période est marquée par la prédominance de la sédimentation. Les bassins sédimentaires sont alors sensiblement d'orientation Ouest-Est.
- b- Une période tectogénique, de l'Eocène supérieur au Miocène inférieur, pendant laquelle se produisent les dislocations. Cette période voit la mise en place des flyschs et des dépôts de faciès conglomératiques.
- c- Une période orogénique, débutant par le dépôt du Miocène inférieur post-nappe, jusqu'à l'époque actuelle. Cette période correspond à la formation des reliefs et la mise en place des vallées. C'est alors qu'interviennent les puissantes phases d'érosion. L'érosion post-Miocène et anti-Quaternaire serait alors à l'origine de l'absence du dépôt de tout le Pliocène dans la zone d'étude.

#### **II.7.3.1 Le Quaternaire :**

Le quaternaire couvre une large partie des plateaux et au bord des oueds. Il est représenté par les alluvions supérieures et inférieures des plateaux et par les alluvions récentes dans les lits des oueds. Il est composé par des couches sableuses et graveleuses et des croutes calcaires, ces alluvions sont d'épaisseur assez faible.

#### **II.7.3.2 Le Miocène post-nappe :**

La vaste dépression Sahel-Soummam est remplie de sédiments continentaux subhorizontaux. Ils sont constitués de poudingues, de galets de sables ou d'argiles compactes.

##### **II.7.3.2.1 Le Crétacé :**

Il comprend le Crétacé para-autochtone ou autochtone et le Crétacé allochtone.

##### **II.7.3.2.2 Le Jurassique :**

Il est représenté au Nord, dans le Djurdjura. Il comprend à la base, des dolomies cavernueuses, principalement développées au Nord du djbel Taouila et représentant l'Infralias. Puis une puissante assise d'épaisseur inconnue de calcaire compacte, gris clair, parfois roses de texture fine, à stratification souvent indistincte, dont la partie supérieure renferme des bancs bien stratifiés à nodules de silex assez rares, avec des empreintes d'ammonites non identifiées, représentant le Lias inférieur et moyen.

Enfin, un Lias supérieur représenté par des calcaires et marnes, renfermant des microfossiles et des macros fossiles.

##### **II.7.3.2.3 Le Trias :**

Il est constitué par des argiles bariolées, du gypse, des cargneules ou des dolomies et des roches vertes.

#### **II.7.4 Tectonique :**

Représentés les ensembles structuraux de la région d'étude. Nous distinguons des formations autochtones et allochtones :

##### **II.7.4.1 Formations autochtones et parautochtones :**

###### **II.7.4.1.1 Miocène poste-nappes :**

Cet ensemble structural occupe toute la dépression de la vallée de l'Oued Soummam.

###### **II.7.4.1.2 Crétacé supérieur (Paléocène à Cénomaniens) :**

Cette unité structurale est représentée par des marnes grises et schistes à bancs de calcaires.

###### **II.7.4.1.3 Crétacé inférieur (Néocomien à Albien) :**

Situé au-dessous de l'ensemble structural précédent, se compose de marnes, d'argiles schisteuses et degrés.

##### **II.7.4.2 Formations allochtones :**

###### **II.7.4.2.1 Nappe épitellienne :**

Cette nappe chevauche vers le Sud de la région d'étude la nappe Sud tellienne, et vers l'Est de Bordj Bou-Arredj elle repose sur le substratum autochtone.

###### **II.7.4.2.2 Nappe sous numide :**

Cette nappe renferme des dépôts sénoniens à micro brèches, des lits de galets à éléments Jurassiques.

###### **II.7.4.2.3 Nappe Numidienne :**

Cette nappe correspond essentiellement à l'oligocène de faciès « numidien ».

###### **II.7.4.2.4 Nappe du flysch :**

Au Sud de la chaîne du Djurdjura, cette nappe forme une bande continue d'Ouest en Est. La région d'étude s'étend sur du Miocène post-nappe, coincée entre le flysch du Nord (elle est même en contact anormal avec l'Oligocène kabyle du Djurdjura) et le Crétacé inférieur, lui-même est en contact anormal avec le Crétacé supérieur. D'après M.Kieken, on distingue deux phases tectoniques :

- La première phase tectonique Eocène supérieur-Oligocène supérieur
- La deuxième phase tectonique débute à l'Oligocène-Miocène et se termine au Miocène inférieur.

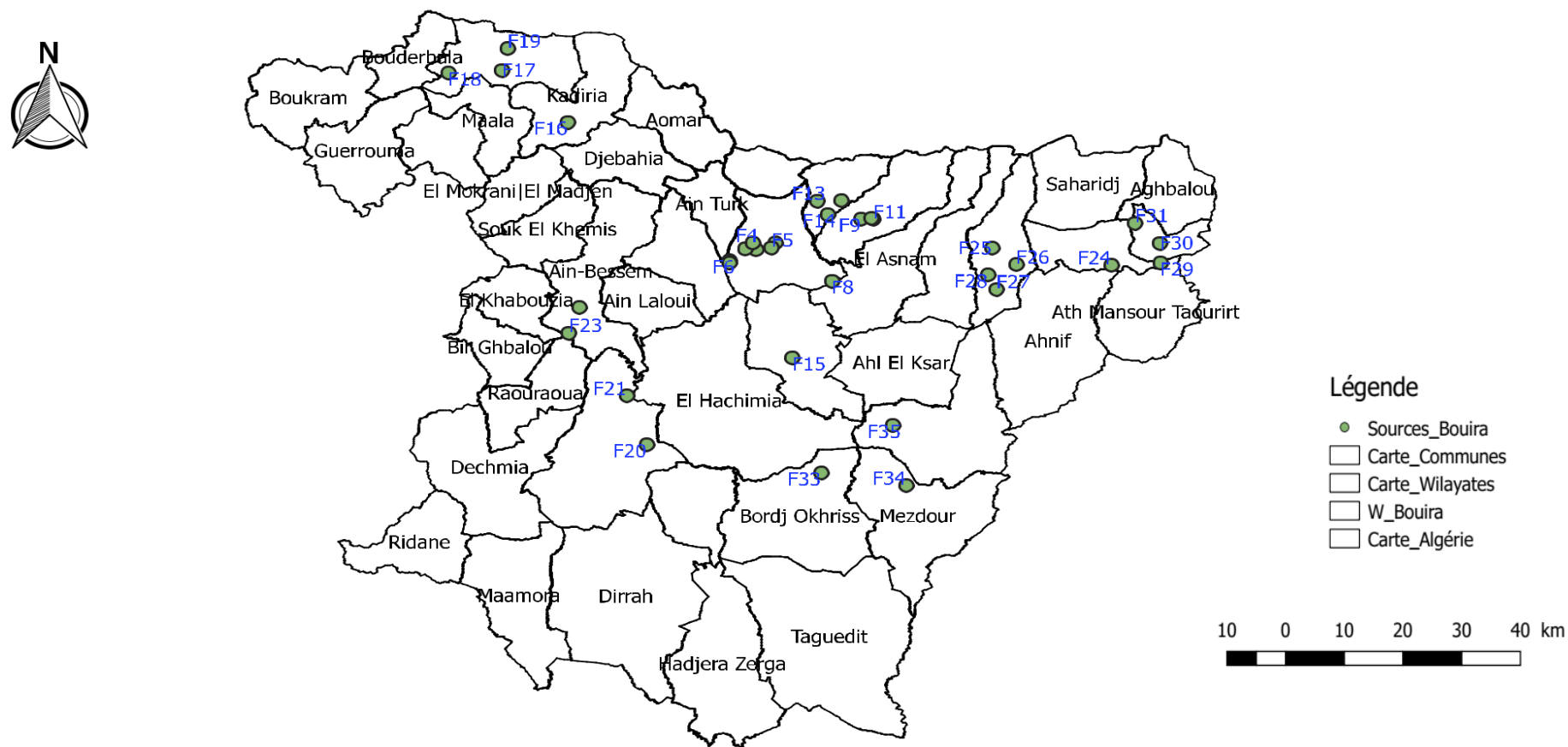


Figure II.14 : Localisation des points d'eau dans la région de Bouir

### II.8 Carte piézométrique 2011 :

L'analyse de cette carte nous permet de ressortir les points suivants :

- Des courbes isopièzes bien espacées à l'Ouest, traduisant une zone de très bonne perméabilité contrairement au Nord-est où on observe un net resserrement des isopièzes traduisant une zone à faible perméabilité.
- La formation d'un cône de dépression autour du champ captant.

A partir de 2009, l'écoulement se fait suivant un axe de drainage principal d'orientation W-E avec la création d'une dépression autour du champ de captage.

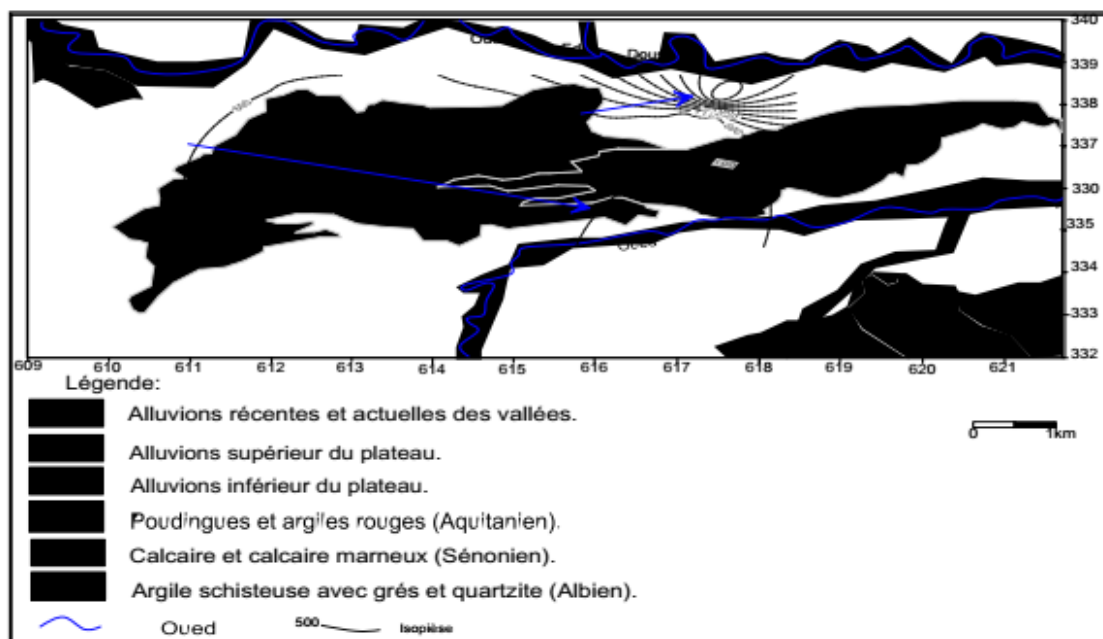


Figure II.15 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau D'El Asnam (Mai 2011).

### II.9 Conclusion :

Nous avons trouvé que Le classement de climat de la wilaya de Bouira est semi-aride par le calcul l'indice d'aridité de De Martonne et FAO et on utilisant le diagramme Ombrothermique.

Les données climatologiques ainsi que les résultats obtenus par différentes méthodes, permettent d'attribuer à la région étudiée un climat semi-aride, caractérisé par une saison sèche, qui s'étend du mois de mai au mois octobre. Et une saison humide, tempérée qui s'étend du mois d'octobre au mois de mai. La température moyenne est d'environ 17,5°C.

Les précipitations augmentent du Sud vers le Nord avec un régime pluvial marqué par un pic, en décembre. La lame précipitée moyenne annuelle estimée par la méthode (arithmétique) est égale à 443.75mm.

Quant à l'évapotranspiration réelle, estimée par différentes formules empiriques, présente une moyenne de 386.46 mm/an, c'est à dire 87% de la pluviométrie annuelle.

D'après l'étude géologique, on a déduit que la zone étudiée est une dépression remplie par des sédiments alluvionnaires d'âge Miocène qui sont discordant sur un ensemble antérieur. L'étude litho-stratigraphique nous a permis d'avoir une idée sur les formations présentent au niveau du plateau d'El Asnam. De cette étude, il ressort que le plateau est essentiellement constitué d'alluvions anciennes et récentes reposant anormalement sur des formations Miocène continentales.

Les dépôt miocènes remaniés auxquels se sont ajoutés les éboulis et cônes de déjection, constituent la couverture alluviale du plateau. Nous noterons toutefois que la limite entre la couverture alluviale essentiellement quaternaire et les formations miocènes sous- jacentes n'est pas évidente, les deux types de formations étant de nature lithologique semblable.

**Chapitre III :**  
**Moyens,**  
**Résultats et discussions**

### III.1 Introduction :

L'inspection de la qualité des eaux souterraines consiste à recueillir des échantillons d'eau, tout en respectant les techniques de prélèvement. De procéder à un certain nombre d'analyse pour avoir une idée sur l'identité physico-chimique de l'eau et son mode de répartition spatiale dans le milieu environnant. La composition chimique des eaux souterraines dépend en grande partie du type de roche encaissante, de l'évolution hydrodynamique des écoulements de la nappe, de la profondeur de cette dernière et de la zone climatique. Elle donne de précieux renseignements sur les conditions de gisement et le mouvement des eaux souterraines (KHEDIDJA 2016).

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la qualité des eaux, à cet effet nous pouvons avoir recours à des analyses multi variées. C'est un ensemble de méthodes d'analyse statistique qui traitent simultanément plus d'une variable, comme : Analyse en composante principale(ACP).

L'étude du chimisme des eaux nous permet d'identifier leurs faciès chimiques, leur qualité de potabilité et leur qualité d'eau d'irrigation. Cette étude aide également à suivre l'évolution spatiale des paramètres chimiques et de déterminer leur origine. (BEMMOUSSAT).

L'hydrochimie est utilisée comme outil de compréhension des circulations au sein de l'aquifère. L'étude de la répartition dans l'espace et de l'évolution dans le temps des concentrations en ions majeurs, vient compléter et préciser le schéma lithologique et celui des circulations d'une part, et d'illustrer les effets et risques éventuels provenant des activités anthropiques qui influent sur la qualité physicochimique des eaux souterraines d'autre part.

Dans ce cadre , nous avons procédé à l'étude des résultats d'analyses chimiques de l'année 2016 de campagne de prélèvement d'eau de 5 ans (2014 -2015-2016-2017-2018) au niveau de 40 avec l'élimination de 5 forages ce qui représente alors 35 forages situé sur tout la région de Bouira. (Voir la Figure II.14).

Les paramètres physiques et chimiques étudiés sont :

- ✚ Les paramètres physiques : (Température, PH, Conductivité Electrique, la durezza).
- ✚ Les paramètres chimiques : correspondant aux éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ).

### III.2 Moyens et méthode d'analyse

Les analyses chimiques ont été effectuées par l'ADE de Bouira en respectant les techniques de prélèvement, pour démonstrations des caractéristiques de l'ensemble des éléments chimiques. L'eau doit être manipulée de manière à ce que sa composition ne soit pas modifiée pendant le transport et toutes les précautions possibles doivent être prises afin d'éliminer la contamination ou le changement de composition causé par la température ou les manipulations inadéquates.

Notre étude a été réalisée par le logiciel hydrogéochimie (diagrammes) pour déterminer et classer la qualité chimique de l'eau. Les échantillons d'eau ont été analysés par le laboratoire central de l'ADE Bouira ou les données manquent des concentrations des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  dans les années (2014, 2015, 2017, 2018) ce qui nous a obligés de les calculer avec la méthode de la balance ionique.

- Balance ionique =  $(\text{cations} - \text{anions}) / (\text{cations} + \text{anions}) * 100$  en méq/L.

### III.3 Présentation de logiciel d'Hydrochimie d'Avignon (L.H.A.) (diagrammes):

DIAGRAMMES : Logiciel d'hydrochimie multi langage en distribution libre Roland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon version 6.59.

#### III.3.1 Diagramme de Piper :

- ✚ unité % méq/.
- ✚ Il est très fréquemment utilisé et donne de très bons résultats.
- ✚ Il utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux souterraines.

Il permet :

- La comparaison relative des concentrations des cations et anions.
- Identification des ions dominants.
- La classification des eaux selon les faciès.
- La caractérisation des faciès géochimiques des eaux l'étude de l'évolution des différentes caractéristiques.
- ✚ Il est composé de deux triangles ternaires et un losange : un triangle pour cation qui a pour apices ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et un triangle pour anions qui a pour apices ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ).
- ✚ Le losange représente une matrice de passage des triangles des anions (sulfates + chlorures / totale des anions) et des cations (sodium + potassium / total des cations).
- ✚ Élément d'interprétation :
  - Le triangle des anions peut être divisé en 4 zones : zone des sulfatées – zone des chlorurées – zone des carbonatées et bicarbonatées – zone des anions dominants.
  - Le triangle de cation peut être divisé en 4 zones : zone des magnésiennes – zone des sodique et potassique – zone des calcique – zone de cation dominants.

**III.3.2 Diagrammes d'équivalence de charge :**

- + Unités meq/l.
- + Résolution détaillée de la composition des majeurs.
- + Inapte à la comparaison d'un grand nombre d'analyse
- + Inapte à la comparaison d'eaux de charges très différentes
- + Eléments d'interprétation :
  - $\Sigma$  charges positive =  $\Sigma$  charges négative
  - Identification facile d'erreurs d'analyses
  - $\frac{|\Sigma \text{ cation} - \Sigma \text{ anions}|}{\Sigma \text{ cation} + \Sigma \text{ anions}} < (5\% \text{ à } 10\% \text{ qualités acceptable des données}).$

**III.3.3 Diagramme de Schoeler Berkaloff :**

- + Unité log (meq/l).
- + Permet de reconnaître simplement le faciès d'une eau souterraine en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en les reportant sur un graphique en colonnes à échelles logarithmique.
- + Obtention d'une courbe de caractérisation pour chaque eau.
- + L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès chimique de l'eau et sa minéralisation (sa charge dissoute), et facilite sa comparaison.

**III.3.4 Diagramme de Stabler –Collins :**

- + Unité de % meq/l
- + Les concentrations des anions et de cation sont reportées sur deux barres ou colonnes distinctes de même longueur (1 pour cation et 1 pour anions) par ordre décroissante de haut en bas, ou de droite à gauche.

**III.3.5 Diagramme circulaire (camembert) :**

- + Unité % meq/l
- + Les cations sont habituellement positionnés dans le demi-cercle haut et les anions dans le demi-cercle bas.
- + Le diamètre du graphique être fonction de la valeur d'un autre paramètre comme la salinité.

**III.3.6 Diagramme de Stiff :**

- + Unité meq/l
- + Il est représenté avec 3 axes verticaux : un à droite pour ions négatif, un à gauche pour ions positif et un centrale pour la montrer d'état de système.
- + Chaque échantillon d'eau sera présenté par un polygone dont la forme géométrique dépend de la teneur des déférents éléments chimique contenus.
- + Sur l'axe de droite on représente de haut en bas les teneurs de : Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub> et sur l'axe de gauche en représente les teneurs de : Na, K, Ca, Mg.

III.3.7 Diagramme de Richards ou Riverside ou Wilcox :

- ✚ Unités axe horizontal (conductivité) en  $\mu\text{S} / \text{cm}$ , axe verticale (SAR) en meq.
- ✚ Il permet d'évaluer le risque de salinisation des sols.
- ✚ Il utilise pour cela la conductivité électrique (CE) ou la charge totale dissoute (qui sont toutes deux relatives à la salinité de l'eau) et l'indice d'adsorption du sodium (pouvoir d'alcalinités SAR sodium adsorption ratio) qui permet de mesurer le risque de la sodisation du sol sous l'effet de l'irrigation. le diagramme est découpé en quatre : classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \text{ meq}$$

(Voir la Figure III.1)

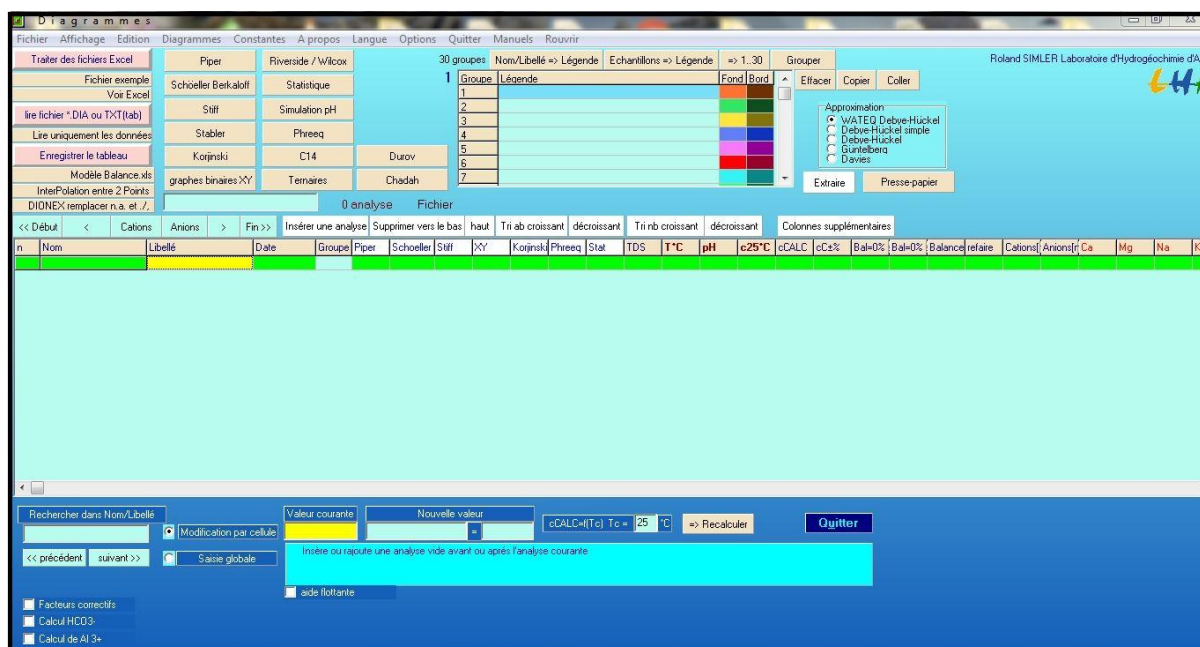


Figure III.1 : Représentation de l'interface du logiciel d'hydrochimie

III.4 Présentation de logiciel XLSTAT (version 2016)

XLSTAT est un logiciel d'analyse de données et de statistique à la fois simple d'utilisation et très puissant. Il permet à ses utilisateurs d'analyser, de visualiser et de modéliser leurs données tout en produisant des rapports sous Microsoft Excel, exportables vers d'autres formats.

### III.5 Résultats et discussions

#### III.5.1 Paramètres physico – chimique (année 2016) :

##### III.5.1.1 Paramètres physiques :

Les résultats d'analyse physique de l'eau pour les (35) forages de notre région étudiée, sont représentés dans le tableau suivant :

Remarque : on a déjà éliminé 5 forages parmi les 40 forages par ce que la balance ionique est supérieur à 10%.

(Voir le tableau III.1 suivant).

Tableau III.1 : Caractères physiques des eaux de forages de la wilaya de Bouira (ADE 2016)

Nom de Forage	N°	paramètres physiques			
		T (°C)	pH	C <sub>us</sub> /cm	TH (°F)
Forage f8 harkat	F1	18.05	7.135	1141.5	40.8
Forage f1 sidi ziane	F2	18.6	7.11	1020	38.3
Forage f16 sidi ziane	F3	17.5	7.09	1092.5	44.6
NV forage sidi ziane	F4	18.8	7.2	1021.5	38.2
Forage f11 ouadhia	F5	19.4	7.155	1158.5	45.2
Forage f1 said abid	F6	21.6	7.24	854	19.4
Forage f2 said abid	F7	21	7.31	856	20.8
Forage djaada	F8	16	7.06	1395.5	54.2
Forage f5 haizer	F9	19.05	7.35	763	29
Forage f1 haizar	F10	18.2	7.2	1055	43.5
Forage f2 haizer	F11	18.7	7.325	935.5	38.3
Forage f4 taghzout	F12	20.8	7.37	785	30.8
F12+F17+F3 taghzout	F13	20.95	7.27	1404.5	40
Forage F3 taghzout	F14	20.5	7.25	795	27.6
Forage oued el-bardi	F15	19.6	7.33	1219.5	46.2
Forage ouled laalem	F16	18.55	7.03	2030.5	84.8
Source guegour	F17	19.95	7.145	1264	62.8
Puits mahouene	F18	19.9	7.585	1578	75.8
Forage lmaala	F19	18.3	7.245	1954	88
Forage bakouche	F20	14.8	7.67	1002	45.4
Puits guelta zarga	F21	19.9	7.73	1111.33	50.4
Puits ain bidha	F22	17.4	7.05	1767	68
Puits ouled zidane	F23	17.6	7.05	1288	58
Forage f51 mehdallah	F24	17.9	7.09	1450	58
Forage f2 semmache	F25	19.1	7.12	1320	48
F3 semmache	F26	17.25	7.9	1028.5	33.7
F1 el adjiba	F27	16.65	7.71	996	32.3
F2 el adjiba	F28	20.5	7.13	911	49.6
Forage F1 chourfa	F29	16.35	7.31	1236.5	44.3
F4 chorfa	F30	16.6	7.22	943.5	36.7
F3 chorfa	F31	15.8	7.22	917.5	35.6
F2 el asnam	F32	17.1	7.08	1096	39.2
F1 guemgouma	F33	15.85	7.025	1173.5	43.9
Source masdour	F34	23.25	7.82	684.5	21.2
Puits tarfa	F35	23.35	7.235	2515	120

**III.5.1.2 Paramètres chimiques :**

Les concentrations des éléments chimiques qu'on peut rencontrer dans les eaux souterraines de la région de Bouira, sont reportées dans le Tableau suivant : (tableau III.2)

Tableau III.2 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2016)

Forage	N°	Paramètres chimiques							
		Cation (mg/l)				Anion (mg/l)			
		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Forage f8 harkat	F1	114.4	29.36	42	0.9	242.78	129.93	69.66	11.82
Forage f1 sidi ziane	F2	99.2	32.525	37.6	1	248.27	134.545	69.065	25.295
Forage f16 sidi ziane	F3	103.2	45.04	44	1.4	289.14	145.905	68.71	6.005
NV forage sidi ziane	F4	84.4	41.25	39.2	1	261.69	166.115	73.955	8.9
Forage f11 ouadhia	F5	110.4	43.445	50.8	1	261.105	191.345	50.57	15.99
Forage f1 said abid	F6	56.8	12.63	29.2	1.3	140.3	32.66	48.72	8.46
Forage f2 said abid	F7	64.8	11.17	23.8	1.3	115.9	39.05	61.94	12.09
Forage djaada	F8	151.2	39.61	46	0.9	340.38	192.375	39.15	52.8
Forage f5 haizer	F9	56.4	36.2	23.8	1.4	261.08	60.35	61.105	8.46
Forage f1 haizar	F10	75.2	60.015	20.8	1.5	346.48	67.75	50.325	14.71
Forage f2 haizer	F11	70.4	50.3	19.4	1.9	319.64	54.315	43.07	10.01
Forage f4 taghzout	F12	50.4	44.22	28.8	1.1	264.74	41.18	38.22	5.93
f12+f17+f3 taghzout	F13	84	75.33	56.8	1.7	314.76	195.83	42.945	15.64
Forage f3 taghzout	F14	47.2	38.39	28.6	1.7	272.06	76.68	18.12	10.76
Forage oued el-bardi	F15	104	37.415	37.1	1.2	223.26	130.285	110.73	35.26
Forage ouled laalem	F16	222.4	70.63	102.8	2	359.7	244.595	503.275	13.02
Source guegour	F17	138.4	68.525	18.8	3.1	376.37	51.475	394.16	1.105
Puits mahouene	F18	110.4	117.125	59.6	3	367.83	95.495	517.41	0.995
Forage lmaala	F19	176	106.26	88.8	3	420.9	211.935	447.45	11.79
Forage bakouche	F20	125.6	31.36	21.8	0.8	279.38	48.28	153.6	12.75
Puits guelta zarga	F21	133.6	41.305	40	0.7	268.4	101.875	184.8	18.935
Puits ain bidha	F22	225.6	28.18	53.2	0.6	245.22	230	236.25	110.75
Puits ouled zidane	F23	177.6	33.04	31.5	1.3	172.02	138.27	162.8	110.75
Forage f51 m'chedallah	F24	120	67.685	57.2	2.3	322.07	185.31	207.825	14.24
Forage f2 semmache	F25	92.8	60.26	64.4	3.4	126.88	180.34	140.2	3.67
F3 semmache	F26	72	37.905	38.6	2.9	255.59	96.915	119.21	3.545

---

F1 el adjiba	F27	63.6	39.65	56.4	4	248.88	102.595	103.68	0.73
F2 el adjiba	F28	102.4	58.32	56.8	2.5	301.34	157.38	153.8	5.98
Forage F1 chorfa	F29	120.4	39.15	55.4	2.1	275.72	123.86	77.835	2.755
F4 chorfa	F30	77.6	56.7	32.6	1.8	261.69	83.565	109.975	7.945
F3 chorfa	F31	88.8	32.26	26.6	2.1	262.3	82.285	81.3	8.92
F2 el asnam	F32	129.6	16.52	44.4	1.3	292.8	127.09	39.12	91.03
F1 guemgouma	F33	121.2	32.745	45.2	1.3	317.8	125.655	41.37	66.45
Source mesdour	F34	42.8	25.37	54	3.3	198.86	66.74	113.835	1.17
Puits tarfa	F35	281.6	119.64	120	2.3	366.97	172.885	1101.9	8.57

### III.6 Vérification de la balance ionique :

Afin de valider nos analyses, la balance ionique doit être équilibrée en admettant une erreur acceptable de 5% à 10%. Une erreur sur la balance ionique peut provenir d'une erreur analytique ou d'une minéralisation particulière. La balance ionique s'appuie sur le principe que la somme des anions majeurs et la somme des cations majeurs sont équivalentes : (BARBAROUX et al, 2011) :

$$BI = \frac{|\sum \text{cation} - \sum \text{anions}|}{\sum \text{cation} + \sum \text{anions}} * 100$$

La limite pour une analyse exploitable est fixée à un écart maximal de 10%.

- ✚ -1% < BI < 1% : Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- ✚ -5% < BI < 5% : Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- ✚ -10% < BI < 10% : Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- ✚ BI < -10% ou BI > 10% : Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Sur l'ensemble des forages, (35 forages) les analyses présentent une erreur excellente et acceptable, à médiocre donc elles peuvent être validées. (Voir le tableau III.3 suivant).

Tableau III.3 : Résultats de la balance ionique des analyses physico-chimie

Forage	$\sum$ cations (meq/l)	$\sum$ anions (meq/l)	BI (%)	Forage	$\sum$ cations (meq/l)	$\sum$ anions (meq/l)	BI (%)
F1	9.975	9.285	4	F19	21.466	22.382	2
F2	9.288	9.710	2	F20	9.817	9.344	2
F3	10.806	10.382	2	F21	11.824	11.425	2
F4	9.337	10.658	7	F22	15.906	17.211	4
F5	11.319	10.987	1	F23	12.985	11.895	4
F6	5.177	4.371	8	F24	14.105	15.062	3
F7	5.221	4.486	8	F25	12.478	10.144	10
F8	12.829	12.671	1	F26	8.465	9.462	6
F9	6.864	7.390	4	F27	8.992	9.143	1
F10	9.634	8.875	4	F28	12.444	12.676	1
F11	8.545	7.829	4	F29	11.693	9.677	9
F12	7.435	6.392	8	F30	10.002	9.064	5
F13	12.905	11.829	4	F31	8.297	8.456	1
F14	6.802	7.172	3	F32	9.791	10.666	4
F15	9.913	10.208	1	F33	10.742	10.686	0
F16	21.433	23.483	5	F34	6.657	7.531	6
F17	13.442	15.845	8	F35	29.176	33.971	8
F18	17.816	19.511	5				

### III.7 Evaluation de la qualité des eaux des forages pour la potabilité :

La potabilité des eaux souterraines est définie en se basant sur des normes algériennes.

#### III.7.1 Paramètres physiques :

##### III.7.1.1 Température (T °C) :

La température des eaux est en fonction soit du climat ou de la profondeur. C'est un paramètre qui permet de distinguer les eaux de surfaces de celles souterraines, ainsi qu'il régit la solubilité des sels et des gaz. (Elie, Sauret 2005).

Pour nos échantillons on a enregistré des valeurs oscillant de 14.8 à 23.35 °C. Et ça sur l'ensemble des forages étudiés. Selon les normes algériennes des eaux souterraines, la température est fixée à 25°C, les valeurs des eaux de forages étudiés ne dépassent pas cette norme alors sont conformes à la norme de potabilité algérienne (JORADP 2011). (Voir la figure suivante III.2).

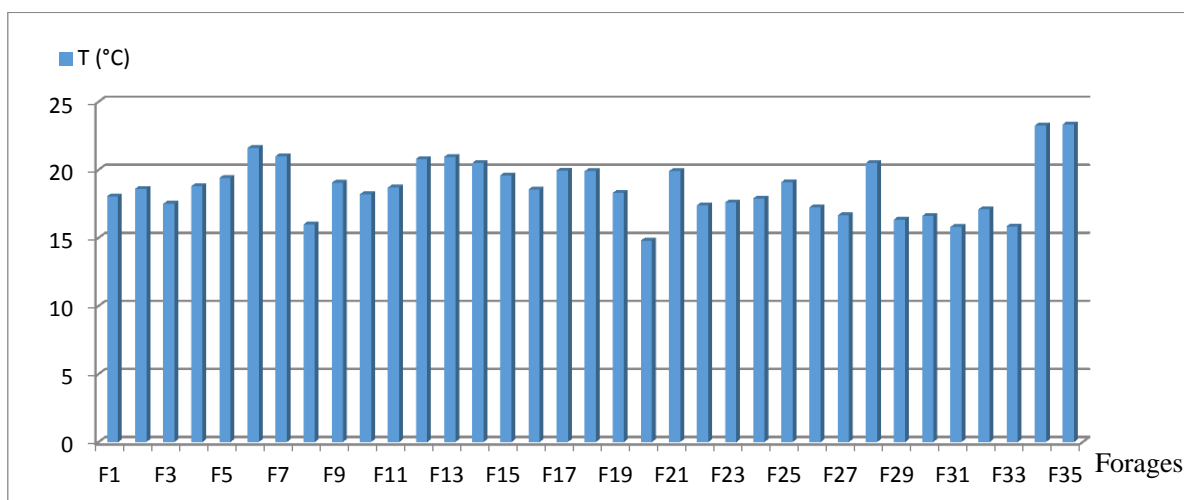


Figure III.2: Variation de la température (°C) des forages étudiés

##### III.7.1.2 Potentiel d'hydrogène (pH) :

Il caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau (ou d'une solution) et par conséquent sa concentration en ions ( $H^+$ ), et permet donc de dire si celle-ci est agressive, corrosive ou entartre. Ce caractère lui est conféré en fonction de sa teneur en ions issus du milieu naturel, des rejets urbains et industriels ou du lessivage des terres agricoles. (Elie, Sauret 2005).

La mesure de ce paramètre, montre que ses valeurs varient à l'échelle de la région, mais sans

écart notable. Elle varie de 7.025 enregistré dans le Forage (F33) et 7.9 mesuré dans le Forage (F26). La moyenne est à l'ordre de 7.46. Ceci est lié à la nature de roches présentes dans la région qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante carbonatée importante. Le pH selon les normes algériennes est entre 6.5-9.

Les valeurs des eaux de forages de notre région ne dépassent pas cette norme. Alors sont conformes à la norme de potabilité algérienne (JORADP, 2011). (Voir la figure III.3 suivante).

