

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



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

KADA Hakim
ARAB Kamel

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

Filière : HYDRAULIQUE

Option : RESSOURCES HYDRAULIQUES

Thème :

**CARACTERISATION DES EAUX SOUTERRAINES DE LA
REGION DE BOUIRA**

Devant le jury composé de :

Mr : Meridja Madani	MCA	UAMOB	Président
Mr : Metaiche Mehdi	MCA	UAMOB	Encadreur
Mr : Yahiaoui Abdelhalime	MCA	UAMOB	Examinateur
Mme : Rezig Amina	MAA	UAMOB	Examinatrice

Année Universitaire 2018/2019

Remerciements

Avant tout nous remercions, DIEU tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.

Nous adressons un grand remerciement à notre promoteur Mr METAICHE Mehdi, qui nous a fait honneur de diriger notre mémoire et nous a guidé tout au long d'un semestre par son élaboration.

Nous tenons à remercier les membres de jury qui nous ont honorés par leur présence et d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons à présenter nos sincères remerciements pour l'ensemble des enseignants ayant contribué à notre formation durant notre cycle d'étude.

Enfin, nos remerciements sont adressés plus particulièrement à nos familles, nos amis(es) et toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À ma chère mère et mon père qui m'ont toujours soutenu, Et
aidé à affronter les difficultés, durant toute ma vie.*

*À mes deux frères et ma chère sœur, je leur souhaite la
réussite.*

À ma famille (oncles, tantes, cousins, cousines).

À tous mes amis,

*À toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élabora-
tion de ce mémoire.*

Hakim.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

à ceux que j'aime et ceux qui m'aiment,

*À ma précieuse mère, qui a tout sacrifié pour
moi,*

*À mon père qui ne connaît pas le désespoir pour
moi,*

À mes chers frères et sœurs

*À mon cher ami NEGGAZI Sofiane qu'est tou-
jours à mes côtés dans toute ma vie.*

À mes amis qui m'ont aidé dans ce mémoire

B.Saïd, T.Mahmoud

Et mes chers amis d'autre spécialité

B.Rachid, M.Wahab, A.Kouciela, M.Mahmoud

A mon cher binôme KADA Hakim

ARAB Kamel

Résumé :

Ce travail a pour objectif de déterminer les caractéristiques des eaux souterraines de la région de Bouira.

L'eau souterraine c'est une ressource précieuse généralement destinée pour la consommation. Pour identifier la qualité d'une eau d'abord il faut avoir plusieurs analyses physico-chimiques cette eau.

Au cours de ce travail, à l'aide des données d'analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la région qui sont prélevées dans plusieurs forages et après avoir vérifié leur fiabilité, on a calculé plusieurs paramètres caractérisant l'eau souterraine : l'alcalinité, la dureté, la conductivité électrique, la salinité, indice de saturation.

D'après les résultats obtenus, les eaux souterraines de la région de Bouira ne sont pas totalement dures et n'ont pas une minéralité élevée, les concentrations des nitrates dans les eaux généralement sont conformes aux normes Algériennes des eaux potables,

Le diagramme de Riverside et Wilcox permettent de classer ces eaux et les définir comme généralement sont acceptables pour l'utilisation à l'irrigation mais l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

Mots clés : Eau souterraine, qualité, Bouira, normes d'utilisation.

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى تحديد خصائص المياه الجوفية في منطقة البويرة.

تعتبر المياه الجوفية موردا قيما عموما صالحة للشرب. لتحديد نوعية المياه أولاً، من الضروري أن يكون هناك العديد من التحليلات الفيزيائية والكيميائية لهذه المياه.

خلال هذا العمل، باستخدام بيانات التحليل الفيزيائي الكيميائي للمياه الجوفية التي تم أخذها من العديد من الآبار لمنطقة البويرة وبعد التحقق من دقتها، تم حساب العديد من المعلمات التي تميز المياه الجوفية مثل: القلوية، الصلابة، الناقلية الكهربائية، الملوحة، مؤشر التشبع.

وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها، فإن المياه الجوفية في منطقة البويرة ليست قاسية تماماً وعدم توفر المعادن بنسبة كبيرة، وتركيزات النترات في الماء تتوافق عموماً مع المعايير الجزائرية لمياه الشرب.

تسمح المخططات البيانية لريفرسايد و ويلكوكس بتصنيف هذه المياه بأنها صالحة بشكل عام للاستخدام في الري، ولكن يجب مراقبة التغيرات في الملوحة.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الجودة، البويرة، معايير الاستخدام.

Abstract:

This work aims to determine the characteristics of groundwater in the Bouira region.

Groundwater is a valuable resource generally intended for consumption. to identify the quality of a water first it is necessary to have several physicochemical analyzes.

During this work, using the physicochemical analysis data of the groundwaters of the region that are taken from several boreholes and after verifying their reliability, several parameters characterizing the groundwater have been calculated: alkalinity, hardness, electrical conductivity, salinity, saturation index.

According to the results obtained, the groundwater of the Bouira region is not totally hard and does not have a high minerality, the concentrations of nitrates in the water generally comply with the Algerian standards for drinking water,

The Riverside and Wilcox plot classifies these waters and defines them as generally acceptable for use in irrigation, but changes in salinity must be monitored.

Key words: Groundwater, quality, Bouira, standards of use.

Sommaire

List des figures.

Liste des tableaux.

Liste des abréviations.

INTRODUCTION GENERALE : 1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX 3

I.1. INTRODUCTION : 3

I.2. ETAT DE L'EAU : 3

I.2.1. Solide : 3

I.2.2. Etat liquide : 4

I.2.3. Etat gazeux : 4

I.3. CATEGORIES DE L'EAU : 4

I.4. REPARTITION DE L'EAU AU MONDE ET EN ALGERIE : 5

I.4.1. L'eau au monde : 5

I.4.2. L'eau en Algérie : 6

I.5. ORIGINE DE L'EAU : 6

I.5.1. Cycle de l'eau : 6

I.5.1.1. Évaporation et l'évapotranspiration : 7

I.5.1.2. Condensation : 7

I.5.1.3. Précipitation : 7

I.5.1.4. Ruissellement et Infiltration : 7

I.6. EAUX DE SURFACE : 8

I.7. EAUX SOUTERRAINES : 8

I.7.1. Origines des eaux souterraines : 9

I.7.1.1. Eaux météoriques : 9

I.7.1.2. Eaux connées : 10

I.7.1.3. Eaux juvéniles : 10

I.7.2. Différents types d'eau souterraine : 10

I.7.3. Nappes de l'eau : 10

I.7.3.1. Différents types de nappes : 10

I.7.4. Qualité des eaux souterraines : 12

I.7.4.1. Qualité organoleptique : 12

I.7.4.1.1. Odeur et saveur : 12

I.7.4.1.2. Couleur : 13

I.7.4.2. Qualité physico-chimique :	13
I.7.4.2.1. Température(T) :	13
I.7.4.2.2. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH) :	13
I.7.4.2.3. Turbidité :	14
I.7.4.2.4. Résidu sec :	14
I.7.4.2.5. Conductivité électrique :	14
I.7.4.2.6. Alcalinité :	14
I.7.4.2.6.1. Titre alcalimétrique simple (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC) :	15
I.7.4.2.7. Minéralisation globale :	15
I.7.4.2.8. Activité ionique :	15
I.7.4.2.9. Indice de saturation :	15
I.7.4.2.10. Salinité :	16
I.7.4.2.11. Potentiel hydrogène (pH) :	16
I.7.4.2.12 Eléments majeurs :	16
I.7.4.2.12.a. Calcium (Ca^{2+}) :	16
I.7.4.2.12.b. Magnésium (Mg^{2+}) :	17
I.7.4.2.12.c. Sodium (Na^+) :	17
I.7.4.2.12.d. Potassium (K^+) :	17
I.7.4.2.12.e. Bicarbonate (HCO_3^-):	17
I.7.4.2.12.f. Sulfates (SO_4^{2-}) :	18
I.7.4.2.12.g. Chlorures (Cl^-):	18
I.7.4.2.12.h. Nitrates (NO_3^-) :	18
I.7.4.2.12.i. Nitrites (NO_2^-) :	18
I.7.4.2.12.j. Silice (SiO_2) :	19
I.8. POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES :	19
I.8.1. Différents critères des pollutions des eaux souterraines :	19
I.8.1.1. Selon l'origine de pollution :	20
I.8.1.2. Selon la nature de pollution :	22

