

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



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département Génie Civil

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :  
MANSOUR Dalila

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

**Filière : HYDRAULIQUE**  
**Option : RESSOURCES HYDRAULIQUES**

**Thème**

**Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines du bassin  
versant sahel par la méthode IQES**

**Devant le jury composé de :**

Nom et prénom	Grade	UAMOB	Qualité
Mr METAICH Mehdi	MCA	UAMOB	Président
Mme REZIG Amina	MAA	UAMOB	Promotrice
Mme SIFOUN Naima	MCB	UAMOB	Examinatrice
Mr DJAFARKHODJA Hakim	MCB	UAMOB	Examinateur

**Année Universitaire 2020/2021**

# *Dédicace*

## *Je dédie ce modeste travail*

### *À mon père*

*Vous avez fait d'énormes sacrifices pour vos enfants et vous n'avez jamais cessé de nous prodiguer des conseils pour le droit chemin. Que votre simplicité, votre disponibilité, et votre respect pour les autres me servent d'exemples*

### *À ma mère*

*Les mots me manquent pour vous qualifier, tout ce que j'aurais à dire ne saurait, exprimer à fond tout le sacrifice et l'endurance que vous avez consentis pour nous élever. Je vous demande pardon et vos bénédictions nuits et jours. Je ne saurais jamais vous remercier assez. Seul Dieu peut vous gratifier de tout ce que vous avez fait pour nous. Que Dieu le tout puissant vous accorde longue vie, bonne santé et bonheur à nos côtés et qu'il puisse me donner les moyens nécessaires pour affronter les épreuves de la vie.*

## *Je le dédie également*

*À mes grands parents et je les remercie pour leurs encouragements, leurs conseils, et leurs soutiens,*

*À toute ma famille, mes sœurs, mon frère*

*À tous mes amis(es) et collègues À toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.*

*Dalila*

# ***REMERCIEMENTS***

Avant tout, je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir accordé, le courage et la patience pour mener à terme ce travail.

Je remercie également ma promotrice Madame **REZIG Amina** de m'avoir proposé ce thème et de m'avoir encadré, guider et accompagner dans ce travail que sa compréhension, ses précieux conseils, son humour et surtout pour sa patience

Je témoigne ma reconnaissance aussi à tous les enseignants du département de Département Génie Civil qui ont participé dans ma formation.

Comme je remercie **SAIKLA** pour son aide au sein de laboratoire ADE de Bouira  
Je tiens à remercier sincèrement l'ensemble des personnes qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce travail :

- Les membres du personnel de la Direction des Ressources en Eau (DRE) de la wilaya de Bouira.
- Tout le personnel de laboratoire ADE de la wilaya de Bouira pour leurs aides.

Mes remerciements sont destinés aussi aux membres du jury de m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail.

***Dalila***

## ***Résumé***

Ce travail est consacré à l'utilisation de la méthode IQES (calcul de l'indice de qualité des eaux souterraines) pour évaluer la qualité physico-chimique de 23 forages dans le bassin sahel situé dans la willaya de Bouira.

Cette étude a été réalisée par l'introspection des résultats des analyses physico-chimique des échantillons d'eau prélevés en 2019 en utilisant la cartographie avec ArcGIS et les diagrammes chimiques (piper, Schoëller, Stiff, Stabler ) à l'aide de logiciel (DIAGRAMMES) et l'application des analyses par la méthodes d'indice de qualité d'eau souterraine IQES

**Mots clé :** IQES, d'eau souterraine, bassin sahel,paramètres physico-chimique, forages.

## ***Abstract***

The present work is devoted to use the method of calculating the IQES groundwater quality index to assess the physicochemical quality of 23 boreholes in the Sahel basin located in the wilaya of Bouira.

This study was carried out by introspection of the results of chemical analyzes of water samples taken in 2019 using mapping with ArcGIS and chemical diagrams (piper, Schoëller, Stiff, Stabler) using software (DIAGRAMS) and the application of analyzes by the IQES ground water quality index method

**Keywords:** IQES, ground water, Sahel basin,paramatres physicochemical, boreholes.

## ***ملخص***

تم تخصيص هذه الدراسة لحساب مؤشر جودة المياه الجوفية و لتقييم الجودة الفيزيوكيميائية لي 23 بئرا في حوض الساحل الواقع بولاية البويرة.

أجريت هذه الدراسة باستخدام نتائج التحليلات الكيميائية لعينات المياه المأخوذة في عام 2019 و تقييمها بواسطة الخرائط و المخططات الكيميائية و تطبيق التحليلات بطريقة حساب مؤشر جودة المياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية, حوض الساحل, المؤشرات الفيزيوكيميائية, مؤشر جودة المياه.

# Sommaire

<i>Introduction générale</i> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I**

1. <i>Introduction</i> .....	3
2. <i>Les eaux souterraines</i> .....	3
3. <i>Les nappes de l'eau</i> .....	4
3.1 <i>Les Nappes karstiques</i> .....	4
3.2 <i>Les Nappes profondes</i> .....	4
3.2.1 <i>Une nappe libre</i> .....	5
3.2.2 <i>Une nappe captive</i> .....	5
3.3 <i>Nappes phréatiques</i> .....	5
3.4 <i>La nappe alluviale</i> .....	5
4. <i>Concept d'aquifère</i> .....	5
4.1 <i>Les aquifères alluviaux</i> .....	5
4.2 <i>Les aquifères de roche sédimentaires</i> .....	6
4.3 <i>Les aquifères de roche cristallines et volcaniques</i> .....	6
5. <i>Paramètres de la qualité des eaux souterraines</i> .....	6
6. <i>Principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface</i> .....	6
7. <i>Les origines des eaux souterraines</i> .....	7
7.1 <i>Eaux météoriques</i> .....	7
7.2 <i>Eaux juvéniles</i> .....	8
7.3 <i>Eaux connées</i> .....	8
8. <i>Composition des eaux souterraines</i> .....	8
8.1 <i>Ions majeurs</i> .....	8
8.2 <i>Ions mineurs</i> .....	8
8.3 <i>Eléments traces et gaz dissous</i> .....	8
9. <i>La qualité de l'eau de consommation</i> .....	9
9.1 <i>La qualité des eaux souterraines</i> .....	9
9.2 <i>Les caractéristiques organoleptiques</i> .....	10

9.2.1	Couleur.....	10
9.2.2	Odeur.....	10
9.2.3	Goût et saveur .....	10
9.2.4	Turbidité.....	10
9.3	Les caractéristiques physico-chimique.....	10
9.3.1	Température .....	10
9.3.2	Conductivité électrique .....	11
9.3.3	Potentiel d'hydrogène .....	11
9.4	Les matières en suspensions (MES).....	11
9.5	Dureté totale ou titre hydrotimétrique.....	11
9.6	Les cations .....	12
9.6.1	Calcium ( <b>Ca<sup>2+</sup></b> ).....	12
9.6.2	Magnésium ( <b>Mg<sup>2+</sup></b> ).....	12
9.6.3	Potassium ( <b>K<sup>+</sup></b> ).....	12
9.7	Sodium ( <b>Na<sup>+</sup></b> ).....	13
9.8	Les anions.....	13
9.8.1	Les sulfates( <b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> ).....	13
9.8.2	Les nitrates ( <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> ).....	13
9.8.3	Les chlorures ( <b>Cl<sup>-</sup></b> ).....	13
9.9	Les éléments en trace.....	13
9.9.1	Les nitrites ( <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> ).....	13
9.10	Fer : .....	14
10.	Critères et normes de potabilité des eaux .....	14
10.1	La pollution des eaux souterraines.....	15
11.	Les critères de pollution des eaux souterraines .....	15
11.1	Selon l'origine de pollution .....	16
11.1.1	Pollution d'origine domestique.....	16
11.1.2	Pollution d'origine industrielle.....	17
11.1.3	Pollution d'origine agricole : .....	17
11.1.4	Pollution d'origine urbaine.....	17
11.2	Selon la nature de pollution.....	17

11.2.1	<i>Pollution physique</i> .....	17
11.2.2	<i>Pollution chimique</i> .....	18
11.2.3	<i>Pollution biologique</i> .....	18
12.	<i>Conséquences de la pollution</i> .....	18
12.1	<i>Conséquences écologiques</i> .....	18
12.1.1	<i>Conséquences sanitaires</i> .....	18
12.1.2	<i>Conséquences esthétiques</i> .....	18
13.	<i>Les maladies à transmission hydrique</i> .....	19
13.1	<i>Les maladies hydriques liées aux éléments chimiques</i> .....	19
14.	<i>Conclusion</i> .....	19

## **Chapitre II**

1.	<i>Introduction</i> .....	20
2.	<i>Cadre géographique de la zone d'étude</i> .....	20
2.1	<i>Localisation géographique de la wilaya de Bouira :</i> .....	20
2.2	<i>Présentation administratif de la wilaya de Bouira :</i> .....	21
3	<i>Géomorphologie</i> .....	21
4	<i>.Le contexte climatologique</i> .....	22
4.1	<i>La Température</i> .....	22
4.2	<i>Les précipitations</i> .....	23
4.3	<i>Le vent :</i> .....	24
4.4	<i>L'humidité relative</i> .....	25
5	<i>L'hydrographie</i> .....	25
6	<i>Les ressources hydriques souterraines destinées à la consommation dans la wilaya de Bouira</i> .....	26
7	<i>Contexte socio-économique :</i> .....	26
7.1	<i>La végétation</i> .....	26
7.2	<i>Activités industrielles</i> .....	27
7.3	<i>Population</i> .....	27
8	<i>Situation du bassin sahel</i> .....	27
8.1	<i>Caractéristiques du bassin Sahel</i> .....	28

9	<i>Géologie du bassin Sahel</i> .....	29
	9.1 <i>Géologie et géomorphologie du plateau d'El Esnam</i> .....	29
10	<i>Hydrogéologie de la zone</i> .....	30
11	<i>Caractéristiques du réseau hydrographique</i> .....	31
	11.1 <i>Classification de Schumm</i> .....	3
12	<i>La courbe hypsométrique du bassin versant Sahel</i> .....	33
	12.1 <i>Les altitudes caractéristiques</i> .....	34
	12.1.1 <i>Altitudes minimale et maximale</i> .....	34
	12.1.2 <i>Altitude moyenne</i> .....	34
	12.1.3 <i>Altitude médiane</i> .....	34
13	<i>Conclusion</i> .....	35

### **Chapitre III**

1	<i>Introduction</i> .....	36
2	<i>Méthodes d'acquisition des données</i> .....	36
	2.1 <i>Echantillonnage</i> .....	36
	2.1.1 <i>Conservation des échantillons</i> .....	37
	2.1.2 <i>Choix et localisation des points de prélèvement :</i> .....	37
3	<i>Technique d'analyse réalisées</i> .....	39
	3.1 <i>Détermination du pH</i> .....	39
	3.2 <i>Détermination de la conductivité</i> .....	39
	3.3 <i>Dosage des éléments chimique par spectrométrie</i> .....	39
	3.3.1 <i>Nitrate <b>NO<sub>3</sub></b> –</i> .....	39
	3.3.2 <i>Les sulfates <b>SO<sub>4</sub> – 2</b></i> .....	39
	3.4 <i>Dosage par méthode titrimétrique</i> .....	40
	3.4.1 <i>Dosage de la dureté totale par méthode titrimétrique a l'EDTA</i> .....	40
	3.4.2 <i>Dosage du calcium</i> .....	40
	3.4.3 <i>Dosage des Chlorures (<b>Cl<sup>-</sup></b>)</i> .....	40
4	<i>Vérification de la balance ionique</i> .....	40
5	<i>Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux</i> .....	41
	5.1 <i>Présentation de logiciel diagrammes</i> .....	41



5.1.1	Le diagramme de Piper .....	42
5.1.2	Le diagramme vertical (Schoëller Berkaloff).....	43
5.1.3	Diagramme de Stiff.....	44
5.1.4	Diagramme de Stabler .....	46
5.2	Présentation de logiciel Arc GIS 10.8.....	46
6	Méthode de calcul de l'indice de qualité d'eau souterraines IQES.....	47
7	Conclusion .....	49

## **Chapitre IV**

1	Introduction.....	50
2	Evaluation de la qualité des eaux des forages pour étudiées : .....	50
2.1	Température (°C).....	50
	Figure IV.1 : Variation de Température au niveau des points de prélèvement .....	50
2.2	Potentiel d'hydrogène 'pH ' .....	51
2.3	Conductivité électrique (CE).....	52
2.4	La dureté (TH).....	53
2.5	Titre alcalimétrique complet (TAC) .....	54
2.6	Cations.....	55
2.6.1	Calcium .....	55
2.6.2	Magnésium $Mg^{2+}$ .....	56
2.6.3	Sodium $Na^{+}$ .....	58
2.6.4	Potassium $K^{+}$ .....	59
2.7	Les Anions : .....	61
2.7.1	Chlorure $Cl^{-}$ .....	61
2.7.2	Sulfate $SO_4$ .....	63
2.7.3	Nitrate $NO_3^{-}$ .....	64
3	Calcul de la balance ionique.....	65
4	Calcul de l'indice de la qualité de l'eau (IQE) : .....	67
4.1	Classification selon l'IQES .....	67
5	Evaluation de potabilité des eaux souterraines.....	69
6	Classification chimiques des eaux souterraines.....	70
6.1	Classification de Piper .....	70

6.2	<i>Classification de Schoëller-Berkaloff</i> .....	72
6.3	<i>Classification selon diagramme de Stiff</i> :.....	74
6.4	<i>Classification selon diagramme de Stabler</i> .....	76
7	<i>Conclusion</i> .....	77
	<i>Conclusion générale</i> .....	78

# **Liste des tableaux**

## **Chapitre I**

Tableau I.1 : Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Bourrier et Selmi 2011) .....	6
Tableau I.2 : Classification de l'eau selon la dureté totale.....	11
Tableau I.3 : Normes des Paramètres physico-chimiques (Source : Rodier, 1996.et JORA,..	14
Tableau I.4 : Normes des Paramètres physico-chimiques(Ions) (Source : Rodier, 1996.et JORA, 2014).....	16

## **Chapitre II**

Tableau II. 1 : Découpage administratif de Bouira (ANIRF).....	22
Tableau II.2 : Ressources hydriques souterraines (DSP Bouira, 2018).....	28
Tableau II.3 : Caractéristiques du bassin versant Sahel avec Arcgis .....	30
Tableau II.4 : Fréquences des ordres du bassin versant Sahel.....	35

## **Chapitre III**

Tableau III. 1 : coordonnées des points de prélèvements (source : ADE Bouira).....	39
Tableau III. 2 : fiabilité des analyses d'après l'indice de balance ionique .....	43
Tableau III. 3 : Diagramme de Stiff pour 11 échantillons d'eaux différentes (METAICH, 2020).....	46
Tableau III. 4 : Poids des paramètres physico-chimiques .....	50
Tableau III. 5 : Classification de l'eau selon l'IQE (Sahu & Sikdar, (2008).....	51

## **Chapitre IV**

Tableau IV. 1 : Qualité de l'eau en fonction du TH (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969) .....	55
Et sur l'ensemble des autres forages, les analyses présentent une fiabilité excellente et acceptable, à médiocre donc elles peuvent être validées. (Voir Tableau IV. 2 ).....	66
Tableau IV. 2 : Résultats de la balance ionique des analyses physico-chimie.....	67
La classification des eaux analysées et faite d'après le tableau de Classification de l'eau selon l'IQE (Tableau III. 3 ) Les résultats de calcul de ce indice et présentés dans le tableau suivant :.....	68
Tableau IV. 4 : Résultats de calcul de IQES pour le forage F1 .....	68
Tableau IV. 5 : résultats et classification des eaux étudiées selon IQES.....	69
Tableau IV. 6 : résultats et classification des eaux étudiées selon IQES..... ;.....	67

# Liste des figures

## Chapitre I

- Figure I.1 : Présentation des eaux souterraines (Ramsar, 2010)..... 3  
Figure I.2 : Les types de pollution souterraine (Mansour et Djaballah 2016) ..... 17

## Chapitre II

- Figure II.1 : Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira (REZIG A, 2019)..... 22  
Figure II.2 : Variation des températures moyennes mensuelles (2009-2019) (station de Bouira) ..... 24  
Figure II.3 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (2009-2019) (station pluviométrique de Bouira) ..... 25  
Figure II.4 : Variation moyennes mensuelles de la vitesse du vent (2009-2019) (station pluviométrique de Bouira) ..... 26  
Figure II.5 : Variation des humidités moyenne mensuelles 2009/2019 (station pluviométrique de Bouira)..... 27  
Figure II.6 : Bassin versant Sahel et sa situation dans le BV Soummam (FREDJ, 2020)..... 30  
Figure II.7 : Carte des sols du bassin versant Sahel et Soummam ..... 32  
Figure II.8 Carte des sols du l'oued sahel (CHIKHI, 2016)..... 33  
Figure II.9 Classification de Schumm du bassin versant Sahel (référence) ..... 34  
Figure II.10 : L'altitude en fonction de la surface partielle cumulée ..... 35  
Figure II.11 : La méthode de détermination de l'altitude médiane ..... 37

## Chapitre III

- Figure III. 1 : Situation des forages dans le bassin Sahel ..... 38  
Figure III.2 : Interface de logiciel Diagrammes ..... 43  
Figure III. 3 Diagramme de Piper ..... 44  
Figure III. 4 : Diagramme de Schoëller-Berkaloff ..... 45  
Figure III. 5 Diagramme de Stabler pour un échantillon d'eau quelconque ..... 47  
Figure III. 6 Interface de logiciel Arc GIS 10.8 ..... 48


## **Chapitre IV**

<i>Figure IV.1 : Variation de Température au niveau des points de prélèvement</i> .....	51
<i>Figure IV. 2 : Variation du pH au niveau des points de prélèvement</i> .....	52
<i>Figure IV.3 : Carte de Variation du potentiel d'hydrogène pH au niveau de bassin sahel</i> ....	52
<i>Figure IV. 4 : Variation de la conductivité des forages étudiés en (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</i> .....	53
<i>Figure IV.5 : Variation de la dureté des forages étudiés en (<math>^{\circ}\text{F}</math>)</i> .....	54
<i>Figure IV. 6 : Variation de TAC des forages étudiés en (<math>^{\circ}\text{F}</math>)</i> .....	55
<i>Figure IV. 7 : Carte des variations de TAC dans la zone d'étude</i> .....	55
<i>Figure IV. 8 : variations de calcium des forages étudiés (mg/l)</i> .....	56
<i>Figure IV. 9 : Carte des variations de calcium dans la zone d'étude</i> .....	56
<i>Figure IV.10: variations de magnésium des forages étudiés (mg/l)</i> .....	57
<i>Figure IV.11 : Carte des variations de magnésium dans le bassin Sahel</i> .....	58
<i>Figure IV. 12 : variations de sodium des forages étudiés (mg/l)</i> .....	59
<i>Figure IV. 13 Carte des variations de Sodium dans le bassin Sahel</i> .....	59
<i>Figure IV. 14 : variations de potassium des forages étudiés (mg/l)</i> .....	60
<i>Figure IV. 15 : Carte des variations de potassium dans le bassin Sahel</i> .....	61
<i>Figure IV. 16 : Carte des variations des chlorures dans le bassin Sahel</i> .....	62
<i>Figure IV. 17 : variations des chlorures des forages étudiés (mg/l)</i> .....	62
<i>Figure IV. 18 : Concentrations des sulfates dans les forages étudiés (mg/l)</i> .....	63
<i>Figure IV. 19 : Carte des variations des Sulfates dans le bassin Sahel</i> .....	63
<i>Figure IV. 20 : Concentrations des Nitrates dans les forages du bassin sahel (mg/l)</i> .....	64
<i>Figure IV. 21 : Carte des variations des nitrates dans le bassin Sahel</i> .....	65
<i>Figure IV. 22 : Carte des variations d'IQES dans le bassin Sahel</i> .....	69
<i>Figure IV. 23 : Représentation des analyses chimiques anion et des cations sur le diagramme de Piper pour les forages (de F1 a F10)</i> .....	70
<i>Figure IV.24 : Représentation des analyses chimiques anion et des cations sur le diagramme de Piper pour les forages (de F11 a f23)</i> .....	71
<i>Figure IV. 25 : Représentation des résultats d'analyses (F1, F14 Forages) selon le diagramme de Schoëller-Berkaloff</i> .....	72
<i>Figure IV. 26 : Représentation des résultats d'analyses (F15, F23 Forages) selon le diagramme de Schoëller-Berkaloff</i> .....	73
<i>Figure IV. 27 : Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de Stiff</i> .....	75
<i>Figure IV. 28 : Classification des eaux selon diagramme de Stabler</i> .....	76

## *Liste des abréviations*

---

- **ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- **OMS** : Organisation mondiale de la santé
- **DSP** : Direction de santé et de la population
- **μS** : Micro siemens
- **TA** : titre alcalimétrique
- **TAC** : titre alcalimétrique complet
- **JORA** : journal officiel de la république algérienne
- **TH** : Titre hydrométrique
- **EDTA** : Acide Ethylène Diamine Tétracétique
- **pH** : Potentiel d'Hydrogène
- **ADE** : Algérienne Des Eaux



*Introduction  
générale*

## *Introduction générale*

Les eaux souterraines constituent une source importante d'eau potable pour de nombreuses personnes à travers le monde, notamment dans les zones rurales. Les eaux souterraines peuvent être contaminées à partir de sources naturelles ou de nombreux types d'activités humaines. Les activités résidentielles, commerciales, industrielles et agricoles peuvent aussi affecter la qualité des eaux souterraines (Boudjenane & Maarouf, 2015) donc le suivi et la conservation de cette ressource importante est essentielle.

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 (Nouayti, Khattach, & Hilali, 2015)

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 et qui ne dépasse pas les normes exigées par l'OMS.

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.

Le bassin Sahel représente un réservoir hydrique important pour la wilaya de Bouira. Où les eaux souterraines ont constituées depuis des années une source impotente d'alimentation en eau potable pour une grande partie de la population rurale. Ce travail consiste à vérifier cette richesse non renouvelable qui fait l'objet de plusieurs études analytiques visant surtout à la détermination de sa qualité physico-chimique et sa potabilité. Pour mieux appréhender l'étude qualitative des eaux du bassin Sahel des échantillons d'eau ont été prélevés sur 23 forages durant l'année 2019. Notre étude est concentrée sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et la potabilité de ces ressources naturelles par la méthode IQES pour produire de l'eau potable dans la ville de Bouira.

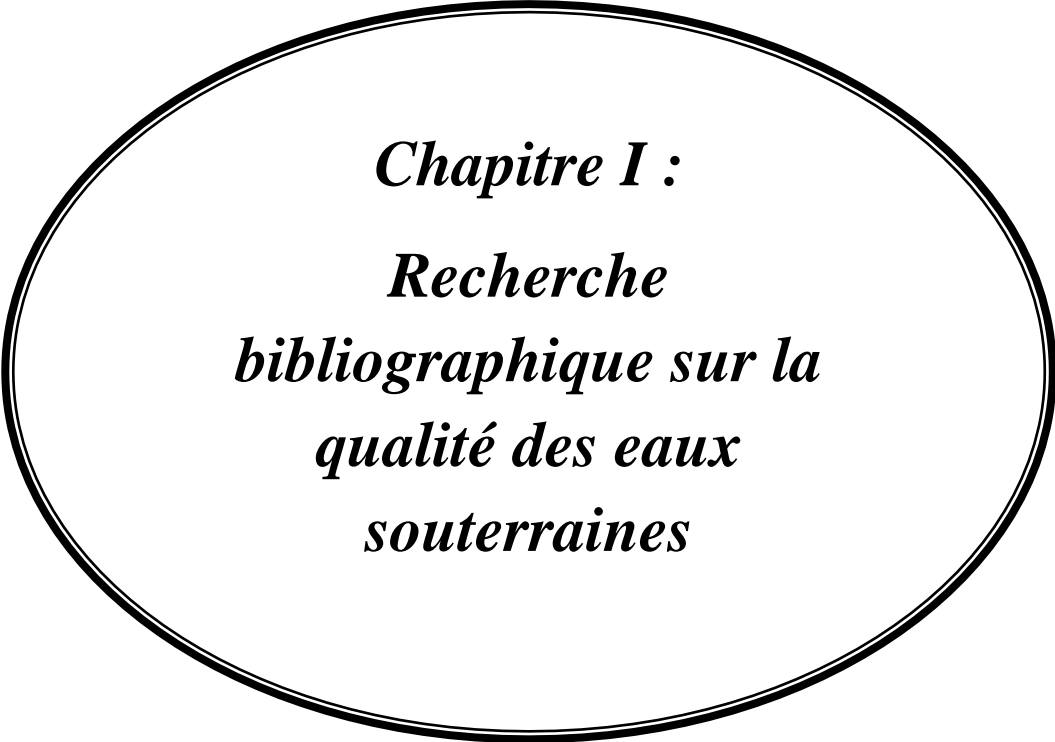
Cette présente étude est divisée en deux parties :

La première partie : est consacrée pour les données relatives à la qualité physico chimique des eaux souterraines de la région. Cette partie est composée de deux chapitres : le premier chapitre est réservé à la recherche bibliographique sur la qualité des eaux souterraines d'une façon générale et le deuxième chapitre présente le bassin sahel et la région de Bouira.



La deuxième partie est composée de deux chapitres qui concernent les méthodes de traitement et d'exploitation des données à travers le calcul de l'IQES, la cartographie et le tracé des différents diagrammes pour représenter les différents faciès chimiques, classer les 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 spéciaux.

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



***Chapitre I :***  
***Recherche***  
***bibliographique sur la***  
***qualité des eaux***  
***souterraines***

## **1. Introduction**

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 c'est un excellent solvant, elle solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro chargés (Aissaoui 2013).

Les eaux souterraines représentent au total environ 97% des eaux douces continentales liquides (BOSCA 2002). La présence l'Homme ainsi que ses possibilités de survie dépendent dans plusieurs régions du globe de l'existence et de la qualité de cette ressource limitée et fragile: 75 à 90% de la population mondiale utilise une eau d'origine souterraine. C'est dire l'importance de l'étude des nappes souterraines dans toutes leurs composantes en vue d'une meilleure connaissance de ces écosystèmes et d'introduire des concepts scientifiques nouveaux en matière de gestion, d'aménagement, de surveillance, de protection et de conservation (DANIELOPOL, et al. 2004).

Ce chapitre donne des informations générales sur les eaux souterraines conditions de leurs potabilités et aussi sur les nappes d'eaux.

## **2. Les eaux souterraines**

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant dans le sous- sol, et qui constituent la majeure réserve de l'eau exploitable, elles sont formées par les précipitations des pluies, une grande partie qui s'est infiltrée dans le sol pour former des nappes souterraines.

La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue parce qu'elle est en contact direct avec cette dernière, ce qui va établir un équilibre entre sa composition et celle du terrain. Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée il est difficile de récupérer sa pureté originelle à cause des polluants ayant contaminé le sol de la nappe. Toute fois il est capital de les protéger contre toute infiltration des polluants en les éloignant du rejet industrielle et du drainage agricole. (DEGREMONT 1989).

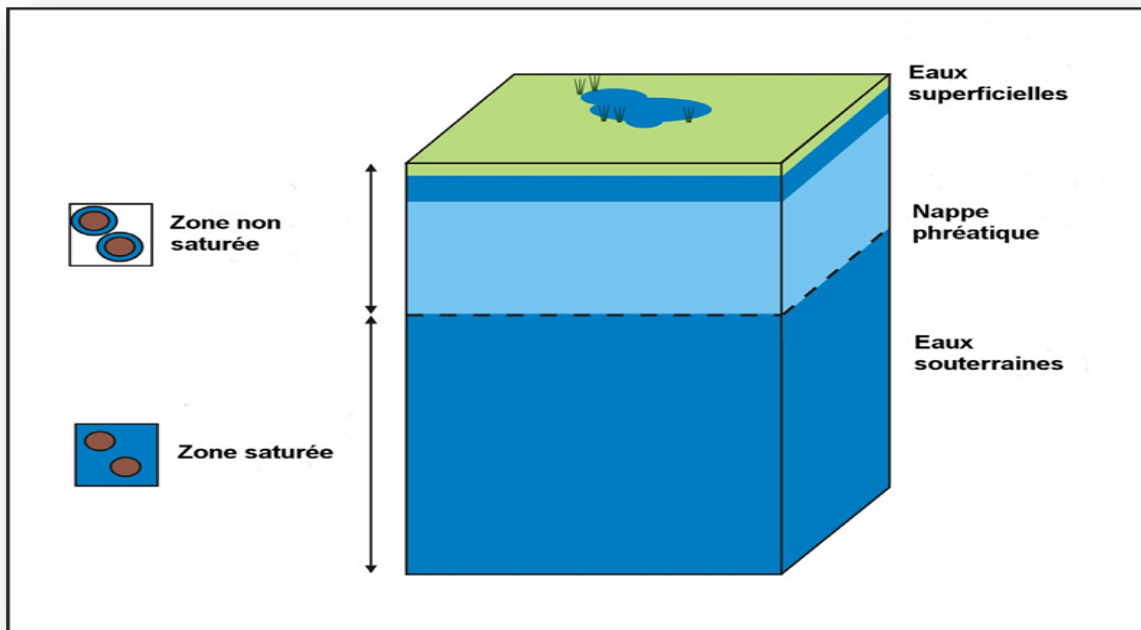


Figure I.1 : Présentation des eaux souterraines (Ramsar, 2010)

### 3. 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 souterrain utilisable comme source d'eau (Kettab 1992).

Les nappes d'eau souterraines 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)

#### 3.1 Les Nappes karstiques

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).

#### 3.2 Les Nappes profondes

Peuvent fournir des eaux naturellement utilisables à leur émergence naturelle (source) soit par forage ou par puits, sous réserve que soient protégés contre les infiltrations superficielles. Elles peuvent être :

### **3.2.1 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 (Hamed et Guettache 2012).

### **3.2.2 Une nappe captive**

Cette nappe est 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 elle est peu sensible aux pollutions (Degremont 2005).

### **3.3 Nappes phréatiques**

Les niveaux des eaux souterraines sont ceux situés sur la première couche imperméable, non loin du sol. Ils sont toujours gratuits, et ils sont souvent contaminés. Ces aquifères sont extrêmement importants pour l'approvisionnement en eau car ils 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. V 2000)

### **3.4 La nappe alluviale**

Elle constitue un type particulier de nappes, formées par les grands épandages de sables et graviers des fleuves et des rivières. Elles sont le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes des coteaux (nappes libres). C'est à travers ces nappes alluviales que les grands flux issus des nappes libres rejoignent les rivières. Parfois, ce sont les rivières qui cèdent de l'eau aux nappes alluviales. Ce phénomène est habituel dans les oueds des pays arides (AFIRI et AZI 2005).

## **4. Concept d'aquifère**

Un aquifère est une structure hydrogéologique perméable qui permet l'écoulement, a un niveau d'eau souterraine important et capte une quantité considérable d'eau par des moyens économiques. On distingue trois grandes familles d'aquifères (Pierre et Baptiste 2003).

### **4.1 Les aquifères alluviaux**

Ils sont composés de matériaux (sable et gravier, intercalaires de sable fin limoneux) déposés par les rivières dans les vallées. 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.

#### 4.2 *Les aquifères de roche sédimentaires*

Composés de roche sédimentaires (calcaire, sable, grés, 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.

#### 4.3 *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 Central, 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.

### 5. *Paramètres de la qualité des eaux souterraines*

La composition des eaux souterraines (tableau 1) est reliée étroitement aux paramètres suivants (AFIRI et AZI 2005) :

- ✓ Géologie et composition des roches
- ✓ Vitesse de percolation et chemins de transfert
- ✓ Temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration

### 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 pures 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)

Le tableau ci-après représente les principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

**Tableau I.1 : Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Bourrier et Selmi 2011)**

<i>Caractéristiques</i>	<i>Eau de Surface</i>	<i>Eau de Souterraines</i>
<i>Température</i>	Variable suivant les saisons	Relativement constante
<i>Turbidité, MES</i>	Variable parfois élevée	Faible ou nul
<i>Couleur</i>	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides	Liée surtout aux matières en solutions (acides humiques)
	Variable en fonction des terrains, des précipitations	Sensiblement constante en générale nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
<i>Fe<sup>2+</sup> et Mn<sup>2+</sup></i>	Généralement absent, sauf en profondeur des pièces d'eaux en état d'eutrophisation	Généralement présente
<i>CO<sub>2</sub>agressif</i>	Généralement absent	Souvent présent en grand Quantité
<i>O<sub>2</sub>dissous</i>	La plus souvent au voisinage de la saturation.	Absent la plupart du temps
<i>H<sub>2</sub>S</i>	Généralement présent	Souvent présent
<i>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></i>	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
<i>Nitrates, Nitrites, Silice</i>	Peu abondant en générale	Teneur souvent élevée
<i>Micropolluants minéraux et organiques</i>	Présent dans les eaux des pays développés, mais susceptible de disparaître rapidement après suppression des sources	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
<i>Eléments vivants</i>	Bactérie (dont certains pathogènes) virus, plancton (animale et végétale)	Ferme bactérie fréquents

## 7. Les origines des eaux souterraines

### 7.1 Eaux météoriques

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 (Renald . 2015).

## 7.2 *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.

## 7.3 *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 (Renald . 2015)

## 8. *Composition des eaux souterraines*

Les eaux souterraines contiennent des molécules d'eau autour des quelles sont dissous des ions (majeur, mineur et de traces), des gaz dissous (oxygénés, gaz carbonique) et parfois de la matière organique dissoutes (TALEB et BADAOUI 2019) .