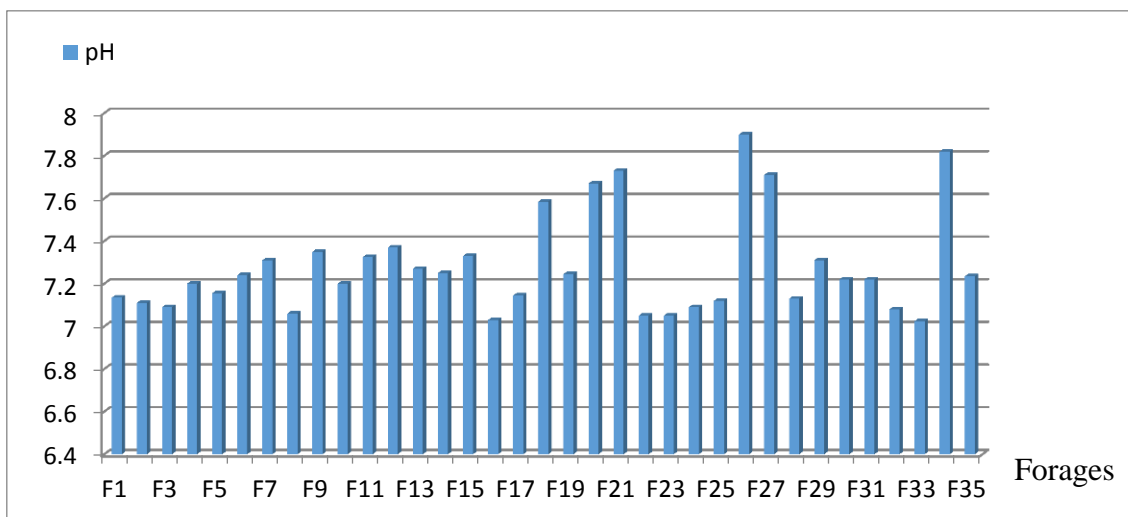


Figure III.3: Variation du pH des forages étudiés

### III.7.1.3 Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique des eaux est liée aux interactions "eau-roche" et à la capacité des eaux à dissoudre les minéraux contenus dans les roches.

Définie comme étant l'aptitude d'une eau (ou d'un matériau) à se laisser traverser, plus ou moins vite, par un courant électrique. Elle est directement proportionnelle à la teneur en sels dissous d'une eau et dont les valeurs représentatives sont prises à de températures 25 °C et exprimées en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . (Elie, Sauret 2005). (Voir la figure III.4 suivante).

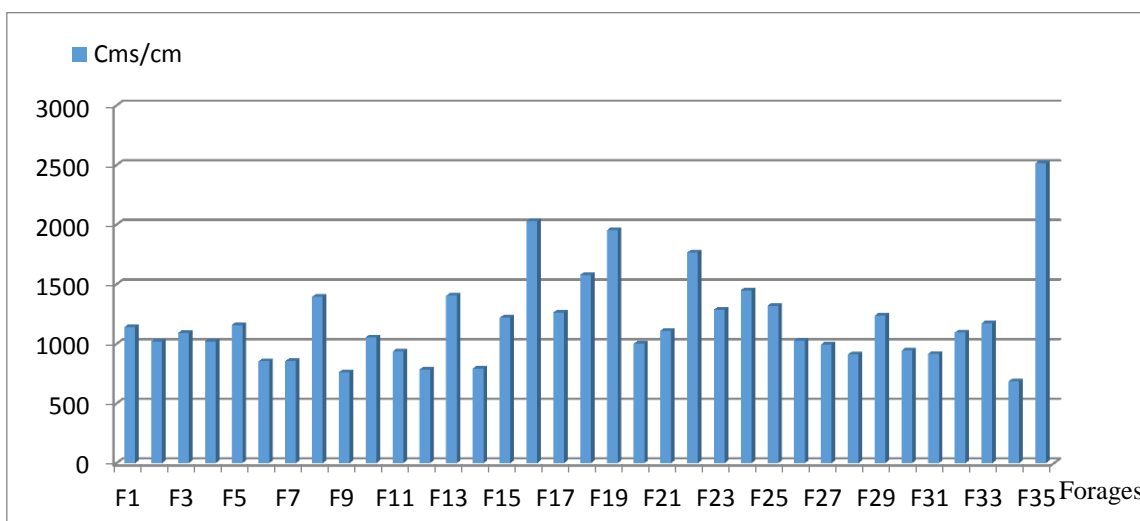


Figure III.4: Variation de la conductivité des forages étudiés en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Les valeurs de la conductivité pour les 35 forages varient entre 684.5 à 2515  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , et une moyenne de 1599.75  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ces valeurs avec un degré de minéralisation varient entre Important et Excessive pour les (35 Forages) Donc on peut dire que la qualité de ses eaux est utilisable. (Voir le tableau III.4 suivant).

Tableau III.4 : Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité. (Elie, Sauret 2005).

Conductivité (μS/cm)	Degré de Minéralisation	Qualité de l'eau
C<100	Très faible	Excellente
100<C<200	faible	Excellente
200<C<400	Peu accentue	Excellente
400<C<600	Moyenne	Bonne
600<C<1000	Important	Utilisable
C>1000	Excessive	Utilisable

III.7.1.4 La dureté (TH) :

La dureté d'une eau est due principalement à la présence de calcium et de magnésium. On l'exprime en général en degré français (°F). Selon les normes algériennes les eaux de bonne qualité sont les eaux qui ont une dureté entre 20°F et 50°F.(Voir la figure III.5 suivante).

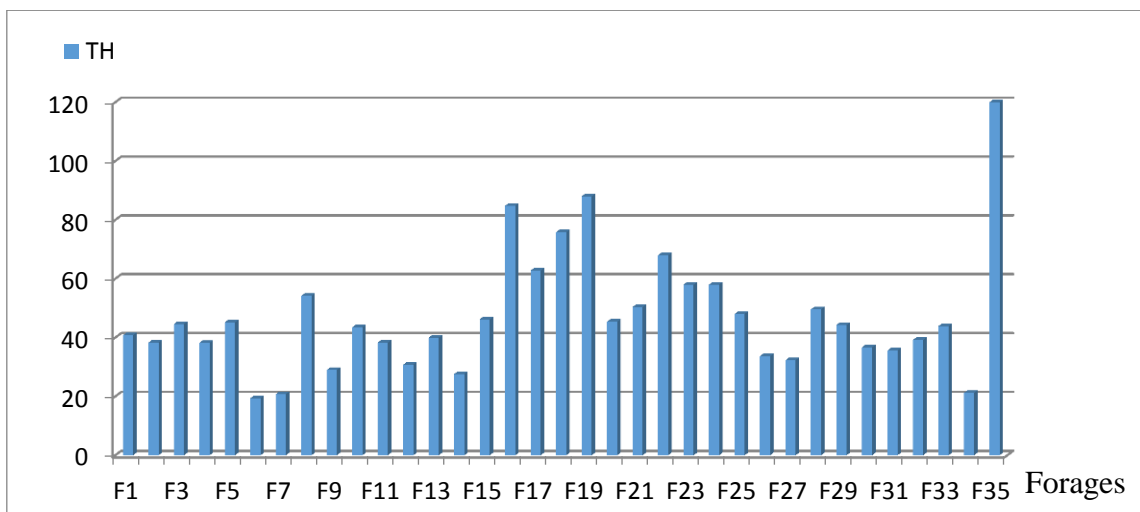


Figure III.5 : Variation de la dureté des forages étudiés en (°F)

Les valeurs de la dureté pour les 35 forages varient entre 19.4°F et 120°F. La valeur minimale de TH est 19.4°F (F6) et la valeur maximale de TH est 120°F (F35). (Voir le tableau III.5 suivant).

Tableau III.5 : Qualité de l'eau en fonction du TH (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH (°F)	0 – 7	7 – 22	22 – 32	32 – 54	> 54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
		F7, F6, F34	F14, F9, F12,	F27,F26,F31,F30,F2,F11,F32,F13,F1,F10,F33,F29,F3,F5 F20,F15,F25F28,F21	F8,F23,F24 F17,F22,F18,F16,F19 ,F35

Les analyses des échantillons montrent que les eaux de la région de Bouira varient de qualité :

- 8.57% des Forages qualité modérément douce.
- 8.57% des Forages qualité assez douce.
- 57.14% des Forages qualité dure.
- 25.71% des Forages qualité très dure.

### III.7.2 Paramètres chimiques :

#### III.7.2.1 Cations :

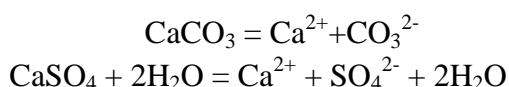
##### III.7.2.1.1 Calcium :

Le calcium a un rôle essentiel dans la croissance osseuse. La contraction musculaire et la minéralisation des dents. Une carence en cet élément conduit à l'ostéoporose.

L'eau calcique ne devrait pas être considérée comme une source de nourriture en calcium. Elle est utile pour les personnes qui souffrent de désordre à l'estomac ou foie. Pour empêcher des hautes pressions l'ostéoporose et pour la croissance des enfants. (ART).

La présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ), soit la dissolution des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ). (Dalila, 2009).

Selon (Rodier et al. 2009), Les eaux qui dépassent  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  de calcium, présentent des inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation.



Les teneurs en calcium des eaux analysées (Figure 6) des 35 forages étudiés sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est  $200 \text{ mg/l}$  édictée par les normes Algérienne de l'eau potable (JORADP 2011). Sauf trois forages (F16, F22, F35) qui dépassent cette norme avec des valeurs ( $222.4 \text{ mg/l}$ ) et ( $225.6 \text{ mg/l}$ ) et ( $281.6 \text{ mg/l}$ ).

Ces eaux sont considérées non calciques ( $\text{Ca} < 150 \text{ mg/l}$ ) selon (CEE, 2009). (Voir la figure III.6 suivante).

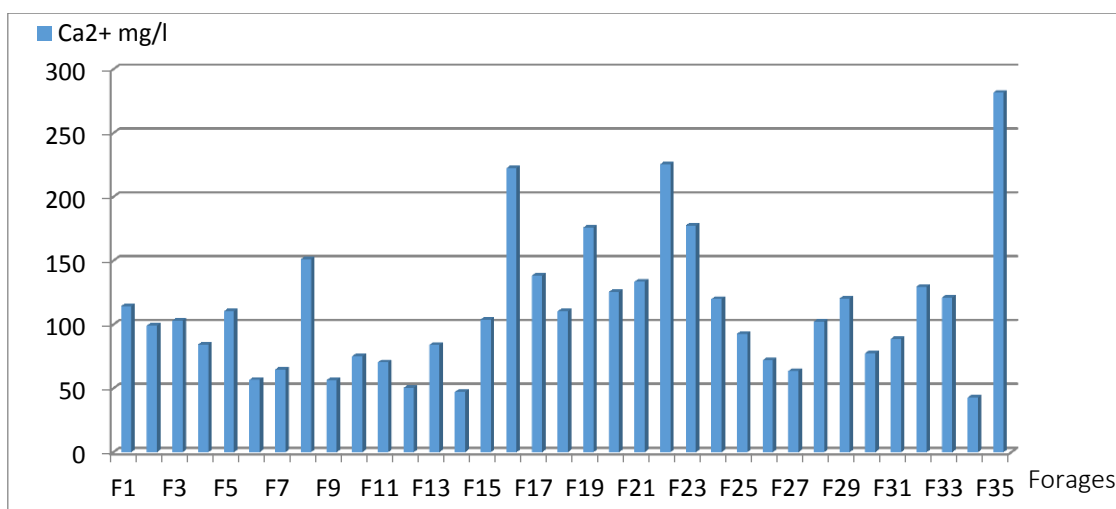


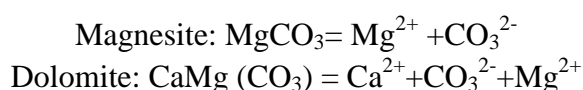
Figure III.6 : Variation de la teneur en calcium dans les Forages d'eau

### III.7.2.1.2 Magnésium :

Le magnésium contribue à un fonctionnement de système nerveux et la contraction musculaire. Une carence en cet élément peut provoquer des crampes, la spasmodie, l'anxiété, des troubles digestifs. A forte dose, il a des effets laxatifs. L'apport au Mg est généralement assuré par la consommation de légumes féculents, maïs, la farine complète, les pinards, l'artichaut, pomme de terre, le chou, les avocats, cacao, soja et les noix. (ART).

Le magnésium est bon pour (le morale) .Il permet de déterminer la fatigue, le stress et l'anxiété.

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite). (Dalila, 2009). Et La dissolution du  $MgSO_4$  des terrains gypseux du Trias.



Les teneurs en magnésium des eaux analysées (Figure 7) de la région de Bouira sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 150 mg/l édictée par les normes algérienne pour l'eau naturelle potable. Alors Sont conformes (JORADP 2011).

Ces eaux sont considérées non magnésiennes ( $Mg^{2+} < 50$  mg/l) sauf les Forages (F10-F11-F13-F16-F17-F18-F19-F24-F25-F28-F30-F35) qu'on peut les considérer comme des eaux magnésiennes. ( $Mg^{2+} > 50$  mg/l) selon (CEE, 2009). (Voir la figure III.7 suivante).

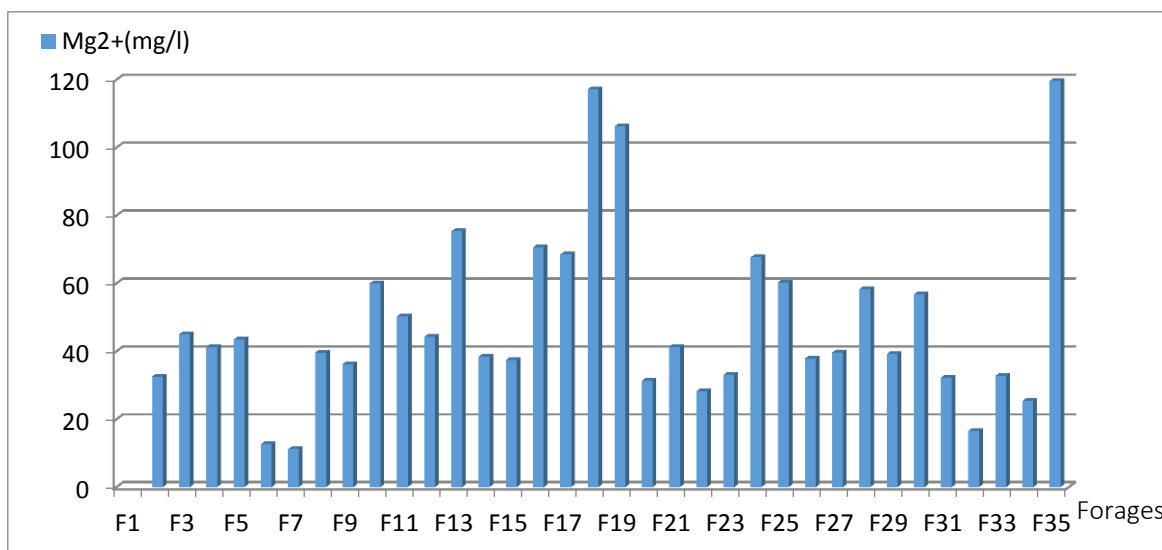
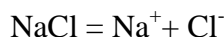


Figure III.7 : Variation de la teneur en magnésium dans les Forages d'eau.

### III.7.2.1.3 Sodium :

Les eaux pauvres en sodium sont conseillées en cas d'hypertension ou de rétention d'eau. L'origine du sodium est liée principalement à la dissolution des minéraux salifères. (Dalila, 2009).

L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporitiques et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :



Les concentrations en sodium pour l'ensemble des échantillons prélevés sont inférieures à la norme Algérienne fixée à 200 mg/l. Sont conformes à la norme de potabilité algérienne (JORADP 2011).

Les eaux étudiées sont considérées non sodiques ( $\text{Na} < 200 \text{ mg/l}$ ) selon (CEE 2009). (Voir la figure III.8 suivante).

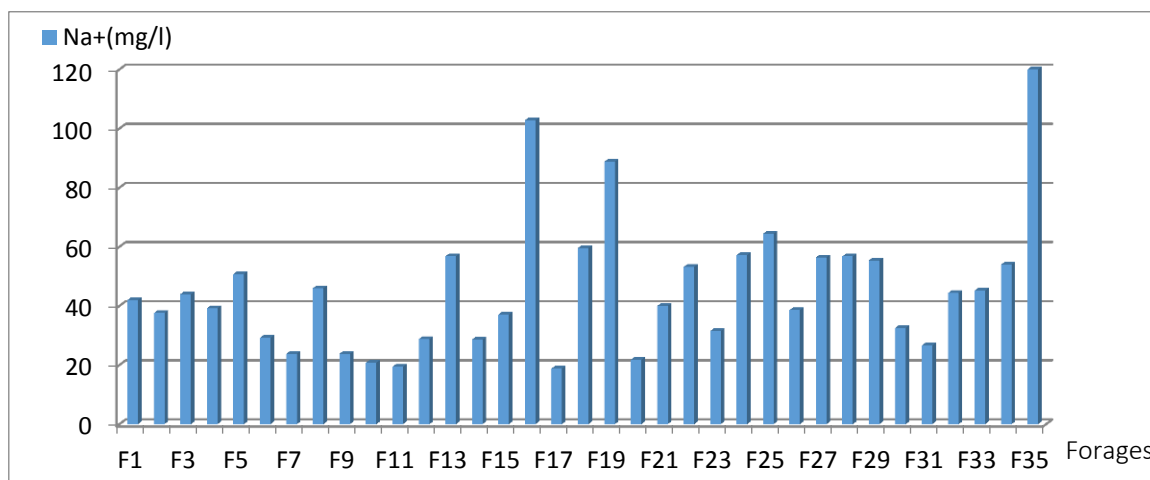


Figure III.8: Variation de la teneur en sodium dans les Forages d'eau

### III.7.2.1.4 Potassium :

Le potassium est un élément clé de la contraction musculaire. Les besoins journalières sont assez faibles et généralement couvertes par une alimentation équilibrée. La concentration de potassium est assez faible dans la plupart des eaux minérales. Un excès de potassium pourrait avoir des effets néfastes sur le système neuromusculaire et provoque des contractions cardiaque. Une eau riche en potassium est déconseillée en cas d'insuffisance rénale, (ART).

Le Potassium provient de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques. (Dalila, 2009).

Les teneurs en potassium dans la région d'étude varient entre 0.6 mg/l et 4 mg/l.

D'après la réglementation algérienne le potassium dans l'eau ne doit pas dépasser 12 mg/l. les eaux e forages étudiés sont conformes à la norme de potabilité algérienne (JORADP 2011). (Voir la figure III.9 suivante).

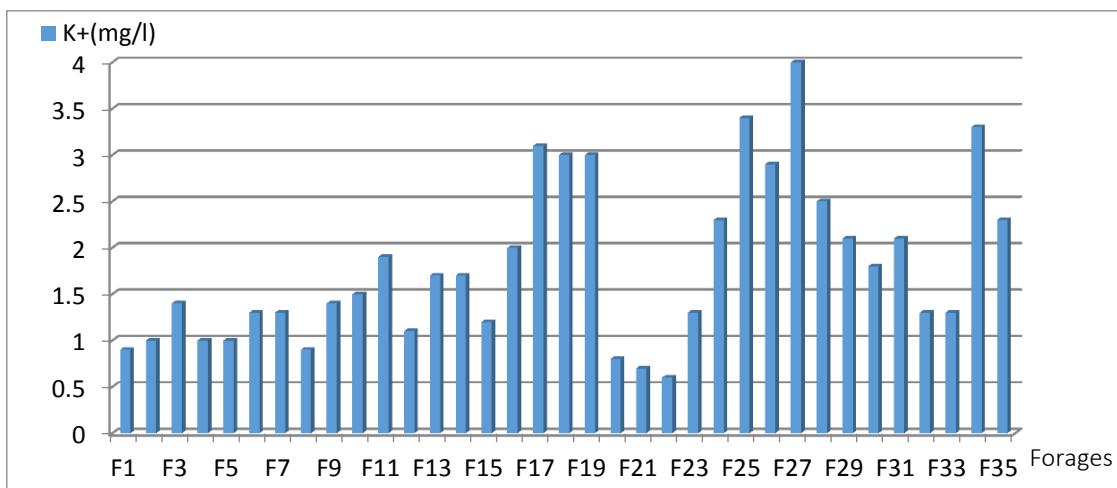


Figure III.9: Variation de la teneur en potassium dans les Forages d'eau

**III.7.2.2 Anion :**

**III.7.2.2.1 Bicarbonate :**

Les carbonates et les bicarbonates donnent un gout agréable à l'eau et ne présentent aucun risque pour la santé humaine. Ils facilitent la digestion et calme les bruleurs d'estomac grâce à la propriété anti acide du bicarbonate de sodium.

De ce fait, les eaux bicarbonatées sont bonnes pour les sportifs elles luttent contre l'acidité produite par le muscle lors de l'effort. (ART).

La dissolution des minéraux carbonatés et l'action du CO<sub>2</sub> des eaux météoriques et du sol sont, d'une manière générale, à l'origine des Bicarbonates (Parizot M.2008). le maximum de concentration est de 600 mg/l.

Selon les normes. Pour l'ensemble des forages les valeurs bicarbonates varient entre 115.9 mg/l et 420.9 mg/l. sont conformes à la norme de potabilité algérienne (JORADP ,2011).

Ces eaux sont considérées non bicarbonatées (HCO<sub>3</sub>< 600 mg/l) selon (CEE, 2009).

(Voir la figure III.10 suivante).

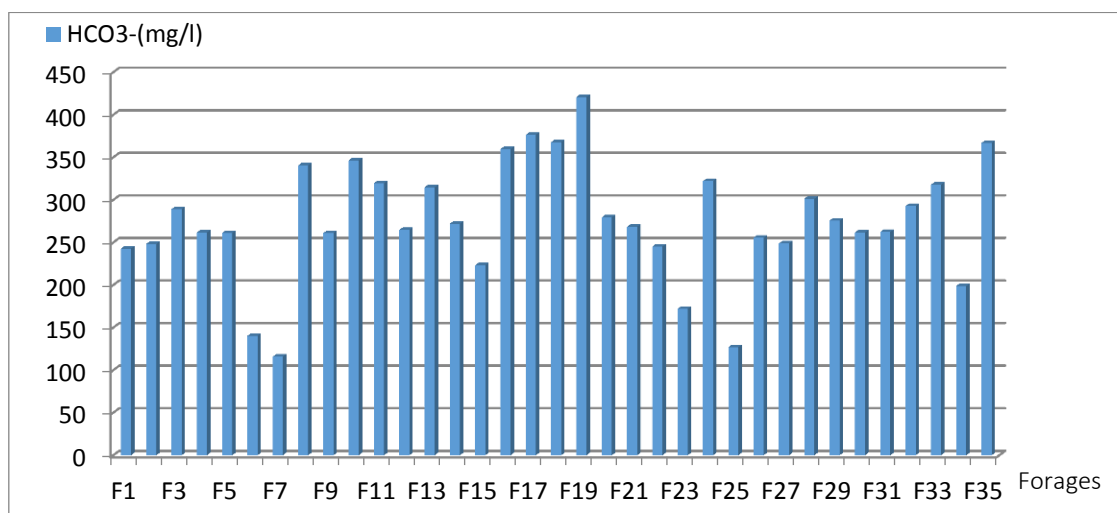


Figure III.10: Variation de la teneur en bicarbonate dans les Forages d'eau

### III.7.2.2.2 Chlorure :

Les eaux chlorurées ont un effet stimulant sur la croissance et sont indiquées dans le traitement de développement.

La concentration maximale admise des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 500mg/l. D'ailleurs à partir de 200mg/l que l'on commence à ressentir le goût de chlore (javel). Le chlorure est naturellement éliminé par l'urine mais une surdose peut provoquer des vomissements. (ART).

L'eau à faible teneur en chlorure stimule la sécrétion gastrique. Elle peut avoir une action de protection de foie des composants toxiques. Les vomissements et les diarrhées répétés font perdre à l'organisme son chlorure et provoquent ainsi des crampes musculaires et une grande fatigue. (ART).

Le chlorure a la même origine que le sodium, la dissolution des minéraux salifères. (Dalila, 2009).



Selon les normes algériennes de potabilité, les chlorures doivent avoir une teneur inférieure à 500 mg/l dans les eaux de consommation. L'analyse des eaux prélevées a révélé des quantités normales de chlorures variant entre 32.66 mg/l et 244.595 mg/l ils ne dépassent pas les normes. Sont conformes à la norme de potabilité algérienne (JORADP 2011).

Les eaux des forages sont considérées non chlorurées ( $\text{Cl} < 200 \text{ mg/l}$ ) selon (CEE, 2009) sauf les Forages (F16-F19) on peut les considérer comme chlorurées. (Voir la figure III.11 suivante).

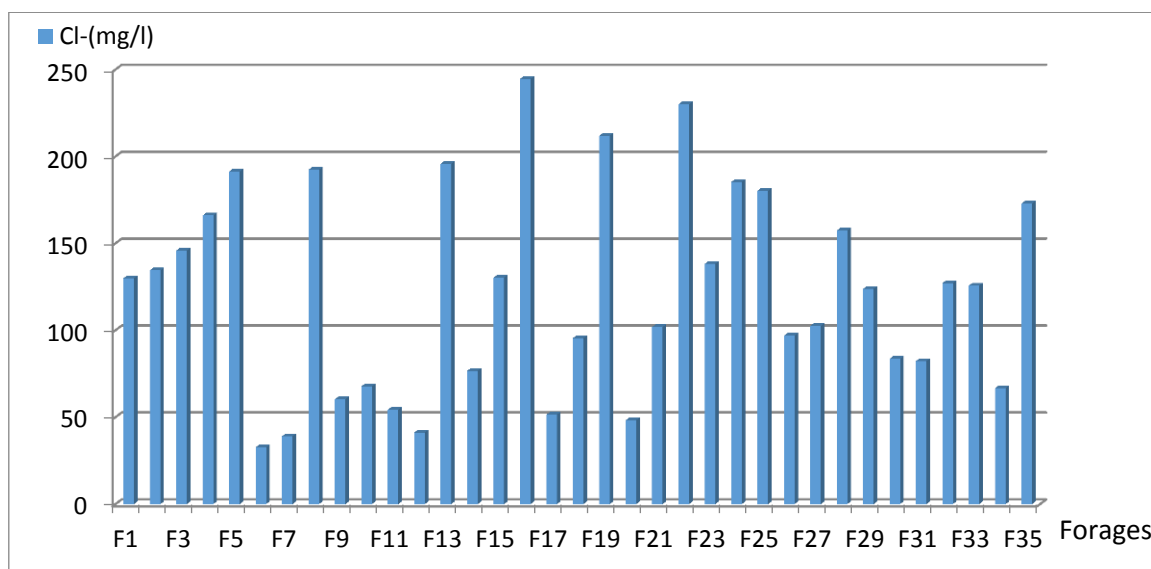


Figure III.11: Variation de la teneur en chlorure dans les Forages d'eau

### III.7.2.2.3 Sulfate :

L'OMS préconisait en 1993 une teneur en sulfate de 500mg/ depuis 1998, UE suggère un maximum de 250mg/lorsque les teneurs sont élevées en sulfate (plus de 400 mg/l), l'eau est laxative et peut provoquer des diarrhées. À partir de ces teneurs elle aura un gout médical (tendance amère). Elle n'est pas recommander durant la croissance car les sulfates peuvent interférer avec l'adsorption de calcium et l'inhiber. (ART).

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses (Christian et al, 2008)

Peut avoir plusieurs origines :

- L'oxydation des minéraux riches en soufre : les teneurs mesurées sont alors de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l.
- Le lessivage de formations évaporitiques : les teneurs sont alors de l'ordre de la centaine ou du millier de mg/l. (Parizot M.2008)
- rejets d'eaux usées et industrielles contenant de l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ).et L'utilisation d'engrais chimiques.

Selon les normes locales algériennes les sulfates doivent avoir une teneur inférieure à 400mg/l Les différentes eaux étudiées sont considérées non sulfatées ( $SO_4 < 200$  mg/l) selon (CEE, 2009) sauf les Forages (F17-F22-F24) qui peuvent êtres considérer comme sulfatées. Les différentes teneurs en sulfate sont conformes à la norme de potabilité algérienne Sauf les Forages (F16, F18, F19, F35) qu'ils dépassent les normes. (400 mg/l) (JORADP ,2011). (Voir la figure III.12 suivante).

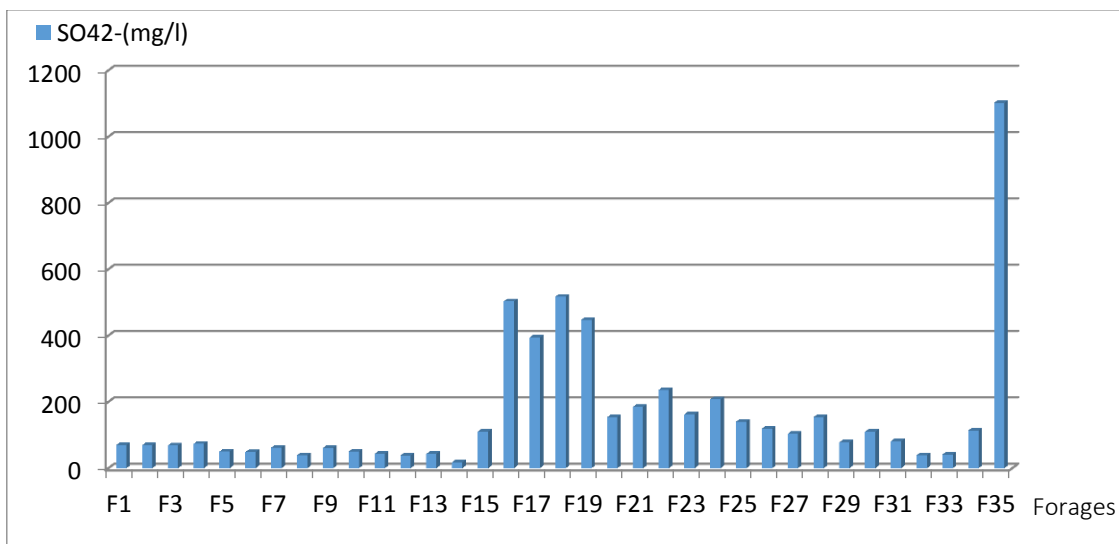


Figure III.12 : Variation de la teneur en sulfate dans les Forages d'eau

### III.7.2.2.4 Nitrate :

Les nitrates sont indésirable en grande quantité car une fois ingérer, il se transforme en nitrite et peuvent être à l'origine de problème toxicologique. Les nitrites peuvent causée un problème d'oxygénation de sang. (ART).

Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques utilisé en agriculture et au rejet des eaux usées (Dalila, 2009).

D'après la réglementation algérienne, il est recommandé pour le cas des nitrates, une valeur maximale de 50mg/l dans une eau destinée à la consommation (JORADP 2011).

(Voir la figure III.13 suivante).

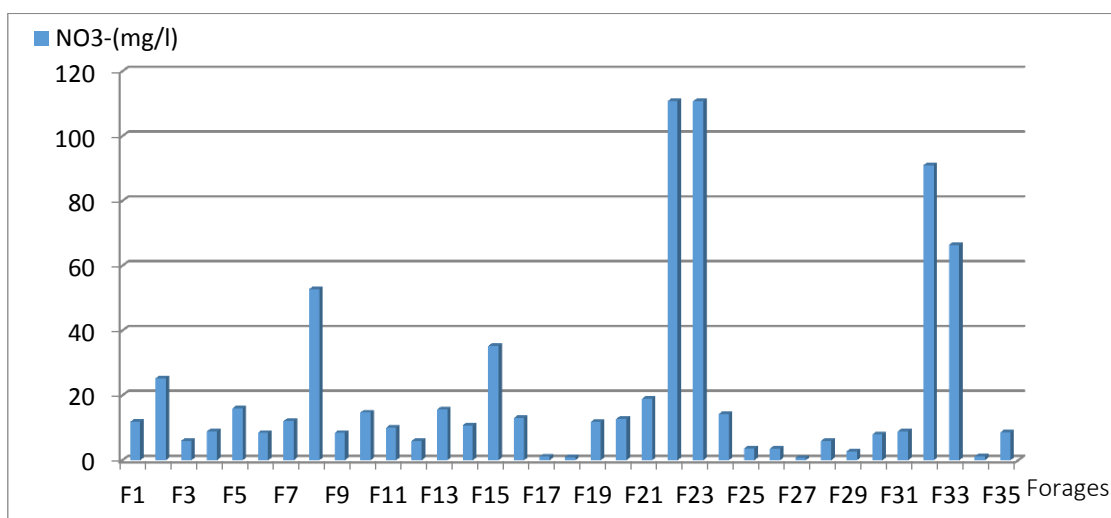


Figure III.13: Variation de la teneur en nitrate dans les Forages

- ✓ Pour les 5 Forages (F8, F33, F32, F22, F23) on note une forte teneur en nitrates qui dépassent la valeur maximale admissible. les valeurs enregistrées pour ces 5 Forages sont respectivement : (52.8mg/l) (66.45mg/l) (91.03mg/l). (110.75mg/l) (110.75mg/l).
- ✓ pour les autres Forages on note une faible teneur en nitrates (inferieur a la valeur admissible).

Dans cette partie on a évalué la qualité des Forages étudiée pour la consommation humaine selon les normes algériennes.

On a trouvé :

- 100% des valeurs ne dépasse pas les normes (inférieur < aux normes) pour le magnésium ( $Mg^{2+}$ ) et pour sodium ( $Na^+$ ), potassium ( $K^+$ ), et bicarbonates ( $HCO_3^-$ ) et le chlorure ( $Cl^-$ ).
- 91.42 % < inferieur aux normes pour le calcium ( $Ca^{2+}$ ) à l'exception de (F16-F22-F35)
- 85% < inferieur aux normes pour les nitrates ( $NO_3^-$ ). à l'exception de (F8-F33-F32-F22-F23)
- 97% < inferieur aux normes pour les sulfates ( $SO_4^{2-}$ ). à l'exception de (F16-F18-F19-F35).

### III.8 Classification chimique des eaux souterraines (eaux de Forages) :

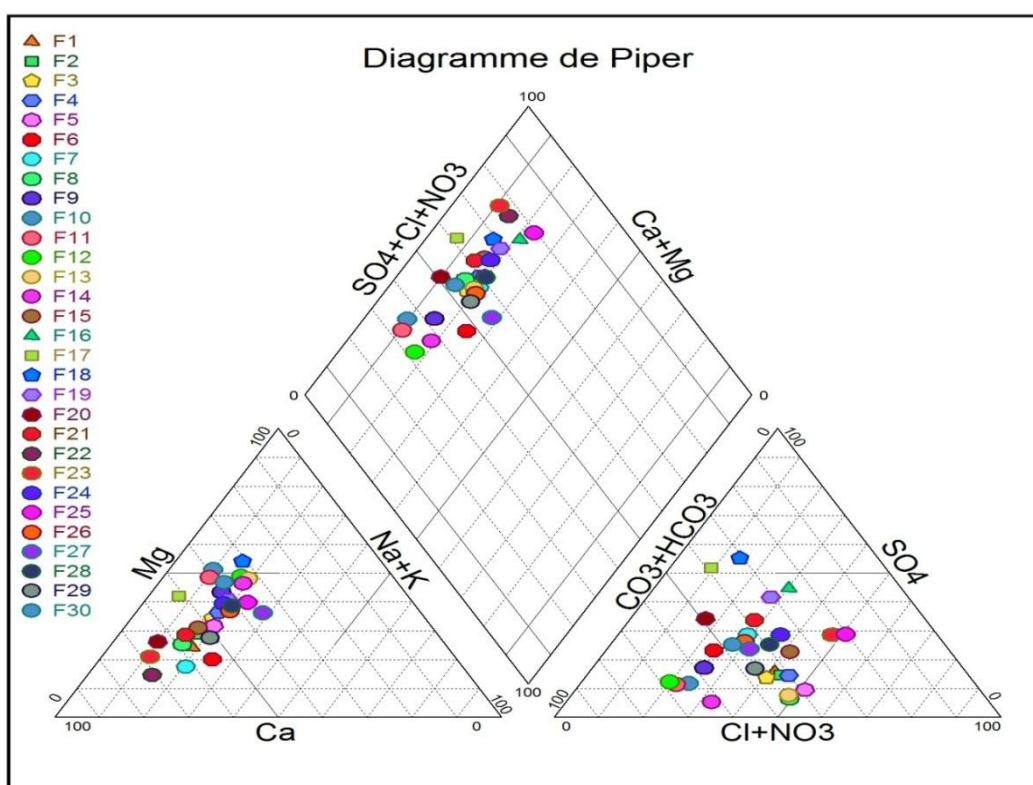
#### III.8.1 Classification des eaux souterraines selon diagramme de PIPER :( faciès chimique) :

La représentation des résultats chimiques des eaux prélevées des forages (35Forages) sur le diagramme de Piper montre que (Figure III.14 suivante) :

- ✚ Le chimisme des eaux analysées est caractérisé par deux faciès chimique :
  - Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes.
  - Bicarbonaté calcique et magnésienne.