CHAPITRE II : PRESENTATION DE L'HYDROLOGIE ET DE L'HYDROGEOLOGIE DE LA REGION DE BOUIRA..... 2

II.1. INTRODUCTION :	24
II.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE BOUIRA :	24
II.2.1. Reliefs :	25
II.3. HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT SAHEL :	26

II.3.1. Dimensions des bassins :	27
II.3.2. Réseau hydrographique :	28
II.3.3. Caractéristiques climatiques du bassin versant Sahel :	29
II.3.3.1. Précipitations :	29
II.3.3.2. Température :	30
II.3.3.3. Evaporation :	32
II.3.3.4. Evapotranspiration :	32
II.3.3.5. Vent :	33
II.3.3.6. Humidité relative :	34
II.3.4. Identification du climat :	35
II.3.4.1. Climagramme d'Emberger :	35
II.4. HYDROGEOLOGIE DU PLATEAU D'EL ASNAM :	36
II.4.1. Plateau d'El Asnam :	36
II.4.2. Géologie du plateau d'El Asnam :	37
II.4.3. Pédologie :	38
II.4.4. Hydrodynamisme du plateau d'El Asnam :	38
II.4.4.1. Type et la profondeur de la nappe de l'eau du plateau :	38
II.4.4.2. Etudes piézométrique :	39
II.4.4.2.1. Carte piézométrique 1987 :	39
II.4.4.2.2. Carte piézométrique 1989 :	40
II.4.4.2.3. Carte piézométrique 2005 :	41
II.4.4.2.4. Carte piézométrique 2009 :	41
II.4.4.2.5. Carte piézométrique 2010 :	42
II.4.4.2.6. Carte piézométrique 2011 :	42
II.4.4.3. Relation nappe-oued.	43
II.4.4.3.1. Coupes hydrogéologiques :	43
II.5. DONNEES D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE FORAGES DE LA REGION DE BOUIRA (2016) :	44
II.5.1. Données d'analyses chimiques :	44
II.5.2. Données d'analyse physique :	46
CONCLUSION :	48
CHAPITRE III : CALCULS ET INTERPRETATION DES RESULTATS.	49
III.1. INTRODUCTION :	49
III.2. VERIFICATION DE LA FIABILITE DES DONNEES :	49
III.2.1. Balance ionique :	49

III.2.2. Activité ionique :	50
III.3. CALCULS DES TITRES DE L'EAU :	56
III.3.1. Titre alcalimétrique (alcalinité) :	56
III.3.1.1. Titre alcalimétrique simple (alcalinité simple) :	56
III.3.1.2. Titre alcalimétrique complet (alcalinité complète) :	56
III.3.2. Titre hydrométrique (Dureté) :	58
III.3.2.1. Dureté totale :	58
III.3.2.2. Dureté calcique :	58
III.3.2.3. Dureté magnésienne :	58
III.3.3. Comparaison entre TH et TAC :	60
III.3.4. Dureté permanente PH (dureté non alcaline, dureté non carbonatée) :	61
III.3.5. Dureté temporaire KH (dureté alcaline, dureté carbonatée) :	62
III.3.6. Titre en sels d'acides forts SAF :	62
III.3.7. Salinité totale cationique STC :	63
III.3.8. Salinité anionique SA :	64
III.3.9. Salinité totale anionique STA :	65
III.4. ETUDE DE L'EQUILIBRE CARBONIQUE DE L'EAU (INDICES DE SATURATION) :	66
III.4.1. Indice de Langelier :	66
III.4.2. Indice de saturation de Ryznar (indice de stabilité) :	68
III.4.3. Indice de saturation de Larson IC (indice de corrosivité) :	69
III.4.4. Logiciel EquilIF :	71
III.5. CLASSIFICATION DES EAUX :	72
III.5.1. Salinité :	72
III.5.2. Total des solides dissous (TDS) :	73
III.5.3. Conductivité :	74
III.5.4. Selon les normes européennes :	76
III.5.5. Selon Voronov 2000 :	77
III.6. VERIFICATION AUX NORMES ALGERIENNES :	77
III.6.1. Température (T) :	78
III.6.2. Potentiel hydrogène (pH) :	79
III.6.3. Turbidité :	80
III.6.4. Calcium (Ca^{2+}) :	81
III.6.5. Magnésium (Mg^{2+}) :	81
III.6.6. Chlorures (Cl^-) :	82
III.6.7. Sodium (Na^+) :	83
III.6.8. Potassium (K^+) :	84

III.6.9. Sulfate (SO_4^{2-}) :	84
III.6.10. Bicarbonates (HCO_3^-) :	85
III.6.11. Nitrates (NO_3^-) :	86
III.7. ETUDES DE L'APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION :	86
III.7.1. Logiciel Diagrammes :	87
III.7.2. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de Riverside :	87
III.7.3. Classification des eaux selon WILCOX (1948) :	89
CONCLUSION :	90
CONCLUSION GENERALE	92

Références bibliographiques.

Annexe.

Liste des figures

Figure I.1 : L'eau verte, bleue et grise.	5
Figure I. 2 : Le cycle de l'eau.	8
Figure I. 3 : Les différentes nappes d'eau souterraine.....	12
Figure I. 4 : Schématisation pollution anthropique.....	20
Figure I. 5 : Schématisation Pollution industrielle.....	21
Figure I. 6 : Schématisation de la pollution agricole.	22
Figure II. 1 : Carte géographique de la wilaya de Bouira	25
Figure II. 2 : Carte des ressources en eau de la wilaya de Bouira (DHW de Bouira).....	26
Figure II. 3 : La situation des trois sous bassins versants par rapport aux grands bassins versants de la région.....	27
Figure II. 4 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants.	28
Figure II. 5 : Température moyennes mensuelles, maximales et minimales du bassin de Sahel-Ed Dous (station de Bouira).	31
Figure II. 6 : Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997 – 2007).	32
Figure II. 7 : L'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm	33
Figure II. 8 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s, période 1997-2007.	34
Figure II. 9 : Humidité relative pour la région Bouira. (Période 1997-2007 ; Source O.N.M)	35
Figure II. 10: Climagramme d'Emberger.	36
Figure II. 11 : Carte du Matériel aquifère de la nappe de plateau d'El-Asnam.	37
Figure II. 12 : La carte de la nature du sol de la nappe du plateau d'El Asnam.	38
Figure II. 13 : Carte qui montre la profondeur de l'eau la nappe du plateau d'El Asnam.....	39
Figure II. 14 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d'El Asnam (Zombre-Seni).	39
Figure II. 15 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d'El Asnam (Sidi Moussa).	40

Figure II. 16 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d'El Asnam (HELLAL, 2005).	41
Figure II. 17 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d'El Asnam (ANRH, 2009).	41
Figure II. 18 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d'El Asnam (2010).	42
Figure II. 19 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau. D'El Asnam (Mai 2011)..	42
Figure II. 20 : Coupe hydrogéologique	43
Figure II. 21 : Carte de localisation des forages de la région de Bouira.	47
Figure III. 1 : Histogramme de la Balance ionique.....	50
Figure III. 2 : Variation de l'alcalinité complète (TAC).....	57
Figure III.3 : Variation de la Dureté.	60
Figure III.4 : Comparaison du TH par rapport au TAC.	61
Figure III.5 : Dureté permanente.....	62
Figure III.6 : Titre en sels d'acides forts (SAF)	63
Figure III.7 : Salinité totale cationique STC	64
Figure III.8 : Salinité anionique SA.	65
Figure III. 9 : Indice Langelier.....	68
Figure III.10 : Variation de l'indice de Ryznar.....	69
Figure III.11 : Variation de l'indice Larson.....	71
Figure III.12 : interface de logiciel Equil1F	71
Figure III.13 : Variation de la salinité des eaux de forages étudiés	72
Figure III.14 : Variation de la TDS max et TDS min.	73
Figure III.15 : Variation de la conductivité mesurée(25C°) et calculée (25 C°) de forages.	75
Figure III.16 : Variation de la température dans les eaux de forages étudiés.	79
Figure III.17 : Variation de pH des eaux de forages étudiés.....	80
Figure III.18 : Variation de la turbidité des eaux de forages étudiés.	80
Figure III.19 : Variation de la teneur en calcium des eaux de forages étudiés	81