### 8.1 *Ions majeurs*

- ✓ Cation majeurs : calcium ( $Ca^{2+}$ ), magnésium ( $Mg^{2+}$ ), sodium ( $Na^+$ ), potassium ( $K^+$ )
- ✓ Anion majeurs: chlore (Cl), bicarbonate ( $HCO_3^-$ ), sulfate ( $SO_4^{2-}$ ).

Les concentrations de ces ions majeurs sont utilisées pour déterminer le type d'eau, par exemple une eau du type (Na- $HCO_3$ ) 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 (TALEB et BADAOUI 2019) .

### 8.2 *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, Ammonium, Silice, Fer, Manganèse, Aluminium, strontium, Bore, Bromide.

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  $Fe^{2+}$  ion ferreux mais insoluble à l'état  $Fe^{3+}$  (ions ferrique) (TALEB et BADAOUI 2019).

### 8.3 *Éléments 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  $\mu g/l$ .



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

## **9. 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. (MDDEF 2013)

Le suivi de la qualité de l'eau correspond à l'analyse, au contrôle et à l'observation de certains paramètres en des points clés du réseau d'alimentation en eau potable. L'objectif principal de la surveillance de la qualité de l'eau est de vérifier si l'eau allouée répond aux normes de consommation. C'est une façon de protéger la santé publique (Muriel 2010)

### **9.1 La qualité des eaux souterraines**

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 (Fiambach 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.

L'eau potable doit répondre aux normes de qualité très strictes fixées par le Ministère de la Santé et le Haut Commissariat de la Direction de la Santé Publique. Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur.

Il existe plusieurs normes pour l'eau potable. Ces normes, selon Le principe de prévention maximale peut protéger la santé de la plupart des gens Fragile (Mansour et Djaballah 2016)

## **9.2 Les caractéristiques organoleptiques**

### **9.2.1 Couleur**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (J. RODIER, C. BAZIN, et al. 2005).

### **9.2.2 Odeur**

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle -ci a donc un caractère personnel.

L'eau potable doit être sans odeur, non seulement au moment du prélèvement, mais encore après une période de 10 jours en vase clos à la température de 26°C. Les odeurs proviennent soit des produits chimiques, soit de matière organiques en décomposition, soit de protozoaires, soit d'organismes aquatiques (J. RODIER, C. BAZIN, et al. 2005).

### **9.2.3 Goût et saveur**

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (J. RODIER, C. BAZIN, et al. 2005).

### **9.2.4 Turbidité**

La turbidité est un paramètre organoleptique et une expression des propriétés optiques d'une eau à absorber ou/et à diffuser la lumière. Elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, etc. Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers est relative: certaines populations habituées à consommer une eau très colorée n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire.

Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension : la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte. (J. RODIER, C. BAZIN, et al. 2005).

## **9.3 Les caractéristiques physico-chimique**

### **9.3.1 Température**

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels

dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (J. RODIER, C. BAZIN, et al. 2005).

### **9.3.2 Conductivité électrique**

La conductivité électrique est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et leurs concentrations.

La température influe également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité (J. RODIER, c. BAZIN, et al. 1996).

### **9.3.3 Potentiel d'hydrogène**

C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau, il doit être surveillé au cours de toute opération de traitement

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 (Legube, Merlet et Rodier 2009).

Les législations algériennes et européennes précisent pour l'eau destinée à la consommation humaine un pH moyennement neutre comme niveau guide  $6,5 < pH < 9$  (Mansour et Djaballah 2016), (JORA 2011) . Au-dessous de ce seuil l'eau est dite « agressive », elle a un effet corrosif sur les canalisations et peut mener à la dissolution de certains métaux toxiques tels que le plomb des conduites (Bouziani, L'eau de la pénurie aux maladies 2000).

## **9.4 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)

## **9.5 Dureté totale ou titre hydrotimétrique**

On appelle dureté ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des cations alcalinoterreux présents dans une eau. En pratique, on ne considère que les cations dont les concentrations soient supérieures à  $1\text{mg.L}^{-1}$ , c'est le cas des ions calcium et magnésium.

Ces ions sont présents dans l'eau sous forme de sels de chlorure, de sulfates ou d'hydrogénocarbonates. (REJSEK 2002)

Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté :

- ✓ Dureté totale ( $TH_t$ ) : somme des concentrations en calcium et magnésium
- ✓ Dureté calcique ( $TH_{ca}$ ) : concentrations globale en calcium
- ✓ Dureté magnésienne ( $TH_{mg}$ ) : concentrations globale en magnésium

Le Tableau 2 suivant représente la Classification de l'eau selon la dureté totale

**Tableau I.2 : Classification de l'eau selon la dureté totale**

	0 à 7	7 à 14	14 à 22	22 à 32	32 à 54	> 54
Dureté de l'eau	Très Douce	Douce	Modérément douce	Assez Dure	Dure	Très dure
Usage Domestique	Bonne Potabilité		Potabilité passable		Potabilité médiocre à mauvaise	

## 9.6 Les cations

### 9.6.1 Calcium ( $Ca^{2+}$ )

Le calcium est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates, il provient des aluminosilicates, des silicates, des carbonates (calcite et calcite magnésienne) et les sulfates. (J. RODIER, C. BAZIN, et al. 2005).

### 9.6.2 Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

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 (Legube, Merlet et Rodier 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 par (Dib 2009).

### 9.6.3 Potassium ( $K^+$ )

Le potassium est si étroitement lié au sodium qu'il est rarement analysé en tant que composant séparé dans l'analyse de l'eau. Il existe largement sous forme de sel dans la nature. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique du corps et régule la teneur en eau des cellules (Mercier 2000).

## 9.7 Sodium ( $Na^+$ )

C'est un élément dont les concentrations dans l'eau varient d'une région à une autre. Son origine peut être naturelle (mer, terrain salé...); humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ou industrielle (potasse, industrie pétrolière). (TALEB et BADAOUÏ 2019)

## 9.8 Les anions

### 9.8.1 Les sulfates ( $SO_4^{2-}$ )

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). A fortes concentrations, ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux (en particulier chez les enfants). Ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable. Les concentrations admissibles sont de l'ordre de 400 mg.L-1 (Bouziani 2000).

### 9.8.2 Les nitrates ( $NO_3^-$ )

Les nitrates sont naturellement présents dans l'eau mais selon les milieux. 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 (Demdoum 2010).

### 9.8.3 Les chlorures ( $Cl^-$ )

Les chlorures sont très répandus dans la nature généralement sous forme de sels du sodium, de potassium et de calcium (Service de l'Eau (SEVESC). 2013)

Les chlorures présents dans l'eau potable proviennent des eaux usées et des effluents industriels. La principale source d'exposition humaine au chlorure est l'ajout de sels aux aliments. L'apport de cette source est généralement supérieur à celui de l'eau de boisson. Les concentrations excessives de chlorure augmentent les taux de corrosion des métaux dans le système de distribution, cela peut conduire à une augmentation des concentrations de métaux dans les systèmes d'alimentation en eau potable (Hachemaoui 2013).

## 9.9 Les éléments en trace

### 9.9.1 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 dénitrification biologique (Bouziani 2000).

### 9.10 Fer :

Très répandu, le fer se classe au 4<sup>ème</sup> rang des éléments de la croûte terrestre. Il est largement utilisé dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo-minérales peuvent en contenir plus de 10 mg/l (RODIER., et al. 1996)

## 10. Critères et normes de potabilité des eaux

Afin de définir régulièrement l'eau potable, des normes ont été formulées, notamment la limite à ne pas dépasser une certaine quantité de substances nocives pouvant exister dans l'eau. Par conséquent, si l'eau répond à la norme et est potable, cela ne signifie pas qu'elle est exempte de polluant mais que sa concentration est suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé de l'eau.

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)

Les tableaux ont été construits à partir de la nomenclature de l'OMS. Les Valeurs guides sont données d'après les Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2<sup>ème</sup> édition 1994OMS, et correspondent aux principaux paramètres retenus dans les normes de qualité d'eau de boisson.

**Tableau I.3 : Normes des Paramètres physico-chimiques (Source : Rodier, 1996.et JORA, 2014)**

Paramètres	Unité (mg/l)	Valeurs guide OMS (mg/l)	Les normes Algériennes
Ph	Unité pH	$6.5 \leq PH \leq 9.2$	$6.5 \leq PH \leq 9$
Conductivité	$\mu S/cm$	Pas de norme	2800
Température	$^{\circ}C$	25	25
Turbidité	NTU	5	5

**Tableau I.4 : Normes des Paramètres physico-chimiques(Ions) (Source : Rodier, 1996.et JORA, 2014)**

<i>Paramètres</i>	<i>Valeurs guide OMS (mg/l)</i>	<i>Les normes Algériennes (mg/l)</i>
<i>Calcium</i>	Pas de norme	200
<i>Magnésium</i>	100	Pas de norme
<i>Nitrites</i>	3	0.2
<i>Chlore</i>	250	
<i>Dureté</i>	500	500
<i>Phosphates</i>	0.5	5
<i>Potassium</i>	12	12
<i>Sulfates</i>	250	400
<i>Fer</i>	0.3	0.3
<i>Ammonium</i>	0,5	0,5
<i>Sodium</i>	200	200
<i>Chlorures</i>	250	500
<i>Nitrates</i>	50	50

### 10.1 *La pollution des eaux souterraines*

Un forage est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont directement ou indirectement modifiés du fait de l'action de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou à certaines d'entre elles (LAMAR, MOKHTARI et OUKACINE 1994).

### 11. *Les 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 (TALEB et BADAOUÏ 2019)

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

### 11.1 Selon l'origine de pollution

Habituellement, ce type de pollution d'origine humaine causée par les activités humaines entraîne la libération de substances qui peuvent contaminer le sol et pénétrer dans les eaux souterraines. Le risque de pollution dépend non seulement des activités humaines et de leur intensité, mais aussi de la vulnérabilité des eaux souterraines. car ces eaux sont porteuses de polluants répandus dans le sol. 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.

On distingue quatre catégories d'origine (figure) : domestique, urbaine, agricole et industrielle.

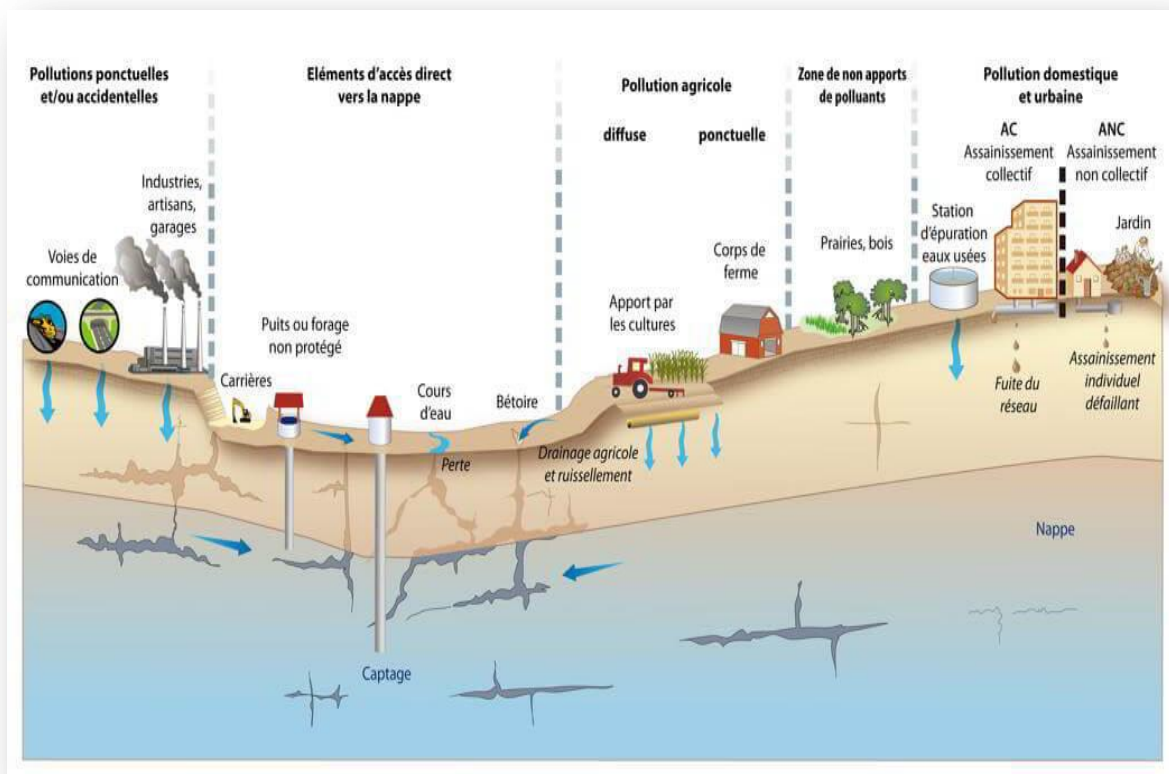


Figure I.2 : Les types de pollution souterraine (Mansour et Djaballah 2016)

#### 11.1.1 Pollution d'origine domestique

La pollution domestique se caractérise par la présence des germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux et des détergents. Elle peut être responsable



de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que du développement de l'eutrophisation dans les rivières. Elle est due principalement aux rejets domestiques (eaux de lavage, huiles de vidange, matières fécales, etc.) (Guillemin et Rouxj 1992).

### ***11.1.2 Pollution d'origine industrielle***

Les eaux usées d'origine industrielle comportent toute sorte de composés minéraux, organique, chimiques selon la nature du produit fabriqué (LAMAR, MOKHTARI et OUKACINE 1994).

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 (Benmaïd 2013).

### ***11.1.3 Pollution d'origine agricole :***

L'utilisation massive d'engrais chimiques en agriculture peut donner à une pollution des nappes par suite de l'entraînement dans le sol des constituants les plus habituellement contenus dans les engrais tels que les pesticides, chlorures et le potassium (LAMAR, MOKHTARI et OUKACINE 1994)

### ***11.1.4 Pollution d'origine urbaine***

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité (Guillemin et Rouxj 1992).

## ***11.2 Selon la nature de pollution***

Habituellement, ce type de pollution provient de sources naturelles. La pollution de ces ressources naturelles est ponctuelle car liée à l'environnement géologique.

Il existe plusieurs manières de classer la pollution, selon le type de polluant on peut classer la pollution en trois catégories : physique, chimique et biologique.

### ***11.2.1 Pollution physique***

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la

pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires) (FREDJ 2019).

### **11.2.2 Pollution chimique**

Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables par exemple : les eaux usées (les matières inhibitrices) et les routes nationales (Monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PS), les oxydes de l'azote (NO, NO<sub>2</sub>, NOX), les métaux lourds) (FREDJ 2019).

### **11.2.3 Pollution biologique**

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques....etc.) sont issues des mauvais raccordements d'habitations au réseau d'assainissement, de débordements des réseaux d'eaux usées, de rejets de station d'épuration d'eaux résiduaires et du ruissellement sur les sols lors des pluies importantes (FREDJ 2019).

## **12. Conséquences de la pollution**

### **12.1 Conséquences écologiques**

Les conséquences écologiques de la pollution se manifestent principalement par : (SKENDRAOUI 2018)

- ✚ La présence de produits toxiques
- ✚ La modification physique du milieu récepteur
- ✚ La présence de bactéries ou de virus pathogènes.

#### **12.1.1 Conséquences sanitaires**

Ces conséquences qui sont liées à la santé humaine, peuvent être liées à l'ingestion d'eau, de boisson,... Mais aussi par un simple contact avec le milieu aquatique (cas de nombreux parasites) (SKENDRAOUI 2018)

#### **12.1.2 Conséquences esthétiques**

Ces conséquences ne touchent pas à la santé humaines, ni à la santé du milieu, mais elles perturbent l'image du milieu (SKENDRAOUI 2018)

### ***13. Les maladies à transmission hydrique***

Les maladies à transmission hydrique (MTH), sont à l'origine de la mortalité élevée des populations des pays en voie de développement. L'eau contaminée par les microorganismes est une source d'infections très importante (Ayad 2016).

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), plus d'un milliard de personnes à travers le monde n'ont pas accès à une eau salubre. Toujours selon l'OMS en 1990, près de 5 millions d'enfants dans le monde sont morts de maladies à transmission hydrique.

Dans son rapport du 26 juin 2008, l'OMS estime que l'eau sale est à l'origine de 9,1% des maladies et de 6% des décès enregistrés chaque année dans le monde. Les enfants sont les premières victimes, Il y a une forte inégalité entre les pays riches et pauvres : l'eau est à l'origine de moins de 1% de la morbidité dans les pays développés, cette proportion atteint 10% dans les pays en développement (Mansour et Djaballah 2016).

#### ***13.1 Les maladies hydriques liées aux éléments chimiques***

Ce sont des maladies d'origine chimique dues à un dépassement de la quantité ou de la valeur admise pour certains éléments. L'eau contient de nombreux oligo-éléments qui sont bénéfiques à faible concentration comme le fer ou le fluor, mais toxiques à plus forte dose pour l'homme. Par contre certains éléments tels que l'arsenic, le cyanure ou le plomb sont dangereux même à faible dose.

### ***14. Conclusion***

Dans le cadre de ce travail, nous avons tenté de synthétiser les informations bibliographiques essentiel pour étudier la qualité physique et chimique générale des eaux souterraines et les normes internationaux à suivre pour conserver cette nourriture, qui est l'avenir des générations futures, car le siècle que nous vivons dépend de notre existence et utilisation raisonnable de l'eau.



***Chapitre II :***  
***Présentation de la***  
***zone d'étude***

## 1. Introduction

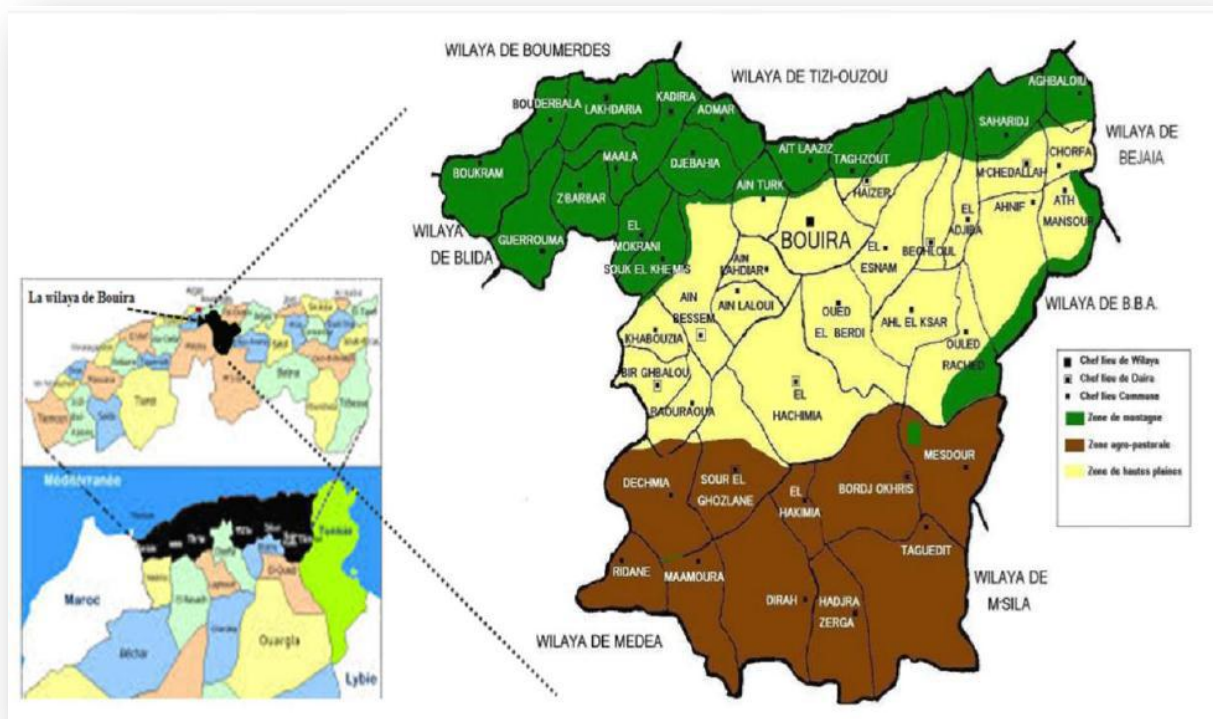
La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de pollution au niveau de la nappe. Le présent chapitre a pour objectif de donner une idée générale sur le bassin sahel sa situation géographique et climatique, de connaître sa situation socio-économique et mémé de traiter ces caractéristiques particulièrement.

## 2. Cadre géographique de la zone d'étude

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

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

- ✓ Au nord et au nord-est par la wilaya de Tizi-Ouzou et la chaîne montagneuse du Djurdjura. (Annexe 1)
- ✓ Au sud-est par la wilaya de Bordj-Bou-Argeridj 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)



**Figure II.1 : Situation géographique et administrative de la wilaya de Bouira (REZIG A, 2019)**

## 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. (Annexe 2)

- Nombre de Daïras : 12.
- Nombre de communes : 45.

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

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

## 3 Géomorphologie

Le relief comporte cinq 05 grands ensembles morpho structurale :

- ✓ 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 La Madjen, Le Plateau d'El Hachimia, Ath Mansour.
- ✓ 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; La dépression sud bibanique : Elle se rapporte à la terminaison septentrionale de la plaine du Hodna et aux basses collines s'étendant entre Maâmor
  - ✚ Le Djebel Afroun qui culmine à 1547 m.
  - ✚ a et l'extrémité Sud-est de Bouira. Cet espace est constitué principalement de terres de parcours (ANDI, 2013)

#### **4 .Le contexte climatologique**

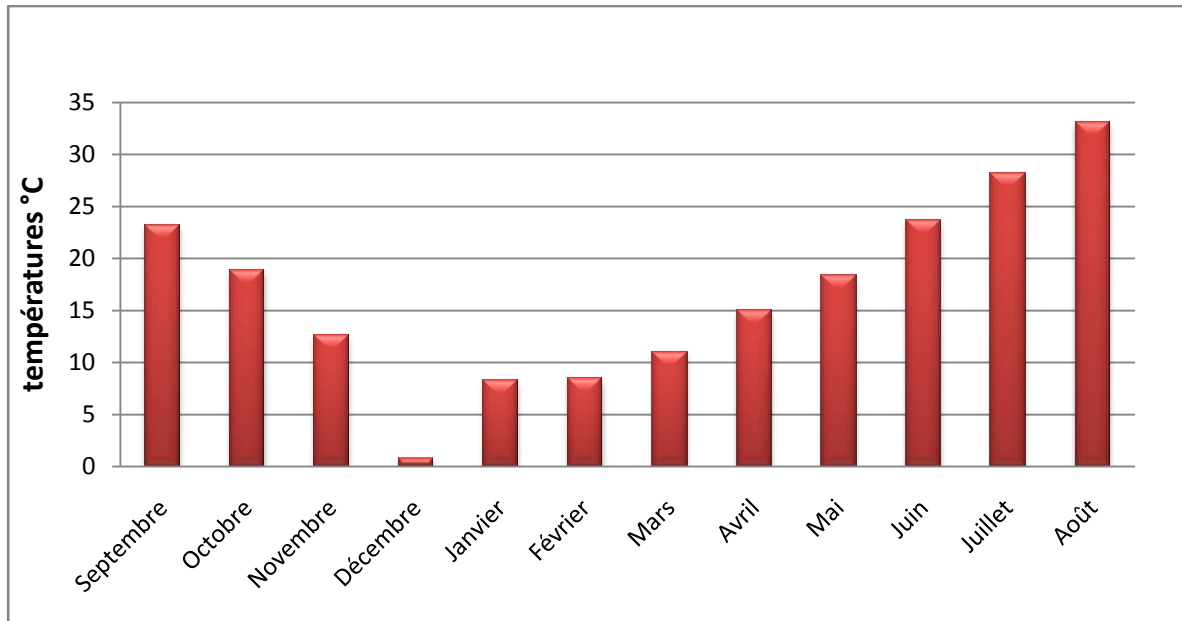
Plus que d'autres facteurs, le climat est le facteur le plus déterminé des ressources en eau. L'étude de la caractéristique climatologique joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. (BOUTOUGA, 2012)

##### **4.1La Température**

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, qui rentre dans l'estimation du bilan hydrologique.

Notre zone de recherche est une zone agricole, avec des étés chauds et secs et des hivers froids et pluvieux. D'une façon générale la température de mai à septembre est comprise entre 17°C et 40°C, et la température de janvier à mars est comprise entre 2°C et 12°C.

La température moyenne mensuelle enregistrée à la station de Bouira Pour la période 2009/2019 a été calculée à partir des données mesurées pour chaque mois pendant 10 ans.



**Figure II.2 : Variation des températures moyennes mensuelles (2009-2019) (station de Bouira)**

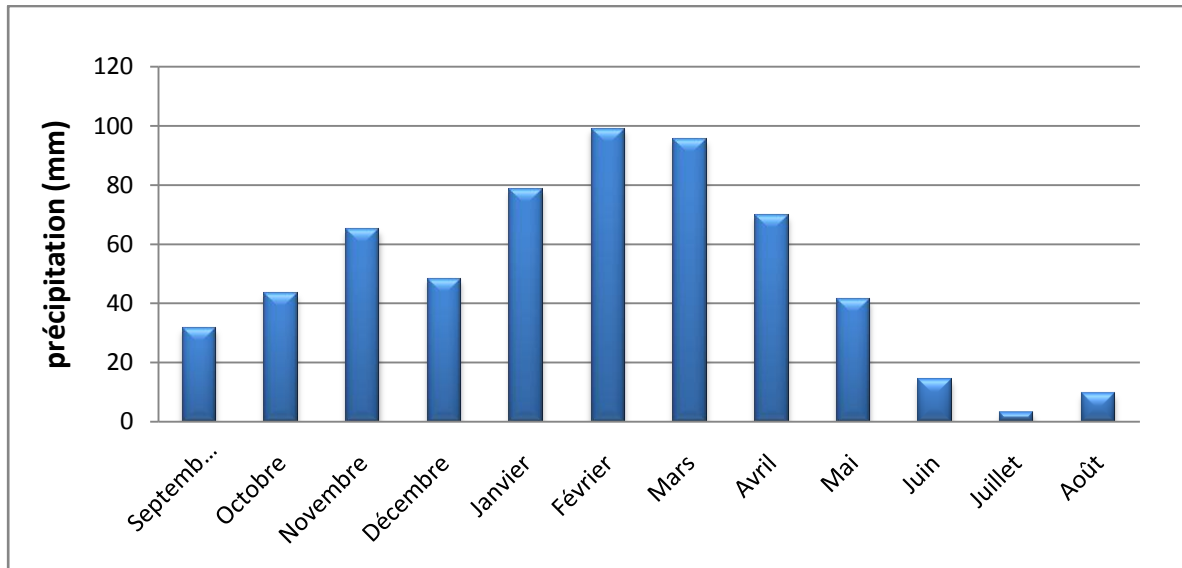
La température moyenne annuelle est d'environ 16,80°C. Nous pouvons voir que les mois les plus chauds sont juillet et août, avec des températures de 28,16°C et 33.11°C, respectivement, et les mois les plus froids sont janvier et février.

#### **4.2 Les précipitations**

La saison humide comprend l'automne et l'hiver du mois d'Octobre au mois de Mars avec environ 80% des précipitations. Le printemps (Avril, Mai) se caractérise par des pluies locales de faible durée à l'exception de quelques orages de temps à l'autre. Un manque de pluies est constaté pendant la période sèche qui dure de Juin à Septembre.

Les précipitations mensuelles moyennes enregistrées par la station pluviométrique de Bouira pendant une décennie 2009/2019 sont présentées dans le graphe suivant :



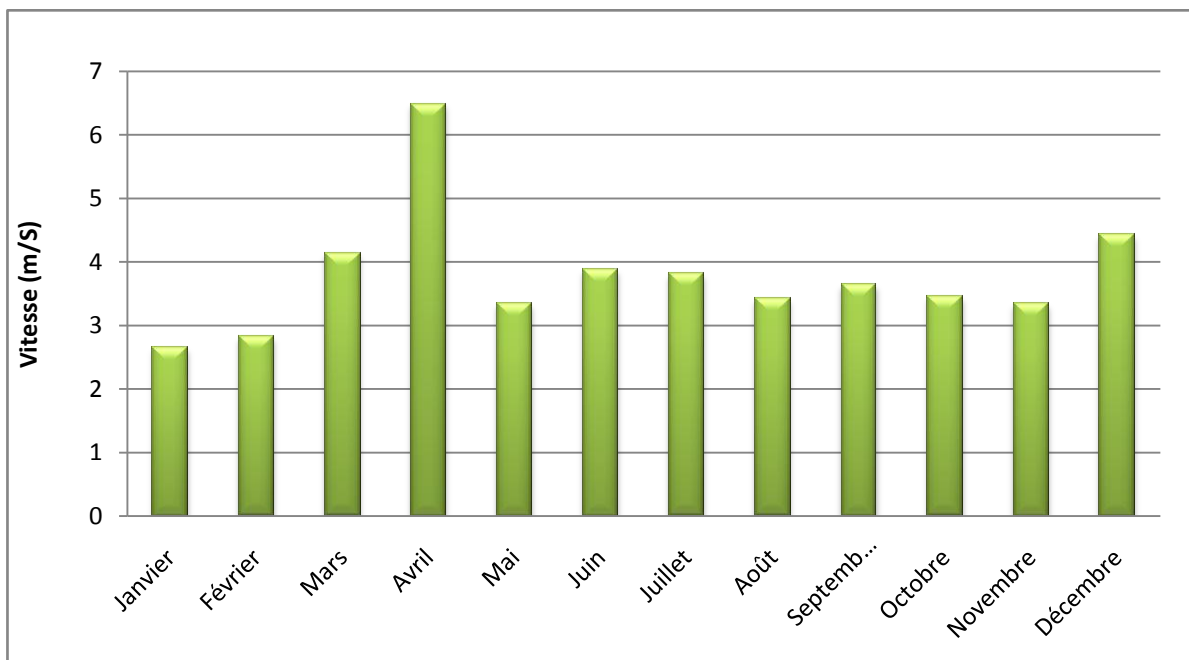


**Figure II.3 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (2009-2019) (station pluviométrique de Bouira)**

Le total des précipitations est de 599,936 mm. Il ressort que le mois le plus humide est janvier avec 99,09 mm, et le mois le plus sec est juillet avec 3,08 mm.

**4.3 Le vent :**

En raison de ses dommages, notamment en agriculture, le vent est un facteur climatique affecte directement le climat d'une région. Dans la zone d'étude, la direction du vent varie d'une saison à l'autre.



**Figure II.4 : Variation moyennes mensuelles de la vitesse du vent (2009-2019) (station pluviométrique de Bouira)**

- ❖ Durant la plupart des mois la valeur de la vitesse moyenne reste inférieure à 4 m/s.
- ❖ Dans les autres mois elle dépasse 4m/s en moyenne pour atteindre son maximum en mois d'avril 6.49 m/s.

#### 4.4 L'humidité relative

C'est le quotient entre la pression de vapeur réelle et la pression de vapeur saturée. L'humidité dans notre zone varie considérablement entre l'hiver et l'été. Saisie de la valeur moyenne mensuelle mesurée à la station de Bouira

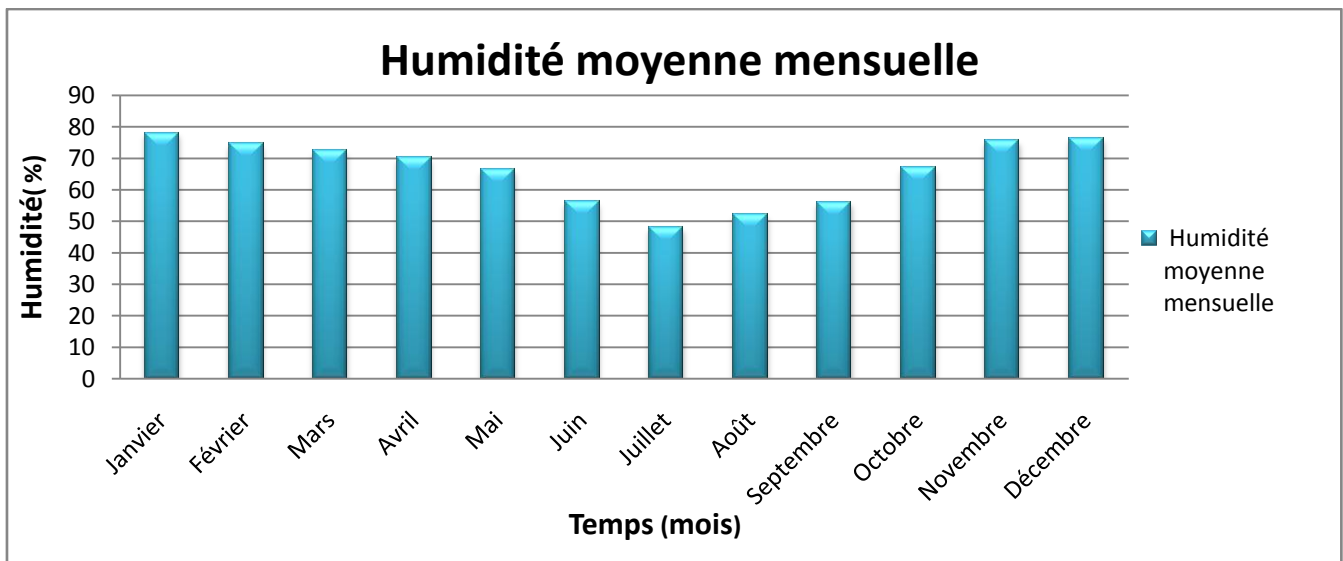


Figure II.5 : Variation des humidités moyenne mensuelles 2009/2019 (station pluviométrique de Bouira)

Les humidités moyennes mensuelles calculées sur la période de 2009 à 2019 sont comprises entre 48,196% et 78,2%. Le mois le plus humide est janvier pour lequel l'humidité dépasse couramment 75%, cela résulte de la baisse de l'évaporation.