Le calcium est le cation dominant pour l'ensemble des échantillons analysé.

Les bicarbonates et les chlorures sont les anions dominants.



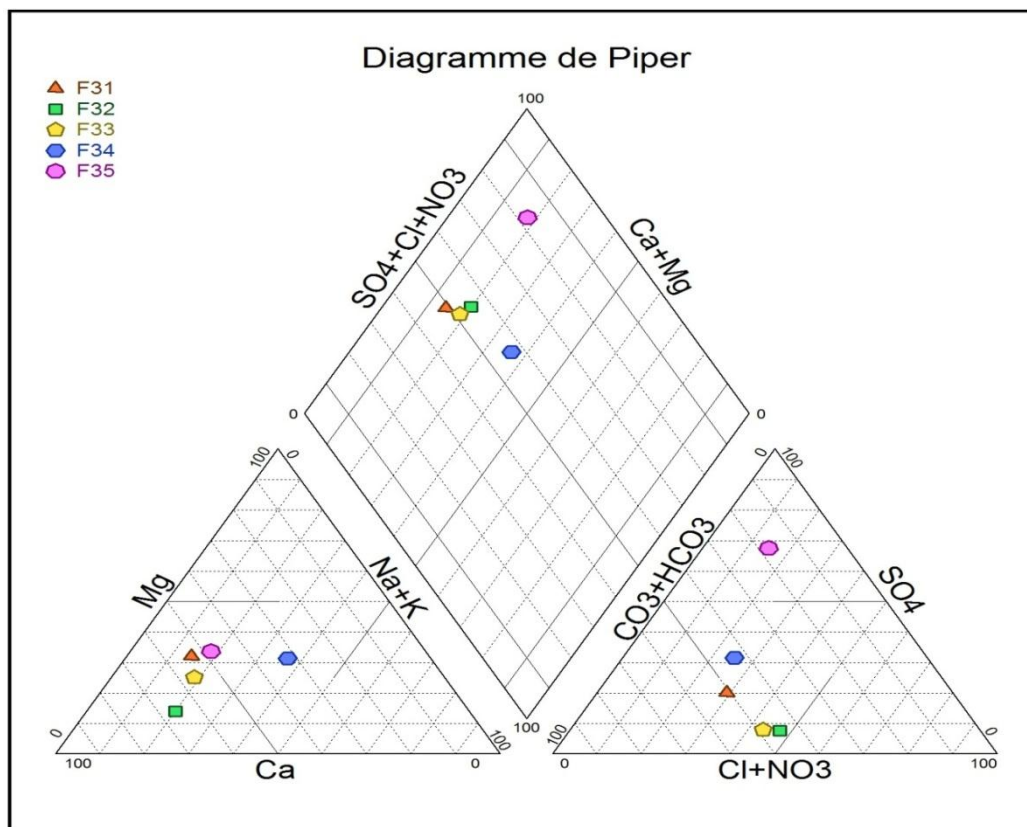


Figure III.14: Classification des Forages d'eau sur diagramme de PIPER

### III.8.2 Classification des eaux souterraines selon diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux et donne sa minéralisation. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. Lorsque on a une famille de ligne brisées parallèles entre elle : il s'agit d'un seul groupe d'eau de minéralisation variable mais les proportions sont les mêmes pour les différents éléments dissous. Lorsqu'on a des lignes qui se croisent : il s'agit d'un changement de faciès chimique. L'analyse des diagrammes de SCHOELLER – BERKALOFF. (Voir la figure III.15-16-17 suivante).

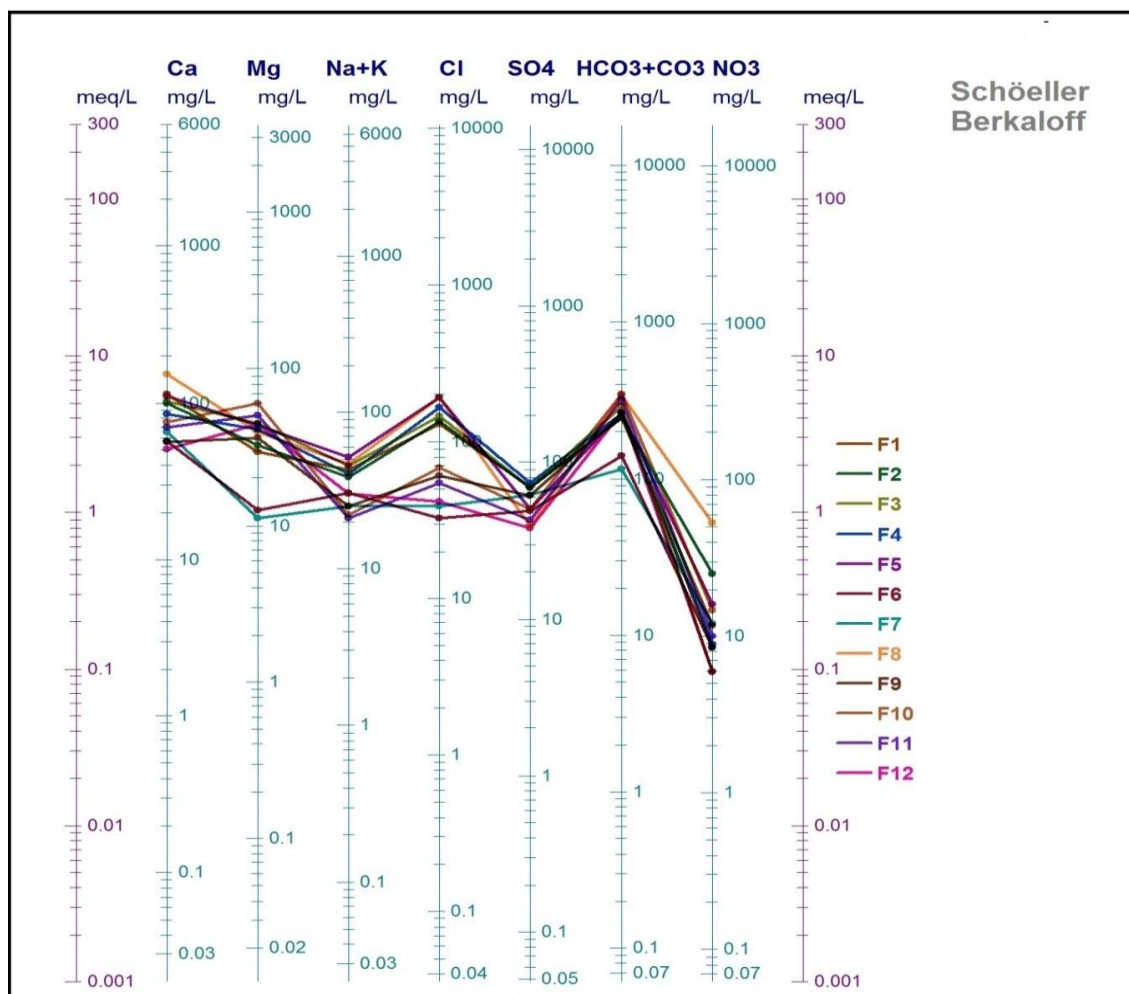


Figure III.15: Représentation des résultats d’analyses (12 Forages) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

Les eaux prélevées des forages (35Forages) présentent deux faciès :

- Chlorurée calcique et magnésienne
- Bicarbonaté calcique et magnésienne

Les ions dominants : le calcium pour les cations. et les chlorures et bicarbonates pour les anions

Selon les formules caractéristiques les ions s’ordonnent de la manière suivante :

✚ Pour le faciès Chlorurée calcique et magnésienne :



✚ Pour le faciès bicarbonaté calcique et magnésienne.



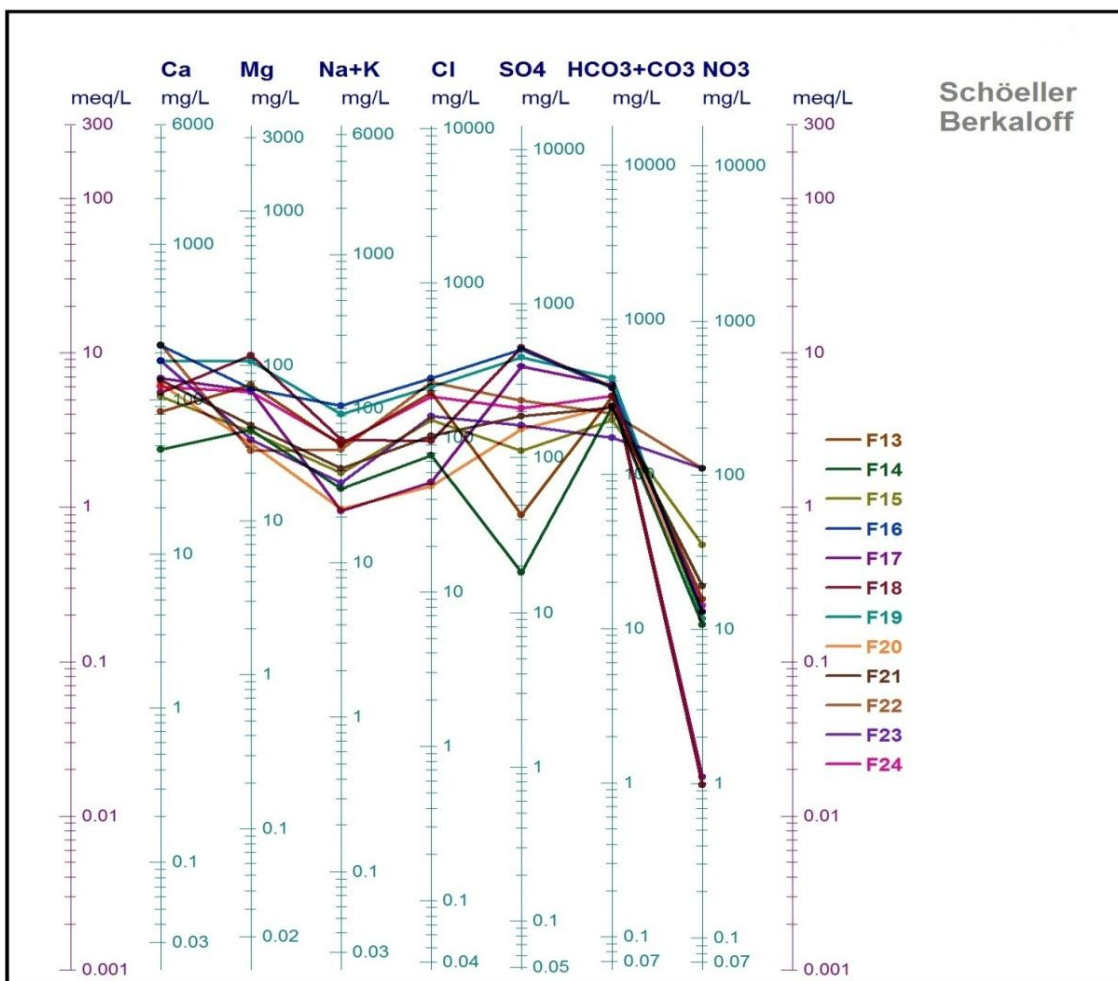


Figure III.16: Représentation des résultats d’analyses (Forages 13-24) selon le diagramme de SchoellerBerkaloff.

Les eaux prélevées des forages (35Forages) présentent deux faciès :

- sulfatées calcique et magnésienne
- Bicarbonaté calcique et magnésienne

Les ions dominants sont les sulfates et bicarbonates pour les anions et le calcium pour cations. Selon les formules caractéristiques les ions s’ordonnent de la manière suivante :

✚ Pour le faciès Chlorures et sulfatées calcique et magnésienne :



✚ Pour le faciès bicarbonaté calcique et magnésienne.



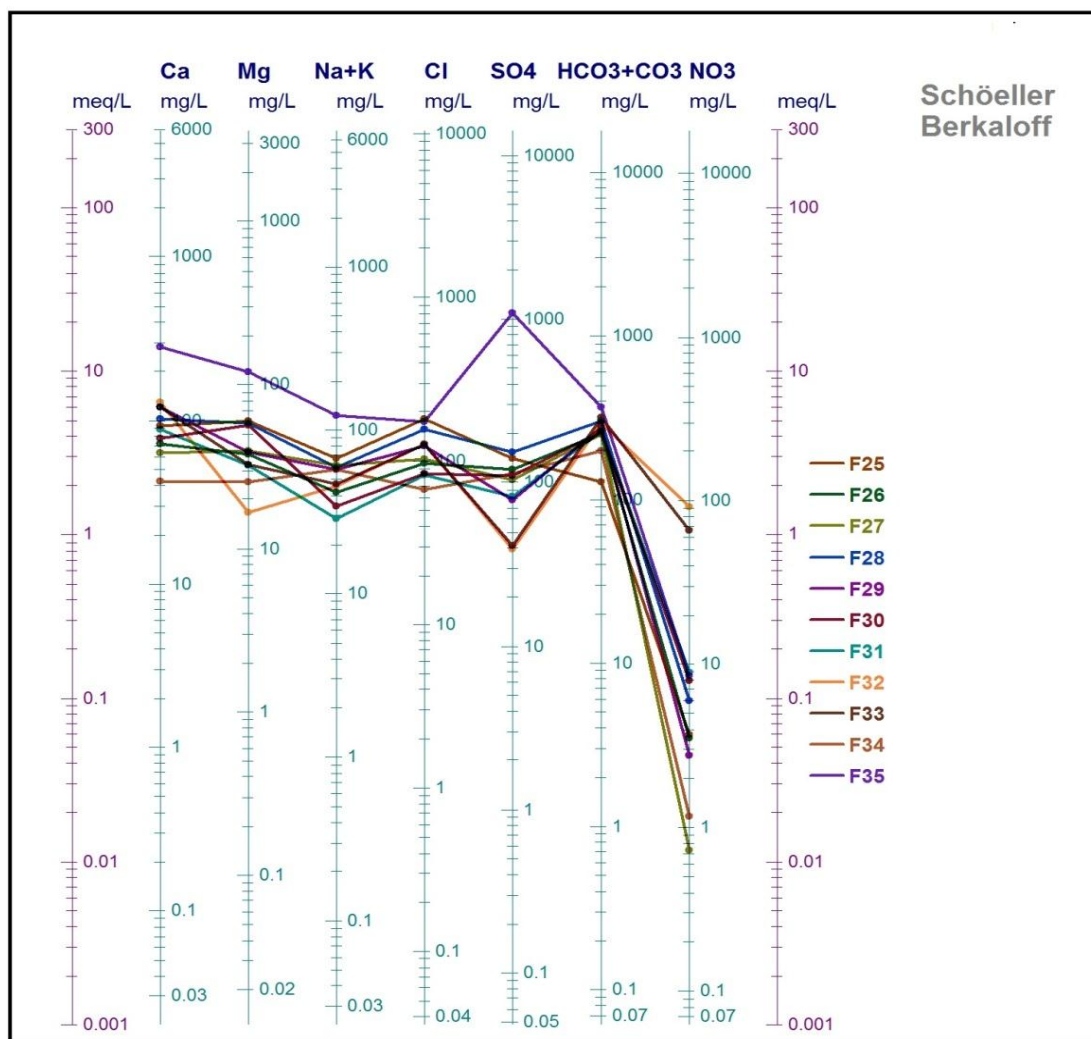


Figure III.17: Représentation des résultats d’analyses (Forages 25-35) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

Les eaux prélevées des forages (35Forages) présentent deux faciès :

- sulfatées calcique et magnésienne
- Bicarbonaté calcique et magnésienne

Les ions dominants sont les bicarbonates pour les anions et le calcium pour les cations.

Selon les formules caractéristiques les ions s’ordonnent de la manière suivante :

✚ Pour le faciès sulfatés calcique et magnésienne :



✚ Pour le faciès bicarbonaté calcique et magnésienne.



III.8.3 Classification des eaux souterraines selon diagramme de Stiff :

Ce genre de diagramme permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes verticaux. Les cations sont représentés à gauche ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$ ) et les anions à droite ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) avec un axe central pour montrer l'état de symétrie. (Voir les figures III.18 -19 suivante).

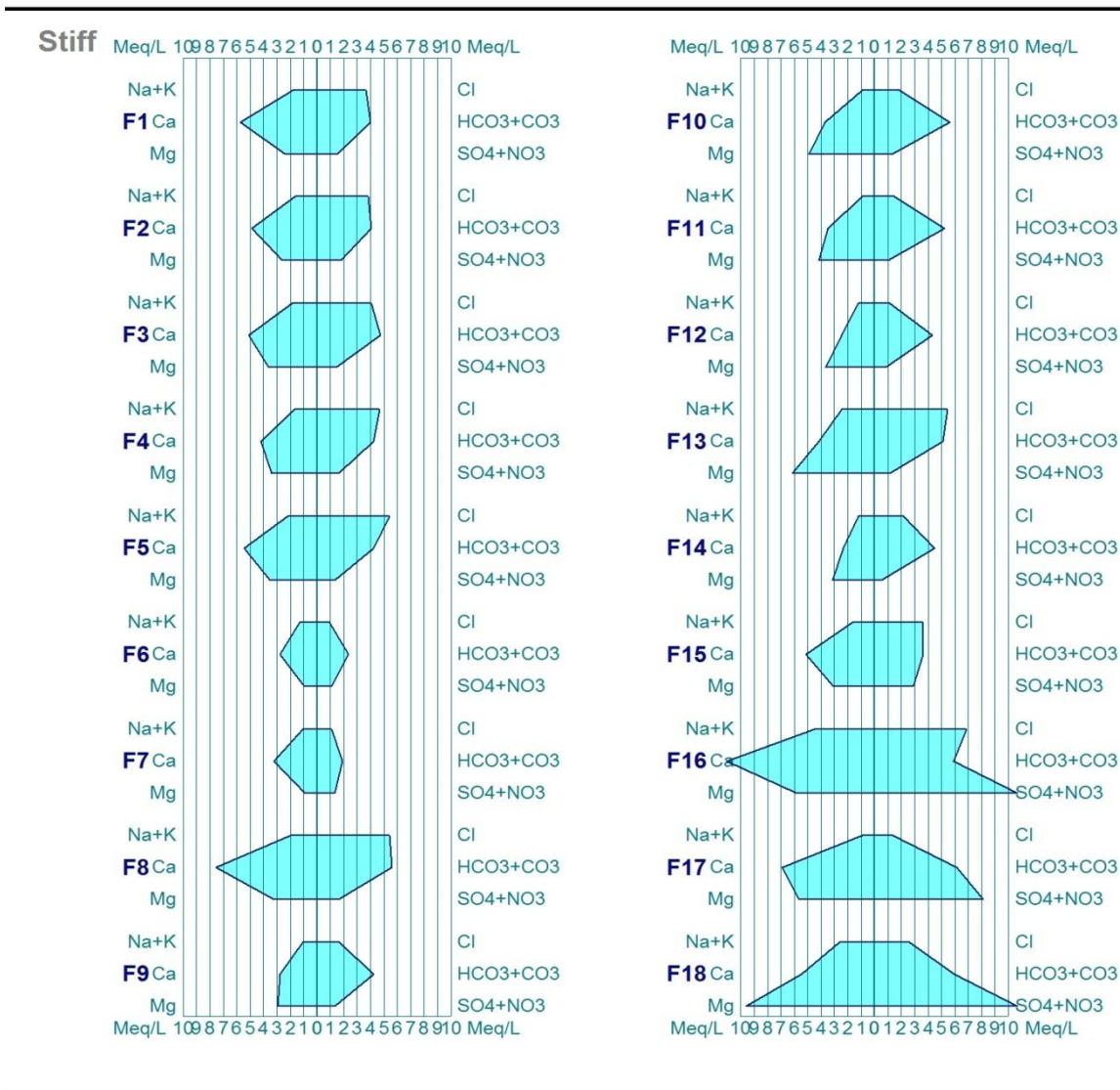


Figure III.18: Représentation des résultats d’analyses selon le diagramme de Stiff

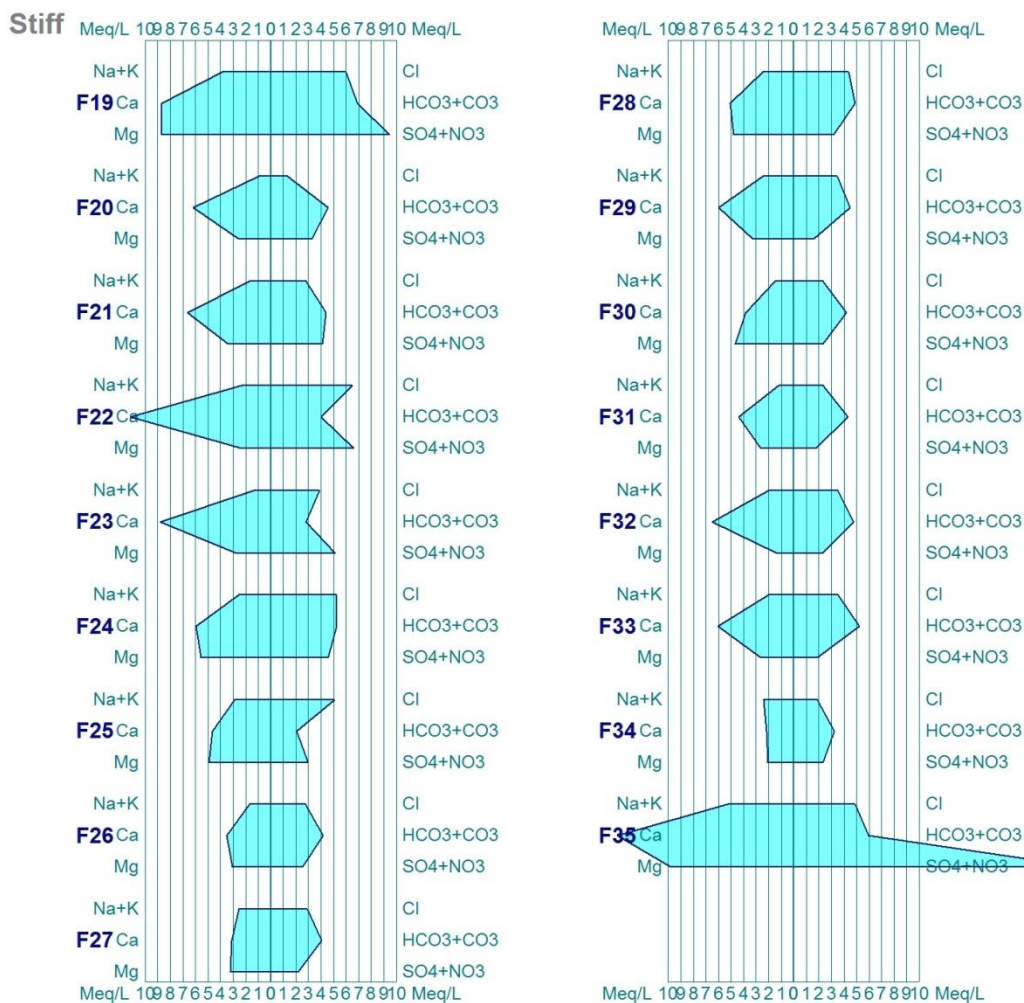


Figure III.19: Représentation des résultats d’analyses selon le diagramme de Stiff

Les caractéristiques de l'eau des forages la region de Bouira montre que le regroupement des points est en majeure partie sur les losanges des familles :

- ✚ Bicarbonatée calcique et magnésienne
- ✚ Chloruré et sulfates calcique et magnésienne

III.8.4 Classification des eaux souterraines selon diagramme de de Stabler ou de collins :  
(Voir la figure III.20 suivante)

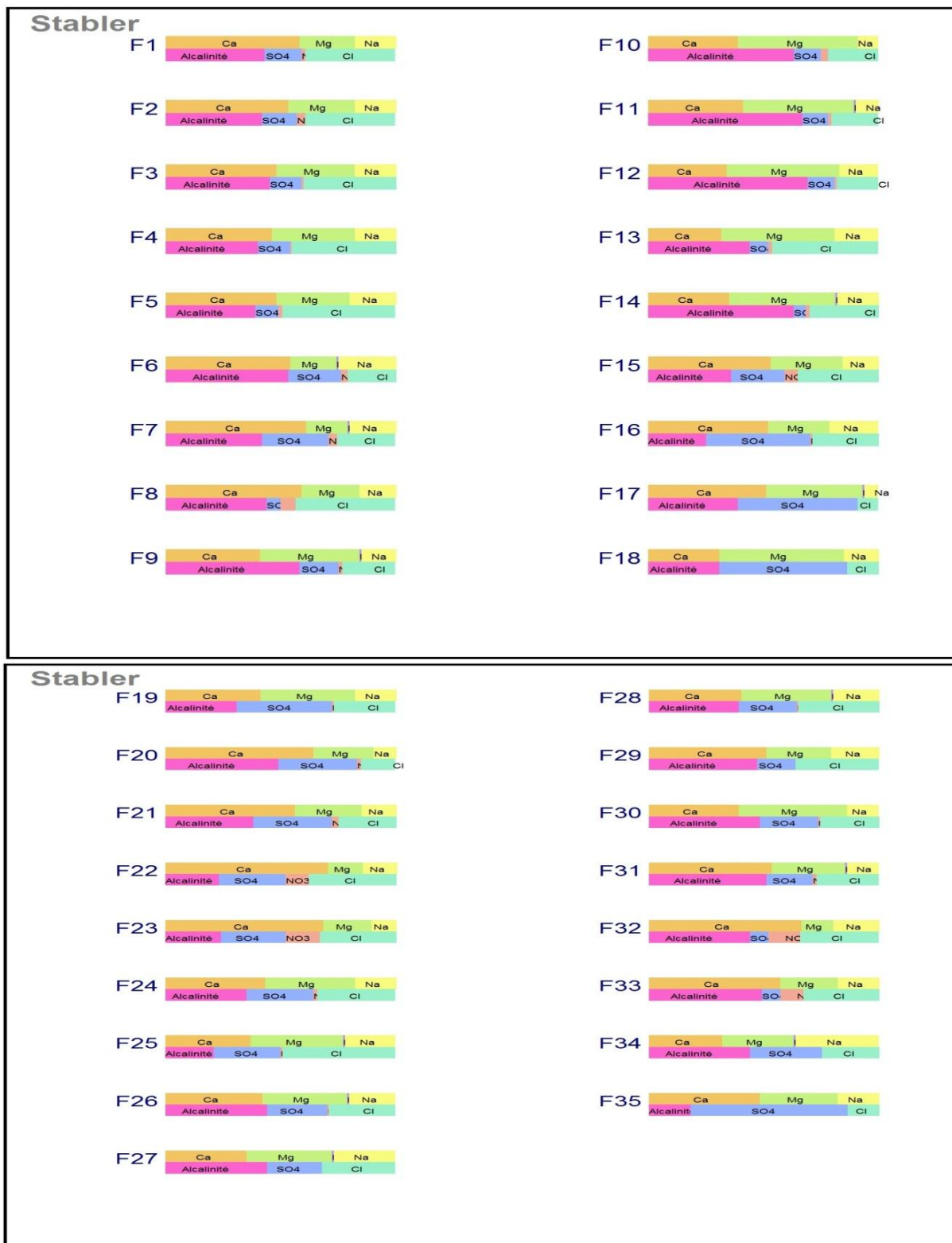


Figure III.20 : Classification des eaux souterraines selon diagramme de de Stabler ou de collins

**III.9 Aptitude des eaux souterraines à l'irrigation :****III.9.1 Conductivité électrique : (mesuré à 20°C) :**

Elle mesure la capacité de la substance ou de la solution à conduire le courant électrique. La Conductivité électrique des eaux souterraines augmente avec l'augmentation de la température et varie avec la quantité de TDS. Les conductivités mesurées à 20°C dans les échantillons d'eau sources étudiées varient entre 684.5  $\mu\text{S/cm}$  (F34) et 2515  $\mu\text{S/cm}$  (F35). Indiquant que sont des eaux de moyenne salinité à fort salinité. Allant à très fort salinité.

La conductivité mesurée de nos eaux souterraines ( 35 Forages) appartiennent aux classe C2, C3 et C4 qui se traduit que sont aptes à l'irrigation.

C2 : 2.85% des forages (F34) salinité moyenne

C3 : 94.28% des forages (F1,F2, F3,F4, F5,F8,,F10,F11,F13,F15,F16,F17,F18,F19,F20,F21, F22,F23,F24,F25,F26,F27,F28,F29,F30,F31,F32,F33) à fort salinité

C4 : 2.85% des forages (F35) à très fort salinité

(Voir le tableau III.6 suivant).

Tableau III.6 : Classification de conductivité

Classe	Conductivité électrique(CE) $\mu\text{S/cm}$	Classification
C1	<250	Eaux non salines
C2	250-750	Eaux à salinité moyenne
C3	750-2250	Eaux à fort salinité
C4	2250-5000	Eaux à très fort salinité
C5	5000-20000	Eaux à salinité excessive

La majorité de la conductivité de nos eaux souterraines (35 Forages) appartiennent aux classe C3 qui se traduit que sont aptes à l'irrigation. Et on peut classer le Forage (F34=684.5 $\mu\text{S/cm}$ ) dans la classe C2 avec des valeurs entre (250-750 $\mu\text{S/cm}$ ). Et une classe C4 pour le Forage (F35=2515  $\mu\text{S/cm}$ ).

**III.9.2 Conductivité électrique : (calculée avec le logiciel Diagramme à 20°C) :**

La conductivité dans les échantillons d'eau sources étudiées selon logiciel de Diagramme varie entre 431  $\mu\text{S/cm}$  et 2413  $\mu\text{S/cm}$ . indiquant que sont des eaux de moyenne salinité à fort salinité à très fort salinité.

La conductivité calculée de nos eaux souterraines (Forages) appartiennent aux classe C2 et C3 et C4 qui se traduit que sont aptes à l'irrigation.

C2 : (22.85%) des forages (F6, F7, F12, F11, F14, F9, F31, F34) moyenne salinité.

C3 : (74.28%)(F1,F2,F3,F4,F5,F8,,F10,F13,F15,F16,F17,F18,F19,F20,F21,F22,F23,F24,F25, F26,F27,F28,F29,F30 ,F32,F33) fort salinité.

C4 : (2.85%) des forages (F35) très fort salinité.

### III.9.3 Diagramme de Richards ou Riverside (taux d'absorption du sodium SAR) :

Pour voir l'aptitude des eaux souterraines de notre région à l'irrigation nous avons utilisé la méthode de l'alcalinité S.A.R (taux d'absorption du sodium).

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

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \text{ méq}$$

Les concentrations de Na, Ca et Mg sont exprimées en meq/l.

Quatre classes de risque alcalin ont été définies :

- ✚ Si le SAR est inférieur à 10 meq le risque d'alcalinité est faible. (S1)
- ✚ Si le SAR est compris entre (10 et 18) meq le risque d'alcalinité est moyen. (S2)
- ✚ Si le SAR est compris entre (18 et 26) meq le risque d'alcalinité est élevé. (S3)
- ✚ Si le SAR est supérieur à 26 meq le risque d'alcalinité est très élevé. (S4)

Les résultats sont résumés dans le (tableau III.7 suivant) :

Tableau III.7 : Résultat de calcul du SAR pour les forages étudiés

Forage	SAR (meq)	Forage	SAR (meq)	Forage	SAR (meq)
F1	0.90	F13	1.08	F25	1.27
F2	0.83	F14	0.74	F26	0.91
F3	0.90	F15	0.79	F27	1.36
F4	0.87	F16	1.53	F28	1.10
F5	1.03	F17	0.32	F29	1.12
F6	0.91	F18	0.94	F30	0.68
F7	0.718	F19	1.30	F31	0.61
F8	0.86	F20	0.45	F32	0.97
F9	0.60	F21	0.77	F33	0.94
F10	0.43	F22	0.88	F34	1.61
F11	0.43	F23	0.56	F35	1.51
F12	0.71	F24	1.03		

#### Interprétation :

- ✚ D'après nos résultats on remarque que le SAR pour tous les échantillons varient entre 0.32 méq et 1.61 méq et ont tous inférieur à 10 méq, on peut dire que le risque d'alcalinité est faible.
- ✚ Donc les eaux qu'on a étudiées sont excellente pour l'irrigation presque sur tous les sols et la plupart des cultures avec peu de danger d'alcalinisation, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées. En classe S1.

(Voir le tableau III.8 suivant).

Tableau III.8 : Classification et interprétation des diagrammes

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1 <sup>er</sup>	Excellente	C1S1	Eaux utilisables sans danger pour l'irrigation pour la plupart des cultures sur la plus part des sols.
2 <sup>eme</sup>	Bonne	C2S1 C1S2	En générale eau pouvant être utilisée sans contrôle en particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol ayant une bonne perméabilité.
3 <sup>eme</sup>	Admissible	C3S1 C2S3 C3S2	En générale eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4 <sup>eme</sup>	Médiocre	C4S1 C4S2 C3S3	Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés.
5 <sup>eme</sup>	Mauvaise	C3S4 C4S3 C4S4	Eau ne convenant pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certains conditions : sol très perméable, bien lessivé plantes tolérantes aux sels.

III.9.3.1 Diagramme de SAR :

✚ Avec conductivité mesurée à 20°C : (voire la figure III.21 suivante)

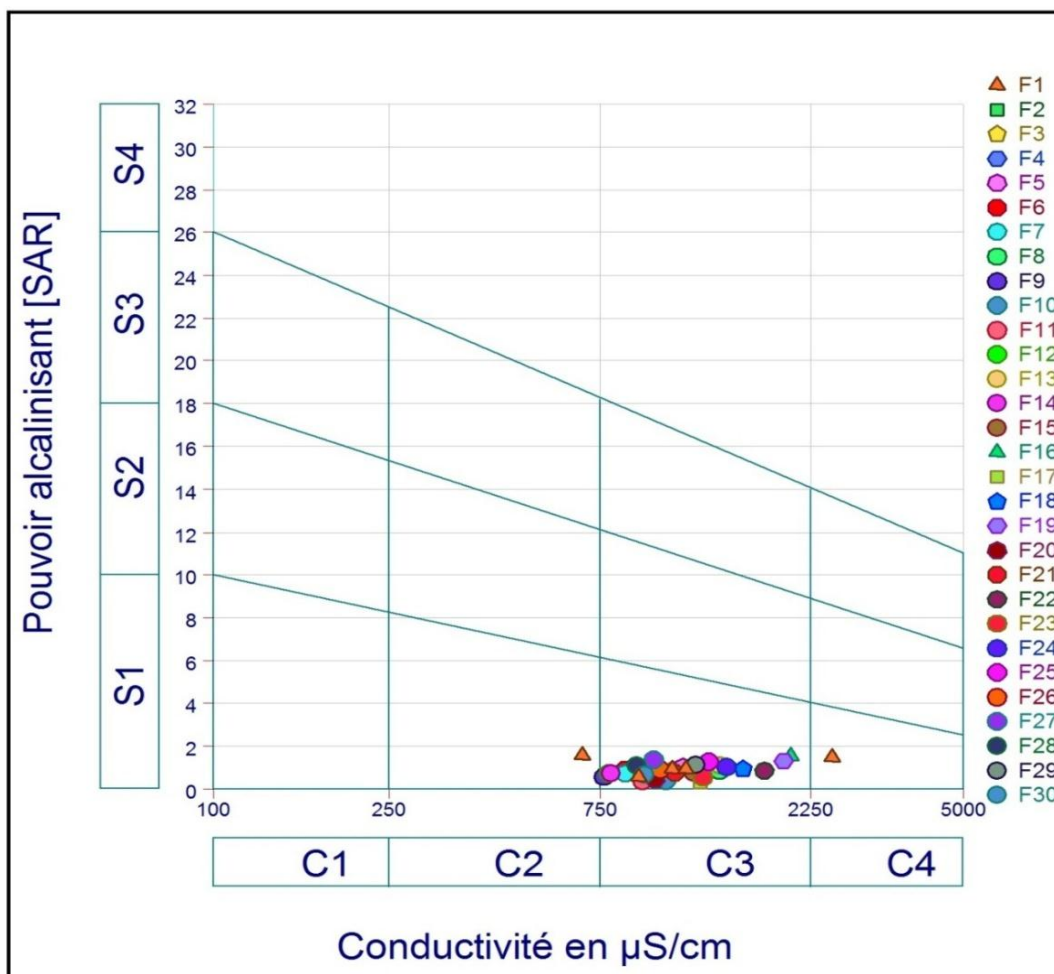


Figure III.21: diagramme Richards ou Riverside selon la méthode de SAR

**Interprétation :**

La Figure (III.21), (Diagramme de Richards ou Riverside) montre que les eaux des Forages (eaux souterraines) de la region de Bouira qu'on a étudiées, se répartissent au niveau de la classe (C2-S1) qui exprime une qualité Bonne. Et dans la classe (C3-S1). Qui exprime une qualité Admissible et un Forage dans la classe (C4-S1) qui exprime une qualité Médiocre.