Figure III.20 : Variation de la teneur en magnésium des eaux de forages étudiés.....	82
Figure III.21 : Variation de la teneur en chlorure des eaux de forages étudiés.	83
Figure III.22 : Variation de la teneur en sodium des eaux de forages étudiés.	83
Figure III. 23 : Variation de la teneur en potassium des eaux de forages étudiés.	84
Figure III.24 : Variation de la teneur en sulfate des eaux de forages étudiés.	85
Figure III.25 : Variation de la teneur en bicarbonate des eaux de forages étudiés.	85
Figure III.26 : Variation de la teneur en nitrates des eaux de forages étudiés.	86
Figure III.27 : Interface de logiciel diagrammes.	87
Figure III.28 : Aptitude des eaux à l'irrigation (Riverside).	89

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Récapitulatif de la répartition de l'eau dans le monde.	6
Tableau I. 2 : classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit).	14
Tableau I. 3 : classification des eaux d'après leur pH	16
Tableau II. 1 : récapitulatif des paramètres géométriques et de forme.	27
Tableau II. 2 : Classification du réseau hydrographique des trois sous bassins versant.....	29
Tableau II.3 : Caractéristiques générales des stations pluviométriques.....	30
Tableau II.4 : Précipitations mensuelles moyennes (1970_2009)	30
Tableau II.5 : Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007).	31
Tableau II.6 : Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997 – 2007).	32
Tableau II.7 : Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm	33
Tableau II.8 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s, période 1997-2007.....	33
Tableau II.9 : Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative. Période 1997-2007.....	34
Tableau II. 10 : les données d'analyses chimique.....	45
Tableau II.11 : données des paramètres physique.....	46
Tableau III.1 les valeurs calculer de la balance ionique.	50
Tableau III.2 : Le diamètre effectif moyen de l'ion hydraté.....	51
Tableau III.3 : les valeurs de la force ionique de chaque forage.	52
Tableau III.4 : Coefficient d'activité ionique γ_i	53
Tableau III.5 : les valeurs calculées de l'activité ionique.	54
Tableau III.6 : Teneurs des ions majeurs en mg/l	55
Tableau III. 7 : valeurs calculées de l'alcalinité simple et complet des eaux de forages.....	57
Tableau III.8 : classes des eaux en °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969	59

Tableau III.9 : les valeurs calculées de la dureté des eaux de forages.....	59
Tableau III.10 : Dureté permanente.....	61
Tableau III.11 : Titre en sels d'acides forts SAF.....	63
Tableau III.12 : Salinité totale cationique STC.....	64
Tableau III.13 : Salinité anionique SA.....	65
Tableau III.14 : la variation des constantes thermodynamiques en fonction de la température ...	66
Tableau III.15 : valeurs de PHs des eaux de forage.....	67
Tableau III.16 : variation de l'indice de Langelier IL.....	67
Tableau III.17 : classification de l'indice de saturation de Ryznar (indice de stabilité).....	68
Tableau III.18 : calculs de l'indice de Ryznar	69
Tableau III.19 : classification de l'indice de Larson.....	70
Tableau III. 20 : Calculs de l'indice de corrosivité.....	70
Tableau III.21 : valeurs de salinité.....	72
Tableau III.22 : les valeurs de la TDS max et TDS min.....	73
Tableau III.23 : Classification des eaux en fonction de la conductivité.	74
Tableau III.24 : les valeurs de la conductivité.	75
Tableau III.25 : classification des eaux.....	76
Tableau III.26 : classification des eaux selon Voronov.....	77
Tableau III.27 : Normes de paramètres physico-chimiques des eaux (JORA, 2011).....	78
Tableau III.28 : Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox (1948).....	89
Tableau III.29 : Classification des eaux (Selon la méthode de Wilcox (1948).	90

Liste des abréviations

NTU : Nephelometric turbidity unit

pHs : Potentiel hydrogène d'équilibre calco-carbonique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TA : Titre alcalimétrique simple

SA : Salinité anionique

STA : Salinité totale anionique

SAF : Titre en sels d'acides forts

STC : Salinité totale Cationique

TH : Titre hydrométrique (Dureté).

TH_{Ca} : Dureté calcique.

TH_{Mg} : Dureté magnésien

TH_{Ca} : Dureté calcique

KH : Dureté temporaire

IR : Indice de saturation Ryznar

IL : Indice de Langelier

IC : Indice de Larson

σ : Conductivité

TDS : Total des solides dissous

SAR : Valeurs du rapport d'absorption en sodium

Na% : Valeurs du rapport d'absorption en sodium

ETP : 'évapotranspiration

Introduction générale

L'eau, ce compose de deux atomes d'hydrogène et un seul atome d'oxygène, couvrant près des trois quarts de la Terre, et entretient une relation étroite avec la géosphère, l'atmosphère et la biosphère. Elle interagit avec l'énergie solaire pour déterminer le climat, et transforme et transporte les substances physiques et chimiques nécessaires à toute vie sur Terre. L'eau est un élément de la vie quotidienne, et elle est si familière, qu'on oublie souvent son rôle, son importance et sa nécessité absolue. Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures.

L'eau souterraine, c'est une ressource qui circule dans les profondeurs de la terre loin de la pollution causées par l'être humain (industrielle, agricole et urbaine), sa qualité pure rend aujourd'hui la majorité de la population mondiale utilise une eau d'origine souterraine, la nature de la qualité de cette eau issue par la formation traversée par elle, cela influence sur la variation (l'augmentation, et la diminution ou la disponibilité) de la concentration de certains éléments comme (turbidité, calcium, magnésium, sodium, chlorure, sulfates, bicarbonate , nitrate). Afin de qualifier une eau souterraine bonne ou nocive pour a la santé humaine, ou bien sont aptes l'irrigation, il y a des normes qui fixent les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau, le fait que l'eau conforme aux normes de potabilité donc elle est potable puis si elle conforme aux normes d'irrigation donc elle est bonne pour l'irrigation.

La région de Bouira, connue parmi les wilayas qui possèdent un bilan hydrique important en Algérie, son problème de l'eau est posé dans sa disponibilité et sa préservation. L'explosion démographique que connaît la région, les récentes sécheresses, les utilisations irrationnelles et les pertes à la distribution de cette ressource naturelle ont conduit à la surexploitation des potentialités hydriques avec des conséquences néfastes aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif. Cette situation est aggravée par une pollution de plus en plus préoccupante : rejets incontrôlés d'eaux usées domestiques et industrielles.

Ce travail a pour objectif de donner une idée sur les caractéristiques des eaux souterraines de la région de Bouira, Les détails sont illustrés dans ce mémoire, à travers trois chapitres :

Le premier chapitre consacré à donner une étude bibliographique sur l'eau d'une façon générale, et l'eau souterraine une façon particulière, où on a parlé sur l'origine, la qualité

physico-chimique et organoleptique, et la pollution des eaux souterraines, et les types de nappes.

Le deuxième chapitre également c'est une étude bibliographique sur la présentation de l'hydrologie et de l'hydrogéologie de la région de Bouira, qui comporte au début une présentation des données d'analyses physico-chimiques prélevées dans certains forages de cette région, en suite la présentation de la situation géographique de cette région, puis l'hydrologie la géologie et hydrogéologie de certains lieux qui appartiennent à la wilaya de Bouira.

Le troisième chapitre basé sur les calculs des différents paramètres qui influencent sur la qualité d'eau, qui comporte six parties :

- ❖ Vérification de la fiabilité des données d'analyses physico-chimiques.
- ❖ Calculs des titres d'eau.
- ❖ Etude de l'équilibre carbonique de l'eau (indice de saturation).
- ❖ Classification des eaux.
- ❖ Vérification aux normes Algériennes.
- ❖ Etudes de l'aptitude des eaux à l'irrigation.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LES
EAUX

I.1. Introduction :

L'eau est un liquide homogène incolore (transparent), insipide (sans goût), inodore (sans odeur). Elle est la seule molécule à être présente sous trois états sur terre : solide, liquide et gazeuse ; elle change d'état sans intervention de l'être humain, c'est aussi le fondement de la vie sur terre.

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. C'est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes. L'eau est gazeuse au-dessus de 100°C et solide en dessous de 0°C.

Sa formule chimique est H₂O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. C'est notamment un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur terre, l'eau est quelque fois désigné sous le nom de

« Solvant universel ».

L'eau, élément indispensable à la vie, est une part essentielle du patrimoine mondial, mais aussi essentielle aux activités humaines (Agricultures, industrielles, domestiques...).

Ce chapitre consiste à donner une généralité sur l'eau d'une façon générale et les eaux souterraines d'une façon particulière ou on parle surtout des paramètres physico-chimiques qui contribuent à définir la qualité de l'eau et ceux qui causent sa pollution.

I.2. Etat de l'eau :

L'eau est le seul composé naturel qui existe sous forme solide, liquide et gazeuse. Avec l'action conjuguée de la chaleur (solaire) et de la pression (atmosphérique), elle change d'état. Ces changements d'états interviennent par rupture des liaisons hydrogène qui unissent les molécules d'eau entre elles.