### 5 L'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

## 6 Les ressources hydriques souterraines destinées à la consommation dans la wilaya de Bouira

Les ressources souterraines provenant de 3 champs captant : Oued Ed Dous à l'ouest, le bassin d'oued Zaiane au centre et à l'est le bassin d'oued Sahel amont, et plus de 31 forages partagés dans les différentes communes de la wilaya avec une capacité de 35.5 Hm<sup>3</sup> (ADE Bouira, 2019).

Selon Direction de santé et de la population Bouira 2018, les ressources hydriques souterraines destinées à la consommation en eau potable au niveau de la wilaya de Bouira sont au nombre de 12973, dont 85% de ces ouvrages sont représentés par les puits individuels (l'équivalent de 11082 puits), 5% de sources non captées (l'équivalent de 657 sources). Le reste étant partagé presque équitablement entre les puits collectifs, les sources captées, et les forages.

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des types d'ouvrages d'alimentation en eau potable d'origine souterraine.

**Tableau II.2 : Ressources hydriques souterraines (DSP Bouira, 2018)**

<i>Types d'ouvrage d'alimentation En eau potable</i>	<i>Nombre</i>
<b>Puits individuels</b>	11082
<b>Puits collectifs</b>	392
<b>Sources captées</b>	372
<b>Sources non captées</b>	657
<b>Forages</b>	470

## 7 Contexte socio-économique :

### 7.1 La végétation

Du Nord au Sud, on distingue trois zones différentes (ANRH) :

- ❖ **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.

La zone boisée représente 25 % du territoire de la wilaya avec 111 490 ha de massif forestier. On trouve le pin d'Alep (51 638 ha), le chêne vert (2 775 ha) ainsi que le chêne-liège (2 143 ha).

- ✚ Surface terre agricole : 2935,45 km<sup>2</sup>
- ✚ Surface massif forestier : 1122,5 km<sup>2</sup>

### **7.2 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. (TALEB & BADAOU, 2019)

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).

### **7.3 Population**

La population totale de la wilaya est estimée 695583 habitants (revoir ce chiffre +indiquer l'année de recensement) soit une densité de 160 habitants / km<sup>2</sup>. (ANDI, 2013)

## **8 Situation du bassin sahel**

La région d'étude appartient a la wilaya de Bouira 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.

Le bassin versant Sahel se compose de la région les plateaux de Bouira et il couvre une superficie de 2216,156Km<sup>2</sup>. Il est situé entre latitude 36°11' et 36°28'

nord et la longitude 3°55' et 3°97', il est entouré par les trois grands bassins Sébaou, Isser, Hodna.

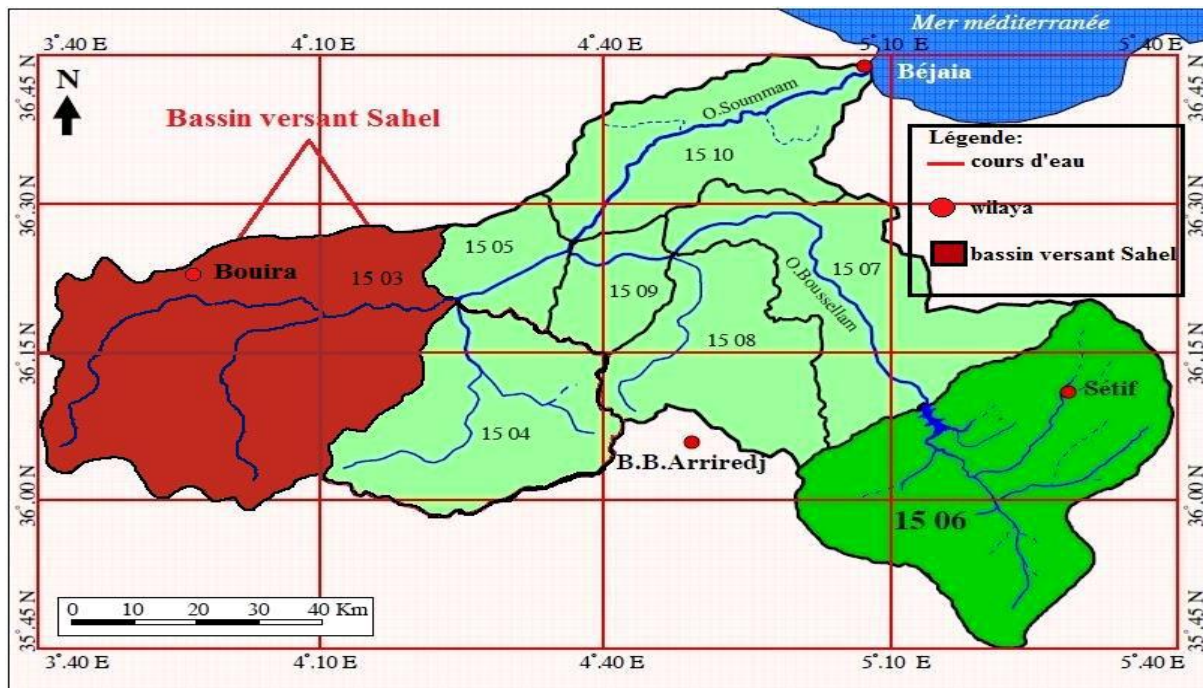


Figure II.6 : Bassin versant Sahel et sa situation dans le BV Soummam (FREDJ, 2020)

Ce bassin versant est caractérisé par un climat continental avec des hivers humides et des étés chauds. Ses précipitations annuelles peuvent atteindre 300 mm

### 8.1 Caractéristiques du bassin Sahel

La délimitation et les caractéristiques du bassin versant Sahel à été faite avec le logiciel Arcgis. (FREDJ, 2020)

Tableau II.3 : Caractéristiques du bassin versant Sahel avec Arcgis

Sous bassin	Surface (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Elévation maximale (m)	Elévation minimale (m)	Longueur de cours d'eau principal (Km)	La pente moyenne (%)
Oued Zaiane	962,903	151,89	1448	376	71,017	7
Oued Dhous	875,716	187,12	1510	362	53,427	5.81
Oued Sahel	422,537	112,58	1867	179	39,828	6.07
Bassin Sahel	2216,156	451,59	1867	179	105.22	7.21

## 9 Géologie du bassin Sahel

On distingue au niveau du bassin versant de l'Oued Sahel différentes formations géologiques : (JACOB, (1991).)

1. **Le Pliocène Continental** : le coteau du sahel est couronné par des graviers siliceux et fluviaux. Ailleurs, il est conglomératique sinon caillouteux.
2. **L'Eocène** : il est complètement marneux, parfois calcaro-marneux. On le trouve surtout au niveau des hautes plaines.
3. **Le Miocène** : il s'agit essentiellement du Miocène inférieur post nappe.
4. **L'Oligocène** : il est généralement argilo-gréseux.
5. **Le Quaternaire** : il s'agit des alluvions le long des Oued.
6. **Le Crétacé** : se présente, en général, sous forme de flysch. Il est étendu, continue depuis la chaîne des Bibans jusqu'aux montagnes de la petite Kabylie.
7. **Le Jurassique** : il affleure surtout au niveau de la chaîne calcaire et le long de sa continuité vers l'Est. Il est principalement calcaro-dolomitique.
8. **Le trias** : il est de faciès gypso-salin et apparaît le long de contacts anormaux (contact des nappes de charriage) dans le Tell méridional et est présenté par des conglomérats et des grés rougeâtres dans Tell septentrional

### 9.1 Géologie et géomorphologie du plateau d'El Esnam

Le territoire étudié constitue une partie du plateau d'El Esnam : c'est un replat bordé par des talus de 50 à 100 m dénivelées, limitées au nord par la vallée de l'oued eddous Et au sud par celle de l'oued Zaine.

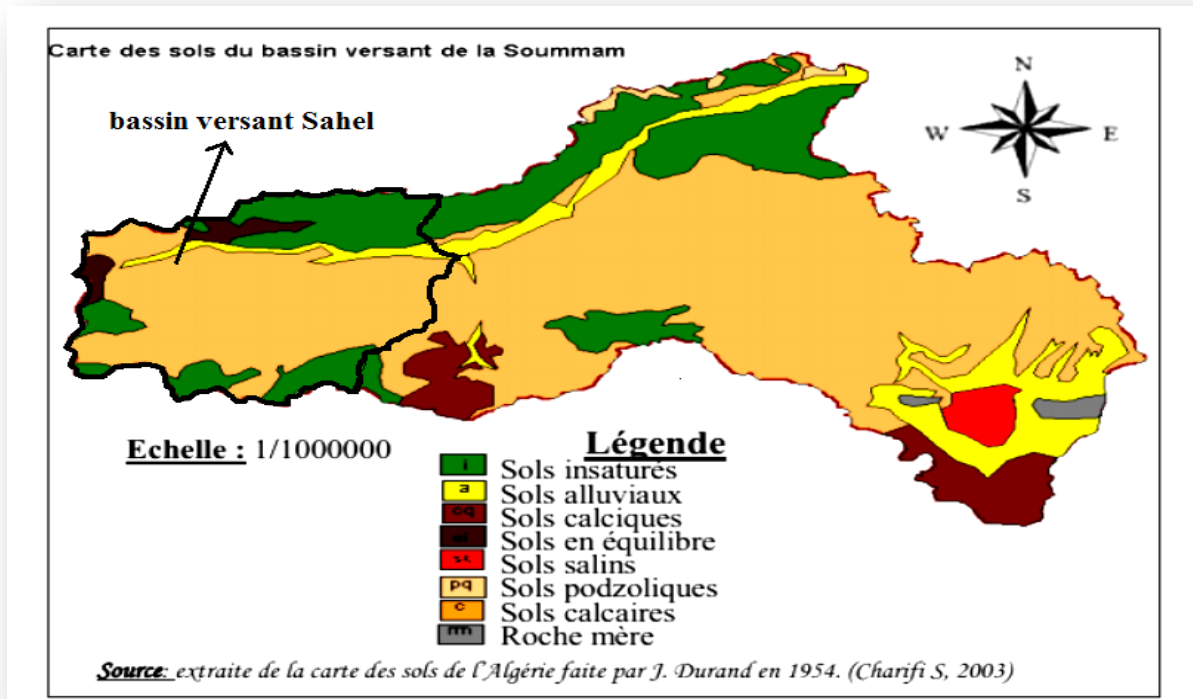
La topographie de la région révèle que ce plateau, dont l'altitude avoisine 525m, est la zone la moins accidentée du bassin versant de l'oued sahel.

Sa masse est un monoclin à pendage nord, constitué de puissants dépôts continentaux. Ce sont des produits d'érosion épandus durant l'aquitaniens, par des cours d'eau provenant du massif Djurdjura.

Il s'agit de conglomérats plus ou moins consolidés, alternant des argiles sableuses, facilement observables sur les talus abrupts qui limitent le plateau. (Association gersar-ENHYD, 1990).

### 10 Hydrogéologie de la zone

Dans bassin versant Soummam on trouve des types de sols anciens de formation paléo marécageuse qui sont caractérisés par des formations bien accentués. La carte des sols du bassin de la Soummam a été extraite de la carte des sols de l'Algérie. Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables. Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux. (FREDJ, 2020)



**Figure II.7 : Carte des sols du bassin versant Sahel et Soummam**

La majorité des sols dans le bassin de l'oued Sahel sont des sols calcaires (riches en calcaire). Leur complexe absorbant est modifié par l'eau. Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméable.

Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur ; leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables. Le long des Oueds, les sols sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux à profil indifférencié ou présentent une simple accumulation de matières organique en surface. En plus on rencontre aussi des sols calciques (CHIKHI, 2016)

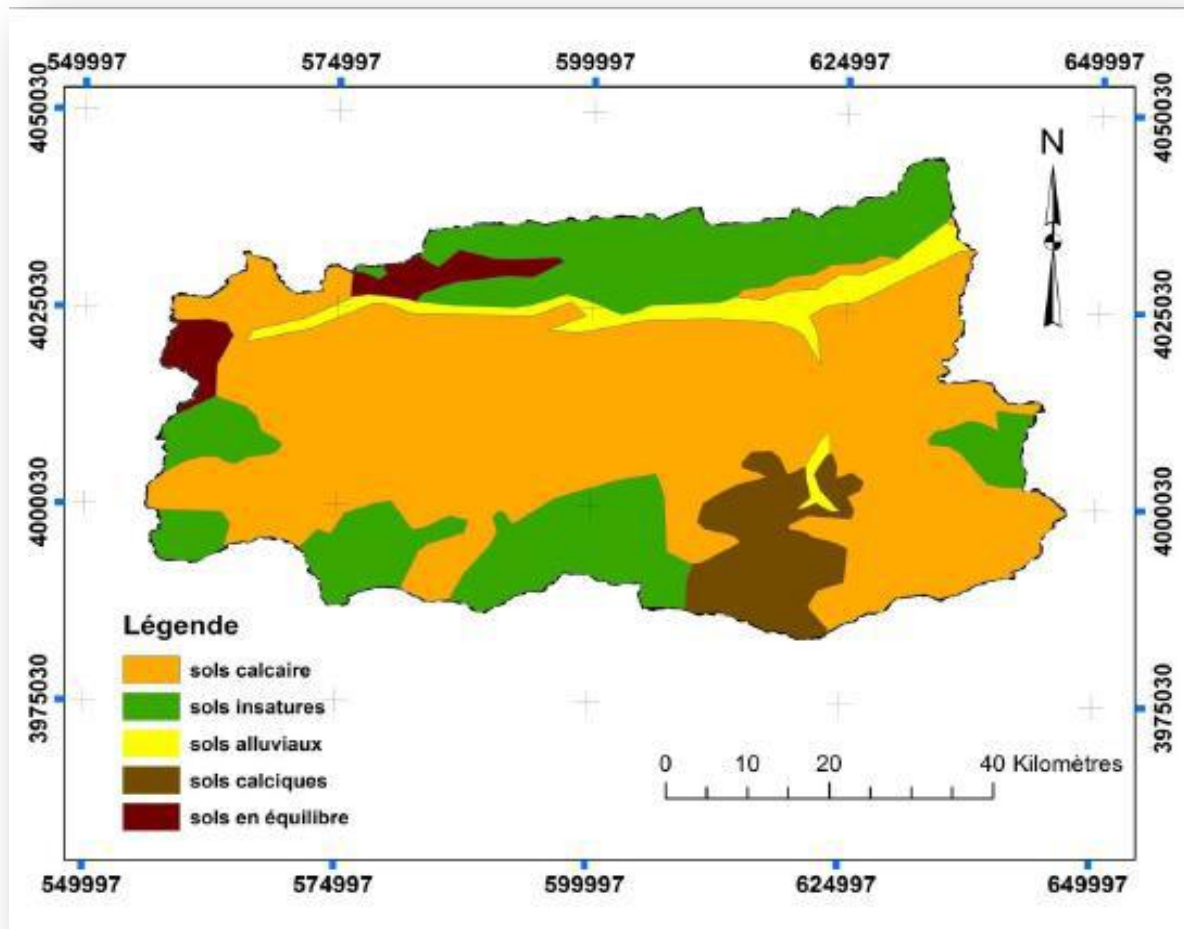


Figure II.8 Carte des sols du l'oued sahel (CHIKHI, 2016)

### 11 Caractéristiques du réseau hydrographique

C'est l'une des plus importantes caractéristiques d'un bassin. Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement.



### 11.1 Classification de Schumm

Cette classification permet de classer les cours d'eau.

D'après Schumm « Est d'ordre  $x+1$ , tout tronçon de cours de rivière formé par la réunion de 2 cours d'eau d'ordre  $x$  ».

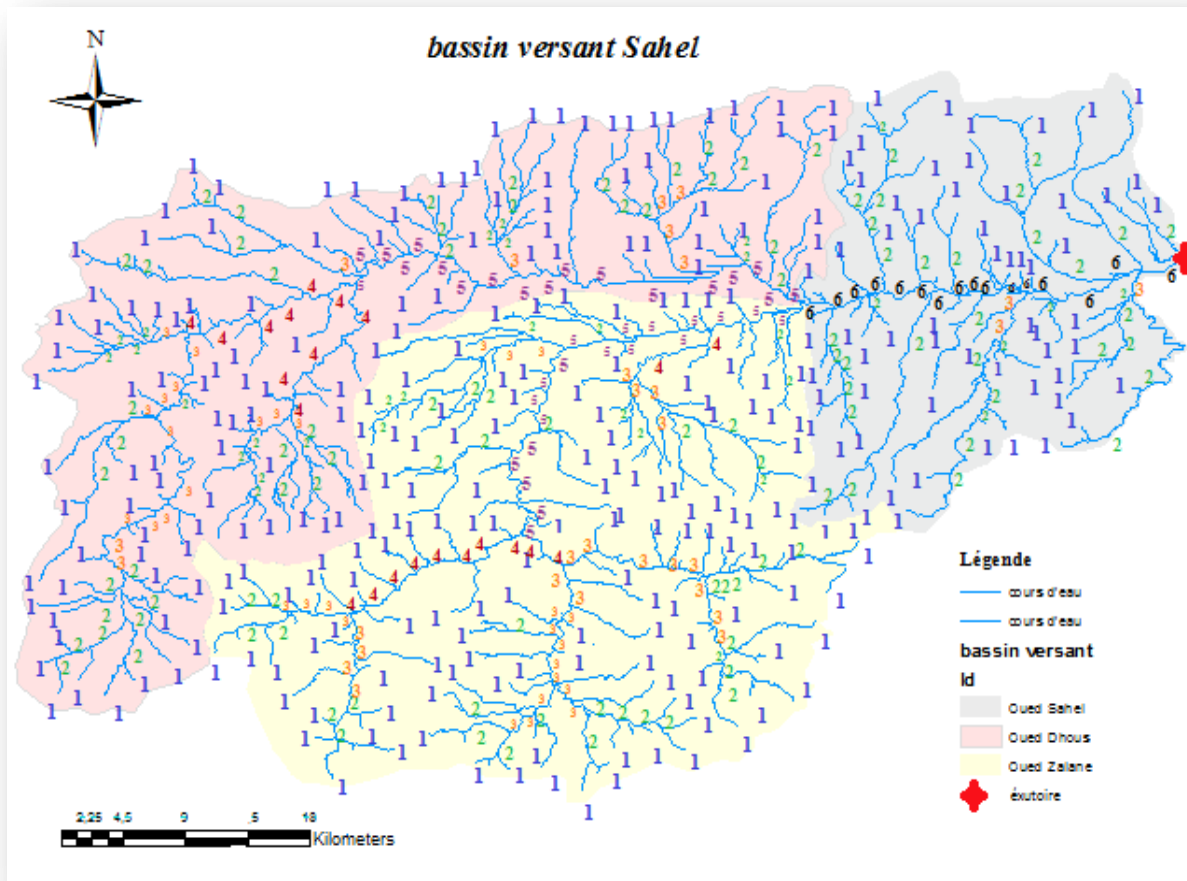


Figure II.9 Classification de Schumm du bassin versant Sahel (référence)

Dans le tableau qui suit, le cours d'eau principal, représenté par les ordres 1, 2, 3, 4, 5 et 6 est pris en considération. Cette classification permet d'identifier les confluences quand la morphologie des cours d'eau se ressemble, particulièrement pour les cours d'eau temporaires. (FREDJ, 2020)

Tableau II.4 : Fréquences des ordres du bassin versant Sahel

Ordre	Nombre	Fréquence (%)
1	413	57,20
2	166	22,99
3	48	6,65
4	37	5,12
5	42	5,82
6	16	2,22
<b>Totale</b>	<b>722</b>	<b>100</b>

### 12 La courbe hypsométrique du bassin versant Sahel

Cette courbe met en relation les altitudes et les surfaces dans un bassin, sous forme de fréquence de superficies inférieures à un seuil donné. Elle porte sur l'axe des abscisses, les altitudes et sur l'axe des ordonnées, la surface. (MUSY, 2004)

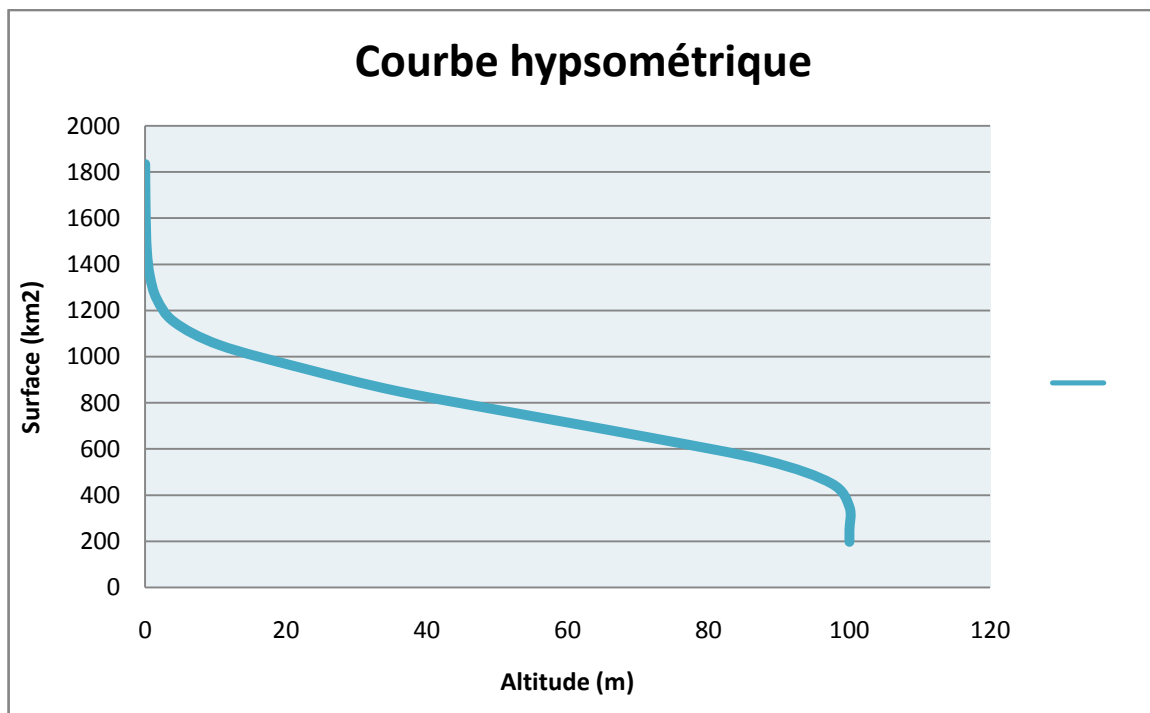


Figure II.10 : L'altitude en fonction de la surface partielle cumulée

### 12.1 Les altitudes caractéristiques

Il existe quatre types d'altitudes caractéristiques qu'on peut calculer à partir de la courbe hypsométrique. (CHIKHI, 2016)

#### 12.1.1 Altitudes minimale et maximale

Les altitudes minimale et maximale du notre bassin sont lues directement à partir de la carte.

- L'altitude minimale ( $H_{min}$ ) est celle qui correspond à l'exutoire près de la mer, elle est de  $H_{min} = 179$  m
- l'altitude maximale ( $H_{max}$ ) représente le point le plus élevé du bassin, elle est de  $H_{max} = 1867$  m

#### 12.1.2 Altitude moyenne

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique, elle est définie avec :

$$H_{moy} = \frac{1}{A} \sum H_i \cdot A_i$$

$H_{moy}$  : altitude moyenne du bassin versant en (m).

$A_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveaux.

$H_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux.

$A$  : la surface totale du bassin versant

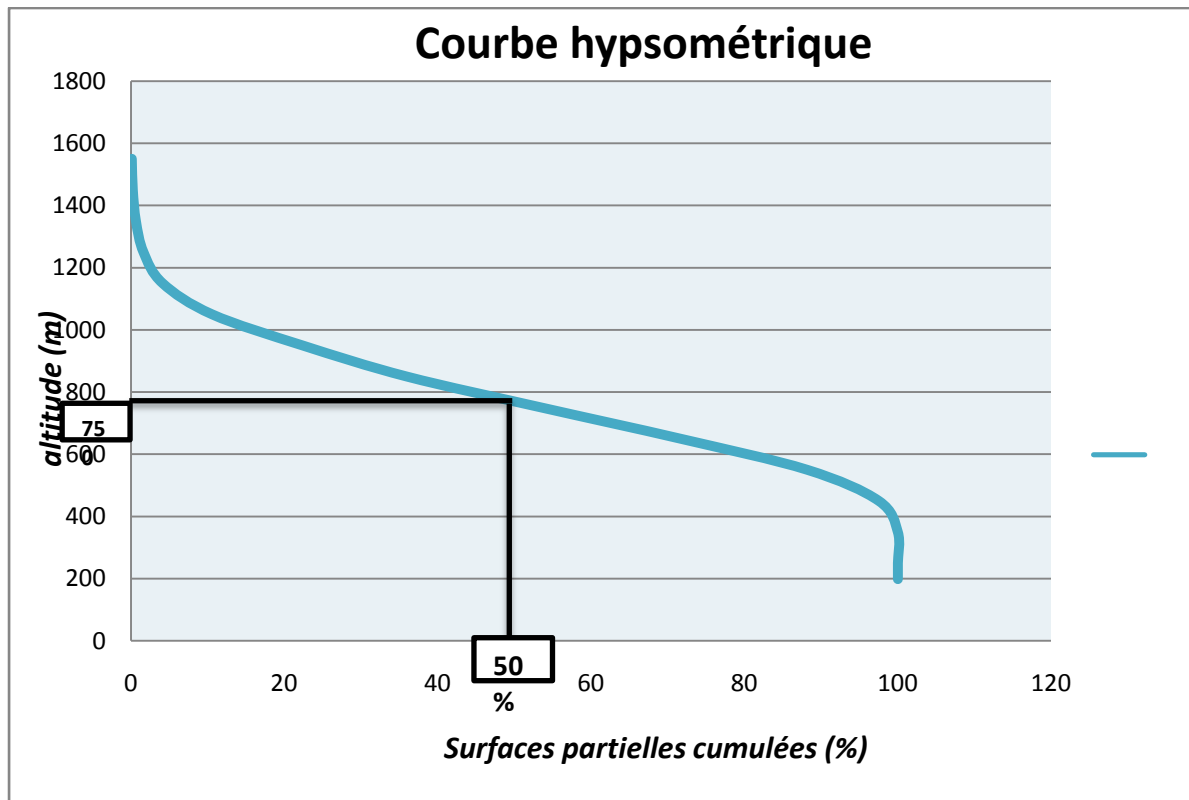
On obtient :  $H_{moy} = 737$  m

#### 12.1.3 Altitude médiane

Elle correspond à l'altitude lue à 50 % de la surface totale sur la courbe hypsométrique.

Elle se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin considéré représente une pente régulière. (LANGBIN, 1947).

$$H_m = H_{50\%} = 750 \text{ m}$$



*Figure II.11 : La méthode de détermination de l'altitude médiane*

### 13 Conclusion

L'étude minutieuse des différents paramètres cités dans ce chapitre évoluera encore nos connaissances et nous permettra d'évaluer la qualité des eaux souterraines dans le bassin Sahel.

Ces paramètres nous ont montré que

- ✓ La région de Sahel est assez homogène sur le plan climatique (le climat dans le bassin n'est pas uniforme).
- ✓ Le bassin possède un réseau hydrographique très développé (cours d'eau d'ordre 6). Trois Oueds et leurs affluents constituent son squelette hydrographique.
- ✓ L'altitude maximum est de 1867 m. Ces reliefs élevés sur les bordures du bassin provoquent un écoulement assez rapide des eaux.



***Chapitre III :***  
***Méthodologie***

## **1 Introduction**

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. A 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

Le présent chapitre consiste à présenter le protocole analytique ainsi qu'a méthodologie utilisé en vue d'examiner la qualité physico-chimique des eaux souterraines dans le bassin Sahel.

## **2 Méthodes d'acquisition des données**

### **2.1 Echantillonnage**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Pour ce travail, les échantillons sont recueillis dans des flacons rincés au préalable avec de l'eau distillée. Ces flacons sont de nouveau rincés trois fois avec de l'eau à analyser au moment du prélèvement. Puis, ils sont remplis jusqu'aux bords pour éviter toute pénétration d'air. Chaque flacon doit être accompagné d'une fiche signalétique permettant de rassembler les renseignements au laboratoire et comportera les renseignements suivants :

- ✚ L'origine de l'eau
- ✚ Nom du point d'eau et localisation précise.
- ✚ La date et l'heure de prélèvement
- ✚ Ville ou établissement que l'eau alimente.
- ✚ Température de l'eau à l'émergence au moment du prélèvement

Les échantillons sont directement prélevés des robinets placés spécialement pour cette fin après avoir laisser couler l'eau pendant un certain temps.

### 2.1.1 Conservation des échantillons

D'une façon générale, les échantillons ont été conservés et transportés au frais dans des glacières et les analyses ont été effectuées le plutôt possible en raison de l'évolution chimique de certains ions.

L'échantillon doit être conservé à environ 4 °C entre le moment du prélèvement et la réception au laboratoire.

### 2.1.2 Choix et localisation des points de prélèvement :

Dans le cadre du choix des points de prélèvement, on a choisi 23 point (puits et forages) de la nappe alluviale localisée dans le bassin sahel.

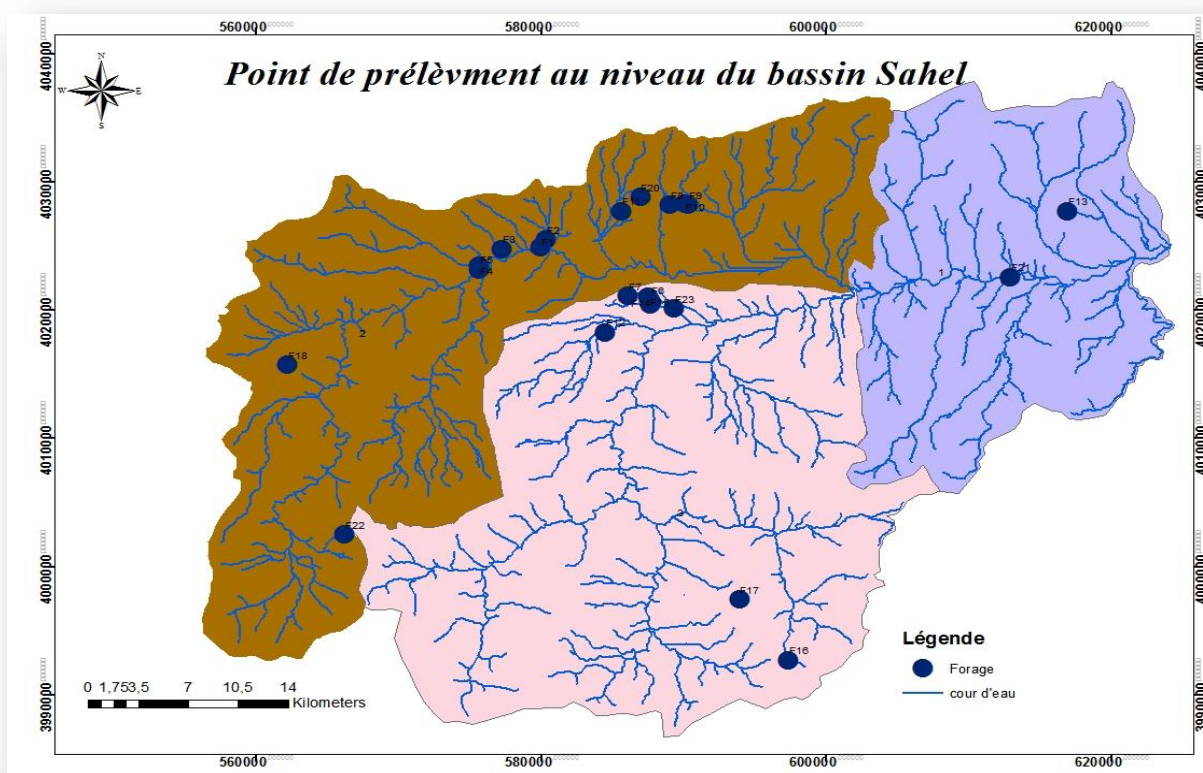


Figure III. 1 : Situation des forages dans le bassin Sahel

Le tableau ci-dessous regroupe les coordonnées géographiques des 23 points d'eaux sélectionnés.

**Tableau III. 1 : coordonnées des points de prélèvements (source : ADE Bouira)**

<b>Nom de forage</b>	<b>Forage</b>	<b>Longitude X (m)</b>	<b>Latitude Y (m)</b>
<i>forage f1louadhia</i>	<i>F1</i>	579951.145	4024941.015
<i>forage f8 harkat</i>	<i>F2</i>	580352.805	4025489.833
<i>forage f16 sidi ziane</i>	<i>F3</i>	577250.622	4024799.107
<i>forage F1 SAID ABID</i>	<i>F4</i>	575646.532	4023453.879
<i>forage F2 SAID ABID</i>	<i>F5</i>	575645.781	4023203.873
<i>forage THAMEUR</i>	<i>F6</i>	587689,012	4020767,62
<i>forage DJAADA</i>	<i>F7</i>	586089.985	4021122.435
<i>forage f5 HAZER</i>	<i>F8</i>	589061.349	4028213.939
<i>forage f2 HAZER</i>	<i>F9</i>	590311.407	4028210.214
<i>forage f1 HAZER</i>	<i>F10</i>	590111.770	4028335.816
<i>F3 TAGHZOUT</i>	<i>F11</i>	585659.715	4027724.061
<i>forage OUED EL BERDI</i>	<i>F12</i>	584481.355	4018277.110
<i>forage F3 CHORFA</i>	<i>F13</i>	616979,926	4027744,496
<i>forage F2 ESNAM</i>	<i>F14</i>	591438.166	4020406.362
<i>forage F3 EL ESNAM</i>	<i>F15</i>	592133.562	4018854.171
<i>forage F1 GUEMGOUMA</i>	<i>F16</i>	585011,156	3999147,24
<i>SOURCE MESDOUR</i>	<i>F17</i>	593921,498	3997415,917
<i>puits AIN EL BEIDHA</i>	<i>F18</i>	562178,171	4015749,89
<i>forage F4 TAGHZOUT</i>	<i>F19</i>	585964,142	4029203,222
<i>forage H17 TAGHZOUT</i>	<i>F20</i>	586963.048	4028820.225
<i>forage F57 M'chedallah</i>	<i>F21</i>	612946.641	4022580.404
<i>forage Beccouche</i>	<i>F22</i>	566182.759	4002481.854
<i>F3 Semmache</i>	<i>F23</i>	604874,48	4023004,15



### 3 *Technique d'analyse réalisées*

Les méthodes de mesure utilisées sont : volumétriques, gravimétriques, titrimétrique

#### 3.1 *Détermination du pH*

Une méthode électro métrique est utilisée pour la détermination du pH de l'eau. Elle s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface et les eaux minérales dont la température est comprise entre 0 et 60°C.