- ✚ Pour la classe (C2-S1) En générale l'eau pouvant être utilisée sans contrôle, en particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol ayant une bonne perméabilité. (F34)
- ✚ Pour la classe (C3-S1) En générale des eaux convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
- ✚ Pour la classe (C4-S1) Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés (F35).

**III.9.3.2 Diagramme de SAR :**

- ✚ Avec conductivité calculée avec le logiciel à 20°C : (Voir la figure III.22 suivante).

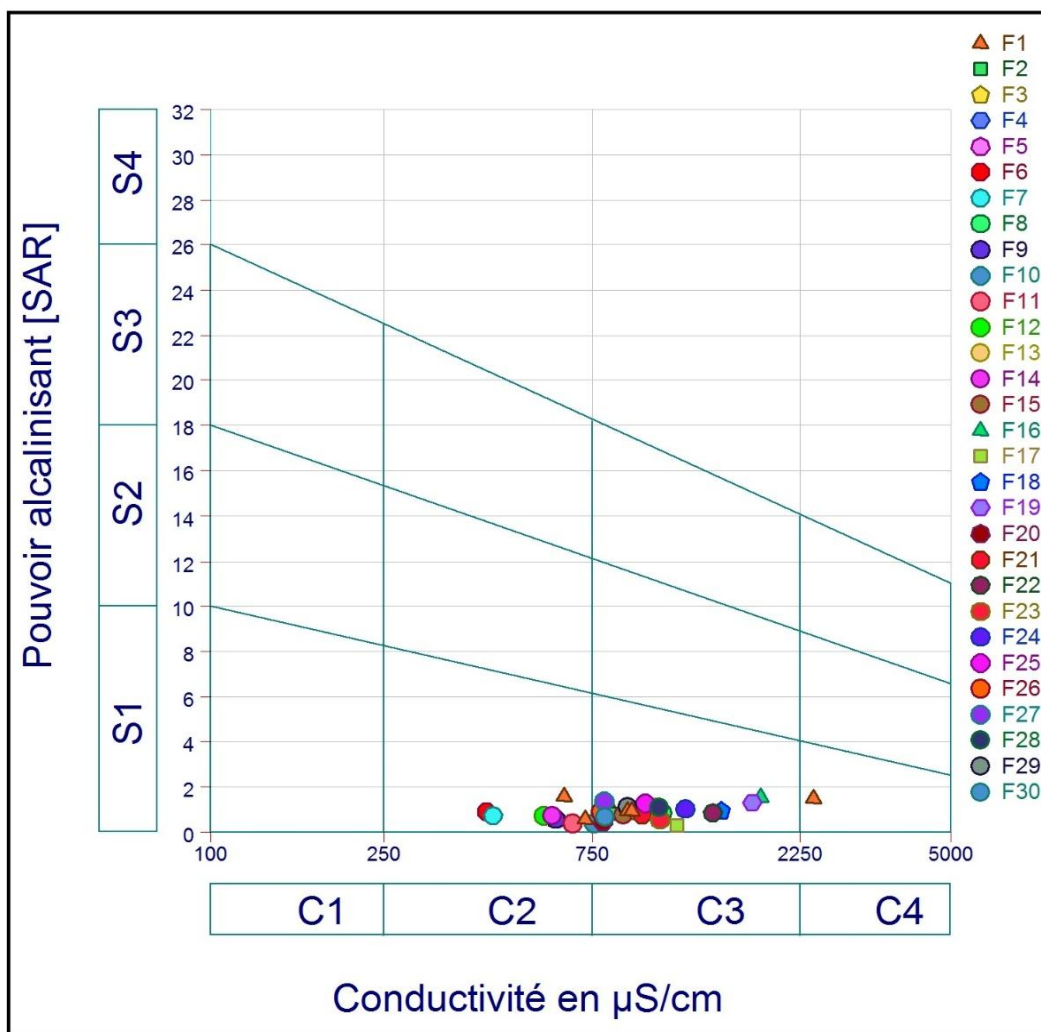


Figure III.22 : diagramme Richards ou Riverside selon la méthode de SAR

**Interprétation :**

La Figure (III.22), (Diagramme de Richards ou Riverside) montre que les eaux des Forages (eaux souterraines) de la région de Bouira qu'on a étudiées, se répartissent au niveau de la classe (C2-S1) qui exprime une qualité Bonne. Et dans la classe (C3-S1) qui exprime une qualité Admissible et un Forage dans la classe (C4-S1) qui exprime une qualité Médiocre.

- ✚ Pour la classe (C2-S1) En générale eau pouvant être utilisée sans contrôle en particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol ayant une bonne perméabilité (F6, F7, F12, F11, F14, F9, F31, F34).
- ✚ Pour la classe (C3-S1) En générale des eaux convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
- ✚ Pour la classe (C4-S1) Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés (F35).

La région de Bouira présente une salinité peu variable caractérisée par la classe C3, nous pouvons considérer celle-ci comme étant une alerte d'accumulation des sels dans le sol donc un suivi régulier de la salinité est nécessaire.

Les eaux de cet aquifère présentent en général les mêmes qualités pour l'irrigation, estimée en fonction du danger d'alcalinisation des sols, un faible pouvoir alcalinisant (SAR) permettra une utilisation de l'eau pour l'irrigation de presque tous les sols.

**III.9.4 Diagramme de Wilcox (Pourcentage de sodium %Na) :**

Selon (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT 1988) quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol.

Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti au diagramme de wilcox. Nous avons jugé intéressant d'utiliser la classification de Wilcox, fondée sur la conductivité électrique et le pourcentage du sodium soluble dans l'eau, pour examiner ce problème (wilcox ., 1955). (Voir les tableaux III.9-10 suivant).

$$\text{Na}(\%) = \frac{\text{Na}+\text{K}}{\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}} * 100$$

Les concentrations de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  sont exprimées en meq/l

Tableau III.9 : Classification de (Na<sup>+</sup>)

Na%	Catégorie
<20	Excellente
20-40	Bonne
40-60	Admissible
60-80	Médiocre
>80	Mauvaise

Tableau III.10 : Résultats de (Na<sup>+</sup>) des forages étudiés

Forage	Na(%)	Qualité	Forage	Na(%)	Qualité
F1	18.54	excellentes	F19	18.35	excellente
F2	17.88	excellentes	F20	9.86	excellente
F3	18.04	excellente	F21	14.86	excellente
F4	18.53	excellente	F22	14.64	excellente
F5	19.74	excellente	F23	10.80	excellente
F6	25.17	bonne	F24	18.05	excellente
F7	20.46	bonne	F25	23.14	bonne
F8	15.77	excellente	F26	20.71	bonne
F9	15.60	excellente	F27	28.42	bonne
F10	9.78	excellente	F28	20.36	bonne
F11	10.44	excellente	F29	21.06	bonne
F12	17.22	excellente	F30	14.63	excellente
F13	19.48	excellente	F31	14.59	excellente
F14	18.92	excellente	F32	20.06	bonne
F15	16.58	excellente	F33	18.61	excellente
F16	21.10	bonne	F34	36.55	bonne
F17	6.67	excellente	F35	18.09	excellente
F18	14.98	excellente			

Les résultats de Pourcentage de sodium varient entre deux 2 catégorie (excellente-bonne) avec une valeur min= 6.67% et max= 36.55% et une valeur moyenne 17.93%. Ça montre que les eaux des forages étudiés sont utilisables pour l'irrigation.

- Catégorie Excellente (< 20%) regroupé (71.42%) des Forages étudiés. (F1,F2,F3,F4,F5,F8,F9,F10,F11,F12,F13,F14,F15 ,F17,F18,F19,F20,F21,F22, F23,F24,F30,F31,F33, F35).
- Catégorie Bonne (20 - 40%) regroupé (28.57%) des Forages étudiés. (F6, F7, F16, F25, F26, F27, F28, F29, F32, F34).

La combinaison du taux de sodium et la conductivité électrique, nous a permis d'élaborer le diagramme de Wilcox.

Il en ressort de ce diagramme que les eaux de Forages sont classées dans la catégorie des eaux excellente à Bonne à Admissible donc aptes pour l'irrigation

✚ Avec conductivité mesurée : (Voir la figure III.23 suivante).

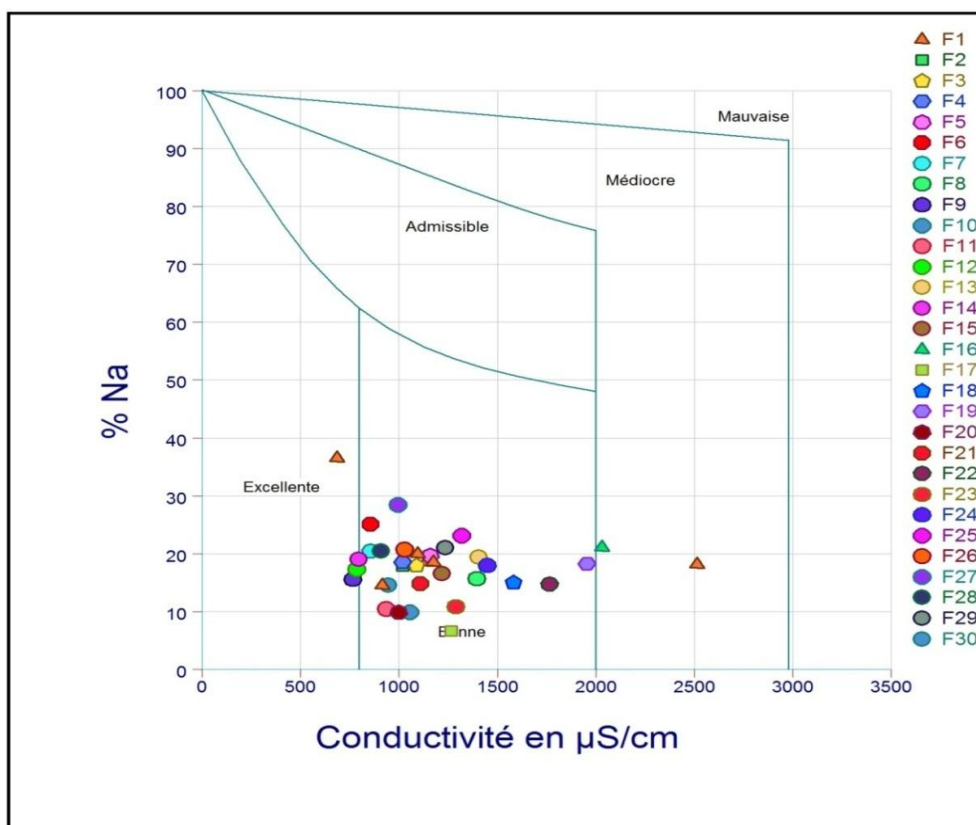


Figure III.23: Diagramme de wilcox

✚ Avec conductivité calculée : (Voir la figure III.24 suivante).

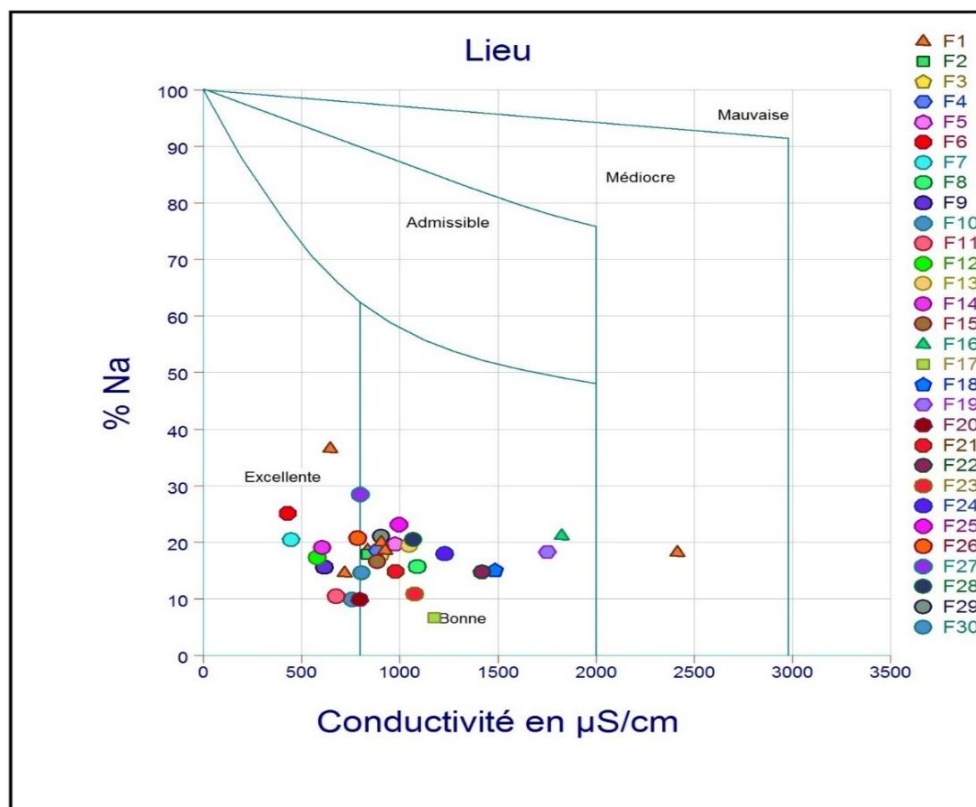


Figure III.24: Diagramme de wilcox

**III.9.5 Calcul des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole :****III.9.5.1 Indice de perméabilité (PI) :**

Des études récentes (Younsi, 2001,) ont indiqué que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle l'indice de (PI) défini par (Doneen, 1964).

Calculé par équation :

$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} * 100$$

Les valeurs de  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  sont exprimées en meq/l.

Si :

- $PI > 75\%$  : l'eau est bonne pour l'irrigation.
- $25\% < PI < 75\%$  : l'eau est admissible sous certaines condition pour son utilisation.
- $PI < 25\%$  : l'eau n'est plus utilisable. (Voir le tableau III.11 suivant).

Tableau III.11 : Résultat de PI % et interprétation

Forage	PI(%)	Qualité	Forage	PI(%)	Qualité
F1	38.40	admissible	F19	30.33	admissible
F2	39.43	admissible	F20	31.52	admissible
F3	37.98	admissible	F21	32.50	admissible
F4	40.55	admissible	F22	27.17	admissible
F5	37.88	admissible	F23	23.54	non utilisable
F6	54.17	admissible	F24	34.07	admissible
F7	46.52	admissible	F25	34.24	admissible
F8	34.07	admissible	F26	44.40	admissible
F9	45.45	admissible	F27	50.31	admissible
F10	34.26	admissible	F28	37.90	admissible
F11	36.87	admissible	F29	38.96	admissible
F12	45.03	admissible	F30	35.04	admissible
F13	36.87	admissible	F31	39.19	admissible
F14	49.65	admissible	F32	42.24	admissible
F15	35.68	admissible	F33	39.67	admissible
F16	32.26	admissible	F34	63.20	admissible
F17	24.70	non utilisable	F35	26.34	admissible
F18	28.45	admissible			

Les résultats de l'indice de perméabilité varient entre 23.54% et 63,20%, moyenne 37.97%. Montrent que la majorité des forages étudiés sont admissible pour l'irrigation. Sauf deux 2 forages non utilisables avec des valeurs  $PI < 25\%$  (F17 et F23).

- (94.28%) admissible pour l'irrigation.
- (5.71%) n'est plus utilisable pour l'irrigation.

### III.9.5.2 Chlorure :

Lorsqu'ils sont présents dans l'eau d'irrigation, ces éléments contribuent à augmenter la concentration des sels solubles. Des concentrations excessives des chlorures et des sulfates peuvent causer des brûlures sur le bout des feuilles du gazon et voire même entraîner la mort. Des concentrations de 250 à 400 ppm sont considérées comme indésirables pour l'irrigation des plantes.

Des plantes sensibles aux sels. Heureusement, les sels de chlorure et de sulfate sont rapidement solubles. Ils peuvent donc être lessivés dans les sols qui se drainent bien. (Voir le tableau III.12 suivant).

Tableau III.12 : Potabilité des eaux étudiées en fonction de la Chlorure

Cl <sup>-</sup> (méq/l)	< 4	4 < Cl <sup>-</sup> < 10	>10
Qualité	Pas de toxicité	Moderne	Toxicité sévère
Forages	F6,F7,F12,F20,F17 F11,F9,F34,F10,F14 F31,F30,F18,F26,F21 F27,F29,F33,F32,F1 F15,F2,F23	F3,F28,F4,F35,F25,F24, F5,F8,F13 F19,F22,F16	

Les valeurs des chlorures varient entre deux classes:

- ✚ 65.71 % des forages Cl<sup>-</sup> > 4 meq/l pas de toxicité.
- ✚ 34.28 % des forages 4 meq/l < Cl<sup>-</sup> < 10 meq/l moderne.

### III.9.5.3 Nitrate :

Basé sur la comparaison de la concentration de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. (Voir le tableau III.13 suivant).

Tableau III.13 : Potabilité des eaux étudiées en fonction de la Nitrate

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (méq/l)	< 5	5 < NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> < 30	> 30
Qualité	Pas de toxicité	Moderne	Toxicité sévère

Les valeurs des nitrites sont comprises entre 0.01 méq/l à 1.78 méq/l sont inférieure (< 5) qui implique pas de toxicité de Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sur tous les Forages qu'on a étudiés.

**III.9.5.4 Magnesium Hazard (MH)** (Szaboles and Darab 1964):

En générale, le calcium et le magnésium sont à l'état d'équilibre dans l'eau, le taux élevé de magnésium dans l'eau influe sur la qualité de sol et donne de mauvais rendements agricoles, où il devient de nature alcaline (Szaboles and Darab 1964) (BENSEDJAD, 2011).

Calculé par l'équation : 
$$MH = \frac{Mg}{Ca+Mg} * 100$$

Les valeurs de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> sont exprimées en meq/l.

Avec :

Si MH > 50% l'eau ne convient pas, (mauvaise pour l'irrigation).

Si MH < 50% elle est convenable. (Bonne pour l'irrigation).

(Voir le tableau III.14 suivant).

Tableau III.14 : Résultats de MH des forages étudiés

Forage	MH %	Qualité	Forage	MH %	Qualité
F1	29.73	eau convenable	F19	49.88	eau convenable
F2	35.09	eau convenable	F20	29.16	eau convenable
F3	41.84	eau convenable	F21	33.76	eau convenable
F4	44.62	eau convenable	F22	17.07	eau convenable
F5	39.35	eau convenable	F23	23.47	eau convenable
F6	26.82	eau convenable	F24	48.18	eau convenable
F7	22.13	eau convenable	F25	51.70	eau ne conviennent pas
F8	30.16	eau convenable	F26	46.46	eau convenable
F9	51.41	eau ne conviennent pas	F27	50.69	eau ne conviennent pas
F10	56.82	eau ne conviennent pas	F28	48.43	eau convenable
F11	54.08	eau ne conviennent pas	F29	34.90	eau convenable
F12	59.12	eau ne conviennent pas	F30	54.64	eau ne convient pas
F13	59.65	eau ne conviennent pas	F31	37.46	eau convenable
F14	57.28	eau ne conviennent pas	F32	17.36	eau convenable
F15	37.23	eau convenable	F33	30.82	eau convenable
F16	34.36	eau convenable	F34	49.42	eau convenable
F17	44.94	eau convenable	F35	41.19	eau convenable
F18	63.62	eau ne conviennent pas			

Dans ce tableau, les valeurs de MH varient entre valeur min = 17.07% et max = 63.62% et moyenne = 41.51%. Ce qui implique que Les valeurs du Magnésium Hazard :

✚ 71.42% des forages présente une eau convenable.

✚ 28.57% des forages présente une eau non convenable.

### III.9.5.5 Kelly's ratio (KR) (kelly 1946) :

L'aptitude de l'eau à l'irrigation c'est aussi apprécié dans la base de Kelly's Ratio, le taux de sodium envers le calcium et le magnésium sont utilisés comme le taux de Kelly's (BENSEDJAD, 2011), calculé par l'équation :

$$KR = \frac{Na}{Ca + Mg}$$

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

Si  $KR > 1$  eau ne conviennent pas à l'irrigation, mais si  $KR < 1$ , l'eau il est convenable à l'irrigation. (Voir le tableau III.15 suivant).

Tableau III.15 : Résultats de KR des forages étudié

Forage	KR	Qualité	Forage	KR	Qualité
F1	0.22	convenable	F19	0.22	convenable
F2	0.21	convenable	F20	0.10	convenable
F3	0.21	convenable	F21	0.17	convenable
F4	0.22	convenable	F22	0.17	convenable
F5	0.24	convenable	F23	0.11	convenable
F6	0.32	convenable	F24	0.21	convenable
F7	0.24	convenable	F25	0.29	convenable
F8	0.18	convenable	F26	0.25	convenable
F9	0.17	convenable	F27	0.38	convenable
F10	0.10	convenable	F28	0.24	convenable
F11	0.11	convenable	F29	0.26	convenable
F12	0.20	convenable	F30	0.16	convenable
F13	0.23	convenable	F31	0.16	convenable
F14	0.22	convenable	F32	0.24	convenable
F15	0.19	convenable	F33	0.22	convenable
F16	0.26	convenable	F34	0.55	convenable
F17	0.06	convenable	F35	0.21	convenable
F18	0.17	convenable			

La classification selon le Kelly Ratio (KR) indique que les valeurs obtenue varient entre 0.06 méq/l et 0.55 méq/l et moyenne 0.21 méq/l donc tous les points d'eau (les Forages qu'on a étudiés) sont convenables pour l'irrigation.

### III.9.5.6 Carbonate de sodium résiduel (RSC) :

Il se réfère à l'alcalinité résiduelle. Une valeur élevée de RSC entraîne une augmentation de l'adsorption de  $\text{Na}^+$  dans le sol. Ce qui réduit la perméabilité de ce dernier et ne favorise pas la croissance des plantes (Rao, 2012), RSC est calculé pour l'eau d'irrigation par la formule suivante :

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3^- * 0.0333) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Où  $\text{HCO}_3^-$  est exprimé en mg/l et  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont en méq/l.

- ✚ Si le RSC < 1.25méq/l, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation.
- ✚ Si le RSC > 1.25méq/l l'eau n'est pas appropriée à l'irrigation. (Voir le tableau III.16 suivant).

Tableau III.16 : Résultats de RSC

Forage	RSC	Qualité	Forage	RSC	Qualité
F1	-0.04	peut être utilisée	F19	-3.51	peut être utilisée
F2	0.64	peut être utilisée	F20	0.45	peut être utilisée
F3	0.77	peut être utilisée	F21	-1.12	peut être utilisée
F4	1.10	peut être utilisée	F22	-5.41	peut être utilisée
F5	-0.38	peut être utilisée	F23	-5.85	peut être utilisée
F6	0.79	peut être utilisée	F24	-0.83	peut être utilisée
F7	-0.29	peut être utilisée	F25	-5.36	peut être utilisée
F8	0.52	peut être utilisée	F26	1.79	n'est pas approprié
F9	2.90	n'est pas approprié	F27	1.85	n'est pas approprié
F10	2.84	n'est pas approprié	F28	0.12	peut être utilisée
F11	2.99	n'est pas approprié	F29	-0.04	peut être utilisée
F12	2.66	n'est pas approprié	F30	0.17	peut être utilisée
F13	0.09	peut être utilisée	F31	1.64	n'est pas approprié
F14	3.54	n'est pas approprié	F32	1.92	n'est pas approprié
F15	-0.83	peut être utilisée	F33	1.84	n'est pas approprié
F16	-4.93	peut être utilisée	F34	2.39	n'est pas approprié
F17	-0.01	peut être utilisée	F35	-11.67	peut être utilisée
F18	-2.89	peut être utilisée			

Selon le Tableau, les valeurs calculées du RSC varient entre -11.67méq/l et 3.54méq/l et moyenne -0.34 méq/l. donc nos forages sont classées comme suit :

- (68.57%) des Forages (F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8,F13,F15,F16,F17,F18,F19,F20,F21,F22,F23,F24,F25,F28, F29,F30,F35) représentent des valeurs de RSC < 1.25 qui sont apte à l'irrigation.
- (31.42 %) des Forages (F9, F10, F11, F12, F14, F26, F27, F31, F32, F33, F34) ont des valeurs de RSC > 1.25 qui sont pas apte à l'irrigation.

**III.9.5.7 Pourcentage d'échange de sodium (ESP) :**

La concentration du sodium dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence de  $\text{Na}^+$  a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation de l'argile. Le pourcentage d'échange de sodium (ESP) est calculé par l'équation (Rouabhia et Djabri, 2010).

$$\text{ESP} = \frac{[b(\text{SAR}) - a]}{1 + [b(\text{SAR}) - a]} * 100$$

Avec :  $a=0.0126$  et  $b=0.01475$

(Les résultats voir le tableau III.17 suivant).

Tableau III.17 : Résultats d'ESP

Forage	ESP%	Forages	ESP%	Forages	ESP%
F1	0.07	F13	0.33	F25	0.62
F2	-0.02	F14	-0.15	F26	0.09
F3	0.08	F15	-0.08	F27	0.75
F4	0.02	F16	0.99	F28	0.37
F5	0.26	F17	-0.78	F29	0.39
F6	0.08	F18	0.12	F30	-0.24
F7	-0.20	F19	0.66	F31	-0.35
F8	0.0097	F20	-0.59	F32	0.17
F9	-0.36	F21	-0.11	F33	0.12
F10	-0.62	F22	0.04	F34	1.11
F11	-0.62	F23	-0.42	F35	0.95
F12	-0.20	F24	0.26		

Les valeurs d'ESP des eaux échantillonnées des Forages étudiés varient de -0.78% à 1.11%. Et moyenne 0.08%. Les valeurs d'ESP montrent un très faible pourcentage d'échange de sodium dans les eaux étudiées. Par conséquent, ils sont excellents pour l'irrigation des plantes sans risque d'alcalinisation.

**III.9.5.8 Salinité potentielle du sol (SP) :**

La salinité potentielle du sol est calculée en utilisant la formule suivante :

$$\text{SP} = \text{Cl}^- + \sqrt{\text{SO}_4^{2-}}$$

$\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  sont exprimés en méq/l

Les résultats : (Voir les tableaux III.18-19 suivants).

Tableau III.18 : Classification de l'eau selon la Salinité Potentielle du sol

Classe	Potentiel de salinité du sol	N° d'échantillons
Excellente à Bonne	<5	20
Bonne à Médiocre	5-10	14
Médiocre à Mauvaise	>10	1

Tableau III.19 : Valeurs de SP

Forages	SP	Forages	SP	Forages	SP
F1	4.86	F13	6.46	F25	6.79
F2	4.99	F14	2.77	F26	4.30
F3	5.31	F15	5.19	F27	4.36
F4	5.92	F16	10.13	F28	6.22
F5	6.42	F17	4.31	F29	4.76
F6	1.92	F18	5.97	F30	3.87
F7	2.23	F19	9.03	F31	3.62
F8	6.32	F20	3.15	F32	4.48
F9	2.83	F21	4.83	F33	4.47
F10	2.93	F22	8.70	F34	3.42
F11	2.47	F23	5.74	F35	9.66
F12	2.05	F24	7.30		

Selon les valeurs de SP les eaux souterraines varient de 1.92még/l à 10.13még/l et moyenne 5.08még/l Sur 35 échantillons.

- (57.14%) des Forages sont excellentes à bonnes.
- (40%) des Forages sont bons à médiocres
- (2.85%) des Forages Médiocre à Mauvaise.

### III.9.5.9 L'indice d'échange de base (i.e.b) :

L'indice d'échange (i.e.b) exprime les échanges cationiques qui peuvent avoir lieu dans un aquifère. En effet, la surface de la fraction fine de la matrice d'une nappe peut absorber des cations qui peuvent être substitués à d'autres en solution dans l'eau souterraine. Les cations mis en jeu sont : le Calcium, le Magnésium, le Sodium et le Potassium. Le sens des échanges cationique tend à établir l'équilibre entre l'eau et la fraction fine.

L'indice d'échange de base est donné par la formule suivante :

$$ieb = \frac{[Cl^-] - [(Na + K)]}{[Cl^-]}$$

Selon le signe de l'i.e.b, on peut distinguer d'après Schoeller (1969) :

- ✚ i.e.b < 0 : le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain.
- ✚ i.e.b > 0 : il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium.
- ✚ i.e.b = 0 : il n'y a pas d'échange ionique entre la roche et l'eau (équilibre).  
(Voir le tableau III.20 suivant).

Tableau III.20 : Résultats d'ieb

Forages	ieb	Forages	ieb	Forages	ieb
F1	0.495	F13	0.544	F25	0.432
F2	0.562	F14	0.404	F26	0.358
F3	0.526	F15	0.552	F27	0.116
F4	0.630	F16	0.344	F28	0.429
F5	0.585	F17	0.382	F29	0.294
F6	-0.414	F18	0.009	F30	0.378
F7	0.029	F19	0.341	F31	0.478
F8	0.627	F20	0.288	F32	0.451
F9	0.370	F21	0.388	F33	0.435
F10	0.506	F22	0.640	F34	-0.292
F11	0.417	F23	0.640	F35	-0.082
F12	-0.102	F24	0.512		

- ✚ Dans le secteur d'étude, le tableau de l'i.e.b. montre que les valeurs des eaux souterraines varient entre -0.414 et 0.640 et moyenne 0.351.
- ✚ (88.75%) des forages visualisent des valeurs positives ieb > 0 cela indique la fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium. Et ce sont les:  
(F1,F2,F3 ,F4,F5,F7,F8,F9,F10,F11,F13,F14,F15,F16,F17,F18,F19,F20,F21,F22,F23, F24,F25,F26,F27,F28,F29,F30,F31,F32,F33).
- ✚ (11.42%) des forages visualisent des valeurs négative ieb < 0 cela indique le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain. Ce sont:  
(F6, F12, F34, F34).

## III.10 Étude des rapports caractéristiques :

## III.10.1 TDS :

- >500 : Dissolution des carbonates, saumure ou eau de mer.
  - <500 : Altération des silicatées.
- (Voir le tableau III.21 suivant).

Tableau III.21 : Résultats de TDS

Forage	TDS	Interprétation	Forage	TDS	Interprétation
F1	641	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F19	1466	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F2	647	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F20	674	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F3	703	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F21	790	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F4	677	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F22	1130	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F5	725	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F23	827	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F6	330	Altération des silicatées	F24	977	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F7	330	Altération des silicatées	F25	672	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F8	862	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F26	627	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F9	509	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F27	620	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F10	637	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F28	839	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F11	569	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F29	697	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F12	475	Altération des silicatées	F30	632	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F13	787	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F31	585	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F14	494	Altération des silicatées	F32	742	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F15	679	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F33	752	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F16	1519	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F34	506	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F17	1052	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.	F35	2174	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.
F18	1272	Dissolution des carbonates, saumure ou, eau de mer.			

Le rapport de la TDS montrent que (91.42%) des forages étudiée sont d'origine dissolution des carbonates saumure ou eau de mer. et (8.57%) des Forage sont d'origine altérations des silicatées.

### III.10.2 Rapport $Cl^- / \Sigma$ anions :

- > 0.8 avec TDS>500 : eau de mer, saumure ou évaporites
- > 0.8 avec TDS<100 : eau de pluie
- < 0.8 : altération des roches. (Voir le tableau III.22 suivant).

Tableau III.22 : Résultats de Rapport de  $Cl^- / \Sigma$  anions

Forage	$Cl^- / \Sigma$ anions	Interprétation	Forage	$Cl^- / \Sigma$ anions	Interprétation
F1	0.39	altération des roches	F19	0.26	altération des roches
F2	0.39	altération des roches	F20	0.14	altération des roches
F3	0.39	altération des roches	F21	0.25	altération des roches
F4	0.43	altération des roches	F22	0.37	altération des roches
F5	0.49	altération des roches	F23	0.32	altération des roches
F6	0.21	altération des roches	F24	0.34	altération des roches
F7	0.24	altération des roches	F25	0.50	altération des roches
F8	0.42	altération des roches	F26	0.28	altération des roches
F9	0.23	altération des roches	F27	0.31	altération des roches
F10	0.21	altération des roches	F28	0.35	altération des roches
F11	0.19	altération des roches	F29	0.36	altération des roches
F12	0.18	altération des roches	F30	0.26	altération des roches
F13	0.46	altération des roches	F31	0.27	altération des roches
F14	0.30	altération des roches	F32	0.33	altération des roches
F15	0.35	altération des roches	F33	0.33	altération des roches
F16	0.29	altération des roches	F34	0.24	altération des roches
F17	0.091	altération des roches	F35	0.14	altération des roches
F18	0.13	altération des roches			

Le rapport de  $Cl^- / \Sigma$  anions montre que l'origine de  $Cl^-$  sur tous les Forages étudiés est l'altération des roches.

III.10.3 Rapport  $\text{HCO}_3^- / \Sigma$  anions :

- $> 0.8$  : altération des silicates ou carbonatées.
- $> 0.8$  avec  $\text{SO}_4^{2-} > 20$  meq/l : dissolution du gypse.
- $< 0.8$  avec peu de sulfate : eau de mer ou saumure.  
(Voir le tableau III.23 suivant).

Tableau III.23 : Résultats de Rapport  $\text{HCO}_3^- / \Sigma$  anions

Forage	$\text{HCO}_3^- / \Sigma$ anions	Interprétation	Forage	$\text{HCO}_3^- / \Sigma$ anions	Interprétation
F1	0.42	eau de mer ou saumures	F19	0.30	eau de mer ou saumures
F2	0.41	eau de mer ou saumures	F20	0.49	eau de mer ou saumures
F3	0.45	eau de mer ou saumures	F21	0.38	eau de mer ou saumures
F4	0.40	eau de mer ou saumures	F22	0.23	eau de mer ou saumures
F5	0.38	eau de mer ou saumures	F23	0.23	eau de mer ou saumures
F6	0.52	eau de mer ou saumures	F24	0.35	eau de mer ou saumures
F7	0.42	eau de mer ou saumures	F25	0.20	eau de mer ou saumures
F8	0.44	eau de mer ou saumures	F26	0.44	eau de mer ou saumures
F9	0.57	eau de mer ou saumures	F27	0.44	eau de mer ou saumures
F10	0.63	eau de mer ou saumures	F28	0.38	eau de mer ou saumures
F11	0.66	eau de mer ou saumures	F29	0.46	eau de mer ou saumures
F12	0.67	eau de mer ou saumures	F30	0.47	eau de mer ou saumures
F13	0.43	eau de mer ou saumures	F31	0.50	eau de mer ou saumures
F14	0.62	eau de mer ou saumures	F32	0.44	eau de mer ou saumures
F15	0.35	eau de mer ou saumures	F33	0.48	eau de mer ou saumures
F16	0.25	eau de mer ou saumures	F34	0.43	eau de mer ou saumures
F17	0.38	eau de mer ou saumures	F35	0.17	eau de mer ou saumures
F18	0.30	eau de mer ou saumures			

Le rapport  $\text{HCO}_3^- / \Sigma$  anions montrent que l'origine de  $\text{HCO}_3^-$  sur tous de les forages est des eaux de mer ou bien saumure.