I.2.1. Solide :

L'eau est à l'état solide si la température est inférieure ou égale à 0° Celsius. A l'état solide, la disposition la plus courante des molécules est une structure cristalline :

Voici quelques exemples de présentation de l'eau à l'état solide :

- la glace : elle résulte du gel de l'eau, elle se forme à 0° Celsius,
- la neige : c'est un minuscule cristal de glace en forme d'étoiles ; les flocons se forment par agglomération de ces cristaux,
- le givre : c'est le gel du brouillard,
- le glacier : il est le résultat du tassement de la neige accumulée.

I.2.2. Etat liquide :

L'eau est à l'état liquide pour des températures oscillant entre 0° et 100° Celsius à une pression normale (1 bar). Dans l'eau liquide, les molécules sont en désordre, elles sont plus serrées qu'à l'état solide, ce qui explique qu'un litre d'eau occupe plus d'un litre quand elle gèle.

Voici quelques exemples de présentation de l'eau à l'état liquide :

- les nuages : ils sont formés par l'accumulation de gouttelettes d'eau,
- la pluie : elle est constituée des gouttelettes d'eau libérées par les nuages,
- le brouillard : il est constitué de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air,

I.2.3. Etat gazeux :

L'eau est à l'état gazeux, ou état de vapeur, dès 100° Celsius à pression normale. Mais elle peut l'être aussi à température inférieure : c'est ce qui se passe au-dessus des océans lors de l'évaporation. L'état gazeux est celui du désordre maximal des molécules : ces dernières sont tellement agitées que les forces d'attraction terrestre s'exercent de façon beaucoup moins forte. [2]

I.3. Catégories de l'eau :

Selon les scientifiques et compte tenu des trois dimensions de l'usage de l'eau on trouve :

- **Eau verte** : Est l'eau existe sous forme le flux circulant dans les écosystèmes naturels, comme les nuages, le brouillard, la pluie, aussi que l'humidité est absorbée par le sol et les plantes.
- **Eau bleue** : Est l'eau prélevé dans les réserves d'eau, à savoir les lacs, les réservoirs et les nappes souterraines (aquifères) et qui est utilisée comme intrant dans toutes les activités humaines (agriculture, irrigation, industrie et l'usage domestique).
- **Eau grise** : Est l'eau douce nécessaire pour diluer et évacuer tous les polluants qui résultent de toutes les activités humaines. Elle est quantifiée comme le volume d'eau qui est nécessaire pour assimiler les polluants afin que la qualité de l'eau ambiante reste au-dessus des normes acceptables. [3]

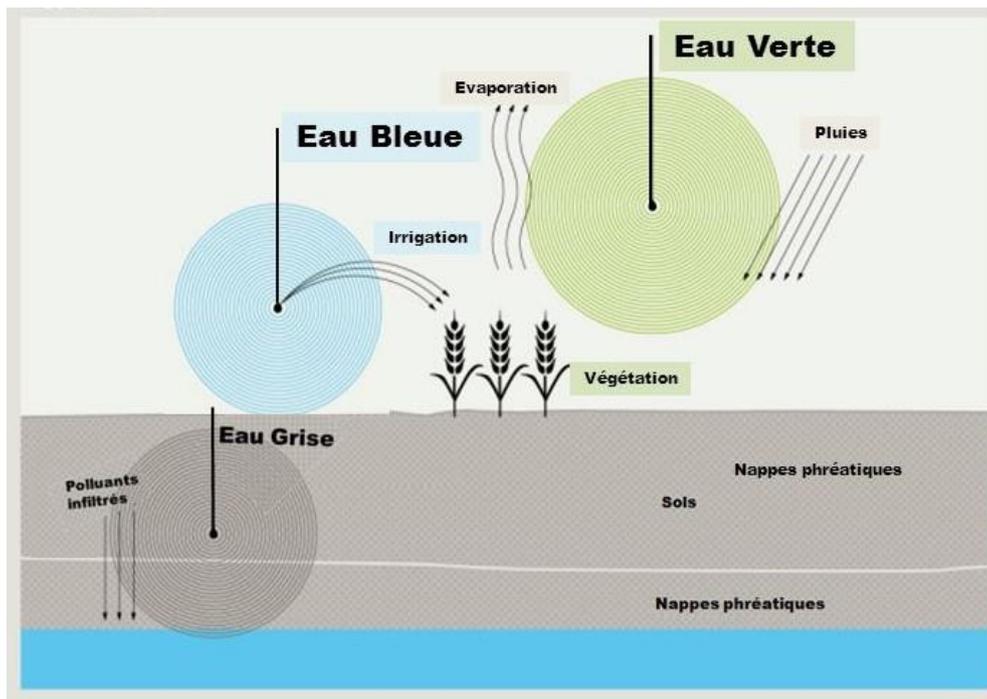


Figure I.1 : Eau verte, bleue et grise. [3]

I.4. Répartition de l'eau au monde et en Algérie :

I.4.1. L'eau au monde :

Au cours des siècles passés, les utilisations humaines de l'eau n'ont eu aucun impact sur la disponibilité en eau. Mais, avec le monde moderne, les aménagements et l'emprise de l'eau de la nature par les Hommes ont transformé le régime des eaux et troubler leurs fonctions naturelles.

L'eau recouvre 72 % de la surface du globe. Son volume total est estimé à 1400 millions de milliards de m³, ce qui représente un cube de plus de 1000 km de côté. Ce volume d'eau est stable. En 4,6 milliards d'années, il a été estimé que la quantité d'eau perdue correspond à une hauteur de 3 m sur la totalité de la surface de la Terre.

Si la Terre est bien la planète de l'eau, c'est avant tout la planète de l'eau salée dans les mers intérieures et les océans, mais aussi dans certaines nappes souterraines, soit 97,2 % du volume. Il ne reste donc plus que 2,8 % pour l'ensemble des eaux douces. Dans ce faible pourcentage, les glaces et les neiges permanentes représentent 2,1 % et l'eau douce disponible 0,7 %.

Au final, l'homme ne peut utiliser que moins d'1 % du volume total d'eau douce présent sur Terre, soit environ 0,028 % de l'hydrosphère. Ceci englobe les cours d'eau, les réservoirs naturels ou artificiels (lacs, barrages...) et les nappes souterraines dont la faible profondeur permet l'exploitation à des coûts abordables.

On évalue à 40 000 milliards de km³/an, les ressources mondiales en eau continentale constituant la seule source d'eau douce renouvelable (pluie - évapotranspiration - évaporation) Ce qui équivaut à 5 700 m³ /hab/an.[4]

Tableau I.1 : Récapitulatif de la répartition de l'eau dans le monde [4].

Continents	Précipitations mm	Evaporation mm	Ruissèlement mm
Europe	790	507	283
Afrique	740	587	153
Asie	740	416	324
Amérique de Nord	756	418	339
Amérique du Sud	1600	910	685
Australe et Océanie	791	511	280
Antarctique	165	0	165
Moyenne pour tous les continents	800	485	315

I.4.2. L'eau en Algérie :

La répartition de l'eau en Algérie ce fait comme suite :

- 100 milliards de mètres cube de précipitations totales dans le nord de l'Algérie, dont 85% s'évapore et 15%constitue l'écoulement superficiel.
- 12.4milliards de mètres cube d'écoulement superficiels.
- 1.8milliards de mètres cube d'eau souterraines mobilisables dans le nord et sont exploités après de 90%.
- 6milliards de mètres cube mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (hydrologie, topographie, géologie etc.).
- 4.8 milliards de mètres cube mobilisables actuellement.
- 2 milliards de mètres cube mobilisés pour une certaine de barrages.
- 29 barrages en construction actuellement. [5]

I.5. Origine de l'eau :

I.5.1. Cycle de l'eau :

Sur Terre, la quantité d'eau est immense. On la trouve dans les mers, lacs et rivières, mais aussi dans les glaciers en montagne, et même dans l'air. A chaque fois, elle se présente sous une forme différente. L'eau de la mer par exemple est liquide. Dans les montagnes, ou sur la

banquise, elle est solide. Lorsqu'elle s'évapore, elle devient gazeuse. Et finalement, c'est depuis toujours que l'eau poursuit le même chemin, en passant par ces trois états : solide, liquide et gazeux.