La zone de détermination de cette méthode s'étend de pH 4,00 à pH 10,00. La mesure du pH se fait selon l'instruction de travail du pH mètre concerné, les résultats sont affichés directement sur l'écran de l'appareil mesuré au laboratoire ADE de Bouira.

#### 3.2 *Détermination de la conductivité*

La mesure de conductivité a pour objet de décrire une méthode électrique pour la détermination de la conductivité des eaux. Elle s'applique aux eaux de distribution, souterraines, de surface et eaux usées.

Les mesures de conductivité se font selon l'instruction de travail de l'équipement concerné, au niveau du laboratoire de Bouira. Elles sont exprimées en S/cm à la température de 25°C.

La température est automatiquement corrigée par l'appareil de mesure et les résultats sont affichés directement sur l'écran de l'appareil.

#### 3.3 *Dosage des éléments chimique par spectrométrie*

##### 3.3.1 *Nitrate $NO_3^-$*

Ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et les eaux de surface.

En présence de salicylate de sodium, les nitrates du paranitro salicylate de sodium, coloré en jaune qui est dosé par spectrophotométrie à la longueur d'onde  $\lambda=415$  nm. (Laboratoire ADE Bouira). Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrates

##### 3.3.2 *Les sulfates $SO_4^{2-}$*

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique. Le sulfate de baryum forme avec la solution de tween 20 de polyvinyle-pyrrolidone, des suspensions homogènes. La solution est ensuite dosée par spectrophotométrie à  $\lambda=650$ nm.

### 3.4 Dosage par méthode titrimétrique

#### 3.4.1 Dosage de la dureté totale par méthode titrimétrique à l'EDTA

Cette méthode titrimétrique a pour objet de déterminer la dureté totale d'une eau. Elle est applicable aux eaux souterraines. Elle peut aussi être utilisée pour les eaux résiduaires urbaines et les eaux brutes industrielles, à condition qu'elles ne contiennent pas de métaux lourds en quantités interférentes. Ce dosage n'est pas applicable aux eaux de mer et eaux du même type à forte teneur en sels.

La détermination du TH consiste à doser essentiellement les ions calcium et magnésium contenus dans l'eau. Au cours de ce dosage, le réactif titrant utilisé est l'anion éthylènediaminetétracétate abrégé EDTA, le milieu étant tamponné à pH = 10. L'indicateur utilisé est le noir Triochrome T. (Laboratoire ADE Bouira)

#### 3.4.2 Dosage du calcium

Les ions calciums sont titrés avec une solution l'EDTA à un pH entre 12 et 13 l'indicateur forme un complexe rouge avec le Ca<sup>2+</sup>.

Le calcium est précipité sous forme d'hydroxydes. L'EDTA réagit avec les ions Ca<sup>2+</sup> libre puis avec les ions Ca<sup>2+</sup> combinés avec le HSN (C<sub>21</sub> H<sub>14</sub> N<sub>2</sub> O<sub>7</sub> S, 3H<sub>2</sub>O) qui vire de la couleur rouge au bleu clair ou violet.

#### 3.4.3 Dosage des Chlorures (Cl<sup>-</sup>)

Les ions chlorures réagissent avec les ions d'argent pour former un précipité de chlorure d'argents insoluble. Les chromates ajoutés comme indicateur réagissent avec l'excès d'argent pour former les chromates d'argent brun-rouge. (Laboratoire ADE Bouira).

## 4 Vérification de la balance ionique

L'étude de la fiabilité des données hydrogéochimique a consisté d'une part à une vérification du bilan ionique. Cette vérification a été précédée d'une analyse des ions majeurs intervenant dans l'évaluation du bilan ionique. Sachant qu'une analyse chimique des eaux n'est considérée comme représentative que lorsque la balance ionique est inférieure ou égale à 10%. Les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés. L'erreur sur la balance ionique (BI) est donnée en pourcentage et calculée par la relation suivante : (OLLAGNIER & VITTECOQ, 2007)

$$BI(\%) = 100 \times \left| \frac{\sum cations - \sum anions}{\sum cations + \sum anions} \right|$$

Avec :  $\Sigma$  cations : Somme des cations majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent

$\Sigma$  anions : Somme des anions majeurs contenus dans l'eau en milliéquivalent

Les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

**Tableau III. 2 : fiabilité des analyses d'après l'indice de balance ionique**

<i>Balances ioniques</i>	<i>Fiabilité des résultats d'analyses</i>
<b>-1% &lt; IB &lt; 1%</b>	excellente.
<b>-5% &lt; IB &lt; 5%</b>	acceptable.
<b>-10% &lt; I &lt; 10%</b>	médiocre (exploitables)
<b>IB&lt;-10% ou IB&gt;10%</b>	Mauvaise

## 5 Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux

### 5.1 Présentation de logiciel diagrammes

Dans le but de bien identifier les faciès hydro chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours aux diagrammes de Piper et Schoeler Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes (ABDOULKADRI, 2015)

Logiciel Diagramme permet la création des diagrammes spécifiques à l'hydrogéologie et la validation des données analytiques (SIMLER, 2012)

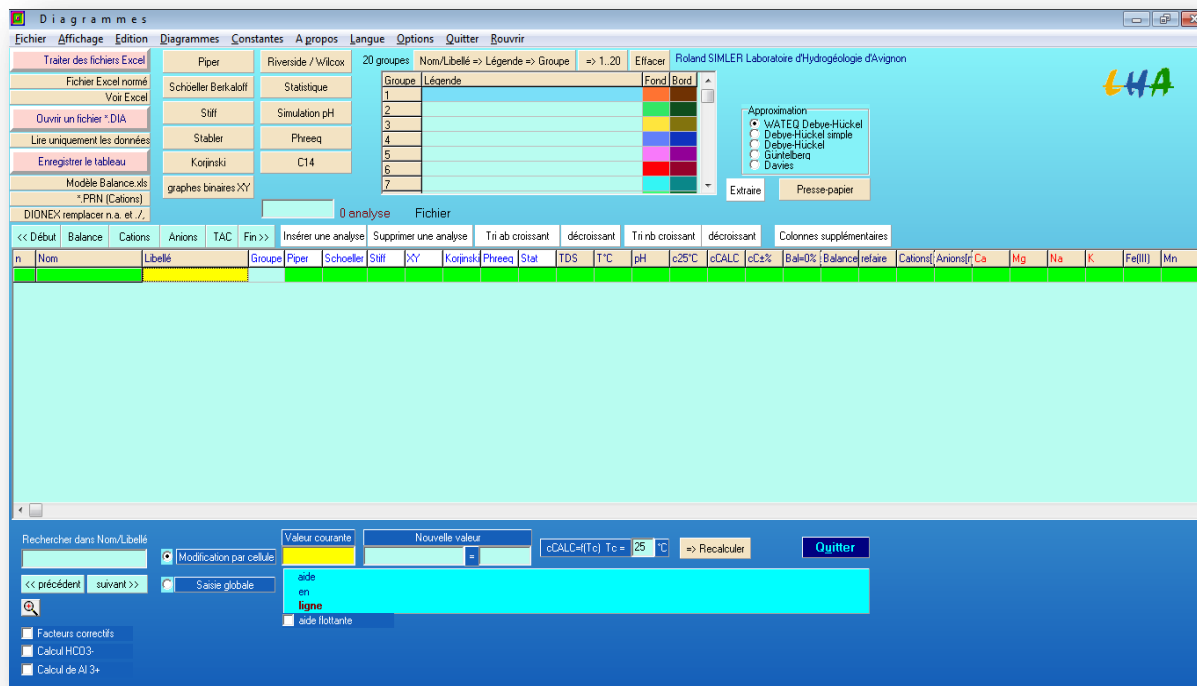


Figure III.2 : Interface de logiciel Diagrammes

### 5.1.1 Le diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée l'échantillon considéré (BOUADJELA, 2013)

Le diagramme de Piper permet également (HAISSOUNE & IDHSSAINE, 2013)

- ❖ la projection de plusieurs échantillons en même temps
- ❖ Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace
- ❖ Pour les comparer
- ❖ Pour avoir une idée sur la notion de mélange

- ❖ De suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.
- ❖ D'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes

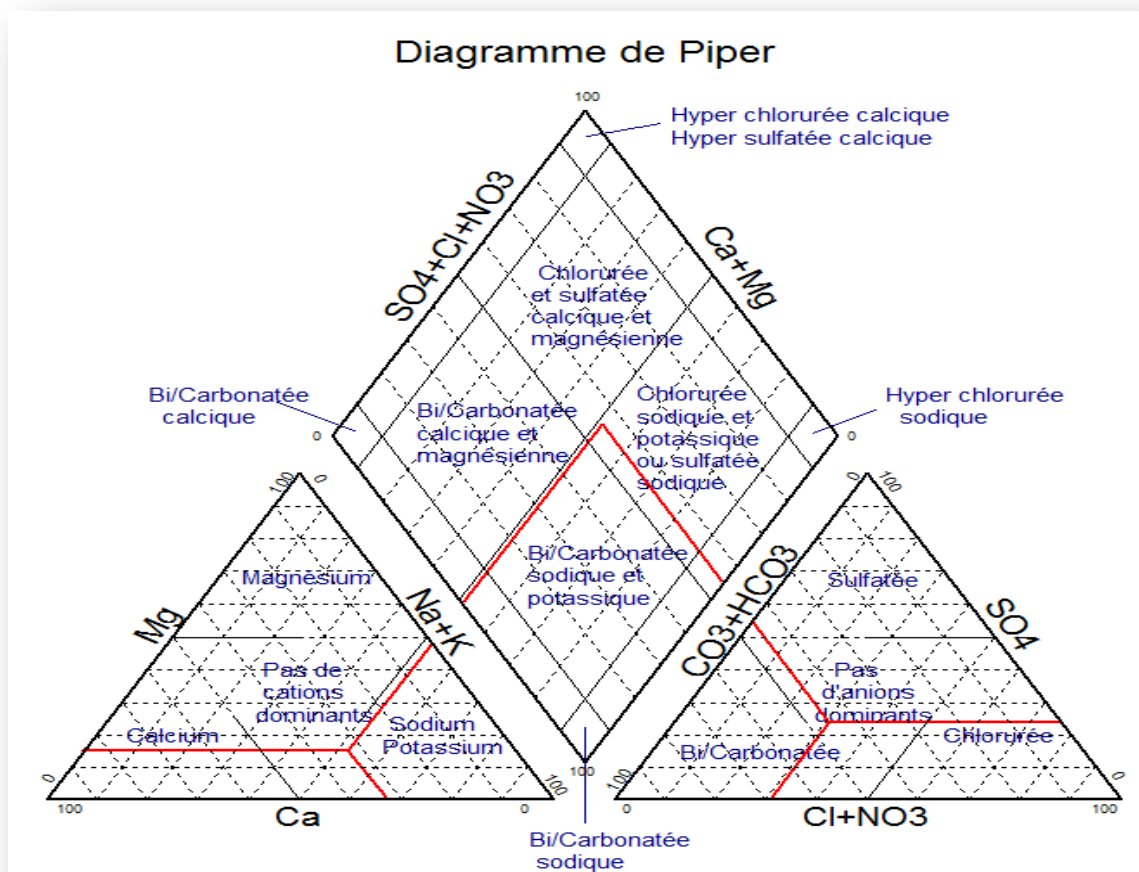


Figure III. 3 Diagramme de Piper

### 5.1.2 Le diagramme vertical (Schoëller Berkaloff).

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff est une représentation graphique semi-logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites.

Pour définir le faciès chimique d'une eau à partir de diagramme de Schoëller-Berkaloff, on observe la ligne figurative et on prend en considération les points les plus élevés des anions et de même pour les cations. Le diagramme de Schoëller-Berkaloff ne permet pas présenter un nombre important d'analyses, mais autorise une comparaison quantitative des analyses, l'unité utilisée n'est plus un rapport (%) mais le meq/l. (BOUADJELA, 2013).

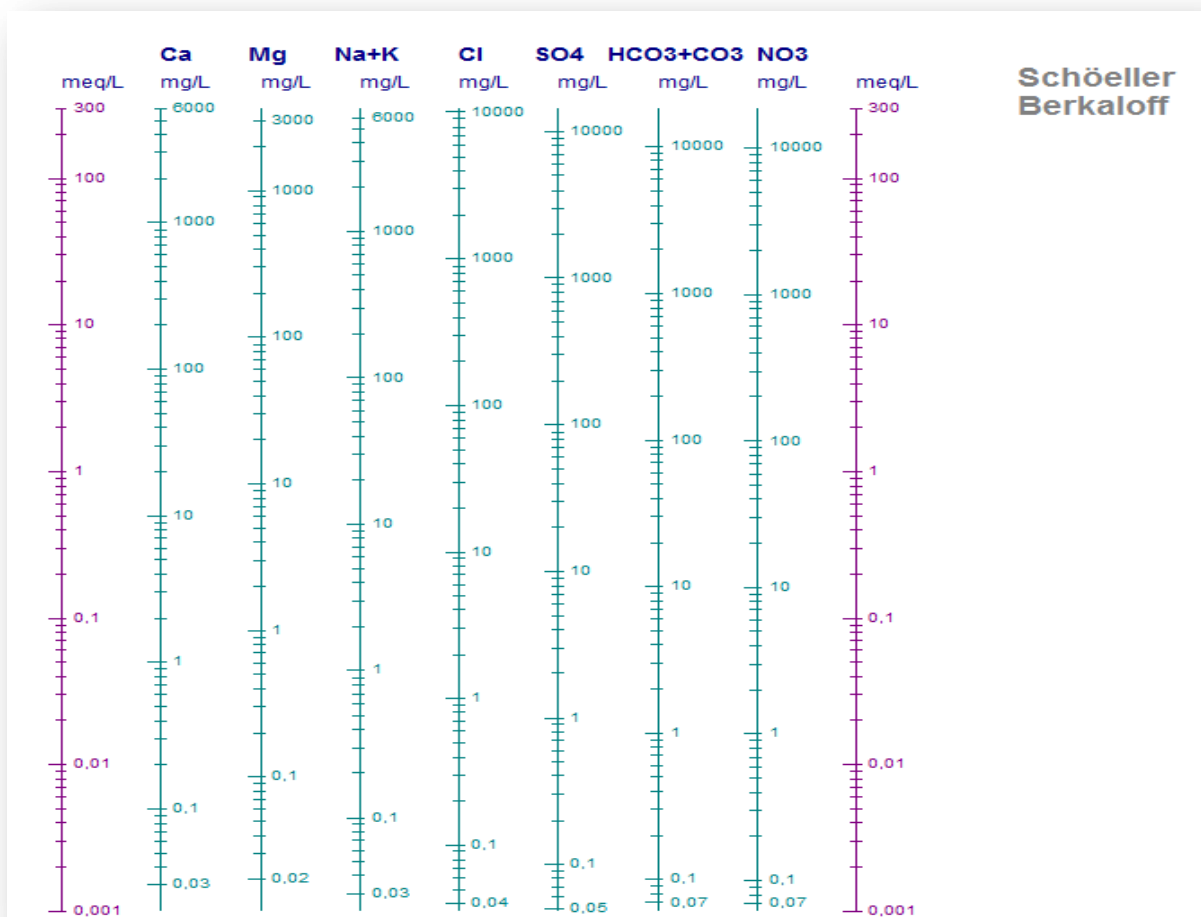


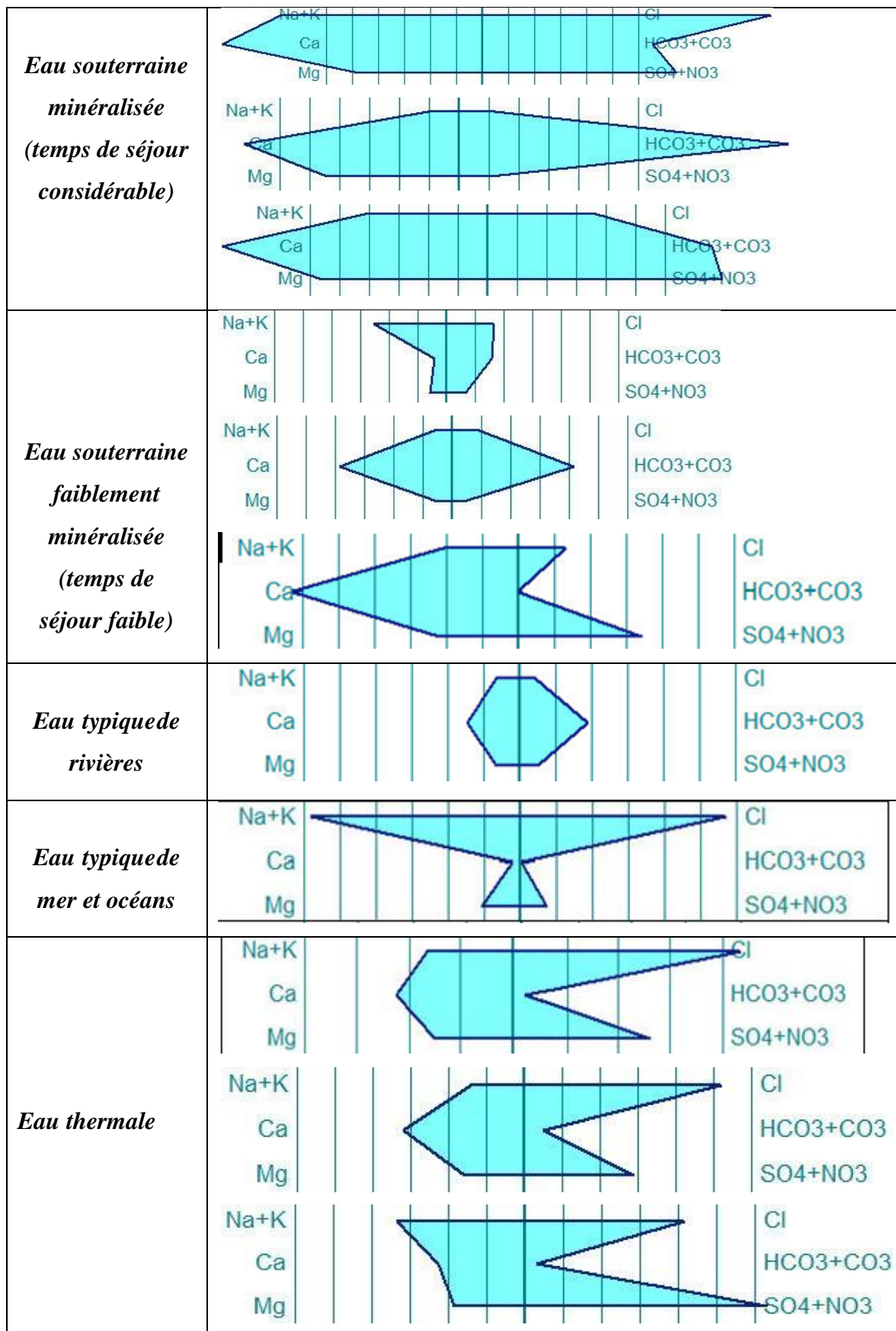
Figure III. 4 : Diagramme de Schoëller-Berkaloff

### 5.1.3 Diagramme de Stiff

Il est représenté avec 3 axes verticaux : un à droite pour ions négatif, un à gauche pour ions positif et une 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 différents 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.

La comparaison entre les échantillons se base sur la géométrie du polygone qui donne une idée sur les espèces dominantes et la parenté chimique.

Tableau III. 3 : Diagramme de Stiff pour 11 échantillons d'eaux différentes (METAICH, 2020)



### 5.1.4 Diagramme de Stabler

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. (METAICH, 2020).

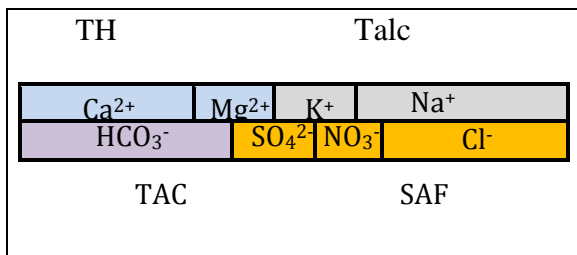


Figure III. 5 Diagramme de Stabler pour un échantillon d'eau quelconque

### 5.2 Présentation de logiciel Arc GIS 10.8

Arc GIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine *Esri* (Environmental Systems Research Institute.). Une version avancée, Arc GIS 10.8 offre quelques fonctionnalités en plus.

IL permet de :

- ❖ Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes.
- ❖ Rassembler les informations géographiques.
- ❖ Créer et gérer des bases de données géographiques.
- ❖ Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale.
- ❖ Créer des applications basées sur la carte.
- ❖ Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation.



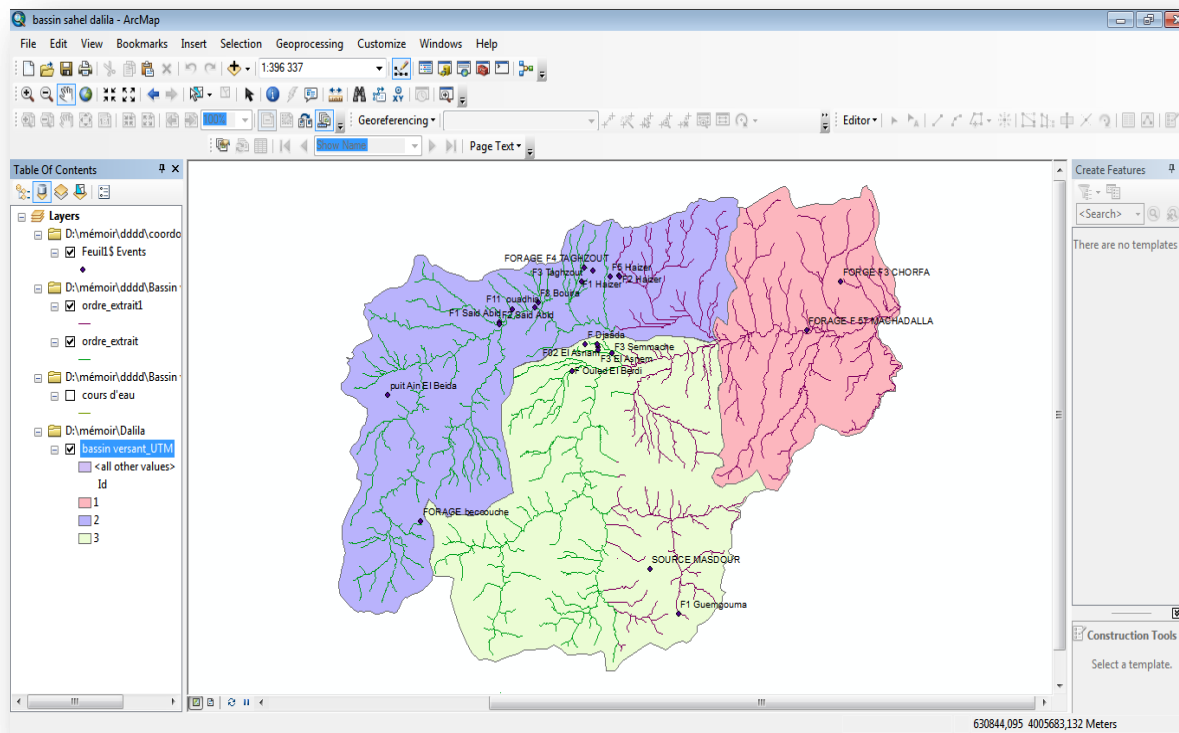


Figure III. 6 Interface de logiciel Arc GIS 10.8

## 6 Méthode de calcul de l'indice de qualité d'eau souterraines IQES

L'indice de qualité de l'eau souterraine (IQES) est une technique de classification de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationale respectives (normes d'OMS). En d'autres termes, l'IQES résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (par exemple, excellent, bon, mauvais...etc.). En générant un score qui décrit l'état qualitatif de l'eau en vue d'un usage domestique. Cette méthode a été initialement proposée par Horton (Horton, 1965) et Brown (Brown, M, McClelland, Deininger, & Tozer, 1970).

L'indice de la qualité de l'eau se calcule selon la méthode proposée par Yidana (Yidana & Yidana, 2010). Dans cette approche une valeur numérique appelée poids (wight), comprise entre 2 et 5, est attribuée à chaque paramètre, reflétant son degré d'influence sur la qualité de l'eau

- ✚ Un poids maximum de 5 a été attribué pour les  $NO_3^-$
- ✚ Une valeur de 4 pour le TDS et le pH
- ✚ Une valeur de 3 pour le TAC
- ✚ un poids minimum de 2 pour TH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  et  $K^+$

Les poids attribués aux différents paramètres physico-chimiques sont présentés dans le tableau suivant : (Dhanasekarapandian, Chandran, Devi, & Kumar, 2016)

**Tableau III. 4 : Poids des paramètres physico-chimiques**

Paramètres chimiques	Normes Algériennes (mg/l)	Facteur de poids	Poids relative (Wi)
<i>pH</i>	9	4	0,12
<i>TH</i>	500	2	0,06
<i>Ca<sup>2+</sup></i>	200	2	0,06
<i>Mg<sup>2+</sup></i>	50	2	0,06
<i>Na<sup>+</sup></i>	200	2	0,06
<i>K<sup>+</sup></i>	12	2	0,06
<i>TAC</i>	500	3	0,09
<i>TDS</i>	1500	4	0,12
<i>Cl<sup>-</sup></i>	500	3	0,09
<i>NO<sup>3-</sup></i>	50	5	0,15
<i>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></i>	400	4	0,12
		33	0,99

✚ Le poids relatif (Wi) est calculé par l'équation :  $Wi = wi / \sum_{i=1}^n wi$

**Avec :** Wi: est le poids relatif

**wi :** est le poids de chaque paramètre

**n:** est le nombre des paramètres

✚ L'échelle de notation de la qualité (qi) de chaque paramètre est calculée par division de la concentration de chaque paramètre par la norme respective de l'OMS et multiplier par 100.  $qi = (Ci/Si) \times 100$

**Avec :** **qi:** échelle de notation de la qualité

**Ci :** la concentration de chaque paramètre en mg/l

**Si :** la norme de l'OMS de chaque paramètre en mg/l.

✚ Pour calculer l'Indice de la Qualité de l'Eau, le Sous Indice (SIi) est le premier indice à déterminer.  $SIi = Wi \times qi$

✚ A partir de la somme des Sous Indices de chaque paramètre, on détermine l'IQE de chaque échantillon.  $IQE = \sum SIi$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau :

Tableau III. 5 : Classification de l'eau selon l'IQE (Sahu &amp; Sikdar, (2008))

Valeur de l'IQE	Type d'eau
< 50	Excellente qualité
50-100.1	Bonne qualité
100-200.1	Mauvaise qualité
200-300.1	Très mauvaise qualité
> 300	Eau non potable

## 7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'identifier les logiciels utilisés pour évaluer l'origine des différents éléments et la qualité de l'eau souterraines de l'ensemble des forages dans le bassin versant Sahel.

Les analyses faites au laboratoire ont été effectuées par les méthodes volumétriques et spectrométriques

A la fin de ce chapitre on peut dire qu'un mauvais dosage ou une mauvaise conservation des échantillons peuvent fausser les résultats, donc la manipulation nécessite une minutieuse attention.



*Chapitre IV :*  
*Résultats et discussion*

## 1 Introduction

Les eaux souterraines présentent toujours une certaine concentration des différents éléments chimiques élevée. Ces concentrations ne doivent pas dépasser un certain seuil défini par les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les services de la santé publique.

Le principal objectif de ce chapitre est de déterminer l'indice de la qualité des eaux souterraine pour 23 forages situ dans le bassin Sahel pour l'année 2019 et de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines destinée à la consommation dans le bassin sahel. Pour ce but Les résultats sont comparés aux normes données par l'OMS et la norme Algérienne et représentés graphiquement par des diagrammes qui permettent de faciliter la comparaison entre les résultats et les normes utilisées.

## 2 Evaluation de la qualité des eaux des forages pour étudiées :

### 2.1 Température (°C)

La température permet d'identifier la profondeur, et l'origine des eaux souterraine. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).

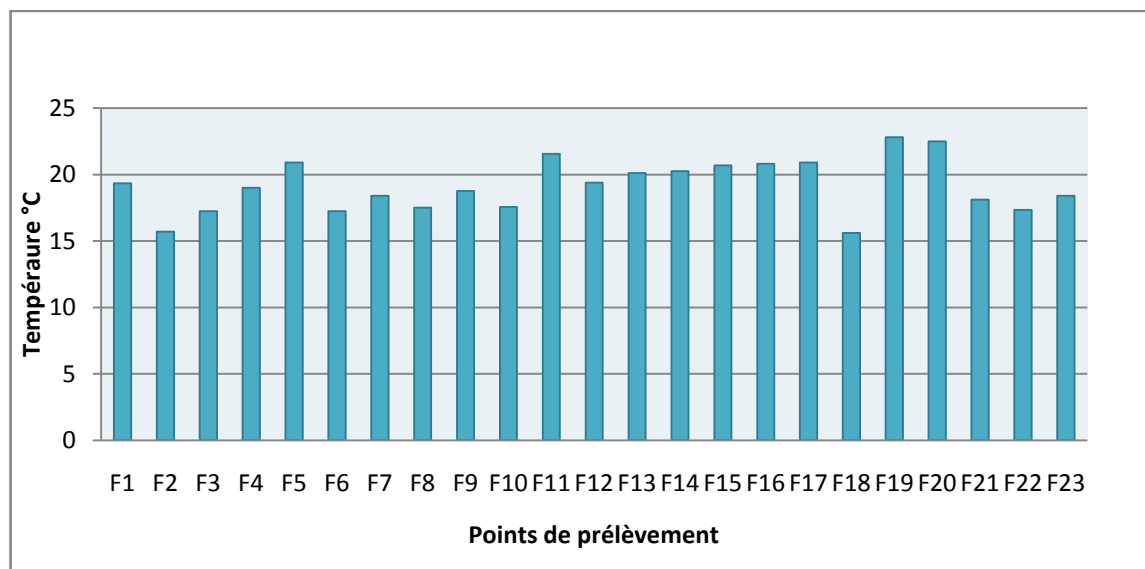


Figure IV.1 : Variation de Température au niveau des points de prélèvement

Les valeurs de températures mesurées varient entre (15.6-22.8°C) respectivement, pour les points de prélèvement (F18 et F19). Ces dernières sont dans la norme algérienne fixée à 25°C. Ceci est forcément dû à la profondeur relativement faible des forages.