### III.10.4 Rapport $Mg^{2+} / (Ca^{2+}+Mg^{2+})$ :

- = 0.5 avec  $(HCO_3^- / Si) > 0$  : dissolution de dolomite ( $CaMg(CO_3)_2$ ).
  - < 0.5 : dissolution des carbonatées (dolomite).
  - > 0.5 : dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, ou eau de mer.
  - < 0.5 avec  $(HCO_3^- / Si) < 5$  : minéraux ferromagnésiens
  - < 0.5 : altération du granite.
- (Voir le tableau III.24 suivant).

Tableau III.24 : Résultats de Rapport  $Mg^{2+} / (Ca^{2+}+Mg^{2+})$ 

Forage	$Mg^{2+} / (Ca^{2+}+Mg^{2+})$	Interprétation	Forage	$Mg^{2+} / (Ca^{2+}+Mg^{2+})$	Interprétation
F1	0.70	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F19	0.50	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer
F2	0.64	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer	F20	0.70	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer
F3	0.581	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer	F21	0.66	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer
F4	0.55	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F22	0.82	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F5	0.60	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F23	0.76	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F6	0.73	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F24	0.51	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F7	0.77	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F25	0.48	dissolution des carbonatés (dolomite)
F8	0.69	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F26	0.53	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F9	0.48	dissolution des carbonatés (dolomite)	F27	0.49	dissolution des carbonatés (dolomite)
F10	0.43	dissolution des carbonatés	F28	0.51	dissolution de dolomite,

		(dolomite)			précipitation de la calcite, eau de mer.
F11	0.45	dissolution des carbonatés (dolomite)	F29	0.65	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F12	0.40	dissolution des carbonatés (dolomite)	F30	0.45	dissolution des carbonatés (dolomite)
F13	0.40	dissolution des carbonatés (dolomite)	F31	0.62	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F14	0.42	dissolution des carbonatés (dolomite)	F32	0.82	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F15	0.62	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F33	0.69	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F16	0.65	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F34	0.50	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F17	0.55	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.	F35	0.58	dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
F18	0.36	dissolution des carbonatés (dolomite)			

Les forages étudiés montrent que le rapport  $Mg^{2+} / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  signifie que l'origine de  $Mg^{2+}$  est :

- ✚ (71.42%) des forages ont d'origine Dissolution de dolomite, précipitation de la calcite, eau de mer.
- ✚ (28.57%) des forages ont d'origine Dissolution des carbonatés (dolomite).

### III.10.5 Rapport $Ca^{2+} / (Ca^{2+} + SO_4^{2-})$ :

- ✚ = 0.5 : dissolution du gypse ( $CaSO_4$ )
  - ✚ < 0.5 avec pH < 5.5 : oxydation de la pyrite ( $FeS_2$ )
  - ✚ < 0.5 avec pH neutre : élimination du calcium (échange d'ion ou précipitation de la calcite)
  - ✚ > 0.5 : source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates).
- (Voir le tableau III.25 suivant).

Tableau III.25 : Résultats de Rapport  $\text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$ 

Forage	$\text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$	Interprétation	Forage	$\text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$	Interprétation
F1	0.79	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F19	0.48	élimination du calcium (échange d'ion ou précipitation de la calcite)
F2	0.77	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F20	0.66	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F3	0.782	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F21	0.63	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F4	0.73	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F22	0.69	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F5	0.83	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F23	0.72	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F6	0.73	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F24	0.58	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F7	0.71	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F25	0.61	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F8	0.90	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F26	0.59	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F9	0.68	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F27	0.59	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F10	0.78	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F28	0.61	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F11	0.79	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F29	0.78	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)

F12	0.75	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F30	0.62	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F13	0.82	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F31	0.72	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F14	0.86	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F32	0.88	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F15	0.69	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F33	0.87	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
F16	0.51	source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)	F34	0.47	élimination du calcium (échange d'ion ou précipitation de la calcite)
F17	0.45	élimination du calcium (échange d'ion ou précipitation de la calcite)	F35	0.37	élimination du calcium (échange d'ion ou précipitation de la calcite)
F18	0.33	élimination du calcium (échange d'ion ou précipitation de la calcite)			

Les forages étudiés montrent que le rapport  $\text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})$  signifie que l'origine de  $\text{Ca}^{2+}$  est :

- ✚ (14.28%) des forages : source du calcium hors le gypse (carbonatées ou silicates)
- ✚ (85.71%) des forages : élimination du calcium (échange d'ion ou précipitation de la calcite).

### III.10.6 Rapport $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / (\text{HCO}_3^-)$ :

Le rapport  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / (\text{HCO}_3^-) > 1$  indique un excès de  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  cela signifie que le taux d'ions  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  d'origine évaporitique est d'autant plus fort que la possibilité de consommation par :

- ✓ Précipitation de la calcite et de la dolomite.
- ✓ L'adsorption des ions  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  par les argiles. (Voir le tableau III.26 suivant).

Tableau III.26 : Résultats de rapport  $(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / (HCO_3^-)$ 

Forage	$(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / (HCO_3^-)$	Interprétation	Forage	$(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / (HCO_3^-)$	Interprétation
F1	2.04	d'origine évaporitique	F19	2.54	d'origine évaporitique
F2	1.87	d'origine évaporitique	F20	1.93	d'origine évaporitique
F3	1.86	d'origine évaporitique	F21	2.28	d'origine évaporitique
F4	1.77	d'origine évaporitique	F22	3.37	d'origine évaporitique
F5	2.12	d'origine évaporitique	F23	4.10	d'origine évaporitique
F6	1.68	d'origine évaporitique	F24	2.18	d'origine évaporitique
F7	2.18	d'origine évaporitique	F25	4.61	d'origine évaporitique
F8	1.93	d'origine évaporitique	F26	1.60	d'origine évaporitique
F9	1.35	d'origine évaporitique	F27	1.57	d'origine évaporitique
F10	1.53	d'origine évaporitique	F28	2.00	d'origine évaporitique
F11	1.46	d'origine évaporitique	F29	2.04	d'origine évaporitique
F12	1.41	d'origine évaporitique	F30	1.99	d'origine évaporitique
F13	2.01	d'origine évaporitique	F31	1.64	d'origine évaporitique
F14	1.23	d'origine évaporitique	F32	1.63	d'origine évaporitique
F15	2.25	d'origine évaporitique	F33	1.67	d'origine évaporitique
F16	2.86	d'origine évaporitique	F34	1.29	d'origine évaporitique
F17	2.03	d'origine évaporitique	F35	3.97	d'origine évaporitique
F18	2.51	d'origine évaporitique			

III.10.7 Rapport  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$  :

Il informe sur le stade d'évolution des eaux souterraines, entre leur zone d'infiltration et leur zone d'émergence. (MANDEL S., SHIFTAN (1981)). (Voir les tableaux III.27-28 suivant).

Tableau III.27 : Evolution des eaux souterraines

Eau de pluie	<10 meq/l
Zone d'enrichissement des nappes	15 à 25 meq/l
Eau de mer (l'ordre de)	47 meq/l
Zones des émergences (sortie d'eau souterraines)	50 à 70 meq/l

Tableau III.28 : Résultats de Rapport  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$ 

Forage	$\text{Na}^+ / \text{K}^+$	Interprétation	Forage	$\text{Na}^+ / \text{K}^+$	Interprétation
F1	79.36	néant	F19	50.33	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)
F2	63.94	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)	F20	46.34	eau de mer
F3	53.44	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)	F21	97.18	néant
F4	66.66	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)	F22	150.79	néant
F5	86.39	néant	F23	41.20	néant
F6	38.19	néant	F24	42.29	néant
F7	31.13	néant	F25	32.21	néant
F8	86.92	néant	F26	22.63	zone d'enrichissement des nappes
F9	28.91	néant	F27	23.97	zone d'enrichissement des nappes
F10	23.58	zone d'enrichissement des nappes	F28	38.63	néant
F11	17.36	zone d'enrichissement des nappes	F29	44.86	néant
F12	44.52	néant	F30	30.80	néant
F13	56.82	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)	F31	21.54	néant
F14	28.61	néant	F32	58.08	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)
F15	52.57	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)	F33	59.13	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)
F16	87.41	néant	F34	27.82	néant
F17	10.31	zones des émergences (sortie d'eau souterraines)	F35	88.72	néant
F18	33.78	néant			

Le rapport  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  est de l'ordre de 47 pour l'eau de mer et il est inférieure à 10 pour l'eau de pluie, et entre 50 à 70 zones des émergences (sortie d'eau souterraines).

Ce rapport classe les différentes eaux étudiées en deux groupes :

- Le premier groupe comprend (22.85 %) des eaux des Forages avec un rapport entre 50 à 70. Zone d'émergence.
- Le deuxième groupe comprend (57.14 %) avec un rapport entre 10 et 47 qui signifient la zone d'enrichissement des nappes et eau de mer. (20.01% non définie).

### III.10.8 Rapport $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$ :

± 0.2-0.8 : possibilité de l'altération du plagioclase.

± <0.2 ou >0.8 : altération du plagioclase moins probable. (voir le tableau suivant).

Tableau III.29 : Résultats de Rapport  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$

Forage	$(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$	interpretation	Forage	$(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{2+})$	interpretation
F1	-0.46	altération du plagioclase moins probable	F19	-0.30	altération du plagioclase moins probable
F2	-0.75	altération du plagioclase moins probable	F20	-0.06	altération du plagioclase moins probable
F3	-0.72	altération du plagioclase moins probable	F21	-0.20	altération du plagioclase moins probable
F4	-2.35	altération du plagioclase moins probable	F22	-0.58	altération du plagioclase moins probable
F5	-1.34	altération du plagioclase moins probable	F23	-0.39	altération du plagioclase moins probable
F6	0.11	altération du plagioclase moins probable	F24	-0.81	altération du plagioclase moins probable
F7	-0.01	altération du plagioclase moins probable	F25	-0.90	altération du plagioclase moins probable
F8	-0.82	altération du plagioclase moins probable	F26	-0.37	altération du plagioclase moins probable
F9	-0.28	altération du plagioclase moins probable	F27	-0.11	altération du plagioclase moins probable
F10	-0.34	altération du plagioclase moins probable	F28	-0.59	altération du plagioclase moins probable
F11	-0.22	altération du	F29	-0.20	altération du

		plagioclase moins probable			plagioclase moins probable
F12	0.04	altération du plagioclase moins probable	F30	-0.29	altération du plagioclase moins probable
F13	-2.54	altération du plagioclase moins probable	F31	-0.33	altération du plagioclase moins probable
F14	-0.59	altération du plagioclase moins probable	F32	-0.33	altération du plagioclase moins probable
F15	-0.64	altération du plagioclase moins probable	F33	-0.34	altération du plagioclase moins probable
F16	-0.27	altération du plagioclase moins probable	F34	0.20	possibilité de l'atération du plagioclase
F17	-0.08	altération du plagioclase moins probable	F35	0.02	altération du plagioclase moins probable
F18	-0.004	altération du plagioclase moins probable			

### III.10.9 Rapport $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$ :

- $> 0.5$  : source de sodium hors de l'halite (albite, échange d'ions).
- $= 0.5$  : dissolution de l'halite.
- $< 0.5$  : avec TDS  $> 500$  : adoucissement inverse, eau de mer.
- $< 0.5$  avec  $50 < \text{TDS} < 500$  : erreurs d'analyse.
- $< 0.5$  TDS  $< 50$  : eau de pluie. (voir le tableau III.30 suivant).

Tableau III.30 : Résultat de Rapport  $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$ 

Forage	$\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$	Interpretation	Forage	$\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$	Interpretation
F1	0.33	adoucissement inverse, eau de mer	F19	0.39	adoucissement inverse, eau de mer
F2	0.30	adoucissement inverse, eau de mer	F20	0.41	adoucissement inverse, eau de mer
F3	0.31	adoucissement inverse, eau de mer	F21	0.37	adoucissement inverse, eau de mer
F4	0.26	adoucissement inverse, eau de mer	F22	0.26	adoucissement inverse, eau de mer
F5	0.29	adoucissement inverse, eau de mer	F23	0.25	adoucissement inverse, eau de mer
F6	0.57	source de sodium hors de l'halite (albite,	F24	0.322	adoucissement inverse, eau de mer

		échange d'ions)			
F7	0.48	erreurs d'analyse	F25	0.355	adoucissement inverse, eau de mer
F8	0.26	adoucissement inverse, eau de mer	F26	0.38	adoucissement inverse, eau de mer
F9	0.37	adoucissement inverse, eau de mer	F27	0.45	adoucissement inverse, eau de mer
F10	0.32	adoucissement inverse, eau de mer	F28	0.35	adoucissement inverse, eau de mer
F11	0.35	adoucissement inverse, eau de mer	F29	0.40	adoucissement inverse, eau de mer
F12	0.51	source de sodium hors de l'halite (albite, échange d'ions)	F30	0.37	adoucissement inverse, eau de mer
F13	0.30	adoucissement inverse, eau de mer	F31	0.33	adoucissement inverse, eau de mer
F14	0.36	erreurs d'analyse	F32	0.35	adoucissement inverse, eau de mer
F15	0.30	adoucissement inverse, eau de mer	F33	0.35	adoucissement inverse, eau de mer
F16	0.39	adoucissement inverse, eau de mer	F34	0.555	source de sodium hors de l'halite (albite, échange d'ions)
F17	0.36	adoucissement inverse, eau de mer	F35	0.51	source de sodium hors de l'halite (albite, échange d'ions)
F18	0.49	adoucissement inverse, eau de mer			

Les forages étudiés montrent que le rapport  $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$  signifie que l'origine de  $\text{Na}^+$  est :

- ✚ (82.85%) des forages : adoucissement inverse, eau de mer.
- ✚ (11.42%) des forages : source de sodium hors de l'halite (albite, échange d'ions).
- ✚ (5.73%) : erreurs d'analyse.

### III.10.10 Rapport $(\text{SO}_4^{2+} + \text{HCO}_3^-) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ :

Le graphe de rapport  $(\text{SO}_4^{2+} + \text{HCO}_3^-)$  en fonction  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  donne une droite de pente 1. Cela peut signifier que les principaux phénomènes géochimiques intervenant dans l'acquisition de la charge saline sont liés à l'interaction eau-roche :

- Dissolution et précipitation des minéraux (calcite, dolomite, anhydrite, gypse).
- Echange de bases avec les minéraux argileux. (voir la figure III.25 suivante).

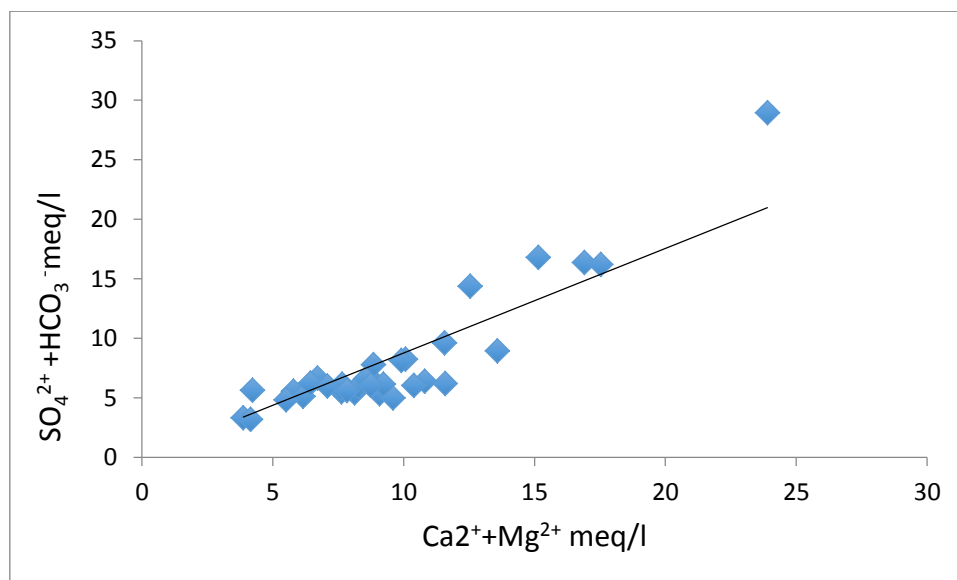


Figure III.25: Rapport  $(\text{SO}_4^{2+} + \text{HCO}_3^-) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$

### III.10.11 Rapport $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ :

(71%) des eaux étudiées présentent un rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+} > 1$ , ce qui signifie que le calcium l'emporte sur le magnésium. A priori, l'origine évaporitique du magnésium est faible et donc le calcium provient de la dissolution de la Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) et/ou du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ). (Voir la figure III.26 suivante).

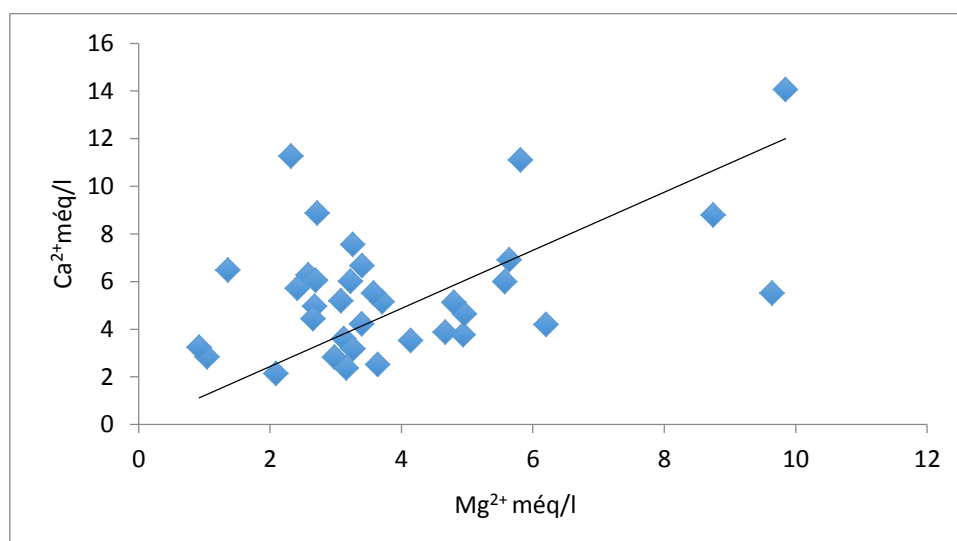


Figure III.26 : Rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$

### III.10.12 Rapport $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$ :

Dans le graphe ci-dessous  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction de  $\text{SO}_4^{2-}$ , les points sont disposés au-dessus de la droite (droite de pente 1) .ce qui signifie que l'origine du calcium est la dissolution du gypse ( $\text{CaSO}_4$ ). (Voir la figure III.27 suivante).

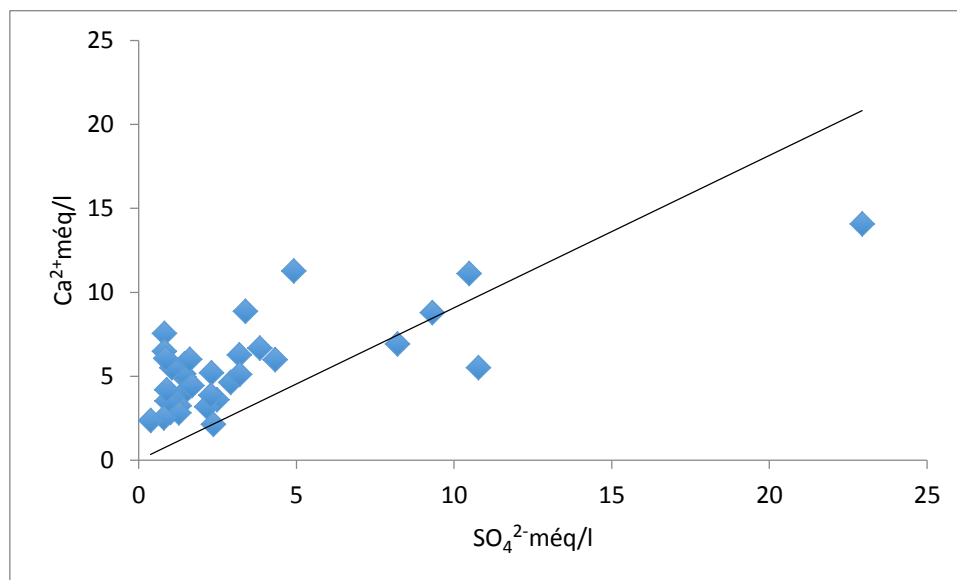


Figure III.27: Rapport  $\text{Ca}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$

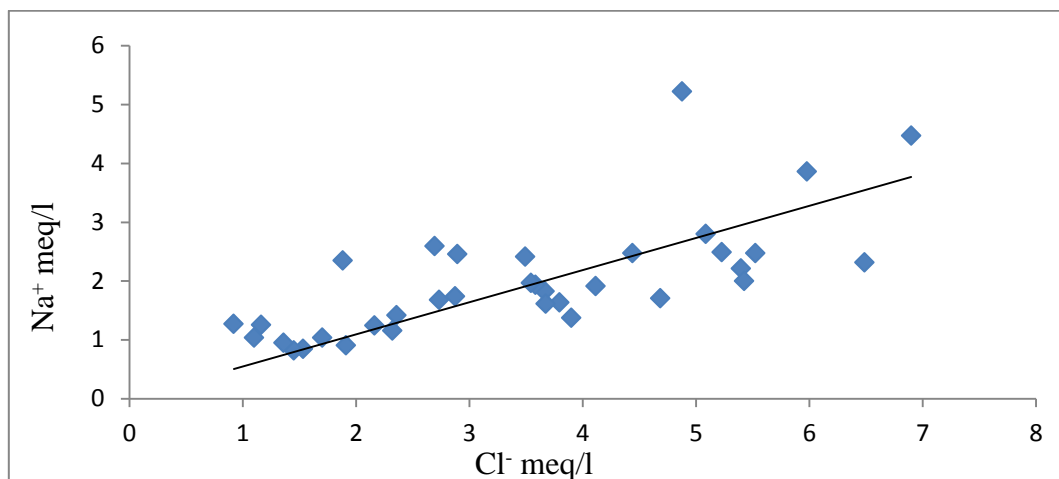
### III.10.13 Rapport $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$ :

La corrélation  $\text{Na}^+$  avec  $\text{Cl}^-$  permet de classer les eaux en 3 groupes :

- Un groupe, où les points montrent des rapports  $\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$  voisins de 1 et des indices d'échange de base (i.e.b) très faibles, ce qui plaide en faveur d'une dissolution de l'halite.
- Les points du deuxième groupe présentent des rapports  $\text{Na}^+ / \text{Cl}^- > 1$ , ce qui signifie que l'origine de  $\text{Na}^+$  (en plus de la dissolution de l'halite), l'eau est enrichie par l'échange d'ions (libération de  $\text{Na}^+$  par les argiles). Cet enrichissement en sodium par rapport à la droite de la dissolution de l'halite (droite de pente 1), est accompagné d'un déficit en " $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ " par rapport à  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  c'est à dire  $[(\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}) / (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})] / (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-) < 1$  Ceci résulte que la libération de  $\text{Na}^+$  est accompagnées par la fixation de  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ . (Fidelibus et al., 1996; Stigter et al., 1998); Capaccioni et al., 2005). Les valeurs négatives des indices d'échange de base confirment ce résultat (ieb).
- Les points du troisième groupe présentent des rapports  $\text{Na}^+ / \text{Cl}^- < 1$  ce qui signifie que l'origine  $\text{Na}^+$  (en plus de la dissolution de l'halite), l'eau est appauvrie par l'échange d'ions (fixation de  $\text{Na}^+$  par les argiles). (Voir le tableau III.31 suivant) et (la figure III.28 suivante).

Tableau III.31 : Classification de Rapport  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ 

Groupe	Forage
1 <sup>er</sup> Groupe : $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ voisins de 1	F7, F12, F18, F35
2 <sup>ème</sup> Groupe : $\text{Na}^+/\text{Cl}^- > 1$	F6, F34
3 <sup>ème</sup> groupe : $\text{Na}^+/\text{Cl}^- < 1$	F1, F2, F3, F4, F5, F8, F9, F10, F11, F13, F14, F15, F16, F17, F19, F20, F21, F22, F23, F24, F25, F26, F27, F28, F29, F30, F31, F32, F33

Figure III.28 : Rapport  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ 

### III.11 Calcul des indices de saturation (degré de saturation) des différentes roches IS :

Les indices de saturation constituent un outil précieux pour la compréhension des mécanismes chimiques au sein d'un aquifère, en effet les concentrations de nombreux ions peuvent être expliquées par la présence de minéraux dans les sédiments. Afin d'étudier les indices de saturation, il est néanmoins nécessaire d'avoir des données chimiques fiables, notamment en ce qui concerne les variables sensibles telles que le pH ou l'alcalinité. Ces indices permettent de déterminer l'état thermodynamique du milieu aquifère par rapport à certains minéraux.

La modélisation géochimique a été réalisée par le logiciel Diagramme incorporant le Phreeq pour (évaluer les indices de saturation minérale). L'indice de saturation est important pour déterminer le degré d'équilibre entre l'eau et les minéraux ; et pour reconnaître la dissolution des minéraux et les processus de précipitation dans les aquifères.

L'équation suivante est utilisée pour calculer l'indice de saturation :

$$I_s = \log\left(\frac{IAP}{KSP}\right)$$

Ou :

- IAP : produit d'activité ionique. KSP : constante d'équilibre thermodynamique.
  - $I_s > 0$  : saturation (précipitation).
  - $I_s < 0$  : sous saturation (dissolution).
  - $I_s = 0$  : équilibre
- Cas particulier : indice de saturation de la calcite :
- $> 0$  : sursaturation à la calcite.
  - $= 0$  : saturation à la calcite.
  - $< 0$  : sous saturation à la calcite

Le minéral est saturé ou sursaturé par rapport à la solution lorsque l'indice de saturation est positif. Il a tendance à se précipiter dans les eaux souterraines. La valeur négative d' $I_s$  suggère que l'eau est sous-saturée par rapport au minéral indiquant la dissolution de ce dernier. Le minéral est en équilibre avec les eaux souterraines, si la valeur  $I_s$  est nulle et n'a pas tendance à précipiter ou à se dissoudre les minéraux. L'évaluation de l' $I_s$  pourrait être utile pour comprendre les processus géochimiques survenant et serait en mesure de déterminer l'origine des ions dissous dans les eaux souterraines (Kumar et Singh, 2015).

Les valeurs de  $I_s$  pour les minéraux d'Aragonite, Calcite et Dolomite sont sursaturées dans les aquifères et incapables de dissoudre plus de minéraux. Des facteurs tels que l'altération incongrue des minéraux carbonatés et des minéraux silicatés, l'effet des ions communs, l'évaporation, la température, l'ex solution du dioxyde de carbone et l'infiltration des eaux usées et les retours. Par contre les valeurs d' $I_s$  pour l'Anhydrite et le Gypse sont sous-saturées.

(Voir le tableau III.32 suivant).

Tableau III.32 : Indices de saturation des eaux souterraines de la zone étudiée calculés avec le logiciel PHREEQ

Forages	IS calcite CaCO <sub>3</sub>	IS Aragonite CaCO <sub>3</sub>	IS Dolomite (Mg,Ca)CO <sub>3</sub>	IS Gypse CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O	IS Anhydrite CaSO <sub>4</sub>
F1	-0.15	-0.3	-0.62	-1.64	-1.88
F2	-0.2	-0.35	-0.61	-1.7	-1.94
F3	-0.13	-0.28	-0.34	-1.71	-1.95
F4	-0.26	-0.4	-0.54	-1.75	-1.98
F5	-0.15	-0.3	-0.42	-1.82	-2.06
F6	-0.63	-0.77	-1.62	-1.96	-2.19
F7	-0.66	-0.8	-1.79	-1.8	-2.04
F8	0.09	-0.06	-0.12	-1.83	-2.07
F9	-0.4	-0.55	-0.71	-1.94	-2.18
F10	-0.18	-0.33	-0.18	-1.97	-2.21
F11	-0.23	-0.38	-0.32	-2.04	-2.27
F12	-0.44	-0.58	-0.64	-2.19	-2.43
F13	-0.2	-0.35	-0.16	-2.04	-2.28
F14	-0.44	-0.59	-0.69	-2.53	-2.76
F15	-0.25	-0.39	-0.65	-1.5	-1.73
F16	0.14	0	0.07	-0.73	-0.97
F17	0.01	-0.14	-0.01	-0.95	-1.19
F18	-0.14	-0.28	0.03	-1	-1.23
F19	0.12	-0.03	0.3	-0.88	-1.12
F20	-0.08	-0.22	-0.47	-1.28	-1.52
F21	-0.09	-0.24	-0.41	-1.22	-1.45
F22	0.06	-0.09	-0.51	-0.96	-1.2
F23	-0.16	-0.31	-0.77	-1.16	-1.4
F24	-0.08	-0.23	-0.13	-1.26	-1.49
F25	-0.55	-0.7	-1.01	-1.48	-1.71
F26	-0.34	-0.48	-0.67	-1.59	-1.83
F27	-0.4	-0.55	-0.72	-1.7	-1.94
F28	-0.15	-0.3	-0.27	-1.41	-1.65
F29	-0.09	-0.24	-0.39	-1.6	-1.84
F30	-0.3	-0.45	-0.46	-1.63	-1.86
F31	-0.22	-0.37	-0.6	-1.66	-1.9
F32	-0.02	-0.16	-0.64	-1.83	-2.07
F33	-0.02	-0.17	-0.32	-1.86	-2.1
F34	-0.65	-0.79	-1.24	-1.77	-2.01
F35	0.16	0.01	0.22	-0.42	-0.66

• Les minéraux carbonatés (Tableau 32) présentent des degrés de saturation différents : Selon le Tableau l'indice de saturation obtenue pour la calcite varie de -0.66 à 0.16, et celui de la dolomite varie de -1.79 à 0.41, et enfin pour l'aragonite varie de -0.58 à 0.01. Tous les points ont atteint les degrés de saturation, c'est -à-dire que l'eau ne peut plus dissoudre l'aragonite ni la calcite ni la dolomite d'où l'appauvrissement en calcium et magnésium.

- Les minéraux évaporitiques (Tab 32) présentent des degrés de saturations différents : Les degrés de saturations de l'anhydrite enregistrent des indices qui varient de -2.76 à -0.66 (où tous les points d'eau analysés n'ont pas atteint le degré de saturation), suivi de gypse dont l'indice varie entre -2.53 jusqu'à -0.42. Traduisant le degré de sous-saturation ce qui implique que l'eau peut dissoudre ces deux minéraux (enrichissement en calcium et sulfates).

### III.12 Etude statistique des données hydro- chimiques :

#### III.12.1 Statistique descriptive :

L'analyse statistique des données hydro chimiques est basée sur la description quantitative (le minimum, le maximum, la moyenne, l'écart -type et le coefficient de variation).

##### III.12.1.1 Le maximum et le minimum :

Il représente la plus grande et la plus petite valeur de l'échantillon.

##### III.12.1.2 La moyenne arithmétique :

La moyenne arithmétique d'une série quantitative est définie par la somme des valeurs observées, divisée par l'effectif total.

##### III.12.1.3 L'écart-type :

L'écart-type observé correspond à la racine carrée de la variance observée.

##### III.12.1.4 Le coefficient de variation (CV) :

Le coefficient de variation est le rapport entre l'écart -type et la moyenne.

$$CV = (\text{écart type} / \text{moyenne}) * 100$$

(Voir le tableau III.33 suivant).

Tableau III.33 : Paramètres statistiques des éléments physico-chimiques et chimiques des eaux de la wilaya de Bouira

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
CE	35	684.500	2515.000	1193.252	390.416
pH	35	7.025	7.900	7.279	0.235
TDS	35	330.000	2174.000	789.086	361.696
Ca <sup>2+</sup>	35	42.800	281.600	111.269	53.653
Mg <sup>2+</sup>	35	11.170	119.640	47.987	25.853
Na <sup>+</sup>	35	18.800	120.000	45.600	22.594
K <sup>+</sup>	35	0.600	4.000	1.803	0.881
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	35	115.900	420.900	274.923	69.299
Cl <sup>-</sup>	35	32.660	244.595	122.425	58.851
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	35	18.120	1101.900	163.888	209.853
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	35	0.730	110.750	21.064	29.310

## III.12.2 Analyse de la matrice de corrélation :

Cette dernière nous permet d'apercevoir les éléments corrélables entre eux suivant la valeur du coefficient de corrélation. (Voir le tableau 34 suivant).

Tableau III.34 : Matrice de corrélation entre les variables

Variables	CE	pH	TDS	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
CE	1										
pH	-0.291	1									
TDS	0.944	-0.199	1								
Ca <sup>2+</sup>	0.892	-0.369	0.872	1							
Mg <sup>2+</sup>	0.706	-0.031	0.788	0.439	1						
Na <sup>+</sup>	0.826	-0.118	0.819	0.668	0.638	1					
K <sup>+</sup>	0.138	0.341	0.226	-0.099	0.460	0.357	1				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.515	-0.119	0.641	0.418	0.690	0.373	0.158	1			
Cl <sup>-</sup>	0.702	-0.473	0.590	0.644	0.360	0.713	-0.022	0.293	1		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.829	-0.004	0.925	0.742	0.766	0.738	0.332	0.474	0.309	1	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.189	-0.416	0.091	0.436	-0.313	-0.052	-0.452	-0.107	0.321	-0.103	1

Le Tableau (matrice de corrélation) montre que :

- ❖ Le calcium Ca<sup>2+</sup> possède une bonne corrélation avec So<sub>4</sub><sup>2-</sup> (R=0.742). La présence des ions Ca<sup>2+</sup> dans l'eau est liée principalement à une origine naturelle : la dissolution du gypse (CaSO<sub>4</sub>).
- ❖ Le calcium (Ca<sup>2+</sup>) possède une bonne corrélation avec (Na<sup>+</sup>) et (Cl<sup>-</sup>), .La présence des ions Ca<sup>2+</sup> dans l'eau est liée principalement à une origine naturelle : la dissolution des roches évaporitiques.
- ❖ Le magnésium (Mg<sup>2+</sup>) possédé une forte corrélation avec les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) (R = 0.766) ce qui indique l'origine d'existence d'epsomite (MgSo<sub>4</sub>) d'une roche évaporite cela revient à la formation schisteuse de la région, Outre une bonne corrélation avec le sodium (R=0.638) et avec les bicarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (R=0.690).
- ❖ Le sodium (Na<sup>+</sup>) parfaitement corrélé avec le (Cl<sup>-</sup>) (R=0.713). cela indique l'existence d'halite (NaCl) d'origine évaporitiques.
- ❖ Le TDS est fortement corrélé avec le sodium (R = 0,819), le calcium (R = 0,872) et le sulfate (R = 0,925). Ces corrélations identifient évidemment les principaux éléments contribuant à augmenter la salinité des eaux souterraines.
- ❖ Les fortes corrélations (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et (Ca<sup>2+</sup>) (R = 0,742) mettent en évidence les contributions des sels évaporitiques à la minéralisation.
- ❖ Nous observons l'existence de corrélations positives significatives entre la conductivité électrique et les ions calcium, magnésium, sodium, sulfates, chlorures et Nous pouvons dire que ces ions participent à l'augmentation de la conductivité électrique.

**III.12.3 Analyse en composantes principales (ACP) :**

L'analyse en composantes principales est une méthode statistique essentiellement descriptive, son objectif est de présenter sous forme graphique, le maximum des informations contenues dans un tableau de données.

L'ACP sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.

**III.12.4 Principe de l'ACP :**

L'ACP consiste à déterminer la corrélation des variables et de regrouper ces variables en ensembles dans des familles de même origine. Ces ensembles des variables nouvelles, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales.