I.5.1.1. Évaporation et l'évapotranspiration :

L'évaporation est la première étape du cycle de l'eau, elle est la première étape du recyclage de l'eau. L'évaporation provient de l'eau sur terre et des êtres vivants, sous l'effet de la chaleur du soleil l'eau des océans, des lacs, des rivières et de la terre s'évapore sous la forme de vapeur, par contre les êtres vivants, végétaux, animaux et hommes, perdent aussi de l'eau dont s'évapore sous la forme de transpiration et se transforme elle aussi en vapeur d'eau et s'élève dans l'atmosphère où elle va circuler comme un gaz.

I.5.1.2. Condensation :

La condensation est la seconde étape du cycle de l'eau. C'est en fait lorsque la vapeur d'eau qui provient de l'évaporation et de l'évapotranspiration s'élève dans l'atmosphère va rencontrer un air plus froid et elle va se transformer en gouttelettes. Les gouttelettes d'eau s'accumulent sous la forme de nuages de formes, de densité et d'altitude différentes.

I.5.1.3. Précipitation :

Les précipitations toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,...).Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression.

Le déclenchement des précipitations est favorisé par la coalescence des gouttes d'eau. L'accroissement de poids leur confère une force de gravité suffisante pour vaincre les courants ascendants et la turbulence de l'air, et atteindre le sol. Enfin, le parcours des gouttes d'eau ou des flocons de neige doit être assez court pour éviter l'évaporation totale de la masse. [6]

I.5.1.4. Ruissellement et Infiltration :

Lorsque la pluie tombe, elle peut avoir deux chemin une fois arrivée sur terre et c'est ce que l'on appelle l'écoulement. Soit l'eau coule sur le sol jusqu'à atteindre des eaux de surface (comme un lac par exemple), dans ce cas, c'est le ruissellement. Soit elle entre dans des roches ou des sols perméables, et cela s'appelle l'infiltration.

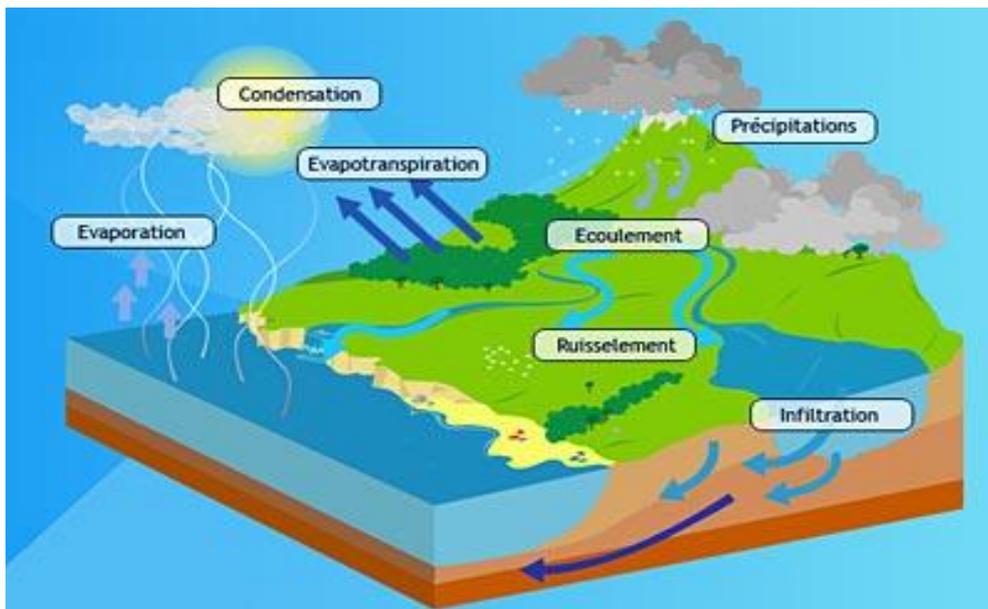


Figure I. 2 : Cycle de l'eau.

I.6. Eaux de surface :

Les eaux de surface, appelée aussi les eaux superficielles se sont des réserves d'eau qui se trouvent et se ruissellent à la surface de la terre, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs, océans, mers...) ou artificielles (retenues, barrages).

La composition chimique des eaux de surface dépendants de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Généralement elles ne sont pas potables vu à la concentration importante en matières en suspension et la présence de matières organiques.[7].

I.7. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont des réserves de l'eau qui se localisent dans les profondeurs de la terre et dans les zones saturées leur provenance viennent de l'infiltration et de la percolation des eaux de surfaces dans le sol et elles sont stockées par l'aquifère et des nappes.

La composition chimique des eaux souterraine vienne de la nature des aquifères traversés par l'eau à travers l'infiltration, lorsque l'eau circule sous-sol s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau.

Les eaux souterraines répondent naturellement aux normes de potabilité mais parfois

Elles peuvent contenir des éléments à des concentrations dépassant largement les normes de potabilité, et pour cela elles doivent être traitées avant la distribution pour la consommation.

Les eaux souterraines, enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux valaient très peu dans le temps, les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous.

- Turbidité faible, les eaux bénéficient d'une infiltration naturelle dans le sol.
- Contamination bactérienne faible, le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle est l'absence de matières organiques ne favorisant pas la croissance des bactéries.
- Température constante. Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- Indice de couleur faible, les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales, sources de couleur.
- Débit constant, contrairement à celui des eaux de rivières, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année.
- Dureté souvent élevée, les eaux peuvent être en contact avec la formation rocheuse des métaux bivalents (Mg^{2+} , Ca^{2+} , etc.), responsables de la dureté.
- Concentration élevée de fer et de manganèse, ces métaux, souvent présents dans le sol, sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous. [7]

I.7.1. Origines des eaux souterraines :

I.7.1.1. Eaux météoriques :

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, c'est-à-dire proviennent des précipitations (pluies, neige) et de leur infiltration 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 d'indicateur de paléoclimats. [8]

I.7.1.2. Eaux connées :

Les eaux que l'on trouve en profondeur dans la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 km) sont dérivées des 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 formations géologiques, ou bien rester piégées dans des roches dont la perméabilité est très faible et dont toute l'eau n'a pas été expulsée. Souvent cette eau est présente depuis la formation de la roche. [8]

I.7.1.3. Eaux juvéniles :

Ces eaux sont libérées directement par des processus magmatiques en profondeur. Elles sont difficilement distinguables des eaux situées en profondeur. Les processus magmatiques peuvent relâcher en plus de l'eau, des composés gazeux (CO₂ par exemple) [8]

I.7.2. Différents types d'eau souterraine :

Sous l'aspect hydrogéologique, une roche contient de l'eau sous différentes formes [8]

- Eau de constitution entrant dans la structure cristalline des minéraux (le gypse par exemple a pour formule CaSO₄.2H₂O) ;
- Eau adsorbée à la surface des minéraux par des interactions électrostatiques ;
- Eau non-libre située dans les pores fermés et inclusions fluides ;
- Eau libre circulant dans les pores et les fissures.

I.7.3. Nappes de l'eau :

Le mot « aquifère » ou encore « nappe » désigne simplement une couche de sol contenant de l'eau. C'est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau

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

I.7.3.1. Différents types de nappes :**❖ Nappe libre :**

Une nappe libre qualifie une nappe d'eau souterraine non recouverte, dont la partie supérieure n'est pas limitée par une couche imperméable, alimentée sur toute sa surface, de ce fait, son niveau peut monter et parfois atteindre la surface du sol si les précipitations augmentent. Par contre sa partie inférieure est imperméable.

❖ Nappe captive :

Nappe d'eau souterraine qui se situe entre deux couches de terrains imperméables. Elle est recouverte, totalement ou partiellement, par une couche de terrain imperméable, de ce fait, elle a besoin du temps pour son renouvellement, Ces nappes sont sous pression.

❖ Nappe phréatique :

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

Une nappe phréatique affleure parfois à la surface du sol sous la forme de source ou bien peut être captée au moyen de puits.[9]

❖ Nappe alluviale :

Elle est contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse.[9]

❖ Nappe karstique :

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

Dans ces conduits les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains.