## 2.2 Potentiel d'hydrogène "pH "

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés

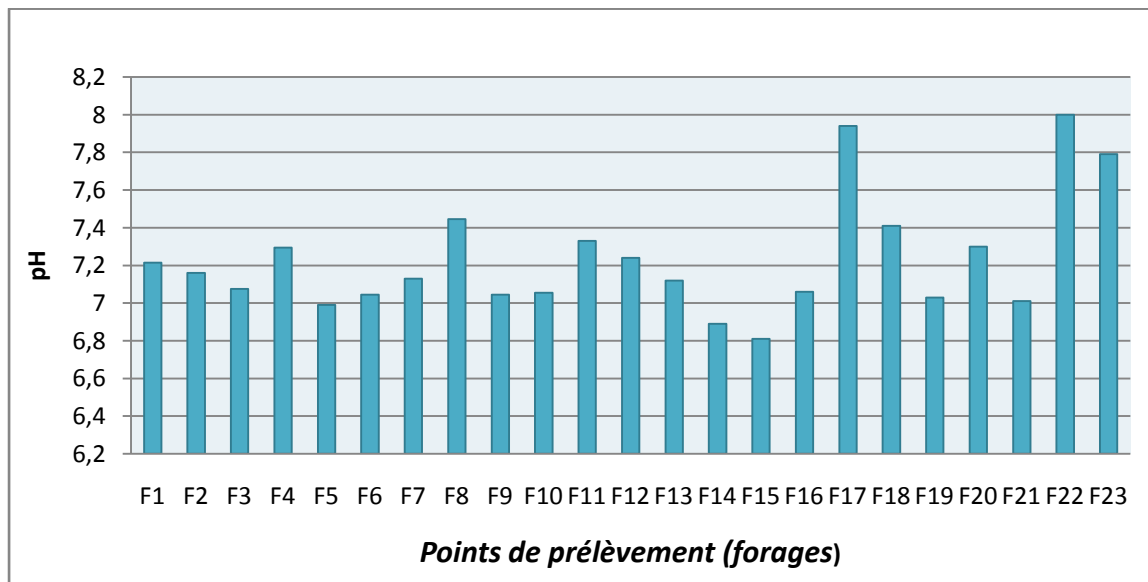
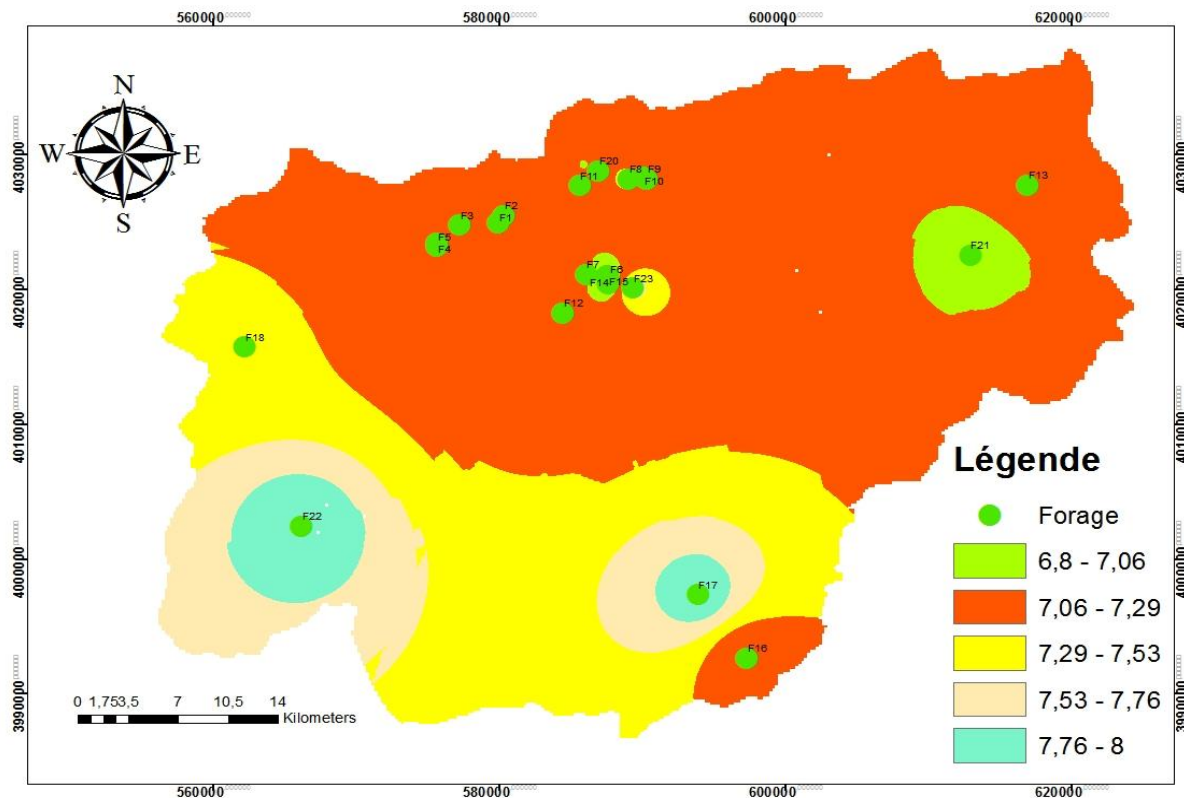


Figure IV. 2 : Variation du pH au niveau des points de prélèvement



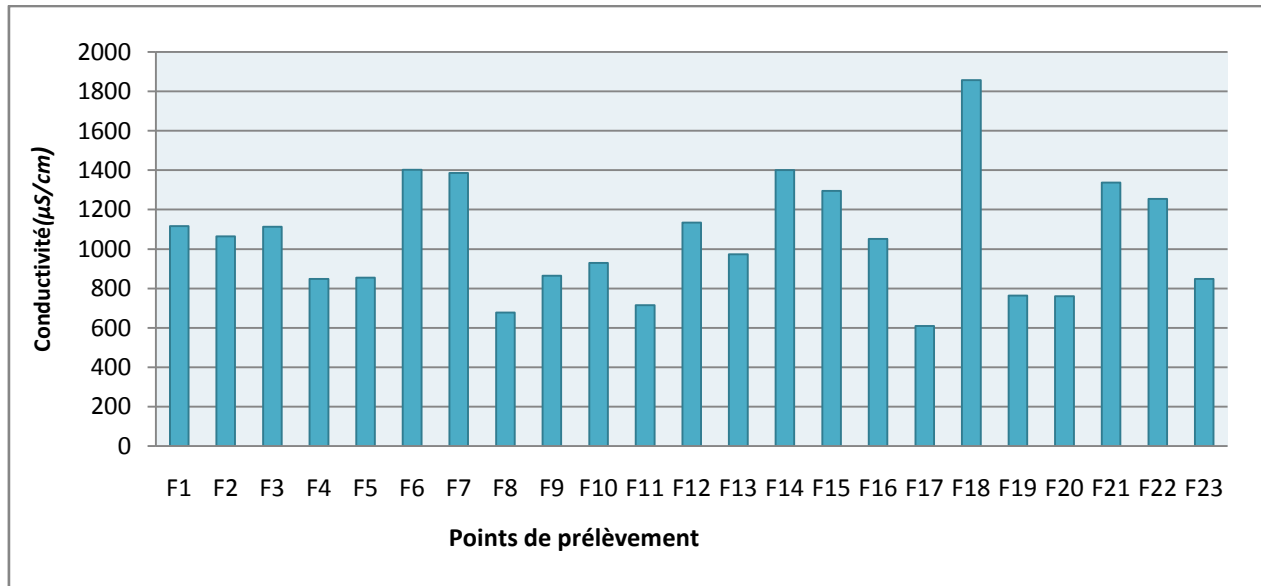
**Figure IV.3 : Carte de Variation du potentiel d'hydrogène pH au niveau de bassin sahel**

D'après la figure, les pH mesurés sont hétérogènes et ils varient entre 6,81(F15) et 8 (F22) les valeurs du pH montrent que tous les forages se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité (entre 6.5-9).

La moyenne est à l'ordre de 7.23. Ceci est lié à la nature de roches présentes dans la région qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires à composante carbonatée importante. (figure IV.2)

### 2.3 Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau. Plus l'eau est minéralisée plus il y a d'ions et par conséquent plus le passage du courant sera important et la conductivité élevée.



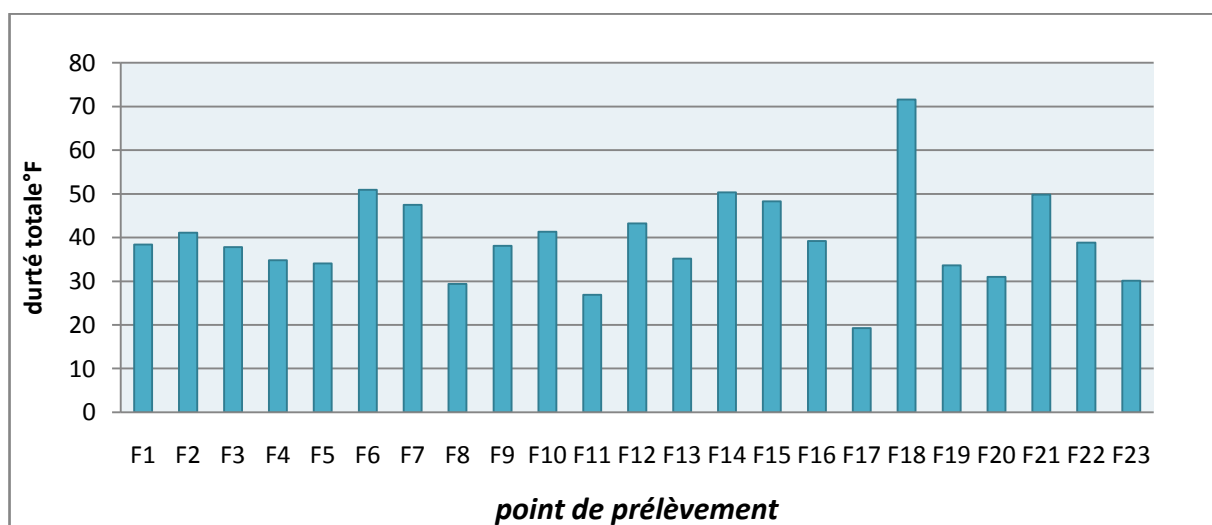
**Figure IV. 4 : Variation de la conductivité des forages étudiés en ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

Les valeurs de la conductivité pour les 23 forages varient entre 609 à 1857  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dont la minimale est enregistrée pour F17 et la maximale est enregistrée pour F18, ces valeurs restent nettement inférieures à la norme algérienne (2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Ces valeurs avec un degré de minéralisation varient entre Important et Excessive pour les 23 Forages Donc on peut dire que la qualité de ses eaux est utilisable.

#### 2.4 La dureté (TH)

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium. On peut considérer que les eaux de bonne qualité sont les eaux qui ont une dureté entre 20°F et 50°F (RODIER et al, 2009)



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



Les valeurs de la dureté pour les 23 forages varient entre 19.3°F et 71.6°F. La valeur minimale de TH est marquée au niveau de F17 et la maximale au niveau de F18. Ces valeurs ne dépassent pas la norme de potabilité qui est à l'ordre de 50°F (selon le JORA et l'OMS)

Tableau IV. 1 : Qualité de l'eau en fonction du TH

TH (F°)	Qualité de l'eau	Les forages
0_7	douce	/
7_22	Modérément douce	F17
22_32	Assez douce	F8, F11, F11, F19, F20, F23,
32_54	Dure	F1, F2, F3, F4, F5, F6 , F7, F9, F10, F12, F13, F14, F15, F16, F19, F21, F22
>54	Très dure	F18

Donc ces eaux on peut les considérer comme des eaux assez douces et dures , ceci peut être expliquée dans la plupart des cas par la nature calcique des sols et surtout les terrains gypseux traverses, aussi due aux ions Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup> responsables de la formation du calcaire.

2.5 Titre alcalimétrique complet (TAC)

La valeur maximale à ne pas dépasser pour le TAC est de 50 °F. Le TAC des résultats obtenus sont dans la gamme de 30°F alors ils sont conformes aux normes algériennes et OMS. La carte montre que le sous bassin le plus riche en TDC est d'Oued Sahel (Figure IV. 6 )

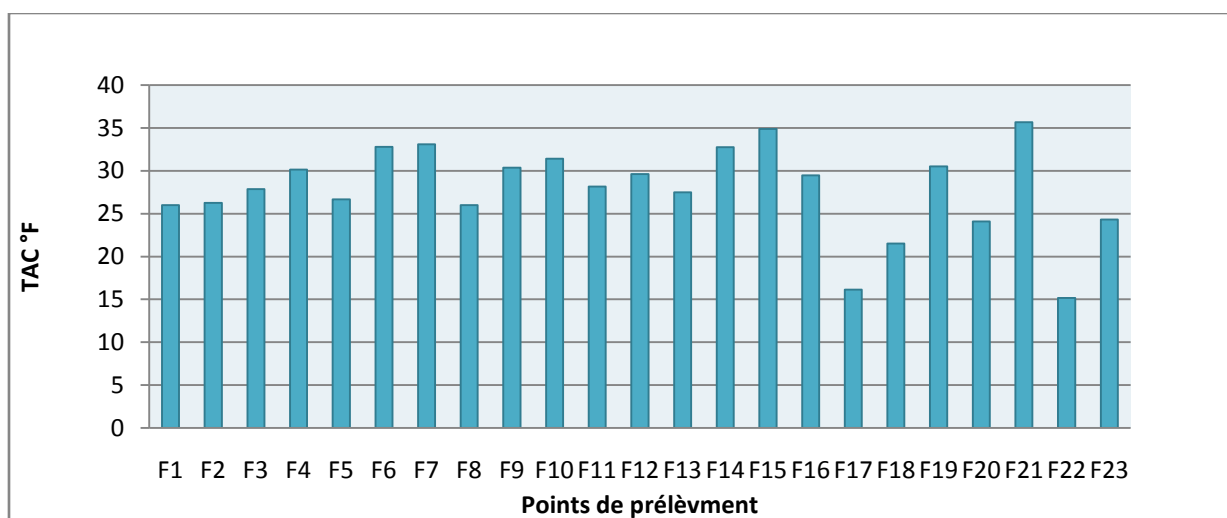


Figure IV. 7 : Variation de TAC des forages étudiés en (°F)

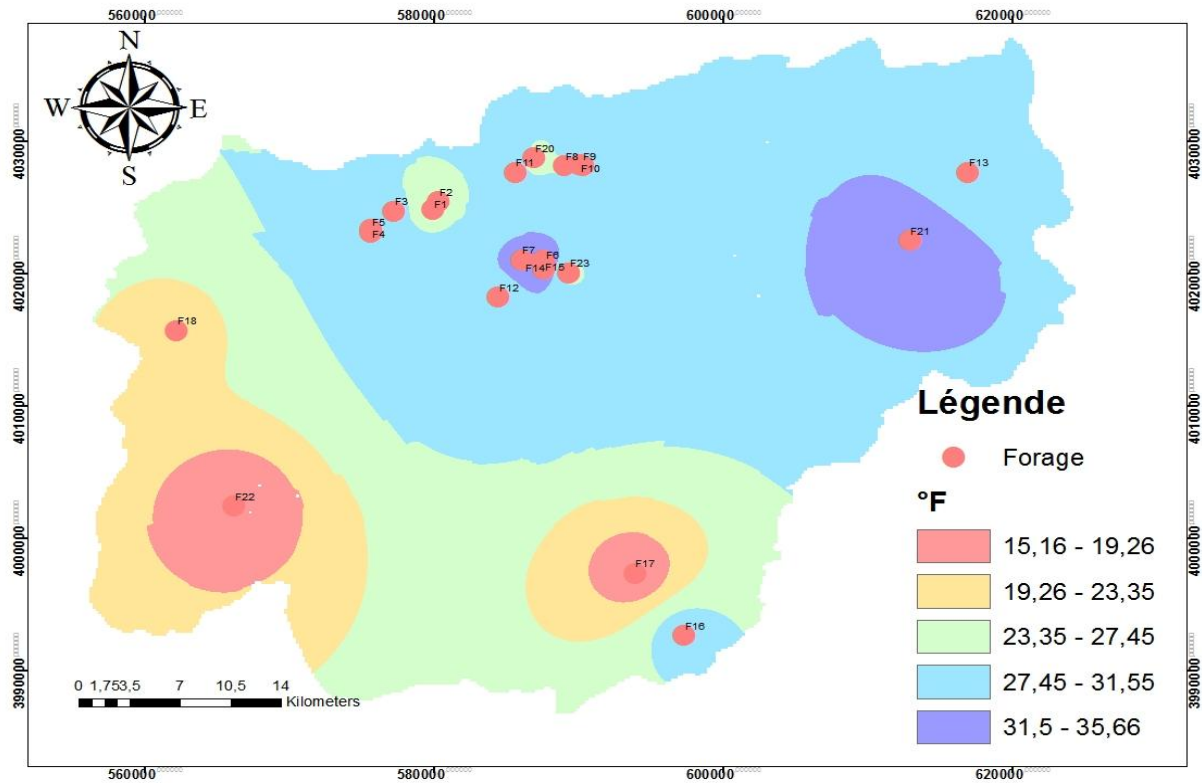


Figure IV. 8 : Carte des variations de TAC dans la zone d'étude

## 2.6 Cations

### 2.6.1 Calcium

La présence des ions  $Ca^{2+}$  dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées ( $CaCO_3$ ), soit la dissolution des formations gypseuses ( $CaSO_4$ ). Les eaux potables de bonne qualité renferment moins de 100mg/L de calcium.

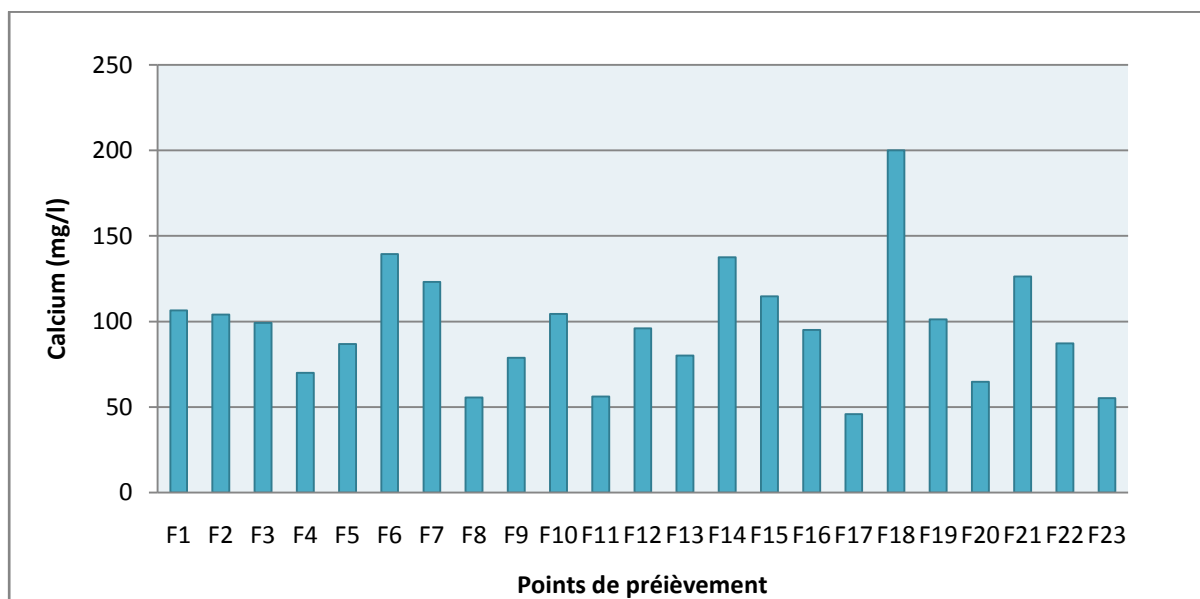


Figure IV. 9 : variations de calcium des forages étudiés (mg/l)

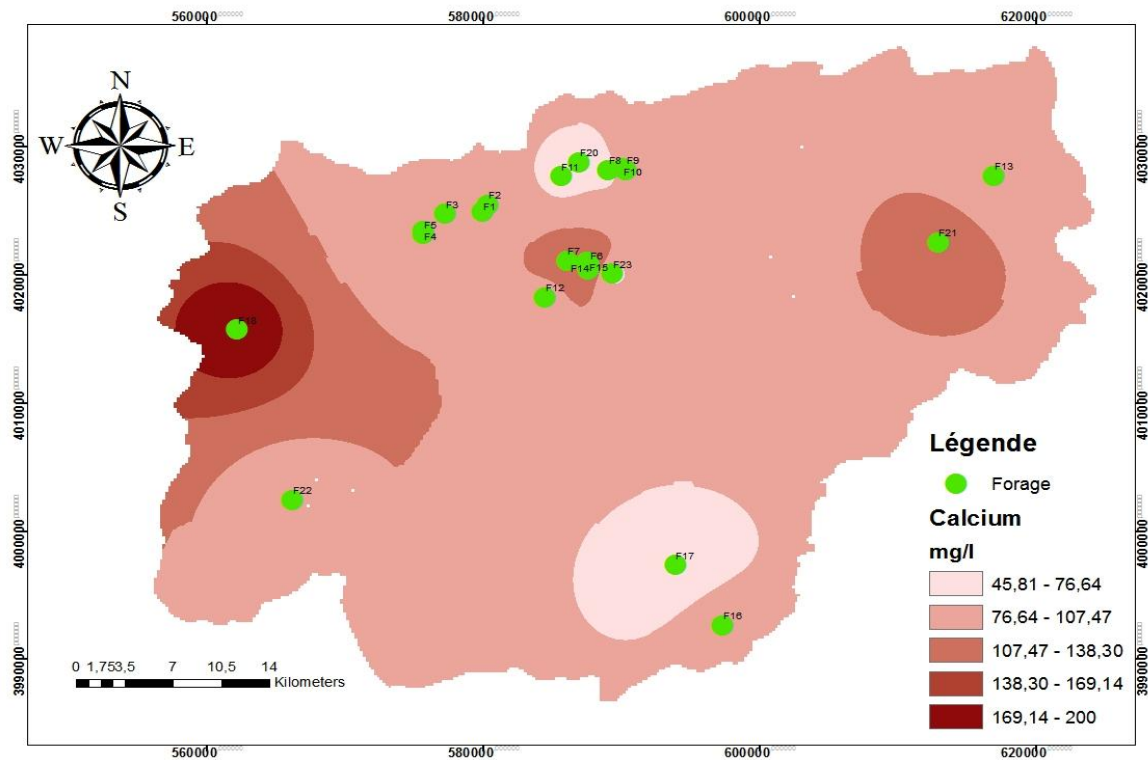


Figure IV. 10 : Carte des variations de calcium dans la zone d'étude

Dans nos échantillons d'eau, les teneurs en calcium varient de 45.8 mg/l à 200 mg/l dont le maximum est enregistré au niveau de forage F18 et le minimum au niveau de F17

La carte et présentation graphique montrent que les concentrations sont inférieures aux normes OMS et à la norme algérienne de potabilité des eaux fixée à 200 mg/l.

On remarque que la concentration du calcium dans le (F18) égale à la norme algérienne (200mg/l) ce taux important est due au petit dépôt de calcaire au fond du forage ou la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

### 2.6.2 Magnésium $Mg^{2+}$

Il est l'un des éléments les plus répons dans la nature et à partir d'une concentration de 100mg/l, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. (Rodier 1996).

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) Et La dissolution du  $Mg SO_4$  des terrains gypseux du Trias (Dalila, 2009).

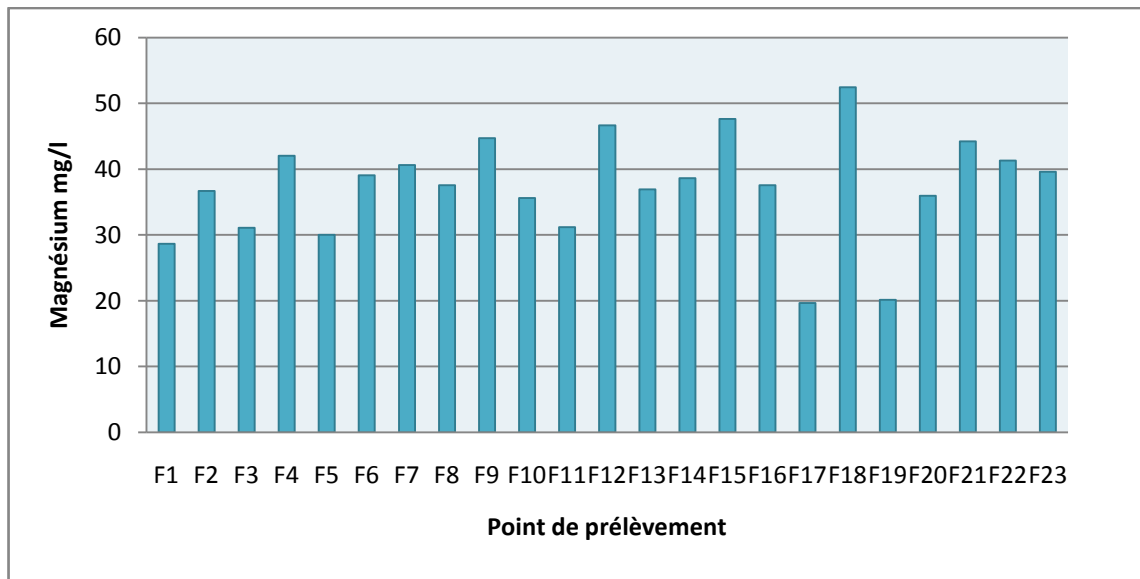


Figure IV.11: variations de magnésium des forages étudiés (mg/l)

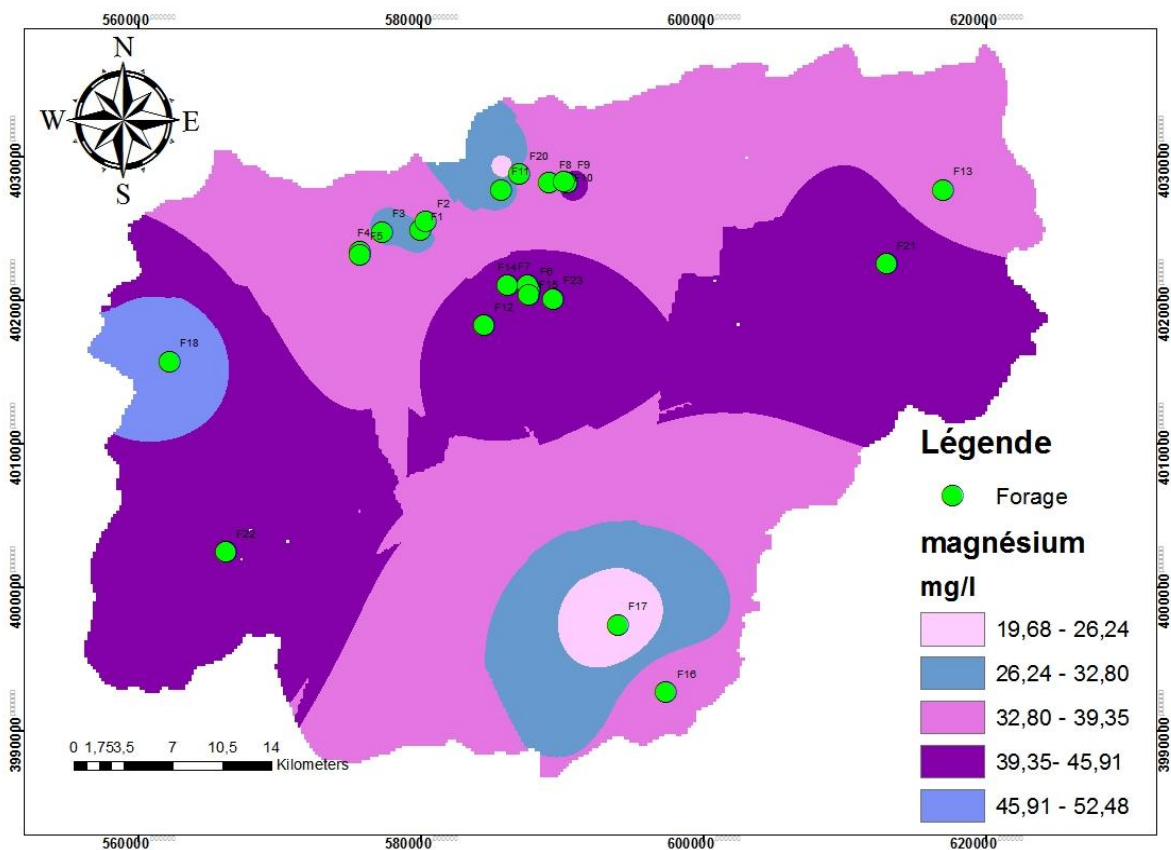


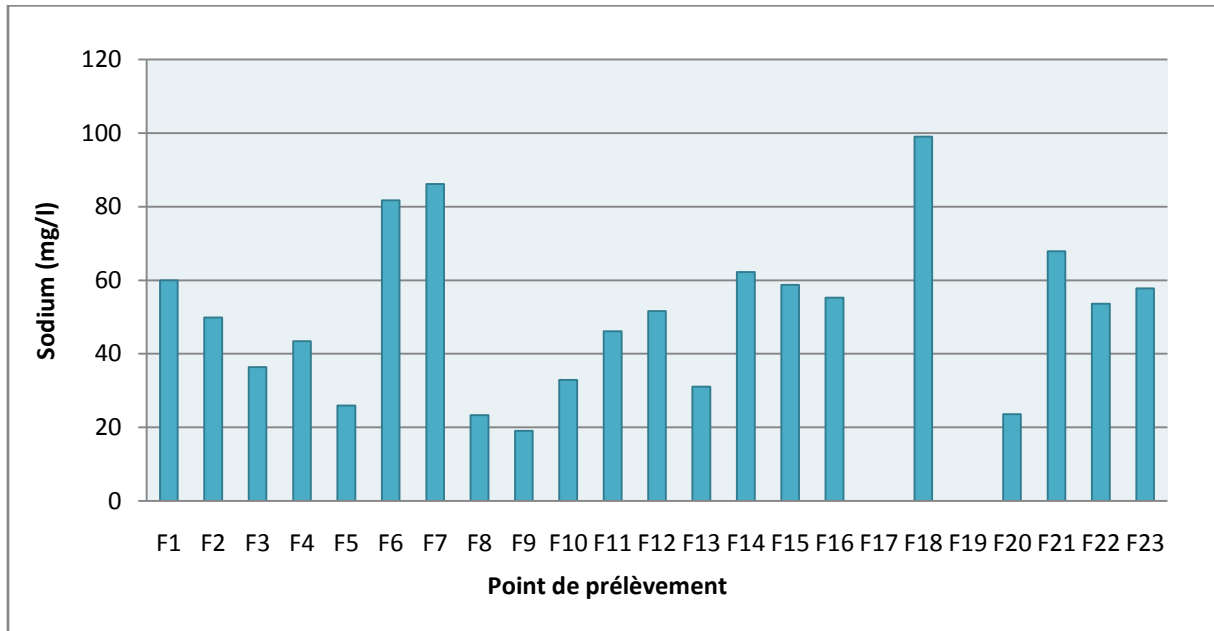
Figure IV.12 : Carte des variations de magnésium dans le bassin Sahel

La présentation graphique et la cartographie montrent que les concentrations de magnésium dans les forages étudiées varient entre 19,68 à 52,48 mg/l. Les teneurs 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 (JORA2011).

### 2.6.3 Sodium $Na^+$

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.

Le Sodium est beaucoup plus abondant que le Potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables.



*Figure IV. 13 : variations de sodium des forages étudiés (mg/l)*

Les concentrations de sodium dans les eaux de ce bassin varient de 0 mg/l (F17 et F19) à 99.04 mg/l (F18) la présence de cet élément due à quelque usage industriel dans la nappe. Ces concentrations ne dépassent pas la norme de potabilité qui est à l'ordre de 200mg/l. (selon le JORA et l'OMS) alors Les eaux étudiées sont considérées non sodiques ( $Na^+ < 200$  mg/l).

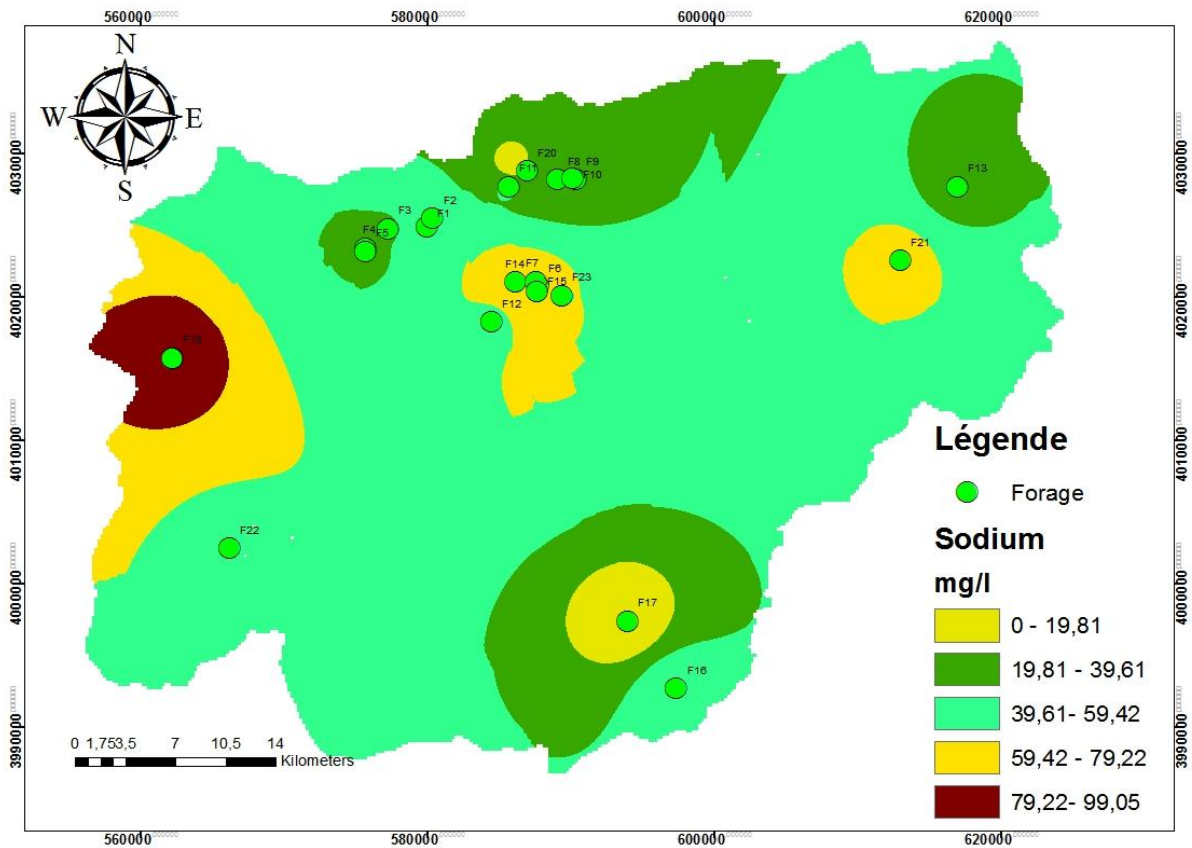


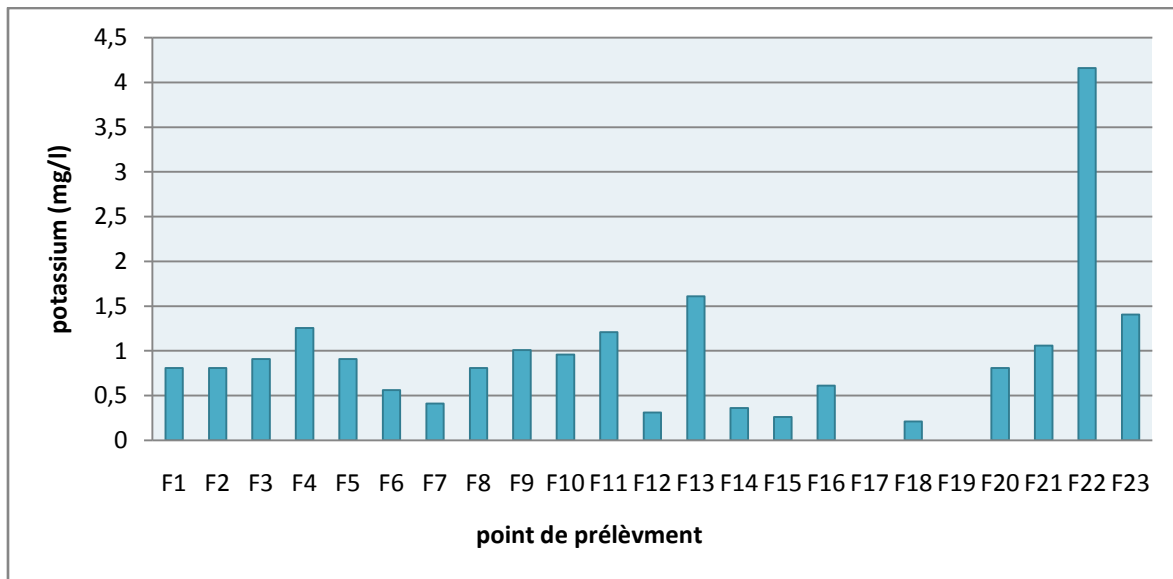
Figure IV. 14 Carte des variations de Sodium dans le bassin Sahel

D’après la carte réalisée avec ArcGIS la zone la plus chargée avec le sodium et le sous bassin Oued Dous où se trouve le (F18).