**III.12.5 Application de l'ACP :**

L'ACP a été appliquée sur 35 échantillons d'eau et 10 variables ( Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, cond, pH). Cette analyse a été réalisée par le logiciel (XLstat 2016).

**III.12.6 Etude des valeurs propres :**

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans le but de faciliter leur interprétation, met en évidence les valeurs propres de chaque axe factoriel, ces valeurs sont exprimées en pourcentage de variance totale ainsi que leur cumul. Le premier axe principal à une valeur propre égale à 5,805 il explique 52.768 % de la variance totale, la seconde composante égale à 2.348 correspond à un pourcentage de 21.343%. Ces deux premiers axes englobent l'ensemble de l'information avec 74.111% de la variance totale. Si on fait les deux facteurs (axes), traduisent l'essentiel des informations recherchées et permettent de représenter de manière significative le nuage de points car la somme de la variance exprimée par ces facteurs est de l'ordre de 74.111 %. Ces derniers sont jugés suffisants pour une approche d'analyse des variables et des individus. (Voir le tableau III.35 suivant).

Tableau III.35 : Valeurs propres et pourcentage de la variance expliquée par les axes

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	5.805	2.348	0.846	0.761	0.462	0.441	0.174	0.097	0.047	0.020	0.000
Variabilité (%)	52.768	21.343	7.695	6.918	4.196	4.008	1.582	0.884	0.428	0.178	0.000
% cumulé	52.768	74.111	81.806	88.724	92.920	96.928	98.510	99.394	99.822	100.000	100.000

### III.12.7 Etude des variables :

La contribution de chaque variable dans la formation d'une composante principale est donnée par le coefficient de corrélation entre la variable et l'axe considéré. Plus le coefficient est important, plus la variable contribue à la formation de l'axe. Les résultats sont résumés dans le (Tableau III.36 suivant):

Tableau III.36 : Corrélations entre les variables et les facteurs

paramètres	F1	F2
Ca <sup>2+</sup>	0.857	0.383
Mg <sup>2+</sup>	0.798	-0.436
Na <sup>+</sup>	0.869	-0.099
K <sup>+</sup>	0.248	-0.740
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.632	-0.190
Cl <sup>-</sup>	0.691	0.416
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.871	-0.252
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.086	0.836
Cond	0.965	0.122
pH	-0.266	-0.682
TDS	0.985	-0.030

### III.12.8 Cercles de corrélation

(Voir la figure III.29 suivante).

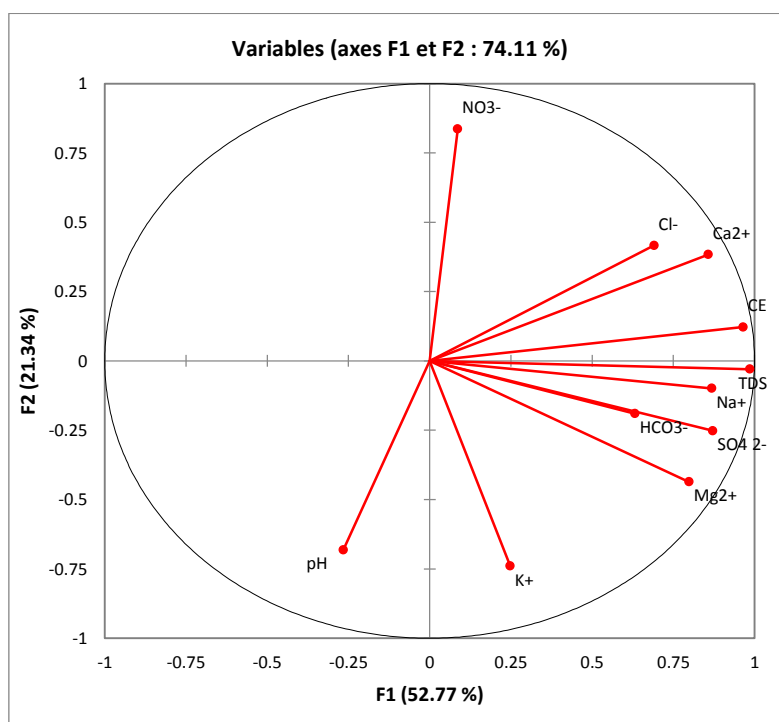


Figure III.29 : Cercle de corrélation des variables sur le plan (F1 et F2).

L'ACP est un outil d'analyse de données qui permet d'expliquer la structure des corrélations ou des covariances en utilisant des combinaisons linéaires des données originales. Son utilisation permet de réduire et d'interpréter les données sur un espace réduit (Lagarde, 1995 ; Maliki, 2000). L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 74.11 % sont exprimés. L'analyse dans ce plan est donc acceptable (Athamena, 2006).

L'axe F1 est exprimé par son pôle positif par la conductivité, les ions chlorures, calcium, magnésium, sodium, , sulfates, (Tableau 36 et Figure 28). Nous observons l'existence de corrélations positives significatives entre la conductivité électrique et les ions calcium, magnésium, sodium, sulfates, chlorures (Tableau 34). Nous pouvons dire que ces ions participent à l'augmentation de la conductivité électrique.

### III.13 Aptitude des eaux des années (2014 2015 2017 2018) à l'irrigation :

#### III.13.1 Taux d'Absorption du Sodium (SAR) :

Les valeurs du SAR calculées dans les années (2014-2015-2017-2018) permettent d'isoler une seule classe d'eau : eau d'excellente qualité, à faible (danger d'alcalinisation). (Voir le tableau III.37 suivant).

Tableau III.37 : Qualité de l'eau pour l'agriculture en fonction du SAR

période	Classe	SAR %	Qualité de l'eau	% des eaux
2014	S1	<10	eau d'excellente qualité, à faible danger d'alcalinisation	100%
2015	S1-S2	<10		
2017	S1	<10		
2018	S1-S2	<10		

Pour la qualité de ces eaux à partir de l'évolution de la conductivité. Les valeurs de la conductivité donnent lieu à trois (3) classes : eau à faible salinité, eau à salinité moyenne et à fort salinité. On a trouvé que la plupart des eaux souterraines échantillonnées sont caractérisées par une forte salinité dans toutes les années mentionnées (2014-2015-2017-2018).

En tenant compte de l'évolution de la conductivité par rapport au SAR, la plupart des eaux échantillonnées appartiennent à une classe (C3S1) qui est caractérisé générale par eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. (Voir le tableau III.38 suivant).

Tableau III.38 : Qualité des eaux pour l'irrigation à partir de l'évolution de la conductivité par rapport au SAR

Période	Classe	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Qualité de l'eau	% des eaux
2014	C2	250<CE<750	Eaux à salinité moyenne	13.33%
	C3	750<CE<2250	Eaux à fort salinité	86.66%
2015	C2	250<CE<750	Eaux à salinité moyenne	3.12%
	C3	750<CE<2250	Eaux à fort salinité	90.62%
	C4	2250<CE<5000	Eaux à très forte salinité	6.25%
2017	C2	250<CE<750	Eaux à salinité moyenne	3.84%

	C3	750<CE<2250	Eaux à fort salinité	96.15%
2018	C2	250<CE<750	Eaux à salinité moyenne	10.25%
	C3	750<CE<2250	Eaux à fort salinité	87.17%
	C4	2250<CE<5000	Eaux à très forte salinité	2.56%
Caractéristiques				
2014	C2S1			13.33%
	C3S1			86.66%
2015	C2S1			3.12%
	C3S1			90.62%
	C4S1-C4S2			6.25%
2017	C2S1			3.84%
	C3S1			96.15%
2018	C2S1			10.25%
	C3S1-C3S2			87.17%
	C4S2			2.56%
C2S1	En générale eau pouvant être utilisée sans contrôle en particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol ayant une bonne perméabilité.			
C3S1-	En générale eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.			
C4S1-C4S2	Eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés.			

### III.13.2 Pourcentage de sodium : (%Na) :

Pour le pourcentage de Na<sup>+</sup> les eaux échantillonnées tombent dans la classe des eaux d'excellentes qualités pour l'agriculture et bonne qualité pour la plupart des eaux dans tous les périodes mentionnée. (Voir le tableau III.39 suivant).

Tableau III.39 : Qualité des eaux pour l'irrigation à partir de l'évolution du %Na<sup>+</sup>

Période	classe	Na%	Qualité de l'eau	% des eaux
2014	C1	<20	Excellente pour l'agriculture	53.33%
	C2	20-40	Bonne pour l'agriculture	43.33
	C3	40-60	Admissible pour l'agriculture	3.33%
2015	C1	<20	Excellente pour l'agriculture	34.37%
	C2	20-40	Bonne pour l'agriculture	50%
	C3	40-60	Admissible pour l'agriculture	15.62%
2017	C1	<20	Excellente pour l'agriculture	50%
	C2	20-40	Bonne pour l'agriculture	38.46%
	C3	40-60	Admissible pour l'agriculture	11.53%
2018	C1	<20	Excellente pour l'agriculture	25.64%
	C2	20-40	Bonne pour l'agriculture	51.28%
	C3	40-60	Admissible pour l'agriculture	20.51
	C4	60-80	Médiocre pour l'agriculture	2.56%

**III.13.3 Salinité Potentielle (SP) :**

Pour la salinité potentielle des eaux souterraines varient presque sur deux classe (excellente à bonne et bonne à médiocre) pour l'agriculture sur tous les périodes mentionnée. (Voir le tableau III.40 suivant).

Tableau III.40 : Classification des eaux souterraines basée sur le SP

Période	Potentiel de salinité du sol	Classe	% des eaux
2014	<5	Excellente à Bonne	56.66%
	5-10	Bonne à Médiocre	43.33%
	>10	Médiocre à Mauvaise	0
2015	<5	Excellente à Bonne	46.87%
	5-10	Bonne à Médiocre	40.62%
	>10	Médiocre à Mauvaise	12.5%
2017	<5	Excellente à Bonne	46.15%
	5-10	Bonne à Médiocre	50%
	>10	Médiocre à Mauvaise	3.84%
2018	<5	Excellente à Bonne	48.71%
	5-10	Bonne à Médiocre	43.38%
	>10	Médiocre à Mauvaise	7.69%

**III.13.4 Kelly's ratio (KR) :**

Les valeurs de KR obtenues la plupart sont inférieures à 1 par conséquent toutes les eaux souterraines de la zone d'étude appartiennent à la classe des eaux de bonnes qualités pour l'irrigation (convenable à l'irrigation sur tous les périodes mentionnées. (Voir le tableau III.41 suivant).

Tableau III.41 : Classification des eaux souterraines basée sur le RK

période	KR	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux (%)
2014	<1	Convenable à l'irrigation	100%
	>1	Ne convient pas	0
2015	<1	Convenable à l'irrigation	100%
	>1	Ne convient pas	0
2017	<1	Convenable à l'irrigation	100%
	>1	Ne convient pas	0
2018	<1	Convenable à l'irrigation	89.74
	>1	Ne convient pas	10.25%

**III.13.5 Indice de perméabilité PI :**

Les valeurs de PI obtenues, la plupart sont  $25 < PI < 75$  par conséquent toutes les eaux souterraines de la zone d'étude appartiennent à la classe des eaux admissible pour l'irrigation sur tous les périodes mentionnées. (Voir le tableau III.42 suivant).

Tableau III.42 : Classification des eaux souterraines basée sur le PI

période	PI %	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux (%)
2014	<25	Est plus utilisable	10%
	$25 < PI < 75$	Admissible pour l'irrigation	90%
	>75	Bonne pour l'irrigation	0
2015	<25	Est plus utilisable	3.12%
	$25 < PI < 75$	Admissible pour l'irrigation	96.87%
	>75	Bonne pour l'irrigation	0
2017	<25	Est plus utilisable	15.38%
	$25 < PI < 75$	Admissible pour l'irrigation	84.61%
	>75	Bonne pour l'irrigation	0
2018	<25	Est plus utilisable	5.12%
	$25 < PI < 75$	Admissible pour l'irrigation	94.87%
	>75	Bonne pour l'irrigation	0

**III.13.6 Magnesium hazard :**

Les valeurs de MH obtenues la plupart sont inférieures à 50 par conséquent toutes les eaux souterraines de la zone d'étude appartiennent à la classe des eaux convenable pour l'irrigation (convenable à l'irrigation sur tous les périodes mentionnées. (Voir le tableau III.43 suivant).

Tableau III.43 : Classification des eaux souterraines basée sur le MH

période	MH%	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux (%)
2014	<50	L'eau est convenable	93.33%
	>50	50 l'eau ne conviennent pas	6.67%
2015	<50	L'eau est convenable	87.5%
	>50	50 l'eau ne conviennent pas	12.5%
2017	<50	L'eau est convenable	88.46%
	>50	50 l'eau ne conviennent pas	11.53%
2018	<50	L'eau est convenable	79.48%
	>50	50 l'eau ne conviennent pas	20.51%

**III.13.7 Carbonate de sodium résiduel (RSC) :**

Les valeurs de RSC obtenues varient entre utilisable et n'est pas utilisable à l'irrigation sur tous les périodes mentionnées. (Voir le tableau III.44 suivant).

Tableau III.44 : Classification des eaux souterraines basée sur le RSC

période	RSC	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux (%)
2014	<1.25	peut être utilisée pour l'irrigation	26.67%
	>1.25	n'est pas appropriée à l'irrigation	73.33%
2015	<1.25	peut être utilisée pour l'irrigation	40.62%
	>1.25	n'est pas appropriée à l'irrigation	59.37%
2017	<1.25	peut être utilisée pour l'irrigation	42.30%
	>1.25	n'est pas appropriée à l'irrigation	57.69%
2018	<1.25	peut être utilisée pour l'irrigation	20.51%
	>1.25	n'est pas appropriée à l'irrigation	79.48%

**III.13.8 L'indice d'échange de base (i.e.b) :**

(Voir le tableau III.45 suivant).

Tableau III.45 : Classification des eaux souterraines basée sur l'ieb

période	ieb	Qualité de l'eau	Pourcentage des eaux (%)
2014	ieb<0	le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain	23.33%
	ieb=0	il n'y a pas d'échange ionique entre la roche et l'eau (équilibre)	0
	ieb>0	il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium	76.66%
2015	ieb<0	le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain	25%
	ieb=0	il n'y a pas d'échange ionique entre la roche et l'eau (équilibre)	0
	ieb>0	il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium	75%
2017	ieb<0	le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain	23.07%
	ieb=0	il n'y a pas d'échange ionique entre la roche et l'eau (équilibre)	0
	ieb>0	il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium	76.92%
2018	ieb<0	le calcium de l'eau, est échangé contre le sodium (ou le potassium) du terrain	53.84%
	ieb=0	il n'y a pas d'échange ionique entre la roche et l'eau (équilibre)	0
	ieb>0	il y a fixation du sodium (ou de potassium) et solubilisation du calcium	46.15%

Les faciès chimique de eaux souterraines échantillonnées sur les années (2014-2015-2017-2018) presque ne change pas de faciès :

- Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes.
- Bicarbonaté calcique et magnésienne.

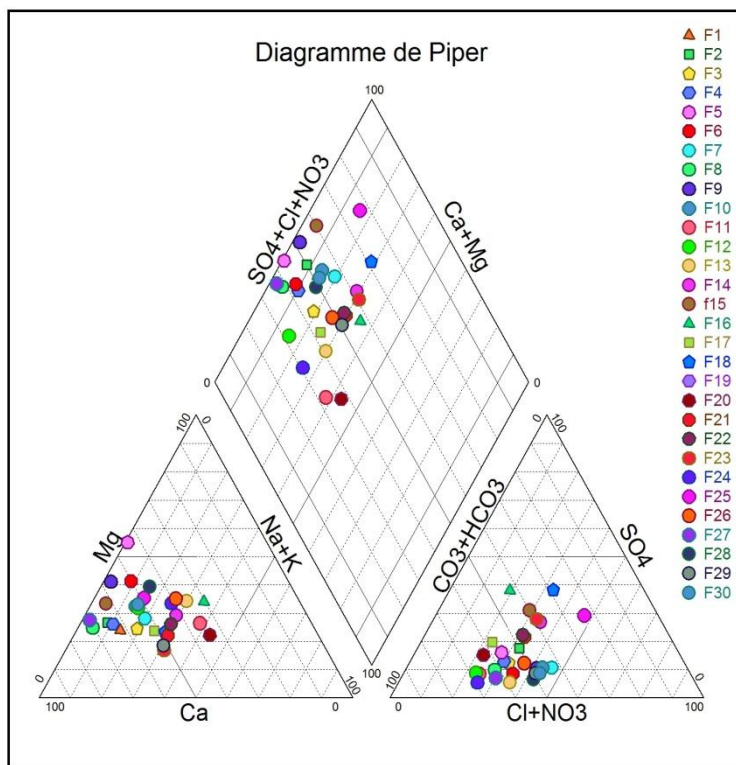


Figure III.30 : Classification des eaux selon diagramme de piper (année 2015)

(Année 2014)

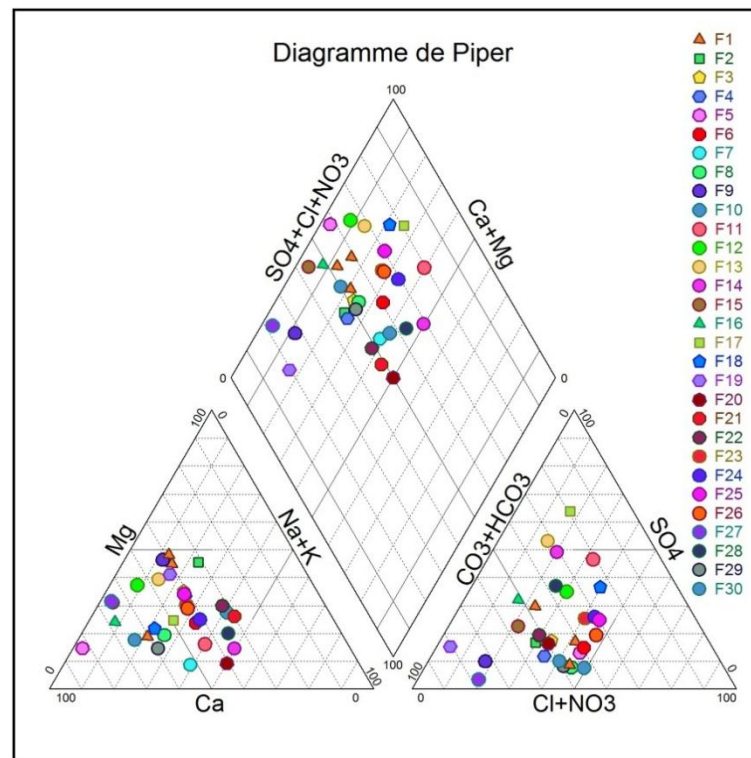


Figure III.31 : classification des eaux selon diagramme de piper (année 2015)

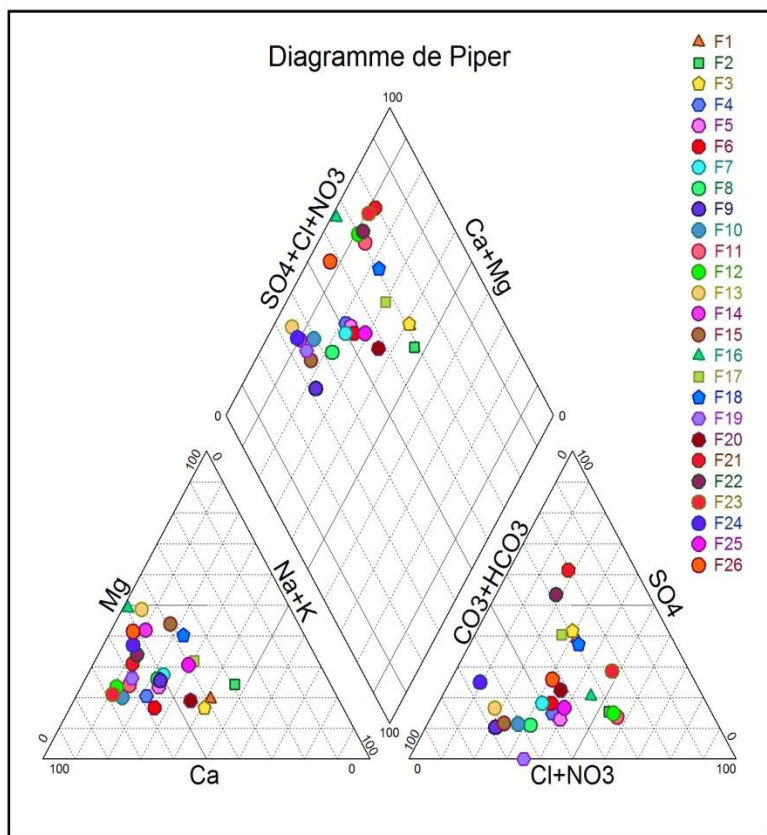


Figure III.32 : Classification des eaux selon diagramme de piper (Année 2017)

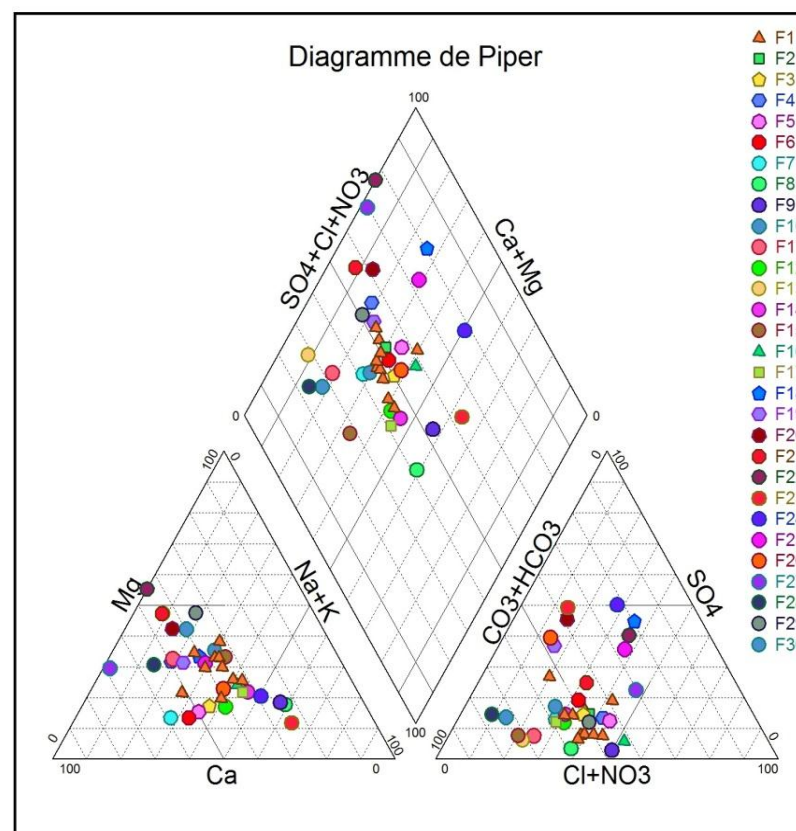


Figure III.33 : Classification des eaux selon diagramme de piper (Année 2018)

**III.14 Conclusion :**

Suite à cette étude, on a pu retenir que les eaux de la région de Bouira ont des caractéristiques physico-chimiques relativement variables ; une température allant de 14.8 à 23.35°C et qui signifie que ces eaux sont non thermales. Un pH de 7,025 à 7.9 et une conductivité électrique oscillant de 684.5 à 2515µs/cm ce qui signifie que sont des eaux conductrices qui implique une forte minéralité. Et une dureté de 19.40 °F à 120°F qui signifie que sont des eaux dure à très dure.

La majorité de ces eaux sont utiles à l'alimentation en eaux potable (consommable) sauf quelques-uns à cause des teneurs qui dépasse les normes algérienne de potabilité.

On peut classer ces eaux par magnésiennes dans quelques Forages (F10-F11-F13-F16-F17-F18-F19-F24-F25-F28-F30-F35) et chlorurées (F16-F19) dans deux Forage et sulfatées (F17-F22-F24). Et on peut les considèrent comme des eaux souterraines minérales.

On note aussi une forte teneur en nitrates dans les forages (F8, F22, F23, F32, F33), les valeurs enregistrés pour ces 5 forages sont respectivement : 52.8 mg/l, 110.75mg/l, 110.75 mg/l, 91.03mg/l, 66.45mg/l c'est un indice de pollution.

Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, Stiff, Stabler, ont mis en évidence, ainsi que l'étude des rapports caractéristiques que la qualité des eaux est caractérisées par deux faciès chimiques dominants :

Les faciès chimiques caractérisent les eaux de la région d'étude d'après l'année 2016 :

- Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes.
- Bicarbonaté calcique et magnésienne.

Ces faciès ne changent pas durant l'année 2014 jusqu'à 2017.

Durant l'année 2018 on voit qu'il existe en tendance des nouveau Forages vers le faciès sulfaté sodique et bicarbonaté sodique. Ces forages n'existent pas durant l'étude de l'année 2016.

Dans ce travail, nous avons évalué la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation dans la région de Bouira. Cette question revêt une grande importance du fait des problèmes que connaît la région, en raison de la sécheresse, de la forte demande résultant des activités agricoles.

L'évaluation de la qualité des eaux par des méthodes classiques a révélé une salinité moyenne à forte, qui peuvent donc être utilisés pour l'irrigation.

Deux facteurs peuvent être tenus pour responsables de la salinité :

- La nature de certaines roches, en particulier des marnes gypsifères et des évaporites.
- Les conditions climatiques, caractérisées par une période hivernale pluvieuse (favorable à la dissolution des roches) et par une période estivale sèche et chaude (ce qui induit une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la concentration des éléments dissous).

Selon la valeur moyenne du SAR (qui reste inférieure à 10 méq/l classe S1), les eaux souterraines présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient donc être utilisées en irrigation. Le SAR et le % Na ont des distributions spatiales semblables.

Trois types d'eau ont été reconnus par les méthodes de RICHARDS et de WILCOX. L'utilisation de certaines d'entre elles pourrait avoir un effet négatif sur l'évolution des sols et les cultures.

Dans l'ensemble, ces eaux sont bonnes à admissibles (C2S1-C3S1) et peuvent alors être utilisées à la consommation humaine comme à l'irrigation qui suggère un contrôle de l'évolution de leur salinité.

D'après les valeurs des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole (PI-KR-SP-RSC- MH- ieb-), la plupart de ces eaux sont adaptées à l'irrigation.

L'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, comme fertilisants, augmente les concentrations en éléments de (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

L'irrigation par des eaux usées provoque la salinisation des sols et augmente ainsi la minéralisation par le retour des eaux à la nappe.

Nous pouvons conclure que la salinité est liée à la dissolution des formations d'évaporites, aux formations carbonatées.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

L'étude faite sur la région de BOUIRA , nous a permis d'approfondir la connaissance des différents paramètres hydro-chimique concernant les eaux souterraines de la nappe et leur qualité en vue de leur utilisation en alimentation potable et l'irrigation, et les principaux sources de pollution.

L'analyse des données climatiques de la région étudiées, a mis en évidence un climat de type semi-aride, La température moyenne est d'environ 17,5°C, les précipitations varient avec un régime pluvial marqué par un pic, en décembre. La lame précipitée moyenne annuelle estimée par la méthode (arithmétique) est égale à 443.75mm. Quant à l'évapotranspiration réelle, estimée par différentes formules empiriques, elle présente une moyenne de 386.46 mm/an, c'est à dire 87% de la pluviométrie annuelle. Alors que l'infiltration est très faible et ne représente que 5% des précipitations.

L'utilisation des différentes méthodes de classifications des eaux souterraines de cette région telles que les classifications de Schoeller-Berkaloff et Piper. Montrent l'existence d'un faciès chimique dominant qui est le Chloruré sulfaté calcique et magnésiennes et Bicarbonaté calcique magnésienne. (Année 2016).

Ces faciès ne changent pas durant l'année 2014 jusqu'à 2017.

Durant l'année 2018 on voit qu'il existe en tendance des nouveau Forages vers le faciès sulfaté sodique et bicarbonatée sodique. Ces forages n'existent pas durant l'étude de l'année 2016.

L'étude hydro-chimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines. Ces eaux ont des caractéristiques physiques relativement variables ; la température varie entre 14.8 et 23.35°C ce qui signifie des eaux non thermales. Un pH de 7,025 à 7.9 et une conductivité électrique oscillant de 684.5 à 2515 $\mu$  s/cm qui signifie que sont des eaux conductrices qui implique une fort minéralité. Et une dureté de 19.40 °F à 120°F qui signifie que sont des eaux dure à très dure.

Dans ce travail, nous avons évalué la qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation. Cette question revêt une grande importance du fait des problèmes que connaît la région, en raison de la sécheresse, de la forte demande résultant des activités agricoles.

L'évaluation de la qualité des eaux par des méthodes classiques a révélé une salinité moyenne peut atteindre une forte salinité. Deux facteurs peuvent être responsables :

- La nature de certaines roches, en particulier des marnes gypsifères et des évaporites.
- Les conditions climatiques, caractérisées par une période hivernale pluvieuse (favorable à la dissolution des roches) et par une période estivale sèche et chaude (ce qui induit une forte évapotranspiration et par conséquent une augmentation de la concentration des éléments dissous).

## Conclusion générale

---

Selon la valeur moyenne du SAR (qui reste inférieure à 10 méq/l classe S1), les eaux souterraines présentent un faible danger d'alcalinisation et pourraient donc être utilisées en irrigation. Le SAR et le % Na ont des distributions spatiales semblables.

Trois types d'eau ont été reconnus par les méthodes de RICHARDS et de WILCOX. L'utilisation de certaines d'entre elles pourrait avoir un effet négatif sur l'évolution des sols et les cultures.

Dans l'ensemble, ces eaux sont bonnes à admissibles (C2S1-C3S1) et peuvent alors être utilisées à la consommation humaine comme à l'irrigation qui suggère un contrôle de l'évolution de leur salinité.

Les activités agricole dans la région d'étude reste la cause principale de pollution des eaux souterraines, précisément dans deux points agricoles qui sont au niveau de plateau El Esnam et la dira d'Ain bessam. Dont on a enregistré des valeurs de  $\text{NO}_3^-$  plus élevés (les eaux des forages dans les deux points sont trop chargés de nitrates  $\text{NO}_3^-$ ). Exactement dans les forages ( Forage F1 guemgouma, Forage F3 el esnam , Forage F3 bechloul , Forage f1 bechloul ,Forage F2 el esnam ) et au niveau des forages de la daïra de Ain bessam (Source kraimia ,Puits ain el beidha ,Puits ouled zidane).

La pollution des eaux souterraines est d'origine anthropique, industrielle, agricole et domestique :

- Les cultures maraîchère et céréalière, qui utilisent d'importantes quantités de fertilisants sous forme de fumier (engrais).
- Les rejets urbains, qui déversent des eaux usées dans la plaine, sans traitement au préalable, ainsi les décharges ménagères sauvages.

D'après les valeurs des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole (PI-KR-SP-RSC-ieb-MH) montre que la plupart de ces eaux sont adaptées à l'irrigation.

L'utilisation des engrais chimiques dans l'agriculture, comme fertilisants, augmente les concentrations de  $\text{NO}_3^-$  (indice de pollution).

L'étude des rapports caractéristiques permette de déterminer l'origine de ces eaux, ainsi que leur qualité, de même que les méthodes statistiques comme analyse en composant principale (ACP).

Enfin, Si nous aurons de la chance d'avoir des données très récentes de la qualité ainsi que les cartes piézométriques de la région. Il est souhaitable de poursuivre ce travail en faisant une extension spatiale de la zone d'étude, afin de mieux comprendre la variabilité spatiale de la salinité des eaux de la nappe souterraine de BOUIRA.

### Recommandations :

Afin de gérer les situations de non-conformité des eaux dues aux nitrates, les services concernés se réfèrent aux recommandations, en cas de dépassement de la limite de qualité de 50 mg/l :

- un plan de gestion des ressources en eau dans le bassin versant doit être défini et mis en œuvre afin d'améliorer la qualité des eaux prélevées.
- un programme d'actions visant à rétablir la qualité des eaux, doit être rapidement mis en œuvre par le responsable de la distribution d'eau (protection des captages d'eau vis-à-vis de pollutions diffuses, en particulier celles d'origine agricole, etc.).
- pour les eaux présentant des concentrations en nitrates dépassant régulièrement la valeur de 50 mg/l, un traitement d'élimination des nitrates (dénitratation) doit être mis en œuvre lorsqu'il n'existe pas de solution alternative (nouvelle ressource, raccordement à un autre réseau d'adduction) permettant de remédier à la situation dans un court délai. le responsable de la distribution d'eau doit informer la population des recommandations sanitaires suivantes :
  - lorsque la concentration en nitrates est comprise entre 50 et 100 mg/l : recommandation de non-consommation de l'eau pour les usages alimentaires chez les femmes enceintes et les nourrissons.
  - lorsque la concentration en nitrates est égale ou supérieure à 100 mg/l : recommandation de ne pas utiliser l'eau pour les usages alimentaires chez l'ensemble de la population.
- Les usagers puissent disposer régulièrement d'une information transparente et actualisée sur la qualité de l'eau potable :
  - le maire affiche en mairie, les résultats des analyses du contrôle sanitaire des eaux.
  - l'abonné au service d'eau reçoit annuellement avec sa facture d'eau une synthèse sur la qualité de l'eau qui lui a été délivrée l'année précédente. Outre les résultats du contrôle sanitaire relatif aux principaux indicateurs de la qualité de l'eau (microbiologie, pesticides, etc.), cette synthèse comporte des recommandations d'ordre sanitaire, en particulier vis-à-vis du plomb, des nitrates et du fluor.
- Mieux gérer les apports : pour les cultures, l'utilisation d'engrais par des apports fractionnés, la prise en compte de la valeur fertilisante précise des apports organiques (lisiers), l'analyse de l'azote résiduel avant fertilisation, la réalisation de cultures intercalaires d'hiver récupérant l'azote inutilisé et contribuant ainsi à réduire la pollution nitrique lors du lessivage hivernal.
- Optimiser l'irrigation et installer un réseau de drainage pour éviter une salinisation secondaire du sol.
- Arrêter le déversement direct des rejets urbains et industriels au niveau des Oueds, en réalisant un traitement préalable de ces effluents avant qu'ils y'és atteignent, et surveiller en permanence leur qualité.

## **Conclusion générale**

---

### **Les recommandations suivantes peuvent être appliquées au sein des zones vulnérables :**

- Faire des études pour enrichir la connaissance sur les pressions des pollutions diffuses et ponctuelles sur la nappe.
- Eviter l'infiltration directe entre la surface du sol et les nappes souterraines selon la qualité de l'effluent,
- Mettre en place des dispositifs de traitement de l'eau avant son infiltration,
- Prévoir des emplacements réservés pour des dispositifs de récupération et de traitement des eaux pluviales avant l'infiltration.
- Interdire les nouvelles constructions ou installations susceptibles d'engendrer un risque de pollution de la nappe aquifère

# Références bibliographiques

### Références bibliographiques

#### A

**Aissaoui A, 2013.** Evaluation au niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région d'oued Athmania (wilaya de Mila) par les activistes agricoles .mémoire de master : écologie végétale Appliquer et Gestion de l'environnement ,133p.

**Aliouane S.** Caractérisation des eaux des barrages (Tiledit) et (Lekhal) de la wilaya de Bouira (Algérie) destinée à la consommation humaine. Mémoire de Master : Biodiversité, Ecologie, Environnement, 2010,19p.

**Arjen V.D.W., (2010).** Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines : Souterraines aux forages manuels, Un manuel d'instruction pour les équipes de forage manuel sur l'hydrogéologie appliquée, l'équipement et le développement des forages, Fondation PRACTICA, Oosteind, P10.

**Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG), (2012).** Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex 4, 5p.

**Andriamiradis L., (2005).** Mémento technique de l'eau, 2<sup>ème</sup> édition, Degremont. P: 8.

**Amalric L., Baran N., Jeannot R., Marti JC., Mouvet C., 2003.** Les mécanismes de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les nappes et les méthodes d'analyse des produits phytosanitaires dans les eaux. BRGM/RP-51590-FR, 116 p

**Archibald F., (2000).** The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems - a cause for concern. Water Qual Res J. Canada, 35, PP:1-22.