Aux points de sortie, les sources présentent des débits souvent variables dans le temps.[9]

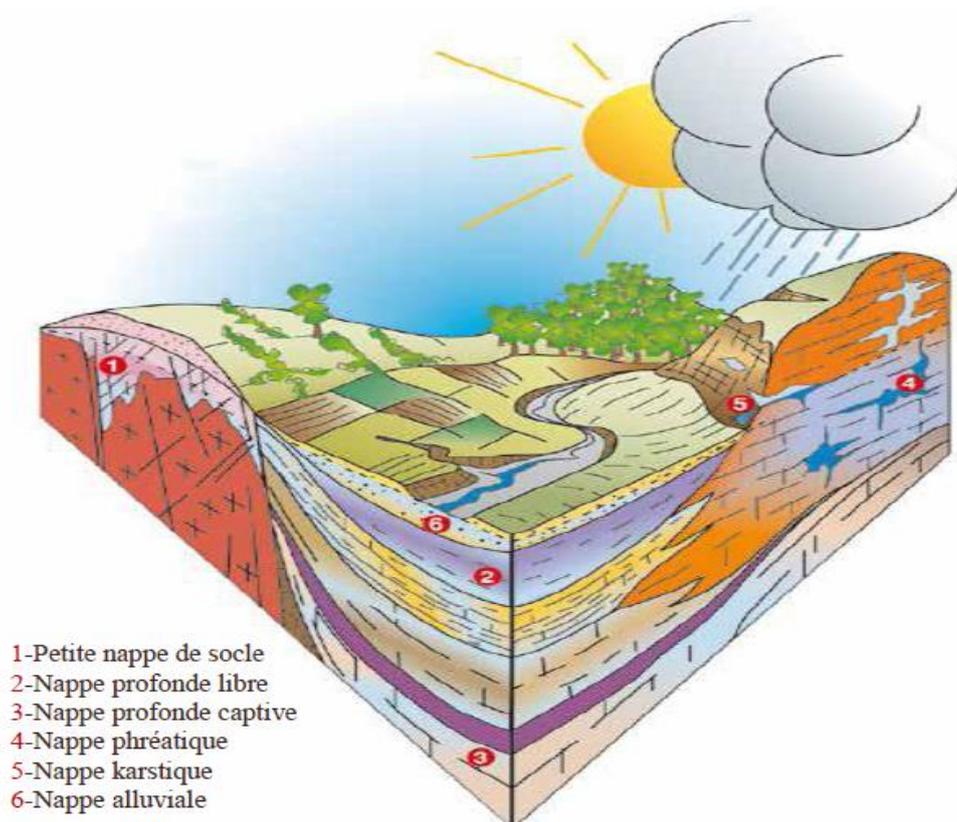


Figure I. 3 : Différentes nappes d'eau souterraine. [9]

I.7.4. Qualité des eaux souterraines :

I.7.4.1. Qualité organoleptique :

Les propriétés organoleptiques de l'eau font référence à la sensation, bonne ou mauvaise, que le consommateur peut ressentir en buvant de l'eau. Les paramètres organoleptiques sont ceux que le consommateur perçoit immédiatement : la couleur, l'odeur ou la saveur.

I.7.4.1.1. Odeur et saveur :

L'odeur d'une eau est généralement un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition en quantité souvent si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler.

Toute eau possède une certaine saveur qui lui est propre et qui est due aux sels et aux gaz dissous.

Si elle renferme une trop grande quantité de chlore, l'eau aura une saveur saumâtre, si elle contient de forte quantité de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer.[10]

I.7.4.1.2. Couleur :

Dans l'idéal, l'eau potable doit être claire et incolore. Le changement de couleur d'une eau potable peut être le premier signe d'un problème de qualité.

Paramètre traduisant une nuisance d'ordre esthétique, la coloration des eaux peut :

Avoir une origine naturelle (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface).

Être une des conséquences du phénomène d'eutrophisation (développement excessif d'algues et de plancton) des lacs, étangs, barrages, ...etc.

Avoir une origine industrielle chimique (colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et teintures). [10]

I.7.4.2. Qualité physico-chimique :**I.7.4.2.1. Température(T) :**

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. [10]

I.7.4.2.2. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH) :

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

La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO_3 . Elle est aussi très souvent donnée en degrés français.

Dans l'eau sont déterminés :

- ❖ **Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)** qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne ;
- ❖ **Dureté calcique** qui correspond à la teneur globale en sels de calcium.
- ❖ **Dureté magnésienne** qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium. [11]

I.7.4.2.3. Turbidité :

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. C'est la propriété optique la plus importante des eaux naturelles. On mesure la turbidité en unités de turbidité Néphélométriques (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau.

UTN : Unité de Turbidité Néphélométrique.

Tableau I. 2 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit). [12]

UTN<5	Eau claire
5<UTN<30	Eau légèrement trouble
UTN>50	Eau trouble
UTN	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

I.7.4.2.4. Résidu sec :

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l.

I.7.4.2.5. Conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de 1 cm² et distantes l'une de l'autre de 1 cm [20].

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca²⁺), le magnésium (Mg²⁺), le sodium (Na⁺), le potassium (K⁺), le bicarbonate (HCO³⁻), le sulfate (SO₄²⁻) et le chlorure (Cl⁻), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée [20].

I.7.4.2.6. Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC) [1].

I.7.4.2.6.1. Titre alcalimétrique simple (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC) :

Les valeurs relatives du TA et du TAC permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates contenu dans l'eau.

Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate.

La TAC assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates [1].

I.7.4.2.7. Minéralisation globale :

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, calcium, sodium, potassium, magnésium.

Une minéralisation excessive donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs.

La minéralisation des nappes d'eau souterraine dépend tout d'abord des roches traversées.

Il y a bien sûr des variations saisonnières et d'une année sur l'autre.

Les eaux souterraines profondes ont une minéralisation plus stable dans le temps et plus importante que les eaux peu profondes [10].

I.7.4.2.8. Activité ionique :

Une activité ionique correspond à un type de grandeur rendant compte des phénomènes d'interactions entre ions en solution qui augmentent lorsque la concentration augmente. Elle correspond à la notion de concentration efficace d'un ion. L'activité d'un ion est le produit de la concentration de cet ion par son coefficient d'activité. Ce dernier tend vers 1 lorsque la concentration tend vers 0, d'où l'approximation selon laquelle la concentration se confond avec l'activité en solution diluée. [13]

I.7.4.2.9. Indice de saturation :

L'indice de saturation est un modèle d'équilibre extrait de la notion de saturation théorique et fournit un indicateur du degré de saturation de l'eau par rapport au carbonate de calcium. On peut montrer que l'IS est proche du logarithme (base 10) du niveau de saturation en calcite. Le niveau de saturation de Langelier se rapproche de la notion de saturation en utilisant le pH comme variable principale. L'IS peut être interprété comme le changement de pH nécessaire pour amener l'eau à l'équilibre calco-carbonique.

Une eau avec un indice de saturation de 1 sera donc d'une unité pH au-dessus de la saturation. Réduire le pH de 1 unité amènera donc l'eau à l'équilibre. Cela se produit parce que l'alcalinité

totale diminue avec la diminution du pH, en fonction de l'équilibre qui décrit la dissociation de l'acide carbonique :

- Si IS est négatif : Pas d'incrustation potentielle, l'eau va dissoudre le CaCO_3 .
- Si IS est positif : l'incrustation peut se former et la précipitation du CaCO_3 peut se produire.
- Si IS est proche de zéro : le potentiel d'incrustation est limité. Des changements dans la qualité de l'eau, la température (ou l'évaporation) peut modifier l'indice. [14]

I.7.4.2.10. Salinité :

La salinité est l'une des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. C'est la mesure de la quantité de sels dissous dans un volume donné d'eau. Elle est souvent exprimée en gramme de sel par kilogramme d'eau (g/kg), en gramme de sel par litre d'eau (g/l), en pour mille.[15]

I.7.4.2.11. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+), il est inférieur ou supérieur à 7, suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous [10].

Tableau I. 3 : Classification des eaux d'après leur pH

pH<	Acidité forte ==> présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
pH=7	pH neutre.
7<pH<8	Neutralité approchée ==> majorité des eaux de surface.
5.5<pH<8	Majorité des eaux souterraines.
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense.

I.7.4.2.12 Eléments majeurs :

I.7.4.2.12.a. Calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous formes de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure...etc. [11]

I.7.4.2.12.b. Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. Il est un élément indispensable pour la croissance. Il intervient comme élément plastique dans l'os et comme élément dynamique dans les systèmes enzymatique et hormonaux.

Le magnésium constitue un élément significatif de dureté de l'eau. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau potable [10].

I.7.4.2.13.c. 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).

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées [9].

I.7.4.2.12.d. Potassium (K^+) :

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

Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 5 à 10 mg. L⁻¹[9].