2. 6. 4 **Potassium  $K^+$**

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 enregistrées, pendant la période d’observation, pour tous les échantillons des forages de la région d’étude, sont regroupés sur la figure ci-dessous (Figure IV. 15 ).



*Figure IV. 16 : variations de potassium des forages étudiés (mg/l)*

Les teneurs en potassium dans la région d'étude varient entre 0 mg/l pour (F17et F19) et 4.16 mg/l pour (F22).

D'après la réglementation algérienne le potassium dans l'eau ne doit pas dépasser 12 mg/l. Alors les eaux des forages étudiés sont conformes à la norme de potabilité algérienne (JORA 2011).

Les concentrations en potassium dans la région d'étude provient de l'altération des, formations argileuses des alluvions quaternaires.

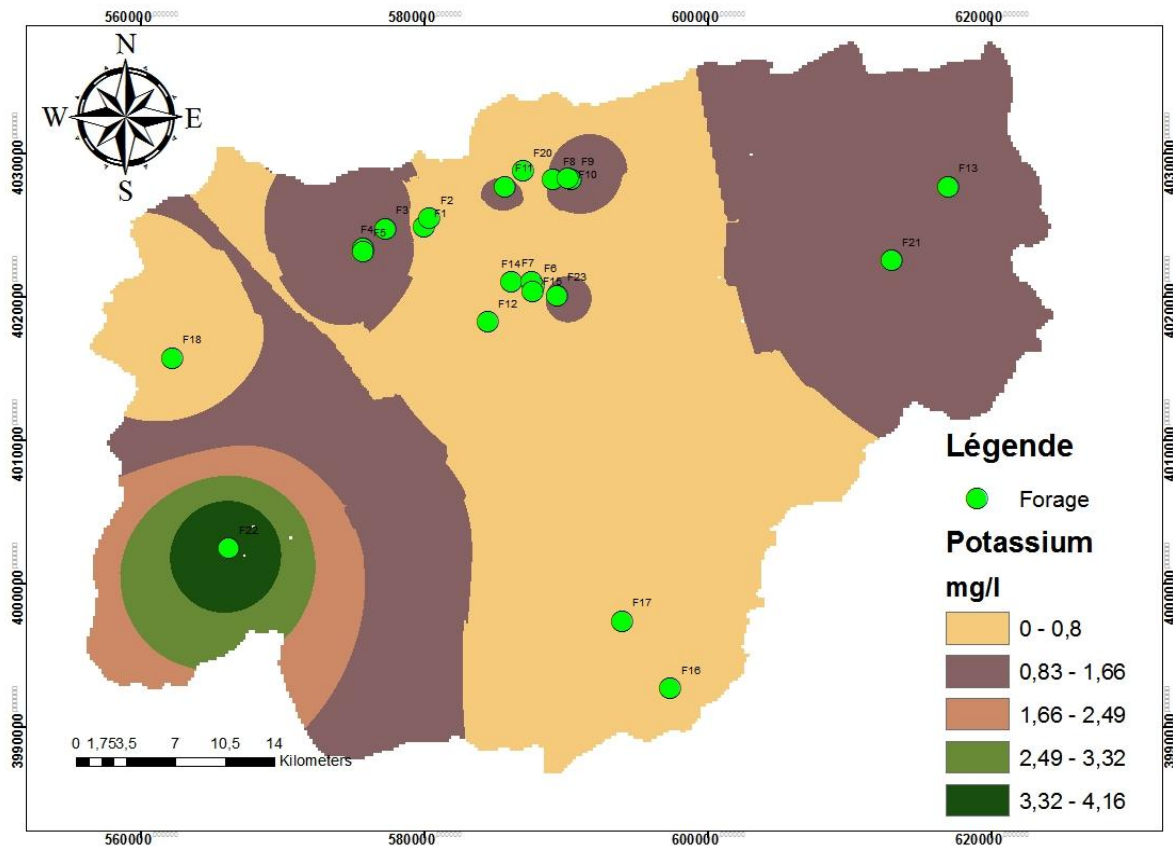


Figure IV. 17 : Carte des variations de potassium dans le bassin Sahel

## 2.7 Les Anions :

### 2.7.1 Chlorure $Cl^-$

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. (TALEB et BADAOUÏ 2019)

Les chlorures sont présents à l'état naturel dans les eaux souterraines en raison de la dissolution des dépôts de sel.



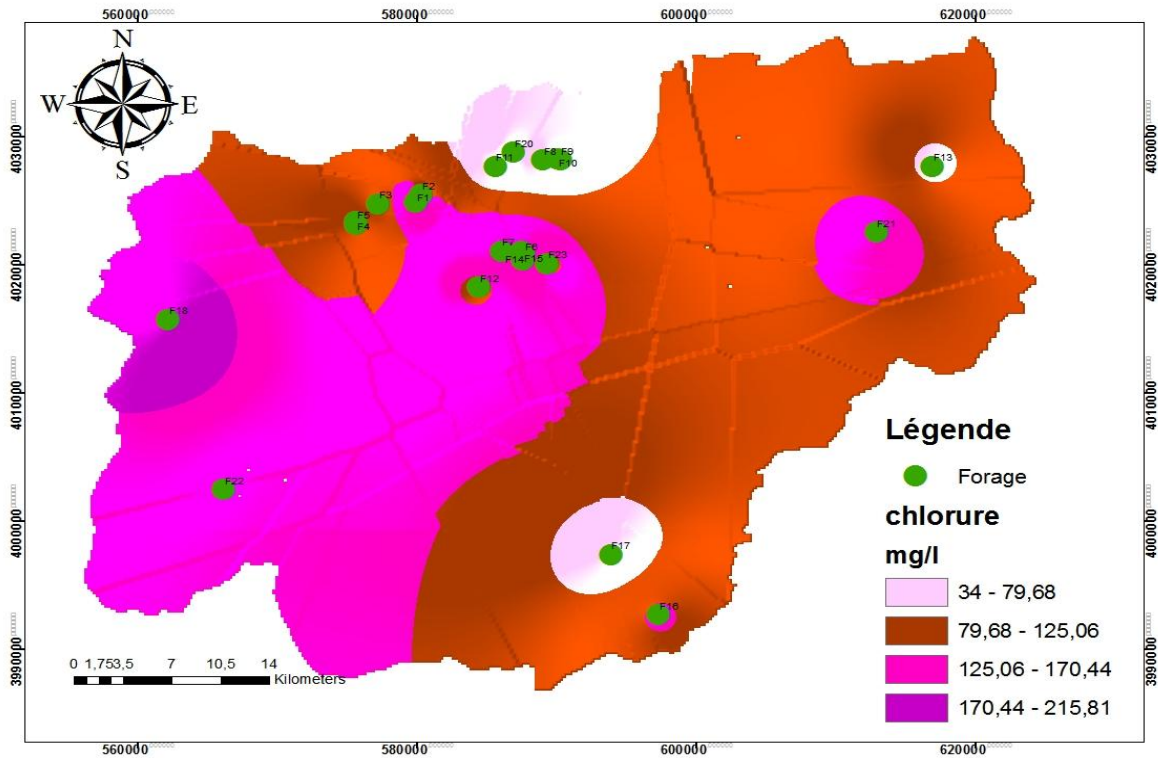


Figure IV. 18 : Carte des variations des chlorures dans le bassin Sahel

La carte et la présentation graphique montrent que les concentrations du chlorure dans les eaux étudiées variaient entre 34mg/l et 215,81 mg /l cette présence due à la dissolution des dépôts de sel et la composition chimique de terrain traversé, qui est en contact avec les sources en eau souterraine. Tous les points d'échantillonnage ont des concentrations inférieures à la limite dictée par la norme du « JORA » et même par la norme d'OMS (250 mg/l) ce qui est acceptable à la consommation humaine.

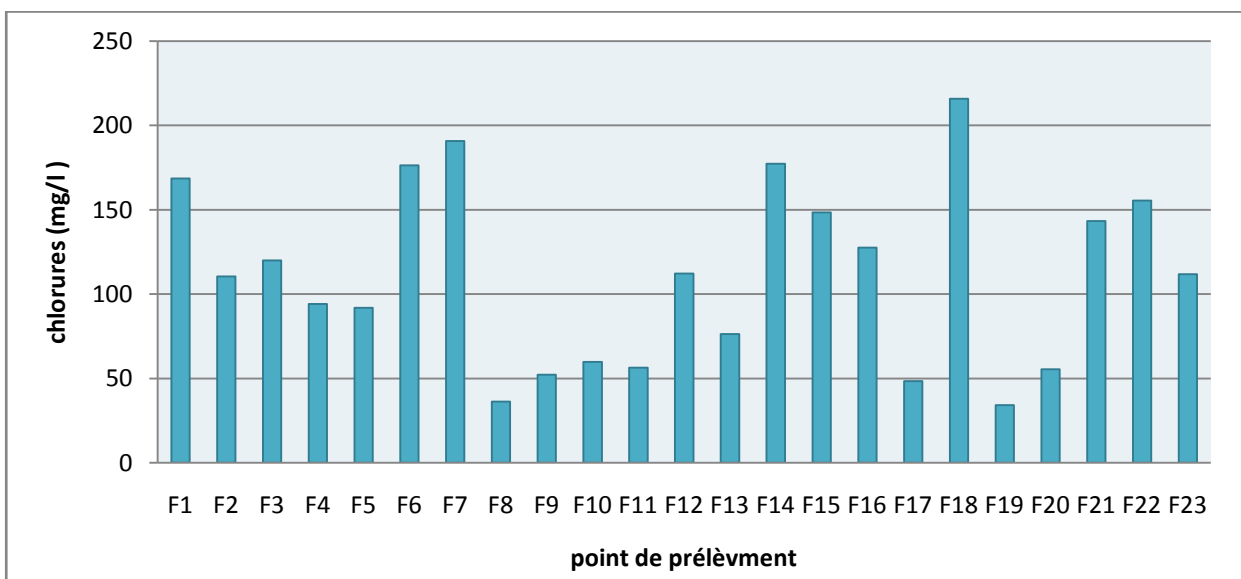


Figure IV. 19 : variations des chlorures des forages étudiés (mg/l)

2.7.2 **Sulfate  $SO_4$**

Naturellement présents dans les eaux, en concentration très variable (importante Au contact de terrains gypseux ou proches de mines de fer), ils sont parfois le témoin d'une pollution industrielle (textile, papeterie...) (Queneau & Hubert, 2009).

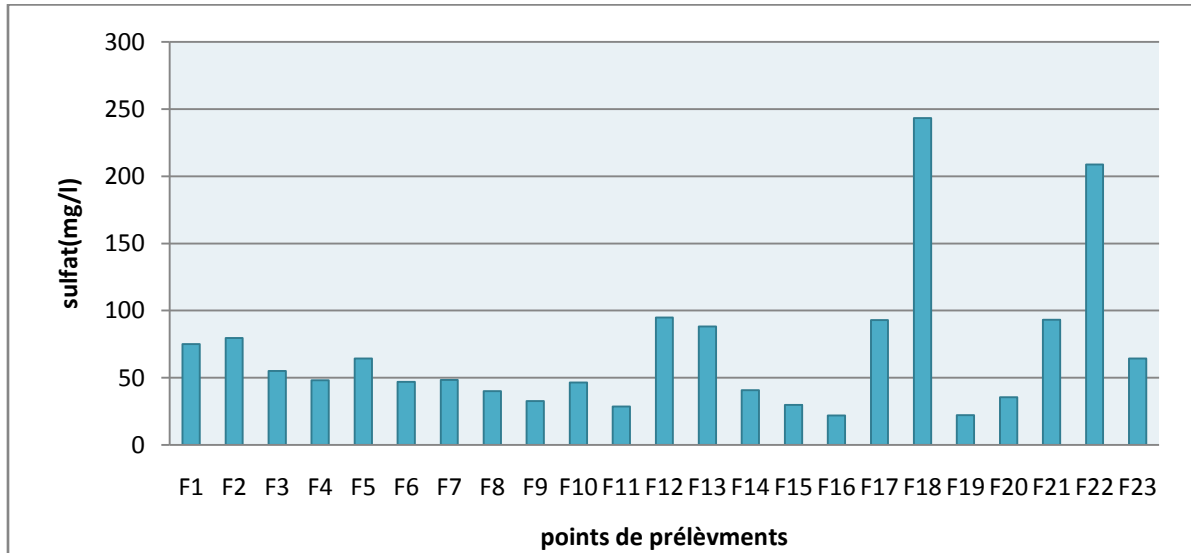


Figure IV. 20 : Concentrations des sulfates dans les forages étudiés (mg/l)

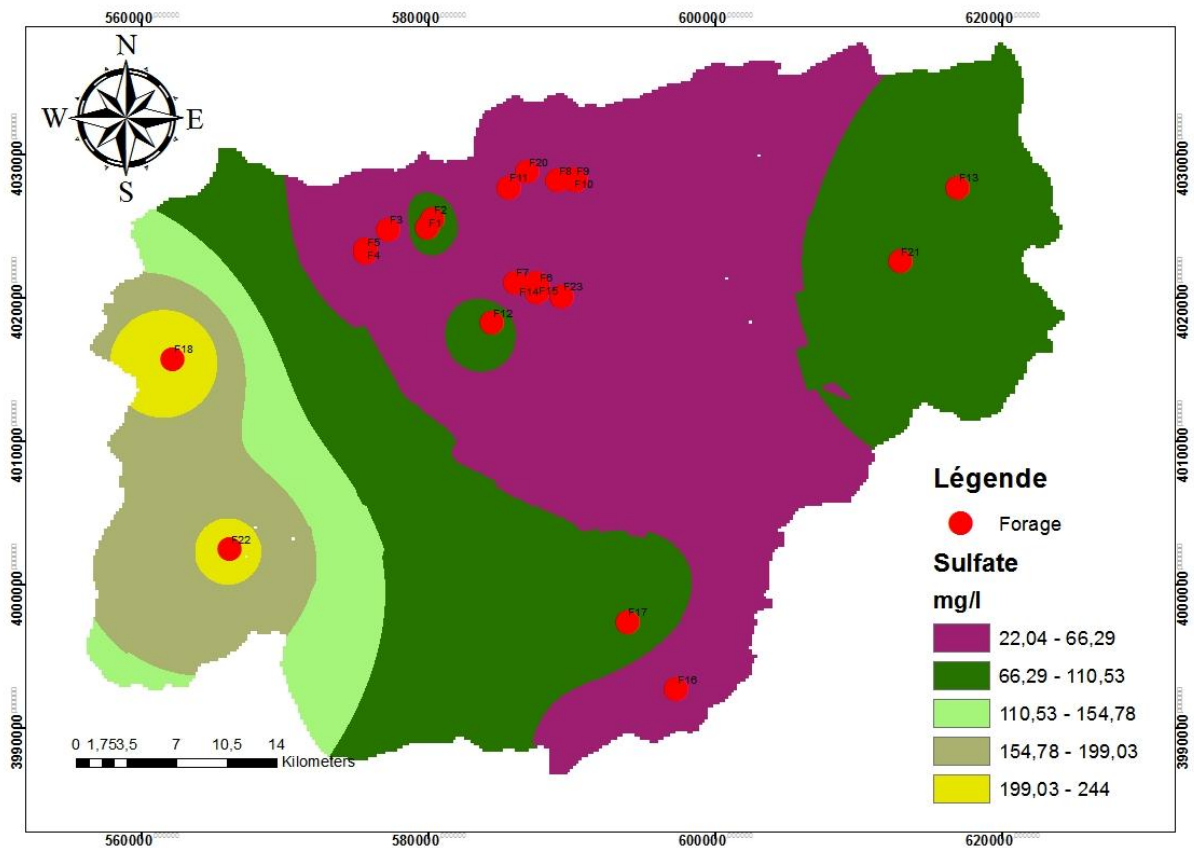


Figure IV. 21 : Carte des variations des Sulfates dans le bassin Sahel

Selon les normes locales algériennes les sulfates doivent avoir une teneur inférieure à 400mg/l

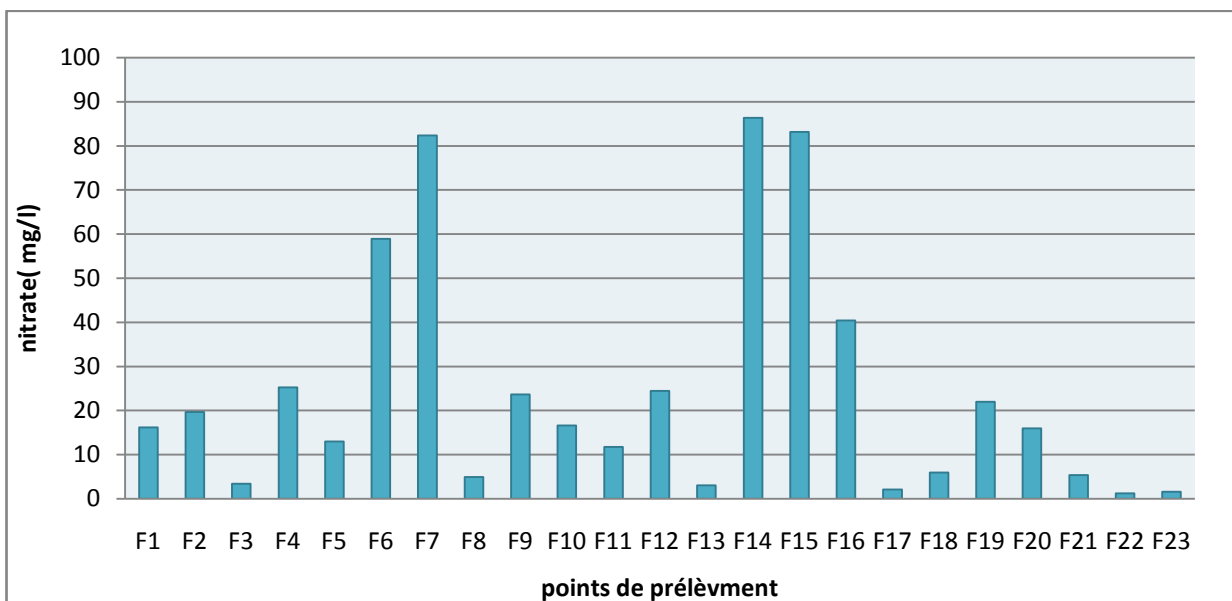
D'après la carte et présentation graphique les valeurs des sulfates dans les eaux étudiées sont pas très variables, elles oscillaient entre 22.4 (F19) à 244 mg/l (F18) et sont d'une manière générale acceptable pour la consommation humaine puisqu'ils n'accèdent pas la norme algérienne fixé à 400 mg/l et celle de l'OMS fixée à 250 mg/L.

Les différentes eaux étudiées sont considérées non sulfatées (< 200 mg/l) sauf les Forages F18-F22 on les considère comme sulfatées.

### 2.7.3 Nitrate $\text{NO}_3^-$

Naturellement les nitrates pénètrent dans les eaux souterraines par le déversent dans les cours d'eau et ils sont aussi apportés de manière synthétique par l'utilisation intensive des engrais chimiques utilisé en agriculture et au rejet des eaux usées.

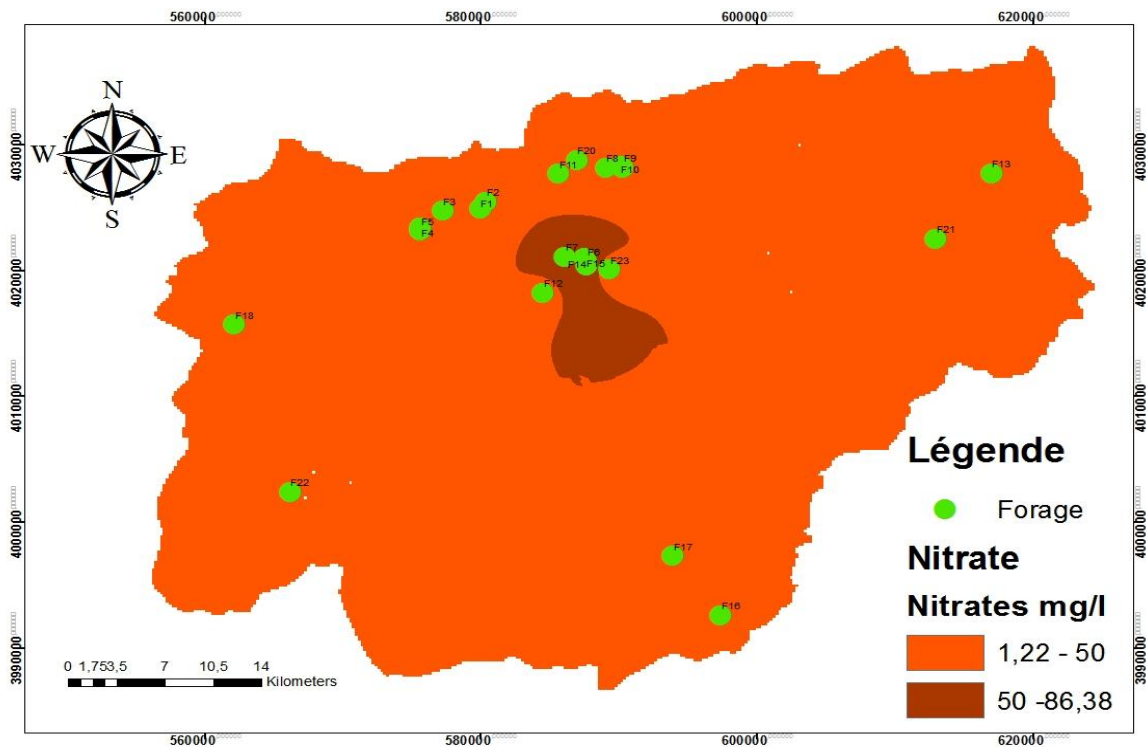
Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité de cette eau (RODIER et all, 2009).



**Figure IV. 22 : Concentrations des Nitrates dans les forages du bassin sahel (mg/l)**

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)

La teneur en nitrate dans les forages échantillonnés oscille entre 1,22 mg/l (F22) et 86,37 mg/l (F14) cette présence indique l'effet d'épandage des engrais au niveau des terres agricoles.



**Figure IV. 23 : Carte des variations des nitrates dans le bassin Sahel**

D'après La carte et la présentation graphique Pour les 4 Forages F6, F7, F14, F15 on note une forte teneur en nitrates qui dépassent la valeur maximale admissible (50 mg/l). Les valeurs enregistrées pour ces 4 Forages sont respectivement : 58.96mg/l et 82.39mg/l 86.37mg/l et 83.17mg/l.

Mais pour les autres Forages on note une faible teneur en nitrates (inferieur a la valeur admissible).

### **3 Calcul de la balance ionique**

Pour les forages F1, F5, F17, les analyses présentent une mauvaise fiabilité des résultats (IB>10%)

Et sur l'ensemble des autres forages, les analyses présentent une fiabilité excellente et acceptable, à médiocre donc elles peuvent être validées. (Voir Tableau IV. 2 )

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

<i>Forage</i>	$\Sigma$ cations (meq/l)	$\Sigma$ anions (meq/l)	<i>BI (%)</i>
<i>F1</i>	10,299	7,0369	18,81
<i>F2</i>	10,4	10,338	0,29
<i>F3</i>	9,1117	10,155	5,41
<i>F4</i>	8,8728	10,062	6,28
<i>F5</i>	4,2915	6,00011	16,6
<i>F6</i>	13,738	12,511	4,67
<i>F7</i>	13,254	13,006	0,94
<i>F8</i>	6,8998	7,0562	1,1
<i>F9</i>	8,4679	8,2186	1,49
<i>F10</i>	9,5961	8,9346	3,56
<i>F11</i>	7,4132	7,8139	2,63
<i>F12</i>	10,883	11,059	0,80
<i>F13</i>	8,4223	9,4848	5,93
<i>F14</i>	12,773	12,396	1,49
<i>F15</i>	12,223	11,784	1,82
<i>F16</i>	10,265	9,9446	1,5
<i>F17</i>	3,9081	6,5327	25,13
<i>F18</i>	18,617	15,453	9,28
<i>F19</i>	6,7089	7,5194	5,69
<i>F20</i>	7,2373	7,118	0,83
<i>F21</i>	12,927	13,103	0,67
<i>F22</i>	10,188	11,766	7,18
<i>F23</i>	8,5645	9,3609	4,44

#### 4 Calcul de l'indice de la qualité de l'eau (IQE) :

Pour l'année 2019, Un total de 23 échantillons a été analysé pour la cartographie d'IQES.

La classification des eaux analysées et faite d'après le tableau de *Classification de l'eau selon l'IQE (Tableau III. 4)* Les résultats de calcul de ce indice et présenter dans le tableau suivant :

Le tableau suivant représente les résultats des calculs fait pour le F1 :

**Tableau IV. 5 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F1**

Paramètres	Poids de chaque paramètre	poids relatif	Concentration mg/l	norme de potabilité mg/l	notation de la qualité qi	le Sous Indice SIi
<i>pH</i>	4	0,12	7,215	9	80,16	9,71
<i>TH</i>	2	0,06	38,4	50	76,8	4,65
<i>Ca<sup>2+</sup></i>	2	0,06	106,4	200	53,2	3,22
<i>Mg<sup>2+</sup></i>	2	0,06	28,67	50	57,34	3,47
<i>Na<sup>+</sup></i>	2	0,06	59,99	200	29,995	1,81
<i>K<sup>+</sup></i>	2	0,06	0,81	12	6,75	0,40
<i>TAC</i>	3	0,09	26	500	5,2	0,47
<i>TDS</i>	4	0,12	294,45	1500	19,63	2,37
<i>CL<sup>-</sup></i>	3	0,09	168,57	500	33,714	3,06
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	16,19	50	32,38	4,90
<i>So<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	4	0,12	74,97	400	18,7425	2,27
<i>total</i>	33	1			IQES	36,39

Remarque : La même méthode de calcul est appliqué pour tous les forages (Annexe 6)

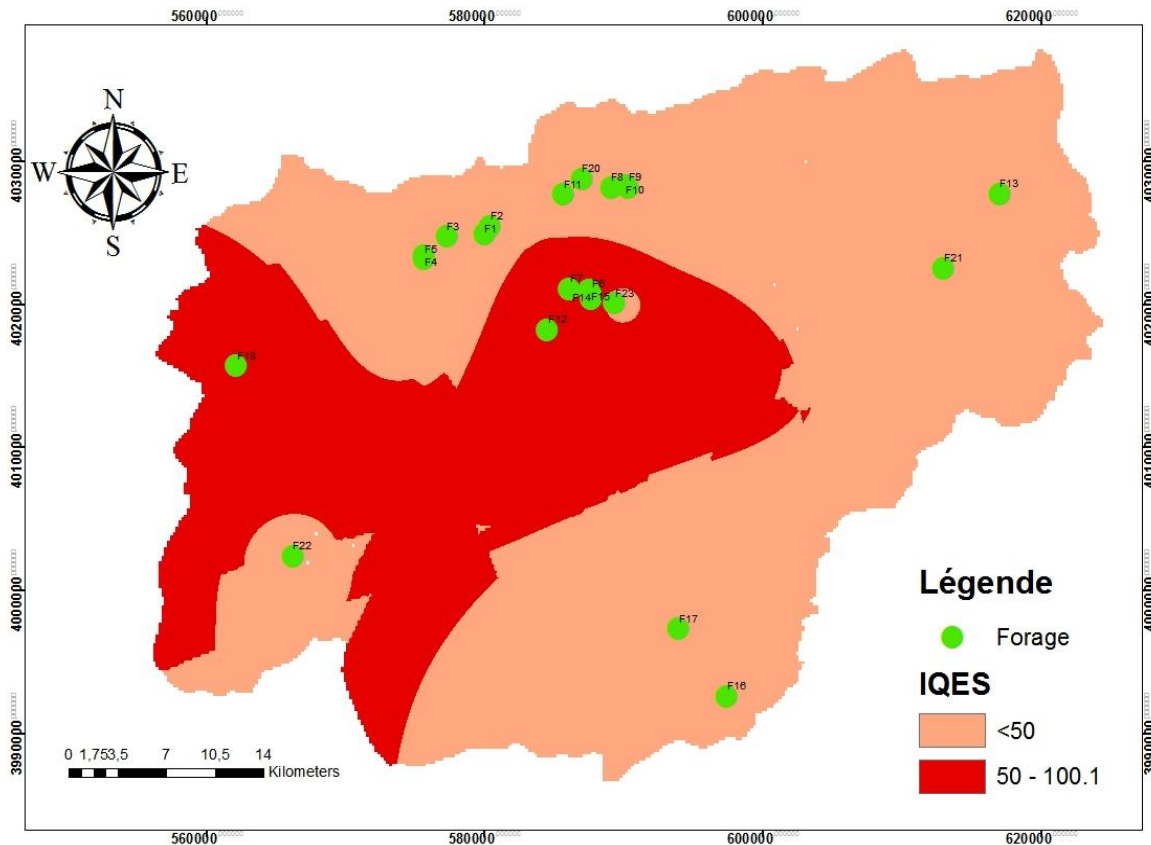
#### 4.1 Classification selon l'IQES

Le tableau des résultats montre une variation de l'indice <50 ce qui classe les eaux du bassin sahel comme des eaux de excellente qualité

Une diminution de l'indice qui atteint les forages F6, F7, F14, F15, F18 a une qualité bonne.

Tableau IV. 6 : résultats et classification des eaux études selon IQES

Forage	<i>IQES</i>	Type d'eau
<i>F1</i>	36,39	Excellente qualité
<i>F2</i>	36,92	Excellente qualité
<i>F3</i>	29,24	Excellente qualité
<i>F4</i>	35,70	Excellente qualité
<i>F5</i>	30,30	Excellente qualité
<i>F6</i>	53,21	Bonne qualité
<i>F7</i>	60,29	Bonne qualité
<i>F8</i>	25,08	Excellente qualité
<i>F9</i>	33,16	Excellente qualité
<i>F10</i>	32,39	Excellente qualité
<i>F11</i>	27,05	Excellente qualité
<i>F12</i>	40,10	Excellente qualité
<i>F13</i>	29,17	Excellente qualité
<i>F14</i>	60,27	Bonne qualité
<i>F15</i>	57,78	Bonne qualité
<i>F16</i>	41,02	Excellente qualité
<i>F17</i>	22,31	Excellente qualité
<i>F18</i>	53,19	Bonne qualité
<i>F19</i>	27,63	Excellente qualité
<i>F20</i>	29,04	Excellente qualité
<i>F21</i>	37,06	Excellente qualité
<i>F22</i>	40,34	Excellente qualité
<i>F23</i>	29,44	Excellente qualité



**Figure IV. 24 : Carte des variations d'IQES dans le bassin Sahel**

L'analyse de la carte de la répartition spatiale de l'IQES a montré que, la partie d'oued Dous est affectée par une bonne qualité cette dégradation peut être dû au procédé de lixiviation et la dissolution effective de sel provenant par les eaux des Oueds déjà saumâtres qui se localisent dans le sous bassin d'oued Dous.

Une concentration élevée des nitrates, chlorures, et sulfates, est la principale source de dégradation de la qualité de l'eau dans cette partie de la zone d'étude.

### **5 Evaluation de potabilité des eaux souterraines**

Du point de vue physico-chimique, les eaux étudiées ont montré dans l'ensemble une très bonne qualité de potabilité dans le bassin sahel.

En effet, et les paramètres physico-chimiques évaluée (pH, température, dureté, alcalinité, conductivité électrique, les ions majeurs les teneurs en sels dissous et les taux de salinité) obéissent tous aux règles des normes de potabilité des eaux exigées par la réglementation algérienne ainsi qu'à la réglementation internationale exigée par l'OMS (les valeurs des résultats d'analyses étant toutes inférieures par rapport aux valeurs limites).