**Ahonon A.S., (2011).** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les zones montagneuses du sud-ouest du TOGO : cas du Canton de la vie, Master international, environnement eau et santé, Université de Lome, TOGO, 35p.

**AYERS R.S., WESTCOT D.W ;** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin F.A.O.Irrigation Drainage, n°29, 97p. (1976)

**Athamena, 2006.,** Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone su Sétifien.Thèse de Magister, Option : mobilisation des ressources hydriques, Département de l'hydraulique, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Université de Batna, 131 p.

**ANIRF, 2013.**Agence National d'Intermédiation et de régulation Foncière.

**ANDI, 2013.**Agence Nationale De Développment De L'investissement.

**ANRH,** Agence Nationale Des Ressources Hydraulique.

**ANRH, 1974.** Etude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam.

## Références bibliographiques

---

**Alain GIODA, 1991.** L'eau : passé, présent et futur .N° I.S.B.N. 2.909256.07.3.

### B

**BENSEDJAD A., 2011 :** Aptitude des eaux de la plaine de Sidi Bel Abbès à des fins d'irrigation. Mém. Ing. Univ. Tlemcen. Algérie. p23-45

**Bourrier R., Selmi B., (2011).** Technique de la gestion et de la distribution de l'eau, Edition Moniteur, Paris, PP : 353-402.

**Bouziani M., (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p.

**Boeglin J.C. (2009).** Propriétés des eaux naturelles, Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1, 110p.

**Benamar N., Mouadhi N., Benamar A., (2011).** Étude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest algérien : le cas de l'oued Cheliff, Colloque international, Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée : quels enjeux pour quels services ?, Université de Provence, Marseille, 20-21 janvier 2011, 6 p.

**Bremaude C., Claisse J.R., Leulier F., Thibault J., Ulrich E., (2006).** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rural, Edition Educagri, Dijon, France, PP : 220-221.

**Bonnin J., 1982.** Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Edition. Eyrolles. P :23-33.

**Beriere G., (2000).** Distribution et collecte des eaux, 2ème édition, Ecole polytechnique de Montréal, PP: 3-19.

**Bopp C., Brenner F., Wells J., Strockbine N., (1999).** Escherichia, Shigella and Salmonella, In Manual of clinical microbiology (Eds, Patrick R. Murray and American Society for Microbiology) American Society for Microbiology Press, Washington, D.C., PP : 459-474

**Benmaïd A., (2013).** La sécurité liée à l'eau : gestion des risques et arbitrages, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, études & documents, N° 100, 40p

**Beaudoin B., (2012).** Problématique éco toxicologique actualisée des fluorures dans les eaux municipales, Centre universitaire de formation en environnement, Québec, Canada, 98p.

**Barrette É., (2006).** Pesticides et eau souterraine : Prévenir la contamination en milieu agricole, Direction des politiques en milieu terrestre, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 24p.

**BEMMOUSSAT Abdelkader, 2012.** Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux à travers le bassin de la Tafna. Thèse de magister, Université ABOU BEKR BELKAID Tlemcen ,156p.

## Références bibliographiques

---

**BARBAROUX Eugénie, et al, 2011.**Caractérisation biologique et chimique se la ensaque amont.Master1 Gestion des eaux et des milieux aquatiques DENTES, Université de Provence, Saint-Charles, 60p.

**BOUTOUGA F.,(2012).** Ressources et essai de gestion des eaux dans le Zeb Est de Biskra. Thèse de Magister en ingénierie des ressources en eau. Université Badji Mokhtar Annaba Algérie.

### C

**Cardot C., (1999).** Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologique : Cours et problèmes résolus, Ellipse Edition Marketing, paris, cedex 15, PP : 25-28.

**Centre d'Information sur l'Eau (CIE),, (2013).** Le cycle naturel de l'eau, le mercredi 7 août 2013, 6p.

**Collin J.J., (2004).** Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, paris, PP : 27-49.

**Chaker H. K., Slimani A., (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'abreuvements des ruminants dans la zone semi-aride d'Oum El Bouaghi : Nord-est de l'Algérie, Institut des sciences agronomiques, université d'El Tarf, Algérie, 10p.

**CEAEQ, (2011).** Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives: méthode par incorporation à la gélose, MA.700-BHA35 1.0, Rév.3, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15 p.

**Collin J.J., (2004).** Les eaux souterraines : Connaissance et gestion, HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, paris, PP : 27-49.

**CEE 2009,** Directives /54/CE du parlement Européen et du conseil du 18 juin 2009 relative a l'exploitation et à la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles, Journal officiel de l'Union Européenne, L164/45 du 26/06/2009].

### D

**Degbey C., Makoutode M., Fayomi B., Brouwer C., (2010).** La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, J Int Santé Trav, Vol 1, PP : 15-22.

**Degremont G., (2005).** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc, PP : 3- 38.

**Desjardins R., (1997).** Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition, Québec, Canada, PP : 46-112.

**Dib I., (2009).** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique,

## Références bibliographiques

---

construction hydrotechnique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p.

**Dupont A., 1974.** Hydraulique urbaine. Hydrologie, captage et traitement des eaux .tome 1. 3eme édition : Eyrolles Paris .P :26-28-34-64.

**Demdoum A., (2010).** Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, Doctorat d'état, Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri Constantine, 205p.

**Djabri L., (1996).** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Thèse de doctorat d'état, Université d'Annaba, Algérie, 176 p.

**Dalila ZIANI, 2009.** Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de Ain djasser est Algérien. Thèse de magister, Université Batna, 156 p.

### E

**Elmund G.K., Allen M.J., Rice E.W., (1999).** Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency, Water Environ.Res, N°71, PP : 332-339.

**Emand Barres A.L., Roux J.C., (1999).** Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine ; Guide méthodologique et réglementaire, Edition BRGM, manuels et méthodes n°33, 2ème édition, P19.

**Elie Serge Gaëtan SAURET, 2005.** Caractérisation hydro chimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du mouhoun : provinces des banwa, des balles, du mouhoun et de la kossi (BURKINA FASO), Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue, 60 p.

### F

**Fakih Ianjri A.,Brigui J.,El Cadi A.,Khaddor M.,Salmoune F., (2014).** Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger, Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 5, N° S1, PP : 2230- 2235.

**Fiambsch H.B., (1998).** Chang from chlorine residual distribution to no chlorine residual distribution in groundwater system, Water supply, Vol 6, N°3/4, Germany, PP: 145-152.

**Frioua Salim, 2014.** Localisation et caractérisation des zones de source de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide de SIG .mémoire de master : Science de l'eau et de l'environnement

## Références bibliographiques

---

**Faurie C, Medori P, Ferra C., (2003).** Ecologie : Approche scientifique et pratique, 5<sup>ème</sup> Edition, Lavoisier doc et tec, Paris, 312p.

### G

**Gleeson C., Gray N., (1997).**The coliform index and waterborne disease: problems of microbial drinking water assessment, E & FN Spoon, London, 194 p.

**Gouvernement du Québec., (2004).** Etude du risque de gastro-entérite chez les familles utilisant l'eau d'un puits domestique, Direction risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut national de santé publique, Québec, p 08.

### H

**Hakmi A., (2006).** Traitement de l'eau de source Bousfer Oran, Mémoire de licence traitement des eaux, Université des Sciences et de la Technologie, Oran, 48 p.

### J

**Jean L.C, (2002).** La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau, Edition. Ministère de l'agriculture et de la pêche, Direction de l'espace rural et de la forêt, 22p.

**Journal Officiel de la République Algérienne (JORA)., (2011).** Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers : Bir-Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.

**Jestin E., (2006).** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaire, agence de l'eau Seine-Normandie, Hérouville Saint Clair, PP : 17-32. 34p.

### K

**Kettab A., (1992).** Traitement des eaux, Les eaux potables, Edition : Office des Publications Universitaires, Alger, PP : 111-123.

**Frioua Salim, 2014.** Localisation et caractérisations des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide de SIG. Mémoire de master : Sciences de l'eau et de l'environnement, 94p.

**KHEDIDJA A., (2016) :** Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnant \_Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux Souterraines. Thèse de doctorat en hydraulique agricole. Univ. Batna2. 192pages.

### L

**Levallois P., (2003).** Bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 3p.

**Lagarde, 1995 ; Maliki, 2000.,** Initiation à l'Analyse des Données. Ed. Dunod : Paris ; 157p Etude hydrologique hydro chimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax (Tunisie). Thèse de Doctorat, Fac. Sci. Sfax, 301 p.

### M

**Marsily G., 1995).**L'eau .Edition : Flammarion, 128p

**Mourey V., Vernoux J.F., (2000).** Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile-de-France, Annales des mines, PP : 32-40.

**Myrand D., (2008).** Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.

**Molinie L., (2009).** Dispositifs rustiques d'alimentation et de Traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées, Agro Paris Tech, Montpellier, Cedex 4, 7p.

**Mercier J., (2000).** Le grand livre de l'eau, Edition : La reconnaissance du livre, Collecte art de vivre, P 91.

**Ministère du Développement Durable, De l'Environnement de la faune et des Parks (MDDEFP), (2013).** Critères de qualité de l'eau de surface, 3ème Edition, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 510p.

**Muriel H., (2010).** Suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée : Elaborer et mettre en œuvre un plan des sécurités sanitaire des eaux, Direction des affaires sanitaires et sociales de la nouvelle Caldonie, Santé et environnement, NOUMEA cedex, P 02.

**Myrand D., (2008).** Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, Québec, P04.

**MANDEL S.,SHIFTAN.,(1981)** - Ground water Resources, Investigations and Development. Academic Press, N.Y., London, 269 pp.

**MEKAOUSSI Nadia, 2014.** Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de HAMMAM DEBAGH (EST ALGERIEN).Thèse de magister, Université Batna, 126p.

### N

**Nouayti N., Khattach D., Hilali M., (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 6, N° 4, PP : 1068-1081.

**Normes Algériennes, (1992).** NA. 6360, 1ère édition, Ed EX. INAPI. IANOR, PP : 5-7

### O

**Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), (2003).** L'eau souterraine, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, 31p.

**Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), (2003).** Utilisation judicieuse de l'eau de pluie : Possibilités et limites, Conseils et critères, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Berne, 14p.

**OMS., (2000).** Directives de qualité pour l'eau de boisson ; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2ème édition, 1050 p.

**OMS, (2004).** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol 1. Directives, Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, 110 p.

### P

**Pierre A et Baptiste P, 2003.** Hydrogéologie et Forage d'eau, X Congreso Bolivariano de Ingeniera Sanitaria Y Ambiental, Aïdis.

**PARIZOT M. (2008).** Contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Guyane conformément à la Directive Cadre Européenne sur l'Eau : saison des pluies 2008 Rapport final BRGM/RP-56890-FR.

### R

**Réseaux Partenarial des Données sur l'Eau (RPDE), (2007).** Le cycle de l'eau, Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes, 33p.

**Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

**Rodier J., Legube B., Merlet N. (2009).** L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, 1579p.

**Renald M., (2003).** Le puits, Révision de la numérotation des règlements, développement durable, environnement et parcs, Québec, 52p.

## Références bibliographiques

---

**ROUABHIA A.E.K. et DJABRI L. (2010).** L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma Labiod. Larhyss Journal, n° 8, p. 55 67..

### S

**Service de l'Eau (SEVESC). (2013).** Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud, 11p.

**Stämpfli N., (2007).** Fiche technique ; Puits d'infiltration, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Services régionaux, région du Québec, 4p.

### T

**Tourab H.,2013.** Contribution à l'étude de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plain du haouz .mémoire de licence : eau et environnement, 82P.

### U

**UNICEF, (1999).** Manuel sur l'eau, N°2, PP : 42-43.

### W

**Wilcox Lv., (1955).**classification and use of irrigation waters.U.S. Department of agriculture, circular 696, Washington DC, 16p.

### Y

**YOUNSI A., (2001).** Méthodologie de mise en évidence des mécanismes de salures des eaux souterraines côtières en zone semi-aride irriguée. Chaouia côtière, Maroc. Thèse de doctorat d'état, Université Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc.

#### Web:

(ART) : <http://www.lesoirdalgerie.com/articles/2013/09/17/article.php?sid=154252&cid=41>

**Publication :** ENCYCLOPIDIE Microsoft (ENCARTA, 2006).

# **Annexes**

## Annexes

Tableau 1 : des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole (années 2014) en (még/l)

Forage	Forage	SAR	Na	ESP%	KR	SP	PI	RSC	ieb	MH
Forage f8 harkat	F1	0.66	13.93	-0.27	0.16	4.84	36.13	1.24	0.64	27.71
Forage f10 sidi ziane	F2	0.37	8.43	-0.70	0.09	4.07	31.73	0.935	0.72	29.12
Forage f16 sidi ziane	F3	0.90	19.03	0.076	0.23	3.86	43.74	3.011	0.37	30.13
Forage f19 sidi ziane	F4	0.48	10.42	-0.54	0.11	3.88	34.56	2.61	0.62	29.09
NV forage sidi ziane	F5	0.02	0.644	-1.23	0.00	3.81	24.73	1.50	0.97	55.41
Forage ouled bellil	F6	0.38	8.655	-0.70	0.09	3.95	33.86	2.12	0.74	45.14
Forage f11 ouadhia	F7	0.97	19.5	0.17	0.24	5.39	40.30	0.710	0.55	34.94
Forage said abid	F8	0.18	4.63	-0.99	0.04	2.87	32.53	2.36	0.81	25.95
Forage thameur	F9	0.11	2.31	-1.09	0.02	6.07	21.79	0.006	0.94	41.97
Forage djaada	F10	0.79	14.47	-0.09	0.16	6.17	33.45	1.04	0.63	37.99
Forage f5 haizer	F11	2.19	38.03	1.93	0.61	3.38	63.56	7.70	-0.60	42.85
Forage f2 haizer	F12	0.73	15.46	-0.16	0.18	2.96	42.00	5.19	0.26	37.69
Forage f7 taferka	F13	1.90	29.99	1.51	0.42	5.81	50.48	7.02	0.14	48.77
Puit P2 aomar	F14	2.14	29.17	1.87	0.41	8.81	43.37	1.48	0.14	41.21
Forage ouled laalem	F15	0.27	4.66	-0.85	0.04	7.13	20.10	-2.36	0.83	35.03
Forage souagui	F16	2.51	35.60	2.38	0.55	5.21	51.96	3.62	-1.07	52.75
Forage guelta zerga	F17	1.33	24.77	0.70	0.32	3.35	47.68	4.55	-0.44	31.55
Source ain el baidha	F18	1.79	28.53	1.36	0.39	6.10	42.83	-1.825	-0.06	32.57
Source ben younes	F19	1.18	25.45	0.48	0.34	2.25	54.74	5.38	-0.30	45.07
Source noir	F20	2.17	43.25	1.91	0.76	2.62	72.79	5.06	-0.96	39.25
Forage f1 semache	F21	1.54	30.06	1.01	0.42	4.37	52.42	2.22	0.06	31.52
Forage f3 semmache	F22	1.50	28.99	0.94	0.40	4.40	51.10	2.22	0.06	36.72
Forage arkoub taourirt	F23	2.08	31.34	1.78	0.45	6.84	47.41	1.70	0.00	24.50
Puit safia taourirt	F24	1.18	25.45	0.48	0.34	2.25	54.74	5.38	-0.30	45.07
Forage ouled bouali	F25	0.81	15.88	-0.05	0.18	6.98	30.43	-4.03	0.65	41.87
Forage f3 chorfa	F26	1.29	25.99	0.651	0.35	4.41	49.52	2.75	0.28	47.41
Forage f1 guemgouma	F27	0.10	2.341	-1.11	0.02	3.76	26.85	3.13	0.91	28.19
Forage f2 el esnam	F28	0.86	15.50	0.020	0.18	5.91	35.10	2.49	0.58	46.47
Forage f3 el esnam	F29	1.91	30.39	1.54	0.43	5.55	49.28	4.27	0.05	26.53
Forage f1 bechloul	F30	0.82	15.01	-0.04	0.17	5.75	34.35	1.62	0.590	38.79

## ANNEXES

Tableau 2 : des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole (2015) en (még/l)

Forage	Forage	SAR	Na	ESP%	KR	SP	PI	RSC	ieb	MH
forage f8 harkat	F1	0.70	15.40	-0.21	0.18	4.57	36.92	-0.07	0.58	52.92
forage f10 sidi ziane	F2	1.19	23.25	0.49	0.30	4.18	46.29	3.22	0.18	59.22
forage f16 sidi ziane	F3	1.26	23.81	0.59	0.31	4.89	45.08	2.37	0.27	46.11
NV forage sidi ziane	F4	1.23	25.27	0.55	0.33	3.86	49.76	3.02	0.20	44.44
forage ouled bellil	F5	0.12	3.007	-1.08	0.03	4.03	25.56	-0.97	0.91	15.02
forage f11 ouadhia	F6	1.92	33.28	1.55	0.49	6.25	52.16	1.54	0.25	35.51
forage thameur	F7	2.67	39.02	2.61	0.63	7.53	57.15	4.96	0.13	14.02
forage djaada	F8	1.51	25.74	0.96	0.34	6.10	44.85	2.74	0.35	25.91
forage f5 hizer	F9	0.46	11.70	-0.57	0.13	1.92	43.75	4.13	0.23	52.48
melange f7+f12 taferka	F10	2.88	40.94	2.90	0.69	8.08	58.12	4.16	0.14	46.33
forage boulerbah	F11	3.67	39.73	3.98	0.65	11.67	48.72	-4.64	-0.24	26.83
forage ouled el alem	F12	0.56	8.48	-0.42	0.09	8.69	21.59	-4.17	0.71	40.76
puits mehouane	F13	0.87	13.94	0.02	0.16	5.59	27.61	-3.69	0.09	45.64
puits p2 merdja	F14	4.77	49.83	5.46	0.99	7.76	61.39	2.85	-1.60	28.87
forage souagi	F15	0.20	4.09	-0.97	0.04	3.91	26.19	2.09	0.79	32.33
puits guelta zerga	F16	0.35	8.16	-0.73	0.08	3.03	32.31	1.07	0.47	26.27
puits khlifat	F17	2.26	26.08	2.03	0.35	8.88	34.43	-9.60	-0.55	33.37
puits ouled zidan	F18	1.23	21.54	0.55	0.27	5.48	35.11	-3.90	0.16	27.81
source noir	F19	0.56	16.66	-0.42	0.20	1.05	57.58	3.87	-3.00	49.23
forage f51 m'chedallah	F20	4.18	50.03	4.68	1.001	7.39	66.92	8.94	-0.53	18.55
forage f1 semmache	F21	2.65	44.04	2.58	0.78	4.39	66.52	4.88	-0.48	46.54
forage f3 semache	F22	2.21	38.21	1.97	0.61	4.47	60.40	4.41	-0.29	48.49
forage arkoub taourirt	F23	1.79	27.04	1.37	0.37	8.38	41.61	-0.57	0.31	41.53
puits safia taourirt	F24	2.57	33.82	2.47	0.51	10.39	46.47	-0.71	0.20	37.77
puits thazrourt taourirt	F25	1.70	24.54	1.23	0.32	10.08	37.40	-2.65	0.44	45.07
forage ouled bouali	F26	1.96	28.26	1.61	0.39	9.84	42.19	-0.56	0.38	40.42
forage f3 chorfa	F27	0.13	3.400	-1.07	0.03	1.58	33.94	2.71	0.78	32.59
puits tarfa	F28	5.58	45.15	6.52	0.82	14.75	54.56	8.63	-0.75	36.14
forage f1 guemgouma	F29	1.40	26.35	0.81	0.35	4.35	47.95	2.76	0.18	19.59
melange f2+f3 el esnam	F30	0.92	17.53	0.10	0.21	4.96	38.40	2.14	0.48	21.19
forage f3 el esnam	F31	1.14	20.84	0.42	0.26	5.20	40.74	1.99	0.40	23.76
source mezdour	F32	0.48	12.64	-0.55	0.14	2.83	39.98	0.53	0.454	55.11

## ANNEXES

Tableau 3 : des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole (2017) en (még/l)

Forage	Forage	SAR	Na	ESP%	KR	SP	PI	RSC	ieb	MH
forage f8 harkat	F1	2.89	41.56	2.92	0.71	6.13	55.93	0.13	-0.55	33.41
forage f21	F2	3.61	46.37	3.91	0.86	9.57	60.23	1.61	0.05	45.18
NV forage f2 sidi ziane	F3	2.80	41.07	2.80	0.69	5.74	55.62	0.04	-0.69	28.18
f1+f2 sidi zian	F4	1.09	21.44	0.35	0.27	4.26	43.27	2.07	0.27	25.84
forage f11 ouadhia	F5	1.23	23.60	0.55	0.30	5.08	44.91	2.05	0.37	30.77
f13 sidi ziane	F6	1.60	25.78	1.09	0.34	6.51	43.94	3.23	0.24	22.41
f16 sidi ziane	F7	1.20	23.13	0.51	0.30	4.20	45.00	2.61	0.14	35.55
f10	F8	1.08	22.17	0.33	0.28	3.51	47.08	3.58	0.18	33.46
f1 said abid	F9	1.13	23.05	0.40	0.29	2.89	50.18	5.72	-0.11	33.15
f2 said abid	F10	0.62	14.32	-0.33	0.16	3.04	41.54	3.11	0.43	23.41
forage thameur	F11	0.75	14.39	-0.15	0.16	6.94	29.83	-3.19	0.69	28.15
forage djaada	F12	0.54	10.98	-0.45	0.12	6.82	27.58	-3.04	0.78	26.26
f5 hizer	F13	0.23	6.027	-0.92	0.06	2.18	36.50	2.73	0.61	51.69
f1 hizer	F14	0.48	10.43	-0.54	0.11	2.79	36.39	4.11	0.42	46.66
f2 hizer	F15	0.79	17.15	-0.08	0.20	2.52	44.06	4.43	-0.02	52.81
forage oued el berdi	F16	0.06	1.58	-1.17	0.01	4.55	21.48	-2.49	0.95	49.80
forage ouled el elaalem	F17	2.08	30.17	1.77	0.43	6.81	44.27	-0.46	-0.18	45.52
forage maala	F18	1.64	22.87	1.14	0.29	9.29	35.07	-3.41	0.31	51.96
puits marhanian	F19	0.73	14.17	-0.16	0.16	4.10	37.73	5.36	0.59	30.72
puits guelta zerga	F20	2.27	35.68	2.04	0.55	5.59	53.73	2.86	-0.19	29.55
puits khlifate	F21	1.05	11.94	0.30	0.13	10.73	19.66	-15.96	0.32	35.17
source kraimia	F22	0.74	11.94	-0.16	0.13	5.29	24.83	-5.22	0.11	38.51
puits p3 ouled zidane	F23	0.56	10.80	-0.42	0.11	5.74	23.54	-5.85	0.64	23.47
source noir	F24	0.37	9.163	-0.71	0.10	2.07	38.55	3.25	0.003	40.84
forage raffor	F25	2.08	29.14	1.77	0.41	8.54	44.78	3.41	0.22	43.21
source mesdour	F26	0.21	6.966	-0.95	0.07	2.42	38.29	-0.23	0.77	44.39

## ANNEXES

Tableau 4 : des indices de l'eau en vue de leur utilisation agricole (2018) en (még/l)

Forage	Forage	SAR	Na	ESP%	KR	SP	PI	RSC	ieb	MH
f8 harkat	F1	1.49	27.11	0.93	0.37	4.52	48.02	2.84	0.06	29.40
f16 sidi ziane	F2	1.74	30.13	1.29	0.43	5.03	50.35	3.19	0.05	49.88
NV forage sidi ziane	F3	2.14	37.12	1.87	0.59	4.30	58.84	4.03	-0.27	27.44
f10 sidi ziane	F4	0.93	18.79	0.12	0.23	4.44	39.80	0.93	0.42	39.06
f11 ouadhia	F5	2.09	34.95	1.79	0.53	6.17	54.12	2.60	0.17	23.67
forage ouled bellil	F6	1.88	33.28	1.49	0.49	4.32	54.63	3.44	-0.22	19.91
f1 said abid	F7	1.39	27.91	0.78	0.38	3.39	53.46	4.21	-0.07	18.54
forage thameur	F8	5.08	59.07	5.86	1.44	5.89	78.76	11.84	-0.73	43.26
forage djaada	F9	4.70	57.25	5.37	1.33	6.82	75.34	7.68	-0.34	43.40
f5 hizer	F10	0.77	17.99	-0.12	0.21	2.00	49.04	4.97	-0.37	51.33
f1 hizer	F11	0.95	18.74	0.15	0.23	3.26	43.98	5.91	0.15	40.17
source hizer	F12	1.86	42.00	1.47	0.72	2.60	73.39	3.25	-0.35	29.15
f2 hizer	F13	0.39	8.79	-0.68	0.09	2.08	36.90	4.93	0.40	51.73
f7 taghzout	F14	3.14	46.12	3.26	0.85	5.15	67.05	7.22	-0.51	40.55
melange f3 tafarka	F15	1.72	33.87	1.26	0.51	2.43	62.84	6.88	-0.79	50.03
forage f tafarka NV	F16	3.56	42.03	3.83	0.72	11.95	56.23	5.68	0.19	41.30
forage ouled el bardi	F17	3.12	44.46	3.24	0.80	4.95	65.14	8.74	-0.66	39.25
forage ouled el aalem	F18	1.76	26.12	1.32	0.35	8.77	36.92	-5.72	0.26	45.23
source guergour	F19	1.39	22.41	0.79	0.28	4.65	40.08	2.67	-0.46	40.45
puits mehouane	F20	0.88	13.74	0.04	0.15	5.62	28.50	-1.32	0.12	49.00
puits merdja	F21	0.46	8.42	-0.57	0.09	6.04	26.00	-0.43	0.71	51.43
forage maala	F22	0.003	0.07	-1.27	0.0007	6.82	13.62	-6.68	0.99	55.22
f cha3bet sekran maamoura	F23	7.03	63.75	8.35	1.75	6.37	76.66	8.46	-3.55	32.53
f belhdoum	F24	5.65	50.49	6.61	1.02	12.54	58.89	-1.56	-0.82	41.60
p rabhi	F25	2.30	28.83	2.08	0.40	11.26	39.77	-3.62	0.22	43.83
f ridan	F26	2.33	38.41	2.13	0.62	3.57	58.73	3.81	-1.98	37.18
puits ain el baidha	F27	0.11	2.02	-1.10	0.02	7.67	16.02	-5.63	0.94	30.03
source noir	F28	0.51	14.18	-0.50	0.16	1.42	50.99	3.90	-0.53	35.57
forage f51 mchedallah	F29	1.12	18.18	0.39	0.22	7.27	35.93	2.85	0.51	57.85
forage F1 E1 adjiba	F30	1.47	29.84	0.91	0.42	3.49	55.47	3.83	-0.12	50.37
forage ouled bouali	F31	2.83	39.76	2.83	0.66	8.02	55.71	2.87	0.03	42.99
forage f1 chorfa	F32	1.81	30.95	1.40	0.44	5.21	52.17	4.76	0.13	47.61
forage f4 chorfa	F33	1.89	32.18	1.51	0.47	5.02	53.38	4.68	-0.01	48.54
forage f3 chorfa	F34	2.34	39.27	2.15	0.64	4.36	61.88	5.59	-0.36	32.55
forage f2 el esnam	F35	1.88	29.83	1.50	0.42	5.41	49.17	5.16	0.03	42.13
forage f1 guemgouma	F36	2.93	42.49	2.98	0.73	4.54	62.50	7.48	-0.63	44.48
f3 esnam	F37	1.81	29.62	1.39	0.42	4.76	49.11	4.10	-0.041	54.40
forage f1 bechlol	F38	1.43	24.12	0.84	0.31	5.23	42.95	2.73	0.23	45.70
source mesdour	F39	1.54	34.54	1.00	0.52	2.57	63.18	2.83	-0.80	45.83

## ANNEXES

---

Tableau 5 : Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine (JORADP 2011)

paramètre	unité	Valeur indicative
pH		<6.5 et <9
conductivités	$\mu\text{S/cm}$ à 20°C	2800
Dureté totale	mg/L de $\text{CaCO}_3$ ou °F	500 / 50
calcium	mg/L	200
magnésium	mg/L	150
sodium	mg/L	200
potassium	mg/L	12
Sulfates	mg/L	400
Chlorures	mg/L	500
Nitrates	mg/L	50
Température	°C	25

Tableau 6 : Classification selon la réglementation européenne CEE 2009

Caractéristique	Teneur (mg/l)
Oligominérale ou faiblement minéralisée (oligo=peu)	$\text{TDS} \leq 500$
Très faiblement minéralisée	$\text{TDS} \leq 50$
Riche en sels minéraux	$\text{TDS} > 1500$
Bicarbonatée	$[\text{HCO}_3] > 600$
Sulfatée	$[\text{SO}_4] > 200$
Chlorurée	$[\text{Cl}] > 200$
Calcique	$[\text{Ca}] > 150$
Magnésienne	$[\text{Mg}] > 50$
Fluorée ou contient du fluore	$[\text{F}] > 1$
ferrugineuse ou contient du fer	$[\text{Fe bivalent}] > 1$
Acidulée	$[\text{CO}_2 \text{ libre}] > 250$
Sodique	$[\text{Na}] > 200$
Convient pour régime pauvre en sodium	$[\text{Na}] < 20$
Ne convient pas pour l'alimentation des bébés et la consommation régulière des jeunes enfants [réglementation Algérienne : Arrêté interministériel du 23 Février 2008]	$[\text{F}] > 1,5$

Tableau 7 : Caractéristiques générales des stations pluviométriques.

Station	Code	X (mètres)	Y (mètre)	Z (mètre)	Années de fonctionnement
Sour el Ghozlane	150101	590600	316450	882	1970-2009
El Hachimia	150103	600651	325100	730	1970-2009
Bouira	150105	616000	337250	520	1970-2009
Crête rouge	150115	628100	340050	410	1971-2009
Bordj Okhriss	150202	614700	309900	750	1970-2009
Hammam Ksena	150203	613450	321650	600	1972-2009
Beni Hammad	150306	635750	346700	546	1971-2009
Khabouzia	090401	579.15	334.35	720	1970-2009
Lakhdharia	090502	579.3	370	50	1973-2009
Djebahia	090403	594.8	353.45	320	1970-2009
Souagui	090104	548.95	312.4	810	1973-2009
M'chedallah	150301	640900	341700	450	1970-2009

## ANNEXES

Tableau 8 : potabilité des eaux souterraines de la wilaya de bouira (année 2016) en (mg/l)

Forage	Norme ALG	200mg/l	150mg/l	200mg/l	12mg/l	600mg/l	500mg/l	400mg/l	50mg/l	6.5-9	2800us/cm	potabilité
	N°	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	pH	CE	
Forage f8 harkat	F1	114.4	29.36	42	0.9	242.78	129.93	69.66	11.82	7.135	1141.5	potable
Forage f1 sidi ziane	F2	99.2	32.525	37.6	1	248.27	134.545	69.065	25.295	7.11	1020	potable
Forage f16 sidi ziane	F3	103.2	45.04	44	1.4	289.14	145.905	68.71	6.005	7.09	1092.5	potable
NV forage sidi ziane	F4	84.4	41.25	39.2	1	261.69	166.115	73.955	8.9	7.2	1021.5	potable
Forage f11 ouadhia	F5	110.4	43.445	50.8	1	261.105	191.345	50.57	15.99	7.155	1158.5	potable
Forage f1 said abid	F6	56.8	12.63	29.2	1.3	140.3	32.66	48.72	8.46	7.24	854	potable
Forage f2 said abid	F7	64.8	11.17	23.8	1.3	115.9	39.05	61.94	12.09	7.31	856	potable
Forage djaada	F8	151.2	39.61	46	0.9	340.38	192.375	39.15	52.8	7.06	1395.5	Non potable
Forage f5 haizer	F9	56.4	36.2	23.8	1.4	261.08	60.35	61.105	8.46	7.35	763	potable
Forage f1 haizar	F10	75.2	60.015	20.8	1.5	346.48	67.75	50.325	14.71	7.2	1055	potable
Forage f2 haizer	F11	70.4	50.3	19.4	1.9	319.64	54.315	43.07	10.01	7.325	935.5	potable
Forage f4 taghzout	F12	50.4	44.22	28.8	1.1	264.74	41.18	38.22	5.93	7.37	785	potable
h12+h17+F3 taghzout	F13	84	75.33	56.8	1.7	314.76	195.83	42.945	15.64	7.27	1404.5	potable
Forage F3 taghzout	F14	47.2	38.39	28.6	1.7	272.06	76.68	18.12	10.76	7.25	795	potable
Forage oued el-bardi	F15	104	37.415	37.1	1.2	223.26	130.285	110.73	35.26	7.33	1219.5	potable
Forage ouled laalem	F16	222.4	70.63	102.8	2	359.7	244.595	503.275	13.02	7.03	2030.5	Non potable
Source gougour	F17	138.4	68.525	18.8	3.1	376.37	51.475	394.16	1.105	7.145	1264	potable
Puits mahouene	F18	110.4	117.125	59.6	3	367.83	95.495	517.41	0.995	7.585	1578	potable
Forage lmaala	F19	176	106.26	88.8	3	420.9	211.935	447.45	11.79	7.245	1954	potable
Forage bakouche	F20	125.6	31.36	21.8	0.8	279.38	48.28	153.6	12.75	7.67	1002	potable
Puits guelta zarga	F21	133.6	41.305	40	0.7	268.4	101.875	184.8	18.935	7.73	1111.33	potable
Puits ain bidha	F22	225.6	28.18	53.2	0.6	245.22	230	236.25	110.75	7.05	1767	Non potable
Puits ouled zidane	F23	177.6	33.04	31.5	1.3	172.02	138.27	162.8	110.75	7.05	1288	Non potable
Forage f51 mehdallah	F24	120	67.685	57.2	2.3	322.07	185.31	207.825	14.24	7.09	1450	potable
Forage f2 semmache	F25	92.8	60.26	64.4	3.4	126.88	180.34	140.2	3.67	7.12	1320	potable
F3 semmache	F26	72	37.905	38.6	2.9	255.59	96.915	119.21	3.545	7.9	1028.5	potable

## ANNEXES

---

F1 el adjiba	F27	63.6	39.65	56.4	4	248.88	102.595	103.68	0.73	7.71	996	potable
F2 el adjiba	F28	102.4	58.32	56.8	2.5	301.34	157.38	153.8	5.98	7.13	911	potable
Forage F1 chourfa	F29	120.4	39.15	55.4	2.1	275.72	123.86	77.835	2.755	7.31	1236.5	potable
F4 chorfa	F30	77.6	56.7	32.6	1.8	261.69	83.565	109.975	7.945	7.22	943.5	potable
F3 chorfa	F31	88.8	32.26	26.6	2.1	262.3	82.285	81.3	8.92	7.22	917.5	potable
F2 lasnam	F32	129.6	16.52	44.4	1.3	292.8	127.09	39.12	91.03	7.08	1096	Non potable
F1 guemgouma	F33	121.2	32.745	45.2	1.3	317.8	125.655	41.37	66.45	7.025	1173.5	Non potable
Source masdour	F34	42.8	25.37	54	3.3	198.86	66.74	113.835	1.17	7.82	684.5	potable
Puits tarfa	F35	281.6	119.64	120	2.3	366.97	172.885	1101.9	8.57	7.235	2515	Non potable

## ANNEXES

Tableau 9 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2014) en (mg/l)