I.7.4.2.12.e. Bicarbonate (HCO_3^-):

Les bicarbonates, ou hydrogénocarbonate, est un ion poly atomique dont la formule chimique est HCO_3^- . "Bicarbonate porte ce nom de par le caractère double de ses propriétés, il est à la fois acide et base appartenant à deux couples acido-basiques différents, on appelle cela une espèce ampholyte. À ne pas confondre avec les ions carbonates qui portent deux charges négatives. Il s'agit de la forme intermédiaire entre la déprotonation de l'acide carbonique : ôter le premier proton (ion H^+) de l'acide carbonique donne le bicarbonate ; ôter le second proton donnera la forme carbonate ionique.[16]

I.7.4.2.12.f. Sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles et sont naturellement présents dans divers minéraux. Le sulfate de calcium est la forme la plus souvent retrouvée dans les ressources en eau.

Les concentrations les plus élevées dans les eaux souterraines sont généralement d'origine naturelle. L'excès de cet élément dans l'eau peut causer l'effet de laxatif (troubles Gastro-intestinaux (en particulier chez les enfants)). Ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable.

Les normes Algériennes préconisent pour les sulfates une concentration maximale Acceptable de 200 mg/l (SO_4^{2-}) et une concentration maximale admissible de 400 mg/l (SO_4^{2-}).[20].

I.7.4.2.12.g. Chlorures (Cl^-):

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines. Ils sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels est très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine, ou par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de l'O.M. S) [17].

I.7.4.2.12.h. Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates sont naturellement présents en très faible quantité dans des eaux souterraines et superficielles résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. Leur concentration varie de 0,1 à 1 mg. L⁻¹ pour l'eau souterraine.[9]

Le nitrate étant toxique pour l'organisme humain, la présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. Pour les effets néfastes des nitrates sur la santé, il y a lieu de noter que l'ingestion de nitrates à fortes doses est susceptible, sous certaines conditions, de perturber l'oxygénation du sang chez les nourrissons ("maladie bleue", ou méthémoglobinémie). En outre, ils sont suspectés d'être à l'origine de l'apparition de cancers digestifs.[18].

I.7.4.2.12.i. Nitrites (NO_2^-) :

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles. Ils résultent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une

réduction des nitrates. Ils peuvent aussi provenir de l'étape de traitement des eaux en cas de gestion inadéquate des filtres à sable, des filtres à charbon actif ou des étapes de nitrification-dénitrification biologique. Le nitrite étant toxique pour l'organisme humain la présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. La toxicité liée au nitrite est très significative en raison de leur pouvoir oxydant.[9].

I.7.4.2.12.j. Silice (SiO_2) :

La silice est rencontrée dans l'eau soit à l'état dissous, soit à l'état colloïdal. Les eaux des régions granitiques peuvent en contenir plusieurs dizaines de milligrammes par litre. Elle doit être éliminée dans les eaux de chaudière car elle forme des croutes sur les parois [19].

I.8. Pollution des eaux souterraines :

La pollution de l'eau correspond à la présence dans l'eau des minuscules organismes extérieurs, des produits chimiques ou des déchets industriels. Cette pollution ou contamination touche les eaux de surface (océans, rivières, lacs) et les eaux souterraines qui circule dans le sol. Elle entraîne une dégradation de la qualité de l'eau, ce qui rend son utilisation dangereuse.

La pollution des eaux est définie comme toute modification physique ou chimique de la qualité des eaux, qui a une influence négative sur les organismes vivants ou qui rend l'eau inadéquate aux usages souhaités.

L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution, et sa protection s'impose à tous les niveaux. [20]

I.8.1. Différents critères des pollutions 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.

Les pollutions peuvent être classées suivant différents critères :

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

I.8.1.1. Selon l'origine de pollution :

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

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

-Pollution domestique :

Dans le cas d'un assainissement, collectif ou individuel, défectueux, des substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères peuvent être transférées à la nappe (matières organiques, détergents, solvants, antibiotiques, micro-organismes...) Le cas se produit avec les puits perdus, l'assainissement individuel avec infiltration dans le sol mal conçu ou mal dimensionnée, les stations d'épuration urbaines surchargées... Les ordures ménagères accumulées dans des décharges sauvages ou non mises à la norme (centre d'enfouissement technique) libèrent également des lixiviations riches en polluants. [20]

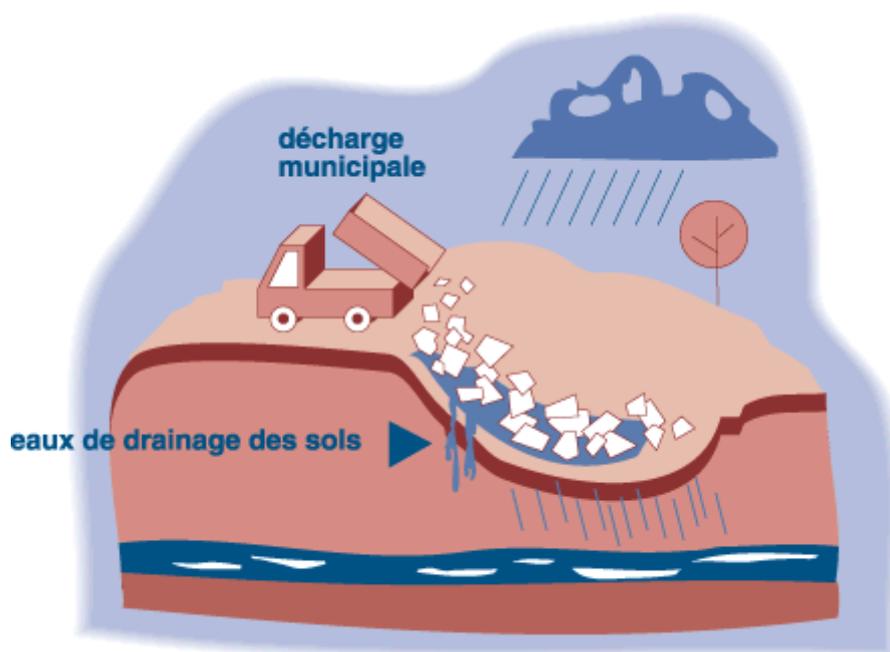


Figure I. 4 : Schématisation pollution anthropique. [20]

❖ Pollution industrielle :

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité : substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds... Les pollutions sont exceptionnelles (incident dans un procès) mais encore trop souvent chroniques (fuite de réservoirs, de canalisations...) Un cas surfaces. En effet, les pratiques actuelles des cultures et de l'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. 'L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropres à la consommation humaine, et parfois animale, les eaux superficielles et souterraines' (La Lettre Eau, 1998), alors que les professionnels agricoles ont longtemps nié l'impact de leur activité sur la qualité de l'eau et refusé la moindre contrainte. Le transfert particulier est celui des exploitations minières.

L'extraction des granulats en plaine alluviale met en contact l'eau de la nappe avec les polluants éventuels. [20]



Figure I. 5 : Schématisation Pollution industrielle. [20]

❖ Pollution agricole :

La pollution est étendue dans l'espace et dans le temps ; elle est chronique et concerne de grandes des engrais et pesticides à la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans des puits perdus, des gouffres et bétoires. La pratique de l'irrigation accélère le transfert. Une pollution ponctuelle commune est fournie par les eaux de rinçages des récipients et appareils d'épandage. L'épandage des boues de stations d'épuration pose problème par leur charge possible en métaux lourds et germes, en plus de leur richesse en azote résiduelle après culture.

Les élevages intensifs de bovins et volailles produisent une grande quantité de déjections azotées qui doit être stockées en réservoirs étanches avant d'être utilisée comme engrais. Les lisiers sont responsables de la charge en nitrates des nappes. [20]

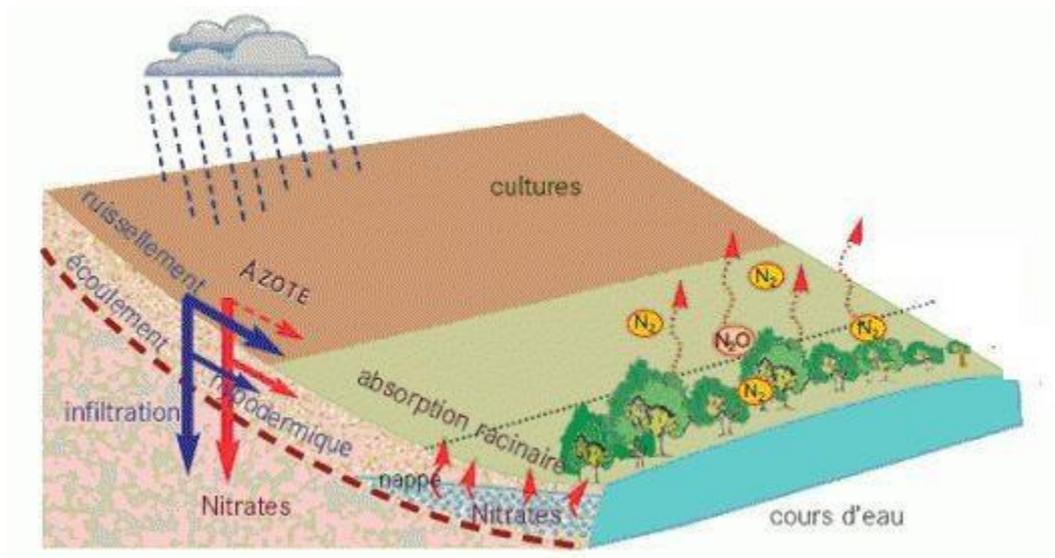


Figure I. 6 : Schématisation de la pollution agricole. [20]