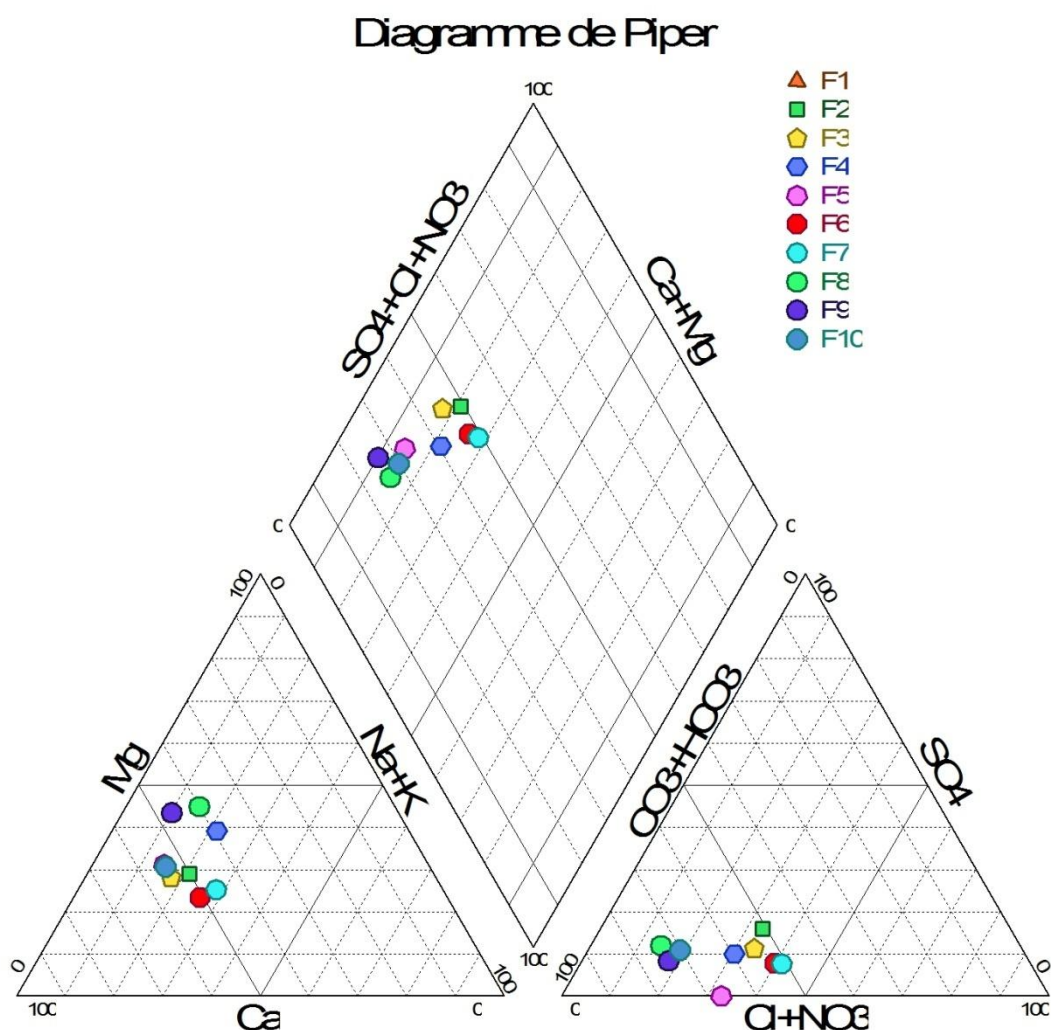


Une exception fait pour les quantités des nitrates trouvées dans quatre forages (F6, F7, F14, F15) dépassant les normes algériennes et 'OMS' cela provoque un risque de pollution et de contamination, c'est-à-dire ces forage ont une mauvaise qualité de potabilité

## 6 Classification chimiques des eaux souterraines

### 6.1 Classification de Piper

La répartition des eaux des forages dans le diagramme de piper permis d'identifier la position relative des anions et des cations contenus dans ces eaux respectivement sur le triangle anioniques et le triangle cationiques. La figure suivante présente le diagramme de piper, campagne 2019, pour les échantillons des eaux des forages.



**Figure IV. 25 : Représentation des analyses chimiques anion et des cations sur le diagramme de Piper pour les forages (de F1 a F10)**



### 6.2 Classification de Schoëller-Berkaloff

Le diagramme de Schoëller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux et donne sa minéralisation.

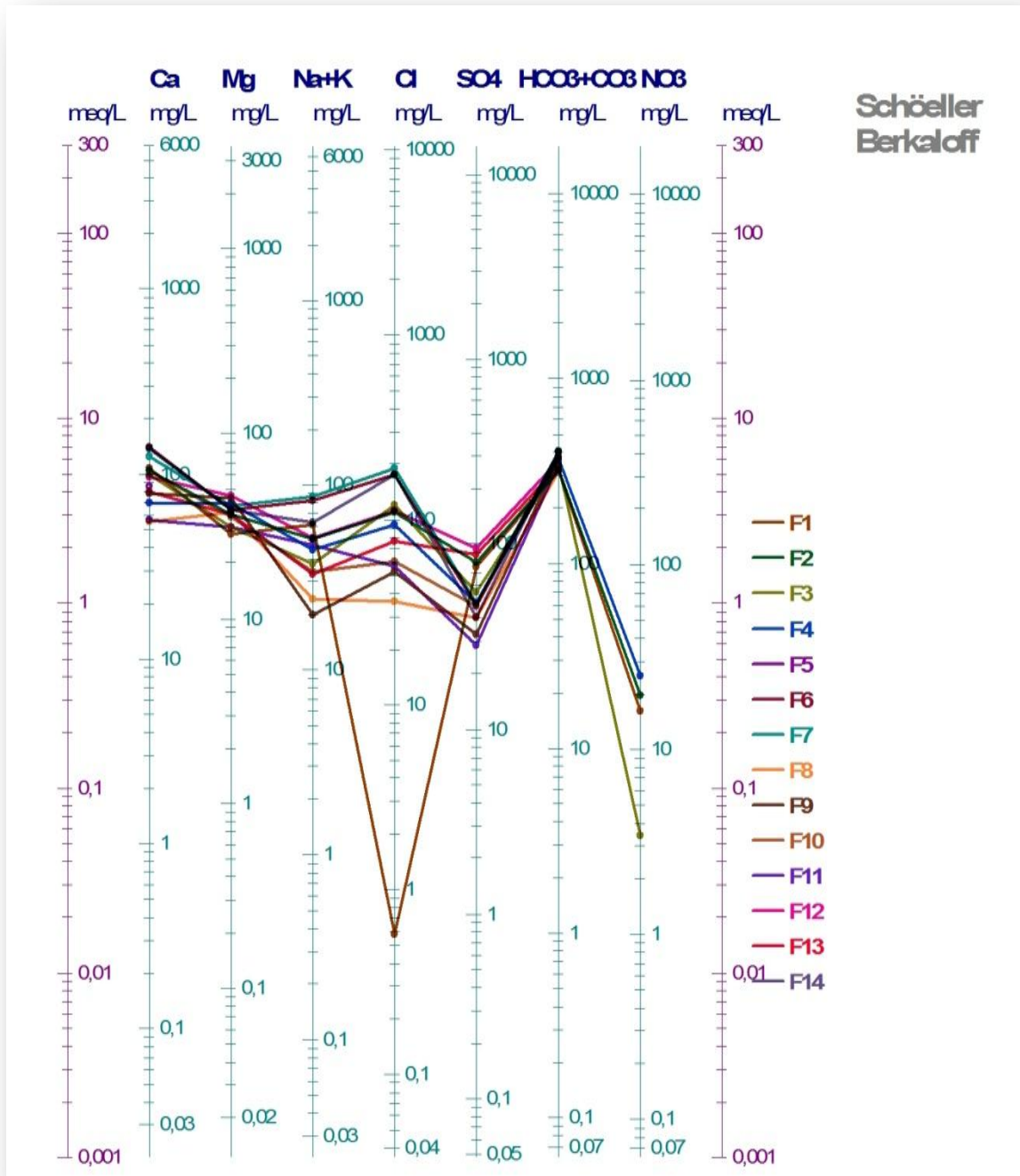
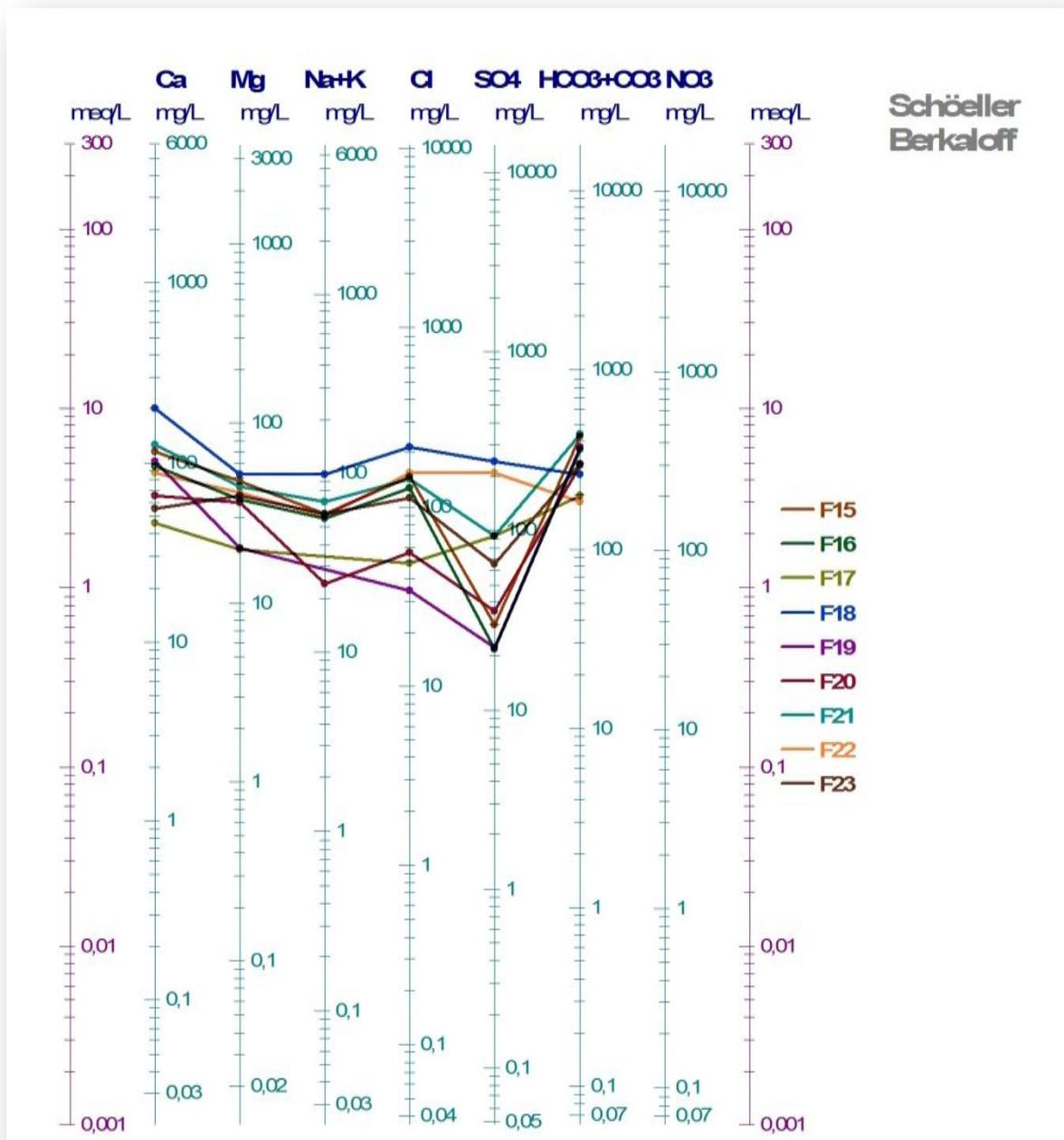


Figure IV. 27 : Représentation des résultats d’analyses (F1, F14 Forages) selon le diagramme de Schoëller-Berkaloff.



**Figure IV. 28 : Représentation des résultats d'analyses (F15, F23 Forages) selon le diagramme de Schoëller-Berkaloff.**

La représentation graphique des analyses des eaux selon ce diagramme semi-logarithmique nous indique que la majorité des eaux analysées présentent des maxima au niveau des pôles HCO<sub>3</sub>, Ca et Mg.

L'analyse de diagramme de Schoëller-Berkaloff pour les 23 forages étudiés confirme les faciès trouvé dans le diagramme de PIPER :

- Chlorurée et sulfaté calcique et magnésienne
- Bicarbonaté calcique et magnésienne

### **6.3 Classification selon diagramme de Stiff :**

Ce diagramme permet d'obtenir une géométrie 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 ( $Na^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et  $Fe^{2+}$ ) et les anions à droite ( $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $NO_3^-$ ) avec un axe central pour montrer l'état de symétrie.

Les caractéristiques de l'eau des forages de bassin sahel montre que le regroupement des points est en majeure partie sur les losanges des familles : Bicarbonatée calcique et magnésienne, Chloruré et sulfatées calcique et magnésienne.

La représentation graphique des analyses sur diagramme de Stiff nous indique que ces eaux sont des eaux souterraines minéralisées c'est-à-dire ils ont un temps de séjour considérable

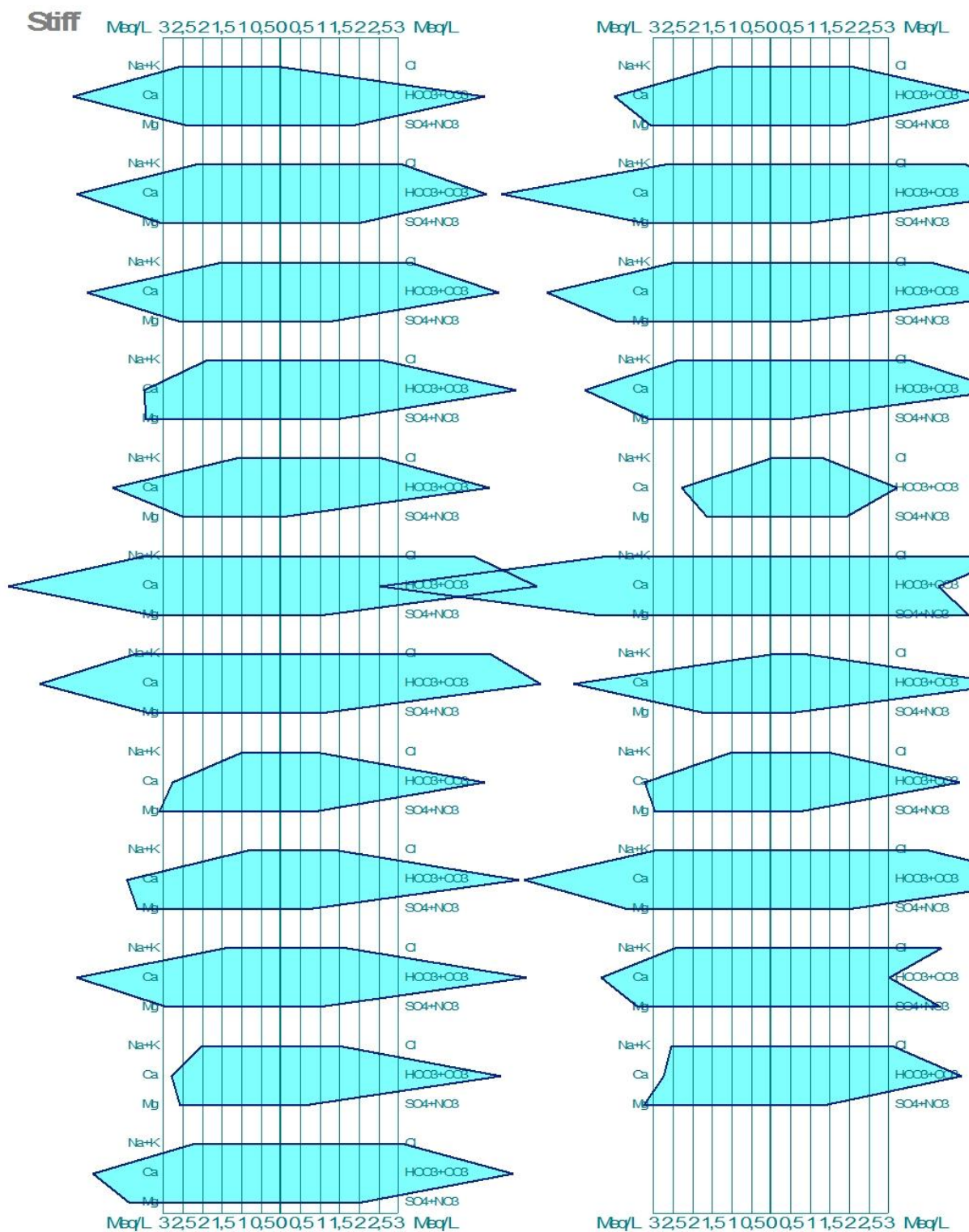


Figure IV. 29 : Représentation des résultats d'analyses selon le diagramme de Stiff

6.4 Classification selon diagramme de Stabler

Ce diagramme vise à regrouper et à comparer des échantillons d'eau selon la forme des polygones correspondants. Il vise aussi à étudier l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps et dans l'espace (lorsque l'eau traverse des différentes formations géologiques ou subi des différentes conditions de surface). Il permet entre autre : la détermination des ions dominants, et la déduction de l'origine des eaux. (METAICH, 2020)

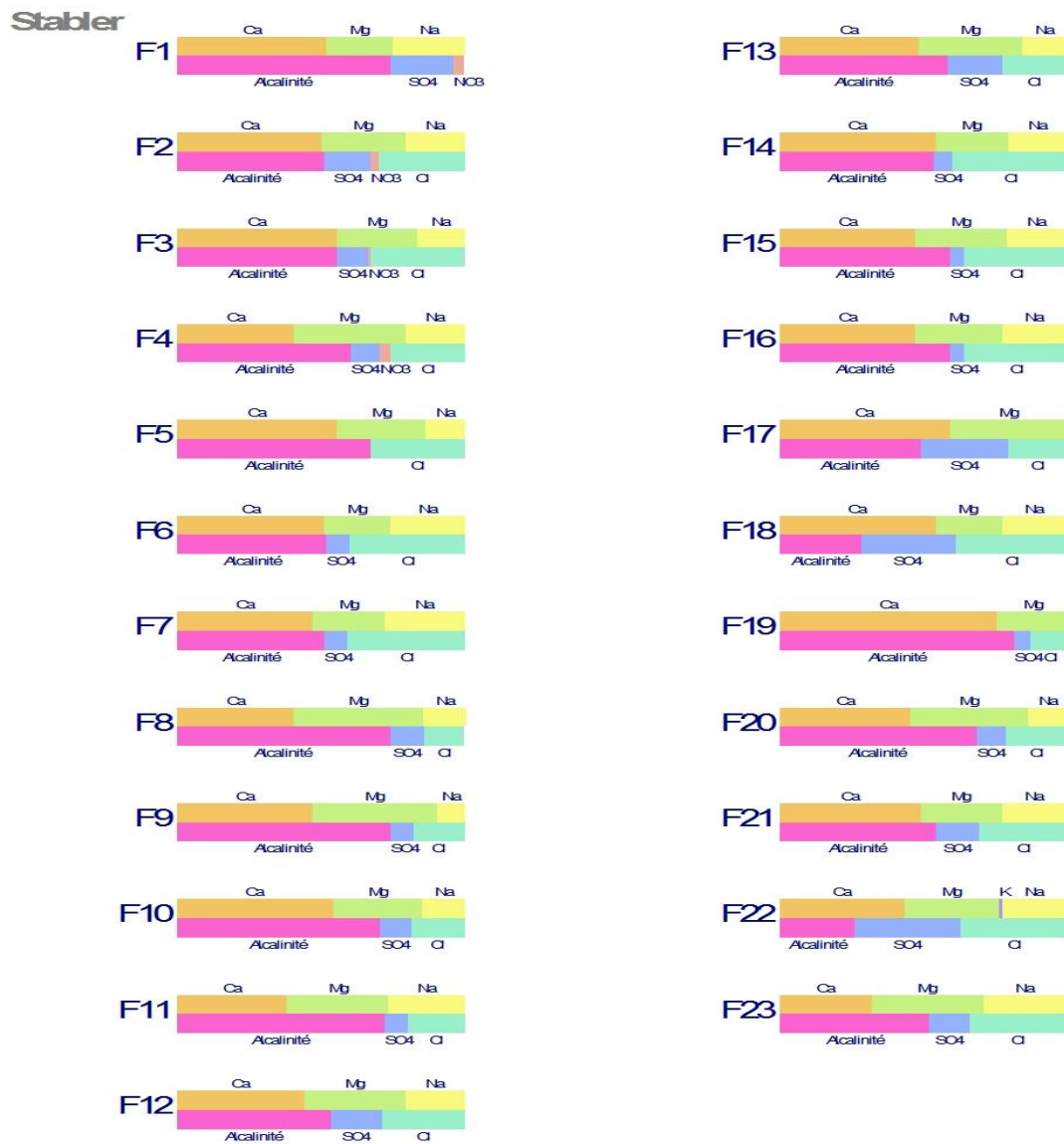


Figure IV. 30 : Classification des eaux selon diagramme de Stabler

La représentation graphique des analyses sur diagramme de Stabler nous indique que ces eaux sont ioniquement équilibrées

## **7 Conclusion**

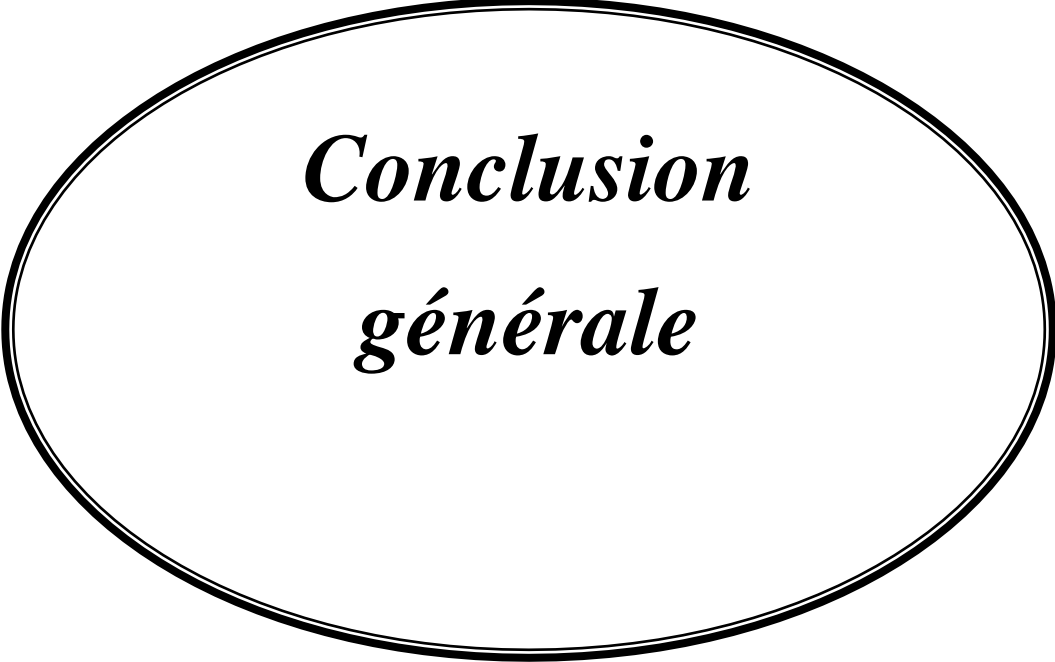
L'objectif de ce chapitre était d'étudier les caractéristiques physico – chimiques relatives à la qualité des eaux souterraines dans le bassin sahel pour l'année 2019.

Tous les ions testés, pendant notre période de prélèvement (2019) sont en dessous des normes algériennes et de l'OMS sauf la Contamination des forages (F6, F7, F14, F15) par les nitrates qui proviennent du lessivage des engrais et l'infiltration des eaux usée domestique des fausse septiques.

L'indice de la qualité des eaux souterraines (IQES) à été formulé à partir d'une formule basé sur 7 éléments chimiques cationiques et anioniques, ainsi que les pH, dureté, TAC et TDS. L'analyse de la carte et la classification avec l'IQES ont montré que, les eaux d'excellente et bonne qualité ont caractérisé le bassin sahel.

Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper, Schoëller-Berkaloff, Stif et Stabler montrent que la qualité des eaux est caractérisées par deux faciès chimiques: Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes, Bicarbonaté calcique et magnésienne.





*Conclusion  
générale*

### ***Conclusion générale***

L'eau souterraine est d'une importance capitale dans la plupart des régions du monde. Mais le risque de contamination de cette ressource est un problème environnemental croissant. La prévention contre la contamination des eaux souterraines est essentielle pour une gestion efficace et durable.

L'étude menée au cours de ce modeste travail a pour but d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de consommation au niveau du bassin sahel pour l'année 2019 avec la méthode IQES et les méthodes d'évaluation hydrogéochimique.

L'analyse des données climatiques de la région étudiée, a mis en évidence un climat de type semi-aride, la température moyenne est d'environ 16,80°C. Les précipitations sont élevées au mois de février avec 99,09 mm.

Du point de vue hydrogéochimique, l'utilisation des différentes méthodes de classifications des eaux souterraines de cette région telles que les classifications de Schoeller-Berkaloff, Piper Stiff et Stabler montrent l'existence de deux faciès chimiques dominants qui sont le Chlorure sulfaté calcique et magnésien et Bicarbonate calcique magnésien.

Suite à l'évaluation de la qualité physico-chimique de ces eaux, on constate que 83% des forages répondent aux normes algériennes et l'OMS de potabilité de l'eau.

La pollution en nitrate dans les 4 forages mentionnés est souvent d'origine agricole et résulte des engrais azotés, dans ce cas cette contamination est dite diffuse.

L'interprétation de l'évolution spatiale des Nitrates a montré que la partie d'Oued Dous, s'avère la plus vulnérable à la contamination par les nitrates du fait que les teneurs en nitrates des forages, situés dans cette partie, dépassent largement la norme internationale donnée par l'OMS. Cela est dû probablement à l'utilisation intensive des engrais chimiques et organiques dans l'agriculture et à la décomposition de la matière organique.

L'indice de la qualité des eaux souterraines (IQES) a été formulé à partir d'une formule basée sur 7 éléments chimiques cationiques et anioniques, ainsi que le pH, la dureté, TAC et TDS. La cartographie établie représente la répartition spatiale de l'IQES les eaux d'excellente qualité ont caractérisé la majorité du bassin sahel

La partie Ouest de la zone est caractérisée par une bonne qualité, le facteur principal peut être dû à la dilution des éléments en suivant le sens d'écoulement souterrain.

Ce modeste travail m'a donné l'occasion d'avoir une idée de la vie professionnelle de connaître ce que c'est le travail en groupe. Le travail au laboratoire m'a permis de développer mes capacités personnelles en hydrochimie des eaux. L'interprétation des résultats m'a permis d'apprendre la manipulation correcte des logiciels **ArcGIS** et **Diagramme** et de transformer les connaissances théoriques en compétences pratiques.

*Références*

*Bibliographique*

## ***Références Bibliographique***

### **A**

ABDOULKADRI, A. E. (2015). *Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso)*. Burkina Faso: Département de Chimie, Université de Ouagadougou 03 BP 7021 Ouagadougou 03.

AEAG. *Les eaux souterraines Cedex 4, 5p*. Toulouse: Agence de l'Eau Adour-Garonne, 2012.

AFIRI, Nadia, et Dalila AZI. «Evaluation de la qualité biologique des eaux superficielles et leurs influence sur les eaux souterraines (cas oued aissi et moyen Sébaou).» TIZI OUZOU , 2005.

Aissaoui, A. «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.» 2013.

Ayad, W. *Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines :cas des puits de la région d'el-harrouch (wilaya de Skikda)*. mémoire de doctorat, ANNABA, Algérie: université Badji, 2016.

2013, A. *.Agence National d'Intermédiation et de régulation Foncière*.

ADE Bouira. (2019). *algérienne des eaux*.

ANDI. (2013). Agence Nationale De Développment De L'investissement.

ANIRF, 2. Agence National d'Intermédiation et de régulation Foncière.

Association gersar- ENHYD . (1990). *etudede l'aménagement hydro-agricole de la vallée de l'oued sahel et du plateau d'El Esnam* . kouba. alger

### **B**

Benmaïd, A. *La sécurité liée à l'eau : gestion des risques et arbitrages, Commissariat général au développement durable*. études & documents, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, 2013, 40.

Beriere, G. *Distribution et collecte des eaux*. 2ème édition. Ecole polytechnique de Montréal, 2000.

BOSCA, c. «Groundwater law and administration of sustainable development,» *Magazine Science, training & Technology*, 2002: 13-17.

Bourrier, R, et B Selmi. *Technique de la gestion et de la distribution de l'eau* 353-402. Paris: Moniteur, 2011.

Bouziani, M. *L'eau de la pénurie aux maladies*. ibn khaldoun, 2000.

Boudjenane, I., & Maarouf, N. (2015). *Utilisation du système d'information géographique et l'indice de qualité des eaux (IQE) pour évaluer la qualité des eaux souterraines dans la plaine Khemis Miliana*. Khemis Miliana: Université de Djelali Bounâama .

BOUTOUGA. (2012). *Ressources et essai de gestion des eaux dans le Zeb Est de Biskra*. Thèse de Magister en ingénierie des ressources en eau. Annaba Algérie.: Université Badji Mokhtar.

BOUADJELA, M. (2013). *RELEVES PIEZOMETRIQUES DANS LA VALLEE DU SEBAOU (BassesEaux 2012/Hautes eaux 2013)*. TIZI OUZOU .

Brown, R., M, McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). *A water quality index do we dare?* *Water Sew* (éd. Works 117).

## C

CHIKHI, T. (2016). *Modélisation de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Sahel*. M'sila: université M'sila.

CALVET, R, E BARRIUSO, C BEDOS, P BENOIT, et P CHARNAY. *Coquet Y. Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales*. éditions France AGRICOLE, 2005.

Collin, J.J. *Les eaux souterraines : Connaissance et gestion*. PARIS: HERMANN, Editeurs des sciences et des arts, 2004.

## D

DANIELOPOL, D.L, et al. «Incorporating ecological perspectives in European groundwater managment policy.» *Environmental Conservation* 31, 2004: 185-189.

DEGREMONT. « Mémento technique de l'eau.» 1989.

Degremont, G. *Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10<sup>ème</sup> édition, Edit. Tec et doc.*, 2005.

Demdoum, A. *Etude Hydrogéochimique Et Impact de La Pollution Sur Les Eaux de La*. thèse de doctorat, Algérie: université Mantouri Constantine, 2010.

Dib, I. «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, construction hydrotechnique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna,, 2009, 127.

Dhanasekarapandian, M., Chandran, S., Devi, D., & Kumar, V. (2016, 08 15). Spatial and temporal variation of groundwater quality and its suitability for irrigation and drinking purpose using GIS and WQI in an urban fringe. (j.jafrearsci, Éd.) *Journal of African Earth Sciences* .

## **F**

Fiambach, H.B. *Change from chlorine residual distribution to no chlorine residual distribution in groundwater system*. Vol. 6, 145-152. Germany, 1998.

FREDJ, A. *Aptitude des eaux souterraines du bassin versant Sahel à l'AEP et à l'irrigation*. Mémoire MASTER, BOUIRA: Université Akli Mohand Oulhadj BOUIRA, 2019, 11.

## **G**

Guillemin, c, et C Rouxj. «la pollution des eaux souterraines.» *Manuels et Méthodes*, 1992.

## **H**

Hachemaoui, B. *qualité physico-chimique de l'eau dessalée et traitée par la station dedessalement de l'eau de mer de souk tlata - teneurs en bore, nitrites, nitrates et métaux lourds*. mémoire de master, Algérie: université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2013.

Hakmi, A. *Traitement de l'eau de source Bousfer* . Mémoire de licence traitement des eaux, Oran: Université des Sciences et de la Technologie, 2006, 48.

Hamed, M, et A, Guettache. *Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar*. Algérie: Université de Bechar, 2012.

HAISSOUNE, A., & IDHSSAINE, A. (2013). *caractérisation de la qualité des eaux superficielles et souterraines du bassin de N'FIS*. univ CADI AYYAD.

Horton, R. (1965). *An index number system for rating water quality* *Water Pollut.*

## **J**

JORA, Journal Officiel de la République Algérienne. «qualité de l'eau de consommation humaine,» (Les Vergers), n° Décret exécutif n° 11- 125 ( mars 2011): 7-25.

JACOB, M. ((1991).). *La Géologie de la wilaya de Bouira*. Blida.: A.N.R.H.

## **K**

Kettab, A. *Traitement des eaux, Les eaux potables*, PP : 111-123. Alger: Office des Publications Universitaires, 1992.

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*. Batna: Univ.Batna2.

## **L**

LAMAR, c, L MOKHTARI, et N OUKACINE. *CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INFLUENCE DES EAUX DE SURFACE SUR LES EAUX SOUTERRAINES (MOYEN SEBAOU)*. Tizi ousou : université de Tizi Ouzou institut de biologie, 1994.

Legube, B, N Merlet, et J Rodier. *L'analyse de l'eau*. 9ème édition. Dunod, 2009.

LANGBIN, W. (1947). Topographic characteristics of drainage basins. *Water Supply Paper* 968-C.

Laboratoire ADE Bouira. *Mode opératoire physico-chimique* . BOUIRA.

## **M**

Mansour, Y, et S Djaballah. *Analyse microbiologique de l'eau distribuée dans la ville*. mémoire de master, Tébessa, Algérie: Université Larbi Tébessi, 2016.



MDDEFP, Ministère du Développement Durable, De l'Environne. *Critères de qualité de l'eau de surface*. 3<sup>ème</sup> Edition. Québec: Direction du suivi de l'état de l'environnement, 2013.

Mercier, J. *Le grand livre de l'eau*,. La reconnaissance du livre,, 2000, 91.

Mourey. V, Vernoux. J.F.,. *Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile de France, Annales des mines, PP : 32-40.de-*. 2000.