Forage	Date de prélèvement	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (mg/l)				Anion (mg/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Forage f8 harkat	2014	F1	123	28.6			292.5	138.4	42.29	17.9
Forage f10 sidi ziane	2014	F2	120	29.9			281.8	99.4	77.58	11.78
Forage f16 sidi ziane	2014	F3	104	27.2			313.5	99.4	53.6	7.26
Forage f19 sidi ziane	2014	F4	125	31.1			342.8	97.98	60.7	10.89
NV forage sidi ziane	2014	F5	86.4	65.12			335.5	90.88	75.18	6.55
Forage ouled bellil	2014	F6	89.6	44.71			308.6	109.3	36.12	1.86
Forage f11 ouadhia	2014	F7	105	34.2			263.2	154.7	51.48	16.34
Forage said abid	2014	F8	112	23.81			297.6	70.29	38.13	16.2
Forage thameur	2014	F9	144	63.18			372.1	174.7	63.56	20.37
Forage djaada	2014	F10	136	50.54			360	177.5	65.16	33.13
Forage f5 haizer	2014	F11	73.2	33.29			423.3	86.86	42.04	3.27
Forage f2 haizer	2014	F12	102	37.42			401.4	72.42	41.19	11.47
Forage f7 taferka	2014	F13	101	58.32			506.3	174.7	37.44	3.056
Puit P2 aomar	2014	F14	160	68.04			452.6	232.2	247.35	3.8
Forage ouled laalem	2014	F15	208	68.04			408.7	172.5	248	2.08
Forage souagui	2014	F16	97.6	66.1			418.4	97.27	293	19.12
Forage guelta zerga	2014	F17	113	31.59			384.3	66.74	103.55	38.09
Source ain el baidha	2014	F18	136	39.85			247.6	134.2	258.9	52.76
Source ben younes	2014	F19	66.4	33.05			342.8	56.09	21.5	27.64
Source noire	2014	F20	49.6	19.44			274.5	56.04	52.2	0.93
Forage f1 semache	2014	F21	88.8	24.79			261	105.1	95.77	1.1
Forage f3 semmache	2014	F22	85.6	30.13			269.6	104.4	101.91	1.37
Forage arkoub taourirt	2014	F23	158	31.1			364.7	169.7	203.98	12.49
Puit safia taourirt	2014	F24	66.4	33.05			342.8	56.09	21.5	27.64
Forage ouled bouali	2014	F25	109	47.63			159.8	183.9	155.55	5.09
Forage f3 chorfa	2014	F26	72	39.37			287.9	118.6	54.72	1.86

## ANNEXES

Forage f1 guemgouma	2014	F27	147	35			401	103	35.15	15.6
Forage f2 el esnam	2014	F28	120	63.2			411	177	40.85	41.1
Forage f3 el esnam	2014	F29	142	31.1			418	158	57.45	84
Forage f1 bechloul	2014	F30	134	51.5			377	167	52.75	53.8

Tableau 10 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2015) en (mg/l)

Forage	Année de prélèvement	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (mg/l)				Anion (mg/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
forage f8 harkat	2015	F1	71.06	48.44			224.03	118.57	72.36	23.65
forage f10 sidi ziane	2015	F2	63.2	55.68			329	102.24	80.79	7.53
forage f16 sidi ziane	2015	F3	88	45.68			315.98	124.96	89.67	7.93
NV forage sidi ziane	2015	F4	74.2	36			291	100.82	50.16	16.26
forage ouled bellil	2015	F5	136	14.58			210.4866	106.5	51.2	44.3
forage f11 ouadhia	2015	F6	96	32.07			269.62	176.08	79.47	6.02
forage thameur	2015	F7	150.4	14.88			411.14	230	52.25	0.17
forage djaada	2015	F8	142	30.13			369.66	181.1	48.1	44.3
forage f5 hizer	2015	F9	59.2	39.66			310.8	38.34	34.05	9.81
melange f7+f12 taferka	2015	F10	92.8	48.6			384.3	249.2	53.61	10.58
forage boulerbah	2015	F11	227.2	50.544			325.74	291.1	575.2	11.78
forage ouled el alem	2015	F12	220.8	92.16			433.1	213.71	341.75	5.36
puits mehouane	2015	F13	158.4	80.67			325.74	92.3	430.2	0
puits p2 merdja	2015	F14	164.8	40.57			433.1	156.2	543	14.79
forage souagi	2015	F15	149.52	43.34			394.06	81.79	123.66	9.83
puits guelta zerga	2015	F16	119.2	25.76			274.5	48.28	135.15	6.9
puits khlifat	2015	F17	275.2	83.59			330.62	165.43	853.2	2.34
puits ouled zidan	2015	F18	145.6	34.02			185	117.86	225.12	110.75
source noir	2015	F19	40.8	24			236.68	7.1	35.09	0.21
forage f51 mchedallah	2015	F20	142.4	19.68			530.7	202.4	136.85	12.89

## ANNEXES

forage f1 semmache	2015	F21	60.8	32.11			317.2	106.5	93.25	0
forage f3 semache	2015	F22	66.4	37.92			325.74	108.6	96.05	0.71
forage arkoub taourirt	2015	F23	137.6	59.29			335.5	225.7	195.79	9.8789
puits safia taourirt	2015	F24	158.4	58.32			359.9	289.6	239.12	9.4359
puits thazrourt taourirt	2015	F25	150.4	74.84			330.6	282.5	215.28	14.9291
forage ouled bouali	2015	F26	148.8	61.24			357.46	284	161.22	9.303
forage f3 chorfa	2015	F27	92.8	27.216			288	40.02	10.02	1.0189
puits tarfa	2015	F28	294.4	101.08			950.38	383.4	747	0.8417
forage f1 guemgouma	2015	F29	125	18.47			315.98	121.4	41.26	66.45
melange f2+f3 el esnam	2015	F30	149	24.3			347.7	138.5	53.88	44.3
forage f3 el esnam	2015	F31	144	27.22			342.82	148.4	49.54	66.45
source mezdour	2015	F32	49.6	36.94			181.78	51.83	89.91	0

Tableau 11 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2017) en (mg/l)

Forage	Date de prélèvement	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (mg/l)				Anion (mg/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
forage f8 harkat	2017	F1	110.4	33.6			252.54	134.19	265.2	44.3
forage f21	2017	F2	96	48			311.1	283.29	119.88	44.3
NV forage f2 sidi ziane	2017	F3	116.8	27.8			245.22	118.57	275.7	41.55
f1+f2 sidi zian	2017	F4	119.2	25.2			303.17	107.565	73.18	42.525
forage f11 ouadhia	2017	F5	110.4	29.76			300.73	139.16	64.995	12.995
f13 sidi ziane	2017	F6	166.4	29.16			418.46	173.95	124.68	3.8
f16 sidi ziane	2017	F7	104	34.8			320.25	100.11	91.505	31.03
f10	2017	F8	96.00	29.28			323.91	88.75	49.185	25.78
f1 said abid	2017	F9	95.6	28.75			386.28	67.805	46.34	4.16
f2 said abid	2017	F10	108	20.03			305	73.84	44.89	12.31
forage thameur	2017	F11	147.2	34.99	39	0.9	211.06	200.93	78	61.39

## ANNEXES

forage djaada	2017	F12	144	31.1			201.3	196.67	78	29.63
f5 hizer	2017	F13	64	41.54			280.6	39.405	55.48	10.585
f1 hizer	2017	F14	92.4	49.035			383.08	61.77	53.17	32.6
f2 hizer	2017	F15	70.4	47.795			356.85	53.25	49.94	37.03
forage oued el berdi	2017	F16	85.6	51.51			180.56	114.31	84.99	43.06
forage ouled el elaalem	2017	F17	126.57	64.155			334.28	149.81	323.15	10.805
forage maala	2017	F18	147.2	96.585			356.85	233.235	354.625	1.185
puits marhania	2017	F19	139.2	37.44			462.38	145.55		
puits guelta zerga	2017	F20	118.4	30.13			337.9	137.74	140.07	43.59
puits khlifate	2017	F21	396.8	130.56			437.98	217.26	1020	8.94
source kraimia	2017	F22	184	69.9			291.58	80.94	435.45	51.63
puits p3 ouled zidane	2017	F23	177.6	33.04	31.5	1.3	172.02	138.27	162.8	110.75
source noir	2017	F24	82	34.33			305.5	24.83	91.36	0.33
forage raffor	2017	F25	145.6	67.2			486.78	241.4	144.5	16.3
source mesdour	2017	F26	45.6	22.08			115.9	48.28	54.64	0

Tableau 11 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2018) en (mg/l)

Forage	Date de prélèvement	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (mg/l)				Anion (mg/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
f8 harkat	2018	F1	114.4	28.895			328.18	113.6	83.975	47.4
f16 sidi ziane	2018	F2	82.1	49.57			341.6	132.06	82.68	40.75
NV forage sidi ziane	2018	F3	96.4	22.11			320.25	108.985	72.76	43.81
f10 sidi ziane	2018	F4	100	38.88			274.1	116.44	65.25	58.87
f11 ouadhia	2018	F5	116.4	21.89			306.85	175.82	70.625	14.89
forage ouled bellil	2018	F6	114.4	17.255			317.45	102.595	98.185	33.795
f1 said abid	2018	F7	105.6	14.58			320.86	82.36	55.22	15.06
forage thameur	2018	F8	70.4	32.56			541.62	183.18	25.6	34.42
forage djaada	2018	F9	70	32.56			416.02	218.68	20.6	63.65

## ANNEXES

f5 hizer	2018	F10	60.4	38.64			335.5	35.145	49.33	2.255
f1 hizer	2018	F11	103.2	42.025			436.15	83.78	38.67	17.23
source hizer	2018	F12	47.2	11.78			197.64	63.19	32.82	1.72
f2 hizer	2018	F13	80	52			396.5	47.57	26.56	41.9
f7 taghzout	2018	F14	80.4	33.27			419.67	134.9	86.965	2.165
melange f3 tafarka	2018	F15	56.8	34.5			377	57.51	31.54	7.57
forage f' tafarka NV	2018	F16	141.9	60.55			533.14	384.82	58.54	
forage ouled el bardi	2018	F17	92.8	36.37			491.66	129.93	79.86	21.18
forage ouled el aalem	2018	F18	136.8	68.52			202.52	213.71	361.5	0
source guergour	2018	F19	139.2	57.35			430.7	81.65	265.44	9.13
puits mehouane	2018	F20	156.8	91.37			420.9	98.69	388.9	0.58
puits merdja	2018	F21	125.6	80.68			374.58	148.02	167.875	17.695
forage maala	2018	F22	115	86.02			184.22	161.59	247.5	6.02
f cha3bet sekran maamoura	2018	F23	108	31.59			494	109.34	521.5	0.39
f belhdoum	2018	F24	180	77.76			414.8	304.59	749.25	5.18
p rabhi	2018	F25	181.6	85.95			375.76	298.91	386.805	1.745
f ridan	2018	F26	88	31.59			324.52	51.83	215	5.93
puits ain el baidha	2018	F27	212.8	55.4			286.7	205.95	167.04	93.43
source noir	2018	F28	62.4	20.9			262.3	18.46	39.02	0.044
forage f51 mchedallah	2018	F29	108	89.91			469.7	209.45	89.7	9.74
forage F1 E1 adjiba	2018	F30	60	36.94			296.46	80.94	70.09	0
forage ouled bouali	2018	F31	105.2	48.11			362.95	224.005	139.405	7.305
forage f1 chorfa	2018	F32	86.4	47.63			390.4	150.52	45.21	20.82
forage f4 chorfa	2018	F33	82.4	47.14			380.64	132.06	81.04	8.23
forage f3 chorfa	2018	F34	88.8	25.995			365.39	110.76	74.38	9.81
forage f2 el esnam	2018	F35	114.4	50.52			451.4	154.07	54.655	73.095
forage f1 guemgouma	2018	F36	88	42.76			462.38	127.09	43.88	104.1
f3 lesnam	2018	F37	84.6	61.23			401.38	132.77	50.4	110.75
forage f1 bechlol	2018	F38	110.4	56.37			386.74	149.81	49.22	110.75
source mesdour	2018	F39	46.4	23.81			213.5	44.28	83.9	2.25

Tableau 12 : conductivité mesuré en  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à 20°C des années (2014-2015-2017-2018)

Conductivité		Conductivité		Conductivité		Conductivité	
Forage	2014	Forage	2015	Forage	2017	Forage	2018
F1	1093	F1	1050	F1	1111	F1	1029.5
F2	1070	F2	1049	F2	1453	F2	1001
F3	1116	F3	1055	F3	960	F3	992
F4	1162	F4	989	F4	998	F4	959
F5	1054	F5	1099	F5	1060.5	F5	1097
F6	1081	F6	1173	F6	1360	F6	966
F7	1130	F7	1397	F7	1035.5	F7	880
F8	971	F8	1406	F8	900.5	F8	1377
F9	1352	F9	1401.5	F9	885.5	F9	1300
F10	1343	F10	1491	F10	853.5	F10	673.5
F11	698.5	F11	2150	F11	1472	F11	896.5
F12	941	F12	2210	F12	1318	F12	303
F13	1033	F13	1676	F13	706.5	F13	800
F14	2180	F14	1580	F14	942.5	F14	990.5
F15	1973	F15	1188	F15	826	F15	767
F16	1292	F16	964	F16	1147	F16	1973
F17	1022	F17	2360	F17	1774.5	F17	1175
F18	1413	F18	1318	F18	1830	F18	1841
F19	654	F19	1452	F19	1256	F19	1171
F20	535	F20	1397	F20	1100	F20	1670
F21	841	F21	824	F21	2041	F21	1597.5
F22	851	F22	877	F22	1326	F22	1712
F23	1467	F23	1522	F23	1288	F23	1766
F24	654	F24	1854	F24	672	F24	2640
F25	1460	F25	1847	F25	1525	F25	2176
F26	825	F26	1703	F26	777	F26	1214
F27	1081	F27	827			F27	1781
F28	1337	F28	2550			F28	499
F29	1276	F29	1125			F29	1385
F30	1139	F30	1298			F30	826
		F31	1350			F31	1451.5
		F32	634			F32	1012
						F33	1011
						F34	952
						F35	1372.5
						F36	1088
						F37	1257
						F38	1336
						F39	625

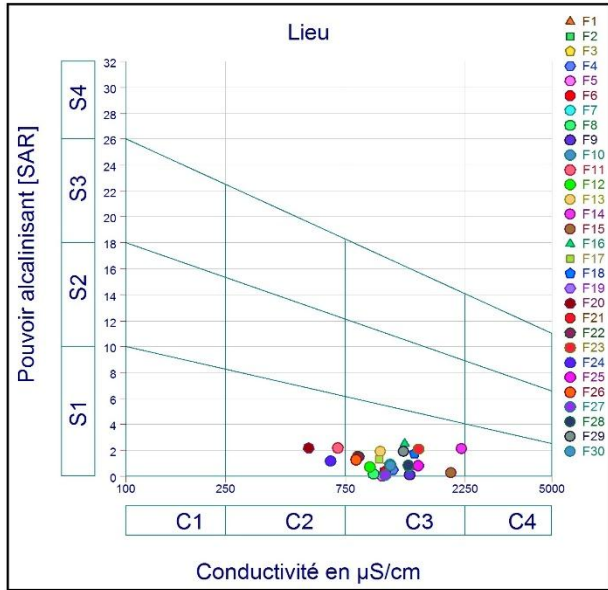


Figure 1 : (SAR 2014)

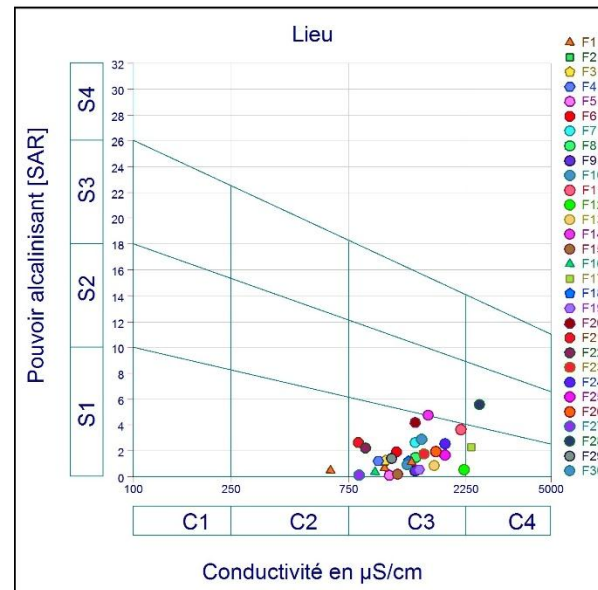


Figure 2 : (SAR 2015)

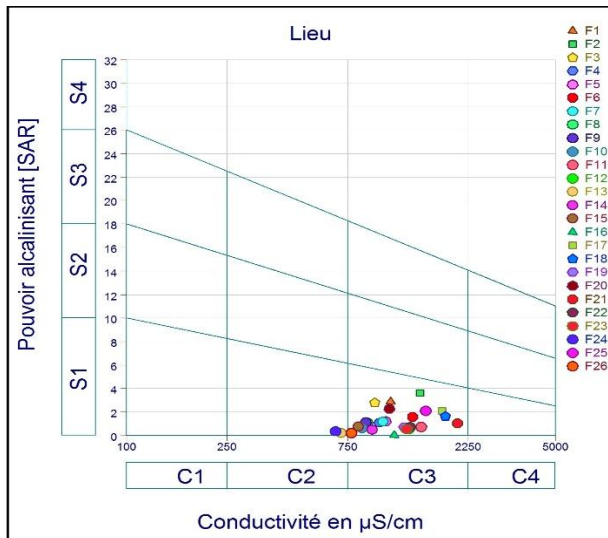


Figure 3 : (SAR 2017)

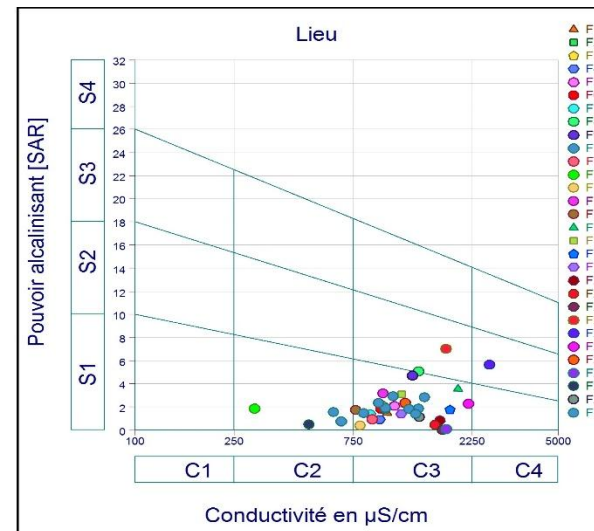


Figure 4 : (SAR 2018)

## ANNEXES

Tableau 13 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira 2016 en (méq/l)

Forage	Année	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (méq/l)				Anion (méq/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Forage f8 harkat	2016	F1	5.709	2.416	1.827	0.023	3.979	3.665	1.450	0.191
Forage f1 sidi ziane	2016	F2	4.950	2.676	1.635	0.026	4.069	3.795	1.438	0.408
Forage f16 sidi ziane	2016	F3	5.150	3.706	1.914	0.036	4.739	4.115	1.431	0.097
NV forage sidi ziane	2016	F4	4.212	3.394	1.705	0.026	4.289	4.685	1.540	0.144
Forage f11 ouadhia	2016	F5	5.509	3.575	2.210	0.026	4.279	5.397	1.053	0.258
Forage f1 said abid	2016	F6	2.834	1.039	1.270	0.033	2.299	0.921	1.014	0.136
Forage f2 said abid	2016	F7	3.234	0.919	1.035	0.033	1.900	1.101	1.290	0.195
Forage djaada	2016	F8	7.545	3.259	2.001	0.023	5.579	5.426	0.815	0.852
Forage f5 haizer	2016	F9	2.815	2.979	1.035	0.036	4.279	1.702	1.272	0.136
Forage f1 haizar	2016	F10	3.753	4.938	0.905	0.038	5.679	1.911	1.048	0.237
Forage f2 haizer	2016	F11	3.513	4.139	0.844	0.049	5.239	1.532	0.897	0.161
Forage f4 taghzout	2016	F12	2.515	3.639	1.253	0.028	4.339	1.162	0.796	0.096
h12+h17+f3 taghzout	2016	F13	4.192	6.199	2.471	0.043	5.159	5.524	0.894	0.252
Forage f3 taghzout	2016	F14	2.355	3.159	1.244	0.043	4.459	2.163	0.377	0.174
Forage oued el-bardi	2016	F15	5.190	3.079	1.614	0.031	3.659	3.675	2.305	0.569
Forage ouled laalem	2016	F16	11.098	5.812	4.472	0.051	5.895	6.899	10.478	0.210
Source guegour	2016	F17	6.907	5.639	0.818	0.079	6.168	1.452	8.206	0.018
Puits mahouene	2016	F18	5.509	9.638	2.592	0.077	6.028	2.694	10.773	0.016
Forage lmaala	2016	F19	8.783	8.744	3.863	0.077	6.898	5.978	9.316	0.190
Forage bakouche	2016	F20	6.268	2.581	0.948	0.020	4.579	1.362	3.198	0.206
Puits guelta zarga	2016	F21	6.667	3.399	1.740	0.018	4.399	2.874	3.848	0.305
Puits ain bidha	2016	F22	11.258	2.319	2.314	0.015	4.019	6.487	4.919	1.786
Puits ouled zidane	2016	F23	8.863	2.719	1.370	0.033	2.819	3.900	3.390	1.786
Forage f51 m'chedallah	2016	F24	5.988	5.570	2.488	0.059	5.278	5.227	4.327	0.230
Forage f2 semmache	2016	F25	4.631	4.959	2.801	0.087	2.079	5.087	2.919	0.059
F3 semmache	2016	F26	3.593	3.119	1.679	0.074	4.189	2.734	2.482	0.057

## ANNEXES

F1 el adjiba	2016	F27	3.174	3.263	2.453	0.102	4.079	2.894	2.159	0.012
F2 el adjiba	2016	F28	5.110	4.799	2.471	0.064	4.939	4.439	3.202	0.096
Forage F1 chorfa	2016	F29	6.008	3.222	2.410	0.054	4.519	3.494	1.621	0.044
F4 chorfa	2016	F30	3.872	4.666	1.418	0.046	4.289	2.357	2.290	0.128
F3 chorfa	2016	F31	4.431	2.655	1.157	0.054	4.299	2.321	1.693	0.144
F2 el asnam	2016	F32	6.467	1.359	1.931	0.033	4.799	3.585	0.814	1.468
F1 guemgouma	2016	F33	6.048	2.695	1.966	0.033	5.208	3.544	0.861	1.072
Source mesdour	2016	F34	2.136	2.088	2.349	0.084	3.259	1.882	2.370	0.019
Puits tarfa	2016	F35	14.053	9.845	5.220	0.059	6.014	4.876	22.942	0.138

Tableau 14 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira 2014 en méq/l

Forage	Année	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (méq/l)				Anion (méq/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Forage f8 harkat	2014	F1	6.138	2.353	1.375		4.794	3.904	0.880	0.289
Forage f10 sidi ziane	2014	F2	5.988	2.460	0.779		4.618	2.804	1.615	0.190
Forage f16 sidi ziane	2014	F3	5.190	2.238	1.747		5.138	2.804	1.116	0.117
Forage f19 sidi ziane	2014	F4	6.238	2.559	1.024		5.618	2.764	1.264	0.176
NV forage sidi ziane	2014	F5	4.312	5.359	0.063		5.499	2.563	1.565	0.106
Forage ouled bellil	2014	F6	4.471	3.679	0.772		5.058	3.083	0.752	0.030
Forage f11 ouadhia	2014	F7	5.240	2.814	1.958		4.314	4.364	1.072	0.264
Forage said abid	2014	F8	5.589	1.959	0.367		4.877	1.983	0.794	0.261
Forage thameur	2014	F9	7.186	5.199	0.293		6.098	4.928	1.323	0.329
Forage djaada	2014	F10	6.787	4.159	1.852		5.900	5.007	1.357	0.534
Forage f5 haizer	2014	F11	3.653	2.739	3.923		6.938	2.450	0.875	0.053
Forage f2 haizer	2014	F12	5.090	3.079	1.495		6.579	2.043	0.858	0.185
Forage f7 taferka	2014	F13	5.040	4.799	4.215		8.298	4.928	0.780	0.049
Puit P2 aomar	2014	F14	7.984	5.599	5.595		7.418	6.550	5.150	0.061

## ANNEXES

Forage ouled laalem	2014	F15	10.380	5.599	0.782		6.698	4.866	5.163	0.034
Forage souagui	2014	F16	4.871	5.439	5.700		6.857	2.744	6.100	0.308
Forage guelta zerga	2014	F17	5.639	2.599	2.713		6.298	1.882	2.156	0.614
Source ain el baidha	2014	F18	6.787	3.279	4.019		4.058	3.785	5.390	0.851
Source ben younes	2014	F19	3.314	2.720	2.061		5.618	1.582	0.448	0.446
Source noire	2014	F20	2.475	1.600	3.106		4.499	1.581	1.087	0.015
Forage f1 semache	2014	F21	4.431	2.040	2.782		4.278	2.964	1.994	0.018
Forage f3 semmache	2014	F22	4.272	2.479	2.756		4.419	2.945	2.122	0.022
Forage arkoub taourirt	2014	F23	7.885	2.559	4.768		5.977	4.787	4.247	0.201
Puit safia taourirt	2014	F24	3.314	2.720	2.061		5.618	1.582	0.448	0.446
Forage ouled bouali	2014	F25	5.439	3.919	1.768		2.619	5.187	3.239	0.082
Forage f3 chorfa	2014	F26	3.593	3.240	2.400		4.718	3.345	1.139	0.030
Forage f1 guemgouma	2014	F27	7.336	2.880	0.245		6.572	2.905	0.732	0.252
Forage f2 el esnam	2014	F28	5.988	5.201	2.053		6.736	4.993	0.851	0.663
Forage f3 el esnam	2014	F29	7.086	2.559	4.213		6.851	4.457	1.196	1.355
Forage f1 bechloul	2014	F30	6.687	4.238	1.930		6.179	4.710	1.098	0.868

Tableau 15 : Caractères chimiques des eaux de forage de la wilaya de Bouira (ADE 2015) en (méq/l)

Forage	Année	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (méq/l)				Anion (méq/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
forage f8 harkat	2015	F1	3.546	3.986	1.372		3.672	3.344	1.507	0.381
forage f10 sidi ziane	2015	F2	3.154	4.582	2.344		5.392	2.884	1.682	0.121
forage f16 sidi ziane	2015	F3	4.391	3.759	2.548		5.179	3.525	1.867	0.128
NV forage sidi ziane	2015	F4	3.703	2.962	2.254		4.769	2.844	1.044	0.262
forage ouled bellil	2015	F5	6.787	1.200	0.248		3.450	3.004	1.066	0.714
forage f11 ouadhia	2015	F6	4.791	2.639	3.707		4.419	4.967	1.655	0.097
forage thameur	2015	F7	7.505	1.224	5.586		6.738	6.487	1.088	0.003
forage djaada	2015	F8	7.086	2.479	3.317		6.058	5.108	1.001	0.714

## ANNEXES

---

forage f5 hizer	2015	F9	2.954	3.264	0.825		5.094	1.081	0.709	0.158
melange f7+f12 taferka	2015	F10	4.631	3.999	5.984		6.298	7.029	1.116	0.171
forage boulerbah	2015	F11	11.338	4.159	10.218		5.339	8.211	11.976	0.190
forage ouled el alem	2015	F12	11.019	7.584	1.726		7.098	6.028	7.115	0.086
puits mehouane	2015	F13	7.905	6.638	2.356		5.339	2.603	8.957	0.000
puits p2 merdja	2015	F14	8.224	3.338	11.485		7.098	4.406	11.305	0.239
forage souagi	2015	F15	7.461	3.566	0.471		6.458	2.307	2.575	0.159
puits guelta zerga	2015	F16	5.948	2.120	0.718		4.499	1.362	2.814	0.111
puits khlifat	2015	F17	13.733	6.878	7.275		5.419	4.666	17.764	0.038
puits ouled zidan	2015	F18	7.266	2.799	2.764		3.032	3.324	4.687	1.786
source noir	2015	F19	2.036	1.975	0.802		3.879	0.200	0.731	0.003
forage f51 mchedallah	2015	F20	7.106	1.619	8.738		8.698	5.709	2.849	0.208
forage f1 semmache	2015	F21	3.034	2.642	4.468		5.199	3.004	1.941	0.000
forage f3 semache	2015	F22	3.314	3.120	3.979		5.339	3.063	2.000	0.011
forage arkoub taourirt	2015	F23	6.867	4.879	4.355		5.499	6.366	4.076	0.159
puits safia taourirt	2015	F24	7.905	4.799	6.494		5.898	8.169	4.979	0.152
puits thazrourt taourirt	2015	F25	7.505	6.158	4.446		5.418	7.968	4.482	0.241
forage ouled bouali	2015	F26	7.426	5.039	4.911		5.858	8.011	3.357	0.150
forage f3 chorfa	2015	F27	4.631	2.240	0.242		4.720	1.129	0.209	0.016
puits tarfa	2015	F28	14.691	8.318	18.947		15.576	10.814	15.553	0.014
forage f1 guemgouma	2015	F29	6.238	1.520	2.776		5.179	3.424	0.859	1.072
melange f2+f3 el esnam	2015	F30	7.436	2.000	2.006		5.699	3.907	1.122	0.714
forage f3 el esnam	2015	F31	7.186	2.240	2.482		5.619	4.186	1.031	1.072
source mezdour	2015	F32	2.475	3.040	0.798		2.979	1.462	1.872	0.000

## ANNEXES

Tableau 16 : caractère chimique des eaux souterraines année 2017 en (méq/l)

Forage	Année de prélèvement	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (méq/l)				Anion (méq/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
forage f8 harkat	2017	F1	5.509	2.765	5.886		4.139	3.785	5.521	0.714
forage f21	2017	F2	4.791	3.950	7.559		5.099	7.991	2.496	0.714
NV forage f2 sidi ziane	2017	F3	5.829	2.288	5.657		4.019	3.344	5.740	0.670
f1+f2 sidi zian	2017	F4	5.948	2.074	2.190		4.969	3.034	1.524	0.686
forage f11 ouadhia	2017	F5	5.509	2.449	2.459		4.929	3.925	1.353	0.210
f13 sidi ziane	2017	F6	8.304	2.400	3.719		6.858	4.906	2.596	0.061
f16 sidi ziane	2017	F7	5.190	2.864	2.424		5.249	2.824	1.905	0.500
f10	2017	F8	4.791	2.409	2.052		5.309	2.503	1.024	0.416
f1 said abid	2017	F9	4.771	2.366	2.139		6.331	1.913	0.965	0.067
f2 said abid	2017	F10	5.389	1.648	1.177		4.999	2.083	0.935	0.199
forage thameur	2017	F11	7.346	2.879	1.696	0.023	3.459	5.668	1.624	0.990
forage djaada	2017	F12	7.186	2.559	1.203		3.299	5.547	1.624	0.478
f5 hizer	2017	F13	3.194	3.418	0.424		4.599	1.111	1.155	0.171
f1 hizer	2017	F14	4.611	4.035	1.007		6.278	1.742	1.107	0.526
f2 hizer	2017	F15	3.513	3.933	1.541		5.848	1.502	1.040	0.597
forage oued el berdi	2017	F16	4.272	4.239	0.137		2.959	3.224	1.770	0.694
forage ouled el elaalem	2017	F17	6.316	5.279	5.011		5.479	4.226	6.728	0.174
forage maala	2017	F18	7.346	7.948	4.536		5.848	6.579	7.383	0.019
puits marhanja	2017	F19	6.946	3.081	1.656		7.578	4.105	0.000	0.000
puits guelta zerga	2017	F20	5.908	2.479	4.655		5.538	3.885	2.916	0.703
puits khlifate	2017	F21	19.801	10.743	4.142		7.178	6.128	21.237	0.144
source kraimia	2017	F22	9.182	5.752	2.027		4.779	2.283	9.066	0.833
puits p3 ouled zidane	2017	F23	8.863	2.719	1.370	0.033	2.819	3.900	3.390	1.786
source noir	2017	F24	4.092	2.825	0.698		5.007	0.700	1.902	0.005
forage raffor	2017	F25	7.266	5.530	5.263		7.978	6.809	3.009	0.263
source mesdour	2017	F26	2.276	1.817	0.306		1.900	1.362	1.138	0.000

## ANNEXES

Tableau 17 : caractère chimique des eaux souterraines année 2018 en (méq/l)

Forage	Année de prélèvement	N°	Paramètres chimiques							
			Cation (méq/l)				Anion (méq/l)			
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
f8 harkat	2018	F1	5.709	2.378	3.009		5.379	3.204	1.748	0.764
f16 sidi ziane	2018	F2	4.097	4.079	3.526		5.599	3.725	1.721	0.657
NV forage sidi ziane	2018	F3	4.811	1.819	3.914		5.249	3.074	1.515	0.707
f10 sidi ziane	2018	F4	4.990	3.199	1.895		4.492	3.284	1.359	0.949
f11 ouadhia	2018	F5	5.809	1.801	4.089		5.029	4.959	1.470	0.240
forage ouled bellil	2018	F6	5.709	1.420	3.557		5.203	2.894	2.044	0.545
f1 said abid	2018	F7	5.270	1.200	2.505		5.259	2.323	1.150	0.243
forage thameur	2018	F8	3.513	2.679	8.939		8.877	5.167	0.533	0.555
forage djaada	2018	F9	3.493	2.679	8.269		6.818	6.168	0.429	1.027
f5 hizer	2018	F10	3.014	3.180	1.360		5.499	0.991	1.027	0.036
f1 hizer	2018	F11	5.150	3.458	1.986		7.148	2.363	0.805	0.278
source hizer	2018	F12	2.355	0.969	2.408		3.239	1.782	0.683	0.028
f2 hizer	2018	F13	3.992	4.279	0.798		6.498	1.342	0.553	0.676
f7 taghzout	2018	F14	4.012	2.738	5.779		6.878	3.805	1.811	0.035
melange f3 tafarka	2018	F15	2.834	2.839	2.906		6.179	1.622	0.657	0.122
forage f' tafarka NV	2018	F16	7.081	4.983	8.747		8.738	10.854	1.219	0.000
forage ouled el bardi	2018	F17	4.631	2.993	6.103		8.058	3.665	1.663	0.342
forage ouled el aalem	2018	F18	6.827	5.638	4.409		3.319	6.028	7.526	0.000
source guergour	2018	F19	6.946	4.719	3.370		7.059	2.303	5.526	0.147
puits mehouane	2018	F20	7.825	7.519	2.445		6.898	2.784	8.097	0.009
puits merdja	2018	F21	6.268	6.639	1.188		6.139	4.175	3.495	0.285
forage maala	2018	F22	5.739	7.078	0.010		3.019	4.558	5.153	0.097
f cha3bet sekran maamoura	2018	F23	5.389	2.599	14.055		8.096	3.084	10.858	0.006
f belhdoum	2018	F24	8.982	6.399	15.691		6.798	8.591	15.599	0.084

## ANNEXES

---

p rabhi	2018	F25	9.062	7.073	6.536		6.158	8.431	8.053	0.028
f ridan	2018	F26	4.391	2.599	4.362		5.319	1.462	4.476	0.096
puits ain el baidha	2018	F27	10.619	4.559	0.314		4.699	5.809	3.478	1.507
source noir	2018	F28	3.114	1.720	0.799		4.299	0.521	0.812	0.001
forage f51 mchedallah	2018	F29	5.389	7.398	2.842		7.698	5.908	1.868	0.157
forage F1 E1 adjiba	2018	F30	2.994	3.040	2.567		4.859	2.283	1.459	0.000
forage ouled bouali	2018	F31	5.250	3.959	6.078		5.948	6.318	2.902	0.118
forage f1 chorfa	2018	F32	4.312	3.919	3.690		6.398	4.246	0.941	0.336
forage f4 chorfa	2018	F33	4.112	3.879	3.792		6.238	3.725	1.687	0.133
forage f3 chorfa	2018	F34	4.431	2.139	4.249		5.988	3.124	1.549	0.158
forage f2 el esnam	2018	F35	5.709	4.157	4.195		7.398	4.346	1.138	1.179
forage f1 guemgouma	2018	F36	4.391	3.519	5.845		7.578	3.585	0.914	1.679
f3 lesnam	2018	F37	4.222	5.038	3.899		6.578	3.745	1.049	1.786
forage f1 bechlol	2018	F38	5.509	4.639	3.227		6.338	4.226	1.025	1.786
source mesdour	2018	F39	2.315	1.959	2.256		3.499	1.249	1.747	0.036