Muriel, H. *Suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée: Elaborer et mettre en oeuvre un plan des sécurités sanitaire des eaux*,. NOUMEA cedex. Direction des affaires sanitaires et sociales de la nouvelle Caldonie Santé et environnement, 2010.

MUSY, A. (2004). *Hydrologie, une science de la nature, Coll.* Lausanne: l'environnement Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

METAICH, M. (2020). *Diagramme de Stiff & Stabler*. Bouir: Université Akli Mohand Oulhadj BOUIRA.

## **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* , 6 (4), 1068-1081.

## **O**

OLLAGNIER, S., & VITTECOQ, B. (2007). *Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2006 Résultats et interprétation*.

## **P**

Pierre, A, et P Baptiste. *Hydrogéologie et Forage d'eau*. Aidis.: X Congreso Bolivariano de Ingeniera Sanitaria Y Ambiental, 2003.

## **Q**

Queneau, p., & Hubert. (2009). *Place des eaux minérales dans l'alimentation*. France: Société française de l'hydrologie et climatologie médicale.

## **R**

REJSEK, F. *Analyse de l'eau : Aspects et règlementaire et technique*. CRDP d'Aquitaine, 2002.

Renald ., M. *Le puits, Révision de la numérotation des règlements, développement durable*52p. Québec: environnement et parcs, 2015.

REZIG A, B. D. (2019). *ASSESSMENT OF THE CONSEQUENCES OF GROUNDWATER POLLUTION IN BOUIRA, ALGERIA*: University of Kasdi Merbah Ouargla.-Laboratory of Water and environment Engineering in Sahara Milieu (GEEMS).ALGERIA.

RODIER, J, c BAZIN, J P BROUTIN, P CHAMBON, H CHAMPSAUR, et L RODI. *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer*. Paris, 1996.

RODIER, J, C BAZIN, J.P BROUTIN, P CHAMBON, H CHAMPSAUR, et L RODI. *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer*. 8ème édition. Paris: Dunod, 2005.

RODIER., J, C BAZIN, J.P BROUTIN, P CHAMBON, H CHAMPSAUR, et L RODI. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. 8ème . Paris, 1996.

## **S**

Sahu, P., & Sikdar, P. ((2008). *Environ Geol*. Récupéré sur <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1034-x>

Service de l'Eau (SEVESC). *Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud*. 2013.

SIMLER, R. (2012). *manuel pour diagramme*.

SKENDRAOUI, H. *cartographie de la potabilité et de l'aptitude a l'irrigation des eaux de la nappe quaternaire de Magra (w. M'sila)*. Mémoire master, école nationale supérieure d'hydraulique ARBAOUI Abdellah., 2018.

## **T**

TALEB, M, et S BADAOUI. *Etude qualitative des eaux souterraines de la région de Bouira*. mémoire, Bouira: UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA, 2019.

## **U**

UNICEF. «Manuel sur l'eau.» 1999, PP : 42-43.

## **V**

Valérie, et MURAT. *Etude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères à la pollution : Application aux aquifères granulaires du PIEMONT LAURENTIEN*. Mémoire, Québec: Université du Québec, INRS-Géoressources, 2000.

## **Y**

Yidana, S., & Yidana, A. (2010). *Environ Earth Sci*. Récupéré sur <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0132-3>

Annexe 1 :

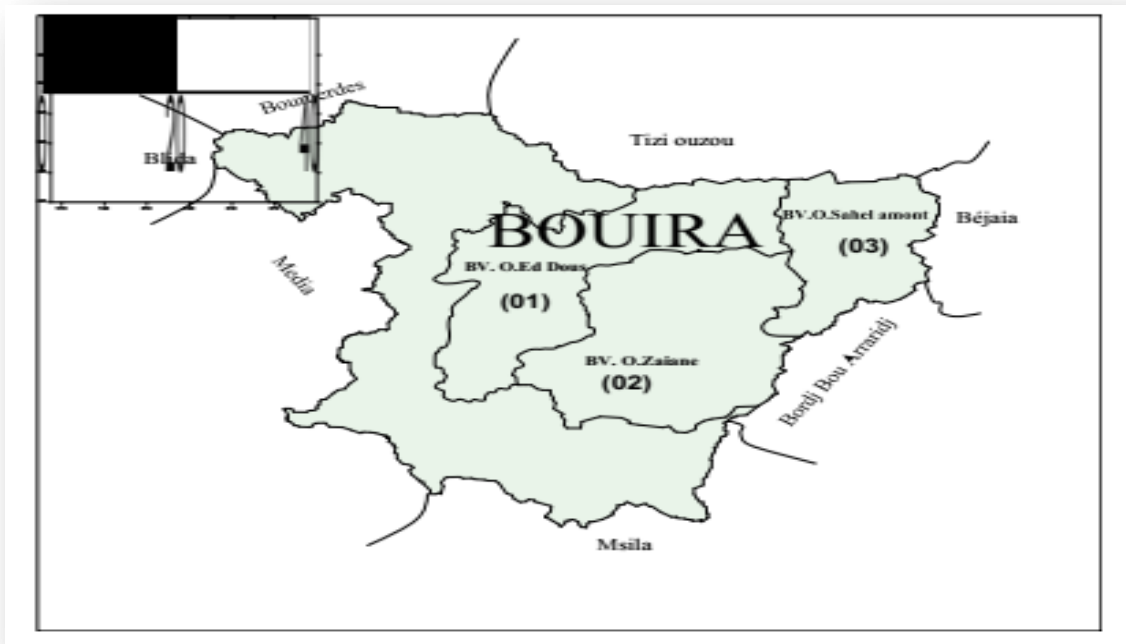


Figure 1 : Situation géographique de Bouira et des bassins versants (1, 2, 3), (source ANRH Blida)

Annexe 2 :



Figure 2 : Les communes des daïras de la wilaya de Bouira (OPGI Bouira 2008)

Annexe 3 :

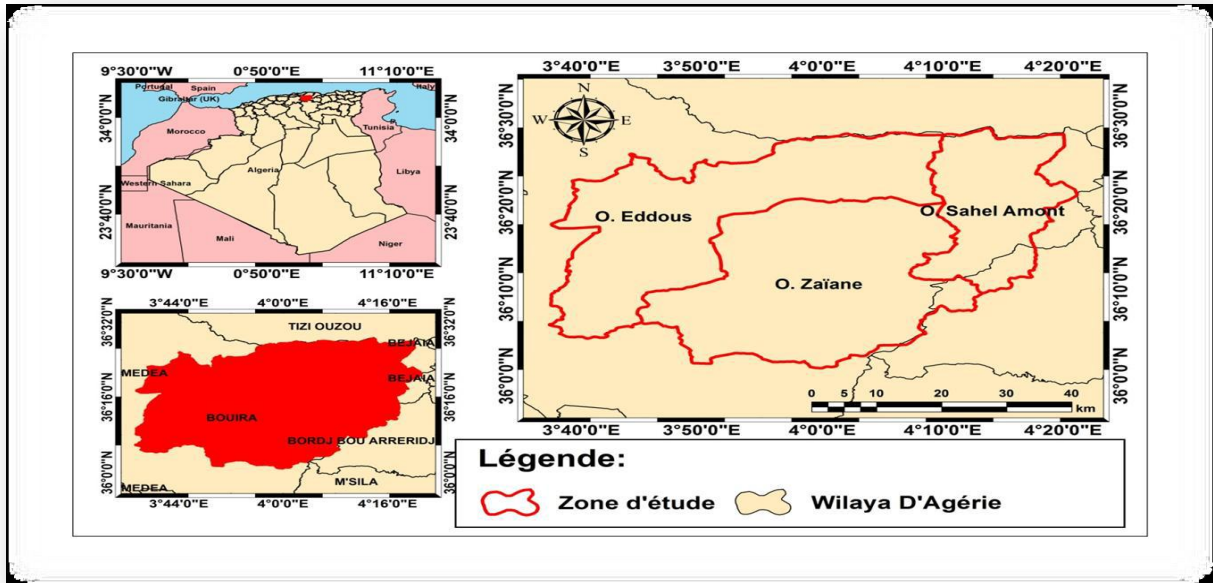


Figure 3 : Situation géographique des trois sous bassins.

Annexe 4 :

Tableau : Exemples des maladies liées à quelques éléments chimiques

<i>Eléments chimiques</i>	<i>Maladies</i>
<i>Arsenic</i>	<i>Arsenicisme</i>
<i>Fluor</i>	<i>Fluorose</i>
<i>Nitrate</i>	<i>Méthémoglobinémie</i>
<i>Plomb</i>	<i>Saturnisme</i>
<i>Toxines de cyanobactéries</i>	<i>Impacts sur le foie, le cerveau suivant le type de toxine produite</i>

**Annexe 5** : les résultats d'analyses (Source : laboratoire ADE Bouira)

<b><i>Les caractéristiques physico-chimique</i></b>					
<b><i>Forages</i></b>	<b><i>Température (°C)</i></b>	<b><i>Potentiel d'hydrogène</i></b>	<b><i>Conductivité μS/cm</i></b>	<b><i>Turbidité (NTU)</i></b>	<b><i>Dureté totale mg/l en CaCO3)</i></b>
<b>F01</b>	19,35	7,21	1116	0,53	38,4
<b>F02</b>	15,7	7,16	1063,5	1,18	41,1
<b>F03</b>	17,25	7,07	1113,5	0,39	37,8
<b>F04</b>	19	7,29	847,5	0,22	34,8
<b>F05</b>	20,9	6,99	854,5	0,4	34,1
<b>F06</b>	17,25	7,04	1402,5	0,28	50,95
<b>F07</b>	18,4	7,13	1386	0,16	47,5
<b>F08</b>	17,5	7,44	678	0,31	29,35
<b>F09</b>	18,75	7,04	864	0,72	38,1
<b>F10</b>	17,55	7,05	930	0,53	41,3
<b>F11</b>	21,55	7,33	714,5	0,69	26,89
<b>F12</b>	19,4	7,24	1134	0,43	43,2
<b>F13</b>	20,1	7,12	974	0,91	35,2
<b>F14</b>	20,25	6,89	1400	0,47	50,3
<b>F15</b>	20,7	6,81	1294,5	0,65	48,31
<b>F16</b>	20,8	7,06	1051,5	3,54	39,23
<b>F17</b>	20,9	7,94	609	0,38	19,3
<b>F18</b>	15,6	7,41	1857	0,65	71,6
<b>F19</b>	22,8	7,03	763	1,34	33,6
<b>F20</b>	22,5	7,3	760	0,61	31
<b>F21</b>	18,1	7,01	1336,5	0,55	49,8
<b>F22</b>	17,34	8	1253,6	0,44	38,8
<b>F23</b>	18,41	7,79	847,94	0,46	30,1

**Tableau 1 : Résultat des analyses pour les forages étudiés**

*Annexes*

<i>Forages</i>	<i>Cations (mg/l)</i>						<i>Anion (mg/l)</i>			
	<i>Ca<sup>2+</sup></i>	<i>Mg<sup>2+</sup></i>	<i>Na<sup>+</sup></i>	<i>K<sup>+</sup></i>	<i>Fe<sup>2+</sup></i>	<i>Mn<sup>2+</sup></i>	<i>Cl<sup>-</sup></i>	<i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	<i>HCO<sub>3</sub></i>
<i>F01</i>	106,4	28,67	59,99	0,81	0,005	0,005	168,57	74,97	16,19	317,2
<i>F02</i>	104	36,69	49,89	0,81	0	0	110,405	79,67	19,64	320,25
<i>F03</i>	99,2	31,085	36,34	0,91	0,005	0	120,015	55,035	3,43	339,77
<i>F04</i>	70	42,035	43,42	1,255	0	0	94,075	48,135	25,29	366
<i>F05</i>	86,8	30,03	25,94	0,91	0,005	0,025	91,945	64,38	13,015	325,13
<i>F06</i>	139,33	39,07	81,695	0,56	0,005	0,04	176,36	46,99	58,96	400,16
<i>F07</i>	123,12	40,62	86,15	0,41	0	0,13	190,84	48,28	82,39	403,82
<i>F08</i>	55,6	37,5435	23,34	0,81	0	0	36,21	40,15	4,955	317,2
<i>F09</i>	78,8	44,709	19,1	1,01	0	0	52,185	32,575	23,625	370,27
<i>F10</i>	104,4	35,622	32,89	0,96	0	0	59,87	46,47	16,605	383,08
<i>F11</i>	56,2	31,213	46,15	1,21	0,005	0,03	56,3	28,685	11,755	343,43
<i>F12</i>	96	46,65	51,57	0,31	0,005	0,04	112,18	94,94	24,49	361,12
<i>F13</i>	80	36,93	31,04	1,61	0	0	76,32	88,06	3,0567	335,5
<i>F14</i>	137,6	38,637	62,195	0,36	0,005	0,18	177,25	40,755	86,375	399,55
<i>F15</i>	114,8	47,649	58,745	0,26	0,005	0,17	148,425	29,77	83,17	425,78
<i>F16</i>	95,12	37,544	55,295	0,61	0	0,12	127,515	22,025	40,39205	359,34
<i>F17</i>	45,8	19,68	0	0	0,02	0,045	48,485	92,94	2,1	197,03
<i>F18</i>	200	52,48	99,04	0,21	0	0,07	215,84	243,32	5,93	262,3
<i>F19</i>	101,2	20,169	0	0	0	0	34,08	22,08	21,97	372,1
<i>F20</i>	64,8	35,964	23,54	0,81	0		55,38	35,4	15,94	294,02
<i>F21</i>	126,4	44,22	67,895	1,06	0,025	0	143,24	93,105	5,38	434,72
<i>F22</i>	87,2	41,3	53,595	4,16	0	0,01	155,49	208,78	1,22	185,03
<i>F23</i>	55,18	39,63	57,78	1,405	0	0,01	111,806667	64,43	1,57666667	296,86

*Tableau 2 : Résultat des analyses des cations pour les forages étudiés (cations et anion)*

**Annexe 6 : Résultat de calcul de IQES**

**Tableau 3 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F2**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,16	9	79,55	9,64
<i>TH</i>	2	0,06	41,1	50	82,2	4,98
<i>Ca+2</i>	2	0,06	104	200	52	3,15
<i>Mg+2</i>	2	0,06	36,69	50	73,38	4,44
<i>Na+</i>	2	0,06	49,89	200	24,945	1,51
<i>K+</i>	2	0,06	0,81	12	6,75	0,40
<i>TAC</i>	3	0,09	26,25	500	5,25	0,47
<i>TDS</i>	4	0,12	238,39	1500	15,89	1,92
<i>CL-</i>	3	0,09	110,40	500	22,081	2,007
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	19,64	50	39,28	5,95
<i>So<sub>4</sub>-2</i>	4	0,12	79,67	400	19,9175	2,41
<i>total</i>	33	1	92,94			<b>36,92</b>

**Tableau 4 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F3**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,075	9	78,61	9,52
<i>TH</i>	2	0,06	37,8	50	75,6	4,58
<i>Ca+2</i>	2	0,06	99,2	200	49,6	3,006
<i>Mg+2</i>	2	0,06	31,085	50	62,17	3,76
<i>Na+</i>	2	0,06	36,34	200	18,17	1,10
<i>K+</i>	2	0,06	0,91	12	7,58	0,45
<i>TAC</i>	3	0,09	27,85	500	5,57	0,50
<i>TDS</i>	4	0,12	173,39	1500	11,55	1,40
<i>CL-</i>	3	0,09	120,015	500	24,003	2,18
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	3,43	50	6,86	1,03
<i>So<sub>4</sub>-2</i>	4	0,12	55,035	400	13,75	1,66
<i>total</i>	33	1	92,94			<b>29,24</b>



**Tableau 5 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F4**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,295	9	81,05	9,824
<i>TH</i>	2	0,06	34,8	50	69,6	4,218
<i>Ca+2</i>	2	0,06	70	200	35	2,12
<i>Mg+2</i>	2	0,06	42,035	50	84,07	5,09
<i>Na+</i>	2	0,06	43,42	200	21,71	1,31
<i>K+</i>	2	0,06	1,255	12	10,45	0,63
<i>TAC</i>	3	0,09	30,15	500	6,03	0,54
<i>TDS</i>	4	0,12	138,261	1500	9,2174	1,11
<i>CL-</i>	3	0,09	94,075	500	18,815	1,71
<i>NO3<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	25,29	50	50,58	7,66
<i>So4-2</i>	4	0,12	48,135	400	12,033	1,45
<i>total</i>	33	1				<b>35,70</b>

**Tableau 6 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F5**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	6,99	9	77,67	9,41
<i>TH</i>	2	0,06	34,1	50	68,2	4,13
<i>Ca+2</i>	2	0,06	86,8	200	43,4	2,63
<i>Mg+2</i>	2	0,06	30,03	50	60,06	3,64
<i>Na+</i>	2	0,06	25,94	200	12,97	0,78
<i>K+</i>	2	0,06	0,91	12	7,58	0,45
<i>TAC</i>	3	0,09	26,65	500	5,33	0,48
<i>TDS</i>	4	0,12	147,86	1500	9,85	1,19
<i>CL-</i>	3	0,09	91,945	500	18,389	1,67
<i>NO3<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	13,015	50	26,03	3,94
<i>So4-2</i>	4	0,12	64,38	400	16,095	1,95
<i>total</i>	33	1				<b>30,30</b>

Tableau 7 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F6

Paramètres	Poids de chaque paramètre	poids relatif	Concentration mg/l	norme de potabilité mg/l	notation de la qualité qi	le Sous Indice SIi
<i>pH</i>	4	0,12	7,045	9	78,27	9,48
<i>TH</i>	2	0,06	50,95	50	101,9	6,17
<i>Ca+2</i>	2	0,06	139,33	200	69,665	4,22
<i>Mg+2</i>	2	0,06	39,07	50	78,14	4,73
<i>Na+</i>	2	0,06	81,695	200	40,8475	2,47
<i>K+</i>	2	0,06	0,56	12	4,66	0,28
<i>TAC</i>	3	0,09	32,8	500	6,56	0,59
<i>TDS</i>	4	0,12	339,7	1500	22,64	2,74
<i>CL-</i>	3	0,09	176,36	500	35,272	3,20
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	58,96	50	117,92	17,86
<i>So4-2</i>	4	0,12	46,99	400	11,7475	1,42
<i>total</i>	33	1				<b>53,21</b>

Tableau 8 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F7

Paramètres	Poids de chaque paramètre	poids relatif	Concentration mg/l	norme de potabilité mg/l	notation de la qualité qi	le Sous Indice SIi
<i>pH</i>	4	0,12	7,13	9	79,22	9,60
<i>TH</i>	2	0,06	47,5	50	95	5,75
<i>Ca+2</i>	2	0,06	123,12	200	61,56	3,73
<i>Mg+2</i>	2	0,06	40,62	50	81,24	4,92
<i>Na+</i>	2	0,06	86,15	200	43,07	2,61
<i>K+</i>	2	0,06	0,41	12	3,41	0,20
<i>TAC</i>	3	0,09	33,1	500	6,62	0,60
<i>TDS</i>	4	0,12	366,77	1500	24,45	2,96
<i>CL-</i>	3	0,09	190,84	500	38,168	3,46
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	82,39	50	164,78	24,96
<i>So4-2</i>	4	0,12	48,28	400	12,07	1,46
<i>total</i>	33	1				<b>60,29</b>

**Tableau 9 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F8**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,445	9	82,72	10,02
<i>TH</i>	2	0,06	29,35	50	58,7	3,55
<i>Ca+2</i>	2	0,06	55,6	200	27,8	1,68
<i>Mg+2</i>	2	0,06	37,5435	50	75,087	4,55
<i>Na+</i>	2	0,06	23,34	200	11,67	0,70
<i>K+</i>	2	0,06	0,81	12	6,75	0,40
<i>TAC</i>	3	0,09	26	500	5,2	0,47
<i>TDS</i>	4	0,12	37,45	1500	2,49	0,30
<i>CL-</i>	3	0,09	36,21	500	7,242	0,65
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	4,955	50	9,91	1,50
<i>So<sub>4</sub>-2</i>	4	0,12	40,15	400	10,0375	1,21
<i>total</i>	33	1				<b>25,08</b>

**Tableau 10 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F9**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,045	9	78,27	9,48
<i>TH</i>	2	0,06	38,1	50	76,2	4,6
<i>Ca+2</i>	2	0,06	78,8	200	39,4	2,38
<i>Mg+2</i>	2	0,06	44,709	50	89,418	5,41
<i>Na+</i>	2	0,06	19,1	200	9,55	0,57
<i>K+</i>	2	0,06	1,01	12	8,41	0,51
<i>TAC</i>	3	0,09	30,35	500	6,07	0,55
<i>TDS</i>	4	0,12	63,88	1500	4,25	0,51
<i>CL-</i>	3	0,09	52,185	500	10,437	0,94
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	23,625	50	47,25	7,15
<i>So<sub>4</sub>-2</i>	4	0,12	32,575	400	8,14	0,98
<i>total</i>	33	1				<b>33,16</b>

Tableau 11 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F10

Paramètres	Poids de chaque paramètre	poids relatif	Concentration mg/l	norme de potabilité mg/l	notation de la qualité qi	le Sous Indice S <sub>li</sub>
<i>pH</i>	4	0,12	7,055	9	78,38	9,50
<i>TH</i>	2	0,06	41,3	50	82,6	5,006
<i>Ca+2</i>	2	0,06	104,4	200	52,2	3,16
<i>Mg+2</i>	2	0,06	35,622	50	71,244	4,31
<i>Na+</i>	2	0,06	32,89	200	16,445	0,99
<i>K+</i>	2	0,06	0,96	12	8	0,48
<i>TAC</i>	3	0,09	31,4	500	6,28	0,57
<i>TDS</i>	4	0,12	102,19	1500	6,81	0,82
<i>CL-</i>	3	0,09	59,87	500	11,974	1,08
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	16,605	50	33,21	5,03
<i>So4-2</i>	4	0,12	46,47	400	11,6175	1,40
<i>total</i>	33	1				<b>32,39</b>

Tableau12: Résultat de calcul de IQES pour le forage F11

Paramètres	Poids de chaque paramètre	poids relatif	Concentration mg/l	norme de potabilité mg/l	notation de la qualité qi	le Sous Indice S <sub>li</sub>
<i>pH</i>	4	0,12	7,33	9	81,44	9,87
<i>TH</i>	2	0,06	26,895	50	53,79	3,26
<i>Ca+2</i>	2	0,06	56,2	200	28,1	1,703
<i>Mg+2</i>	2	0,06	31,213	50	62,426	3,78
<i>Na+</i>	2	0,06	46,15	200	23,075	1,39
<i>K+</i>	2	0,06	1,21	12	10,08	0,61
<i>TAC</i>	3	0,09	28,15	500	5,63	0,51
<i>TDS</i>	4	0,12	57,06	1500	3,804	0,46
<i>CL-</i>	3	0,09	56,3	500	11,26	1,023
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	11,755	50	23,51	3,5621
<i>So4-2</i>	4	0,12	28,685	400	7,17	0,86
<i>total</i>	33	1				<b>27,055</b>

Tableau 13: Résultat de calcul de IQES pour le forage F12

Paramètres	Poids de chaque paramètre	poids relatif	Concentration mg/l	norme de potabilité mg/l	notation de la qualité qi	le Sous Indice S <sub>li</sub>
<i>pH</i>	4	0,12	7,24	9	80,44	9,75
<i>TH</i>	2	0,06	43,2	50	86,4	5,23
<i>Ca+2</i>	2	0,06	96	200	48	2,90
<i>Mg+2</i>	2	0,06	46,65	50	93,3	5,65
<i>Na+</i>	2	0,06	51,57	200	25,785	1,56
<i>K+</i>	2	0,06	0,31	12	2,583	0,15
<i>TAC</i>	3	0,09	29,6	500	5,92	0,53
<i>TDS</i>	4	0,12	242,71	1500	16,18	1,96
<i>CL-</i>	3	0,09	112,18	500	22,436	2,039
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	24,49	50	48,98	7,42
<i>So4-2</i>	4	0,12	94,94	400	23,735	2,87
<i>total</i>	33	1				<b>40,10</b>

Tableau 14 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F13

Paramètres	Poids de chaque paramètre	poids relatif	Concentration mg/l	norme de potabilité mg/l	notation de la qualité qi	le Sous Indice S <sub>li</sub>
<i>pH</i>	4	0,12	7,12	9	79,11	9,58
<i>TH</i>	2	0,06	35,2	50	70,4	4,26
<i>Ca+2</i>	2	0,06	80	200	40	2,42
<i>Mg+2</i>	2	0,06	36,93	50	73,86	4,47
<i>Na+</i>	2	0,06	31,04	200	15,52	0,94
<i>K+</i>	2	0,06	1,61	12	13,41	0,81
<i>TAC</i>	3	0,09	27,5	500	5,5	0,5
<i>TDS</i>	4	0,12	146,56	1500	9,77	1,18
<i>CL-</i>	3	0,09	76,32	500	15,264	1,38
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	3,05	50	6,11	0,92
<i>So4-2</i>	4	0,12	88,06	400	22,015	2,66
<i>total</i>	33	1				<b>29,17</b>

**Tableau 15 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F14**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice Sli</i>
<i>pH</i>	4	0,12	6,89	9	76,55	9,27
<i>TH</i>	2	0,06	50,3	50	100,6	6,09
<i>Ca+2</i>	2	0,06	137,6	200	68,8	4,16
<i>Mg+2</i>	2	0,06	38,637	50	77,274	4,68
<i>Na+</i>	2	0,06	62,195	200	31,09	1,88
<i>K+</i>	2	0,06	0,36	12	3	0,18
<i>TAC</i>	3	0,09	32,75	500	6,55	0,59
<i>TDS</i>	4	0,12	340,36	1500	22,69	2,75
<i>CL-</i>	3	0,09	177,25	500	35,45	3,22
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	86,375	50	172,75	26,17
<i>So4-2</i>	4	0,12	40,755	400	10,18	1,235
<i>total</i>	33	1				<b>60,27</b>

**Tableau 16 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F15**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice Sli</i>
<i>pH</i>	4	0,12	6,81	9	75,66	9,17
<i>TH</i>	2	0,06	48,31	50	96,62	5,85
<i>Ca+2</i>	2	0,06	114,8	200	57,4	3,47
<i>Mg+2</i>	2	0,06	47,649	50	95,298	5,77
<i>Na+</i>	2	0,06	58,745	200	29,3725	1,78
<i>K+</i>	2	0,06	0,26	12	2,167	0,13
<i>TAC</i>	3	0,09	34,9	500	6,98	0,63
<i>TDS</i>	4	0,12	266,67	1500	17,778	2,15
<i>CL-</i>	3	0,09	148,425	500	29,685	2,69
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	83,17	50	166,34	25,20
<i>So4-2</i>	4	0,12	29,77	400	7,4425	0,90
<i>total</i>	33	1				<b>57,78</b>

**Tableau 17 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F16**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice S<sub>li</sub></i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,06	9	78,44	9,50
<i>TH</i>	2	0,06	39,23	50	78,46	4,75
<i>Ca+2</i>	2	0,06	95,12	200	47,56	2,88
<i>Mg+2</i>	2	0,06	37,544	50	75,088	4,55
<i>Na+</i>	2	0,06	55,295	200	27,64	1,67
<i>K+</i>	2	0,06	0,61	12	5,08	0,30
<i>TAC</i>	3	0,09	29,45	500	5,89	0,53
<i>TDS</i>	4	0,12	196,05	1500	13,07	1,58
<i>CL-</i>	3	0,09	127,515	500	25,503	2,31
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	40,39	50	80,78	12,24
<i>So4-2</i>	4	0,12	22,025	400	5,50	0,66
<i>total</i>	33	1				<b>41,02</b>

**Tableau 18 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F17**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice S<sub>li</sub></i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,94	9	88,22	10,69
<i>TH</i>	2	0,06	19,3	50	38,6	2,33
<i>Ca+2</i>	2	0,06	45,8	200	22,9	1,38
<i>Mg+2</i>	2	0,06	19,68	50	39,36	2,38
<i>Na+</i>	2	0,06	0	200	0	0
<i>K+</i>	2	0,06	0	12	0	0
<i>TAC</i>	3	0,09	16,15	500	3,23	0,29
<i>TDS</i>	4	0,12	108,96	1500	7,264	0,88
<i>CL-</i>	3	0,09	48,485	500	9,697	0,88
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	2,1	50	4,2	0,63
<i>So4-2</i>	4	0,12	92,94	400	23,235	2,81
<i>total</i>	33	1				<b>22,31</b>

**Tableau 19 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F18**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,41	9	82,33	9,97
<i>TH</i>	2	0,06	71,6	50	143,2	8,67
<i>Ca+2</i>	2	0,06	200	200	100	6,06
<i>Mg+2</i>	2	0,06	52,48	50	104,96	6,36
<i>Na+</i>	2	0,06	99,04	200	49,52	3,001
<i>K+</i>	2	0,06	0,21	12	1,75	0,10
<i>TAC</i>	3	0,09	21,5	500	4,3	0,39
<i>TDS</i>	4	0,12	683,62	1500	45,57	5,52
<i>CL-</i>	3	0,09	215,84	500	43,168	3,92
<i>NO3<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	5,93	50	11,86	1,79
<i>So4-2</i>	4	0,12	243,32	400	60,83	7,37
<i>total</i>	33	1				<b>53,19</b>

**Tableau 20 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F19**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,03	9	78,11	9,46
<i>TH</i>	2	0,06	33,6	50	67,2	4,07
<i>Ca+2</i>	2	0,06	101,2	200	50,6	3,06
<i>Mg+2</i>	2	0,06	20,169	50	40,338	2,44
<i>Na+</i>	2	0,06	0	200	0	0
<i>K+</i>	2	0,06	0	12	0	0
<i>TAC</i>	3	0,09	30,5	500	6,1	0,55
<i>TDS</i>	4	0,12	10,45	1500	0,69	0,084
<i>CL-</i>	3	0,09	34,08	500	6,816	0,61
<i>NO3<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	21,97	50	43,94	6,65
<i>So4-2</i>	4	0,12	22,08	400	5,52	0,66
<i>total</i>	33	1				<b>27,63</b>



**Tableau 21 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F20**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice S<sub>i</sub></i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,3	9	81,11	9,83
<i>TH</i>	2	0,06	31	50	62	3,75
<i>Ca+2</i>	2	0,06	64,8	200	32,4	1,96
<i>Mg+2</i>	2	0,06	35,964	50	71,928	4,35
<i>Na+</i>	2	0,06	23,54	200	11,77	0,713
<i>K+</i>	2	0,06	0,81	12	6,75	0,40
<i>TAC</i>	3	0,09	24,1	500	4,82	0,43
<i>TDS</i>	4	0,12	82,45	1500	5,49	0,66
<i>CL-</i>	3	0,09	55,38	500	11,076	1,006
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	15,94	50	31,88	4,83
<i>So4-2</i>	4	0,12	35,4	400	8,85	1,072
<i>total</i>	33	1				<b>29,04</b>

**Tableau 22 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F21**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice S<sub>i</sub></i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,01	9	77,88	9,44
<i>TH</i>	2	0,06	49,8	50	99,6	6,03
<i>Ca+2</i>	2	0,06	126,4	200	63,2	3,83
<i>Mg+2</i>	2	0,06	44,22	50	88,44	5,36
<i>Na+</i>	2	0,06	67,895	200	33,9475	2,05
<i>K+</i>	2	0,06	1,06	12	8,83	0,53
<i>TAC</i>	3	0,09	35,65	500	7,13	0,64
<i>TDS</i>	4	0,12	260,46	1500	17,364	2,10
<i>CL-</i>	3	0,09	143,24	500	28,648	2,60
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	5,38	50	10,76	1,63
<i>So4-2</i>	4	0,12	93,105	400	23,27	2,82
<i>total</i>	33	1				<b>37,06</b>

**Tableau 23 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F22**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	8	9	88,88	10,77
<i>TH</i>	2	0,06	38,8	50	77,6	4,70
<i>Ca+2</i>	2	0,06	87,2	200	43,6	2,64
<i>Mg+2</i>	2	0,06	41,3	50	82,6	5,006
<i>Na+</i>	2	0,06	53,595	200	26,79	1,624
<i>K+</i>	2	0,06	4,16	12	34,66	2,10
<i>TAC</i>	3	0,09	15,16	500	3,032	0,27
<i>TDS</i>	4	0,12	457,74	1500	30,516	3,69
<i>CL-</i>	3	0,09	155,49	500	31,098	2,82
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	1,22	50	2,44	0,36
<i>So<sub>4</sub>-2</i>	4	0,12	208,78	400	52,195	6,32
<i>total</i>	33	1				<b>40,34</b>

**Tableau 24 : Résultat de calcul de IQES pour le forage F23**

<i>Paramètres</i>	<i>Poids de chaque paramètre</i>	<i>poids relatif</i>	<i>Concentration mg/l</i>	<i>norme de potabilité mg/l</i>	<i>notation de la qualité qi</i>	<i>le Sous Indice SIi</i>
<i>pH</i>	4	0,12	7,79	9	86,55	10,49
<i>TH</i>	2	0,06	30,1	50	60,2	3,64
<i>Ca+2</i>	2	0,06	55,18	200	27,59	1,67
<i>Mg+2</i>	2	0,06	39,63	50	79,26	4,80
<i>Na+</i>	2	0,06	57,78	200	28,89	1,75
<i>K+</i>	2	0,06	1,405	12	11,70	0,70
<i>TAC</i>	3	0,09	24,33	500	4,866	0,44
<i>TDS</i>	4	0,12	180,99	1500	12,066	1,46
<i>CL-</i>	3	0,09	111,8	500	22,36	2,03
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	5	0,15	1,57	50	3,15	0,47
<i>So<sub>4</sub>-2</i>	4	0,12	64,43	400	16,10	1,95
<i>total</i>	33	1				<b>29,44</b>