I.8.1.2. Selon la nature de pollution :

Généralement ce type de pollution est d'origine naturelle. La contamination de source naturelle est ponctuelle puisqu'elle est liée au contexte géologique. En fonction du contexte minéralogique, nous pouvons retrouver des problèmes de fluor, de fer, de manganèse, de carbonates de calcium, de sulfates, de salinité, d'arsenic, de baryum, de plomb, de cuivre, de zinc, de sélénium, d'uranium et d'autres métaux présents naturellement dans les eaux souterraines. Dans notre région d'étude, les problèmes prédominants sont la salinité et la fluorose. [20]

❖ Microbiologiques :

De nombreux microorganismes, virus, bactéries et protozoaires, voire des champignons et des algues sont présents dans l'eau. Les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les eaux souterraines en limitent la diversité. Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux souterraines proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, du rejet d'eaux superficielles. Ces pollutions peuvent être aussi dues à des fuites de canalisations et d'égouts ou à l'infiltration d'eaux superficielles. [20]

- Chimique.
- Les micropolluants métalliques

- Les détergents (tensioactifs)
- Les pesticides
- Les hydrocarbures
- Les solvants chlorés [20]

CHAPITRE II :
PRESENTATION DE
L'HYDROLOGIE ET DE
L'HYDROGEOLOGIE
DE LA REGION DE
BOUIRA.

II.1. Introduction :

Avant d'aborder la problématique de notre sujet, il est nécessaire de définir quelques caractéristiques Géographiques, climatiques et géologiques du site d'étude qui constituera une plateforme de base pour mieux comprendre son comportement hydrologique et hydrogéologique.

Dans ce chapitre d'abord nous allons entamer par la présentation des données physico-chimiques des eaux souterraines de la région de Bouira, en suite la situation géographique et les reliefs de la région. Deuxièmement dans la partie d'hydrologie on a basé beaucoup plus sur le bassin versant Sahel ou on a fait une présentation du bassin, son réseau hydrographique, les caractéristiques climatiques (précipitations, évaporation, humidité) et l'identification du climat de la région.

Pour la partie hydrogéologique on a focalisé sur le plateau d'El Asnam, elle comporte une revue géologique du plateau, l'identification de l'aquifère, la qualité du sol présenté et en fin le comportement des eaux souterraines du plateau.

II.2. Situation géographique de Bouira :

La wilaya de Bouira est située dans la partie nord du pays, au sud-est d'Alger (la capitale) avec une superficie de 4454 km². Pour une population de 742.855 habitants soit une densité de 167 habitants au km². Elle est délimitée au nord par les wilayas de Boumerdes et Tizi-Ouzou, au sud M'sila et Média, à l'est Bejaia et Bordj Bou Arreridj et à l'Ouest Blida et Médéa.



Figure II. 1 : Carte géographique de la wilaya de Bouira

II.2.1. Reliefs :

Plusieurs reliefs présentés dans la région, il y a cinq grands ensembles physiques connus sont :

- La dépression centrale représentée par la plaine des Aribes, le plateau d'El Asnam et les vallées d'Oued Ed Dous et Oued Sahel.
- La terminaison orientale de l'Atlas blidéen.
- Le versant sud du Djurdjura (Nord de la wilaya).
- La chaîne des Bibans et les hauts reliefs du sud.
- La dépression sud bibanique.

La surface de la wilaya de Bouira est caractérisée par la zone montagneuse représente 31 % au nord de la région, qui sont destinées à la pratique de l'arboriculture rustique, la céréaliculture combinée avec un élevage de type familial. Les plateaux de Bouira, El Asnam et El Hachimia représentent 40% des terres au centre de la région qui sont utilisés pour la céréaliculture, l'arboriculture fruitière et les cultures fourragères. Un pourcentage de 29% des terres occupées par les zones agropastorales où prédomine l'élevage bovin.

La couche boisée de la région occupe 25% de la surface ou il y a 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).

Les capacités des ressources hydriques prouvées à travers la Wilaya s'élèvent à 235,4 Hm³, avec 35,5 Hm³ pour les eaux souterraines et 199,9 Hm³ en eaux superficielles.

Les eaux superficielles, se trouvent dans les ouvrages suivants :

- Barrage Telisdit (167 Hm³).
- Barrage d'Oued Lakhel (30 Hm³).
- 25 retenues collinaires (2,9 Hm³).

Un barrage réalisé récemment, il s'agit de Koudiet Acerdoune (Maâla) pour une capacité de 640 Hm³.

Les eaux souterraines se situent principalement dans la région Nord au niveau des plateaux d'El Asnam, de bled El Madjen et des vallées de l'Oued Ed Dous et de l'Oued Sahel. Ces eaux sont exploitées par des puits, des forages et 23 sources. [21]

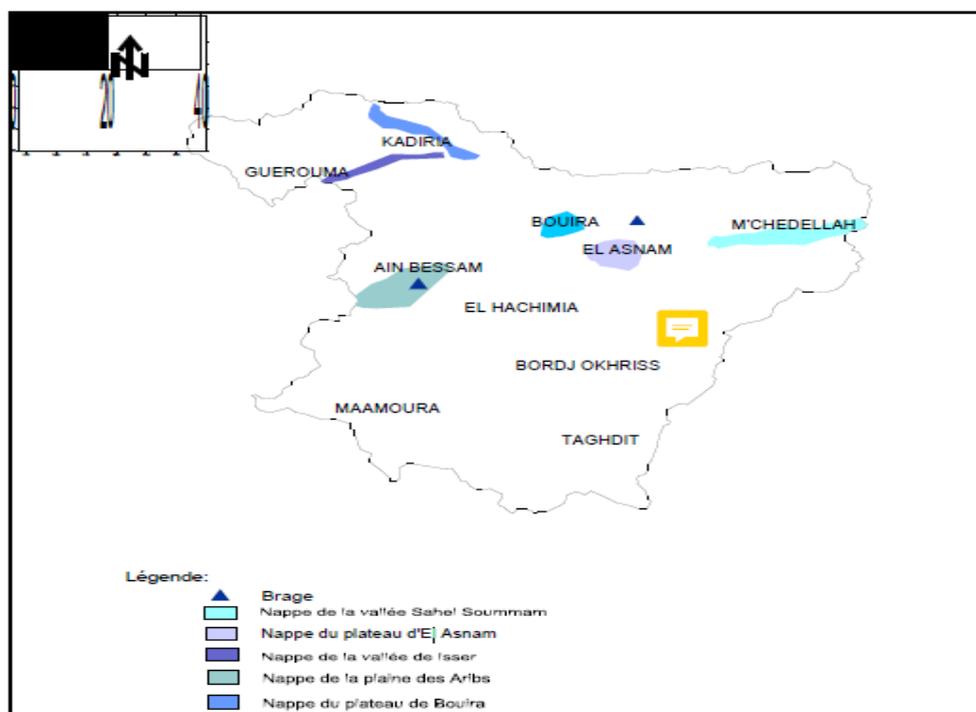


Figure II. 2 : Carte des ressources en eau de la wilaya de Bouira [21]

II.3. Hydrologie du bassin versant Sahel :

La région d'étude appartient à la wilaya de Bouira, elle regroupe trois sous bassins versants (01) oued Ed Dous, (02) oued Zaiane, (03) oued Sahel dans un bassin qui s'appelle « bassin versant Sahel » qui appartient au grand bassin versant de la Soummam portant le numéro « 15 » selon la nomenclature adoptée par l'ANRH, sa superficie est 2345 Km², il est situé entre

les latitudes 36°11' et 36°28' Nord et les longitudes 3°55' et 3°97', entouré par les trois grands bassins SEBAOU, ISSER, HODNA.[21]

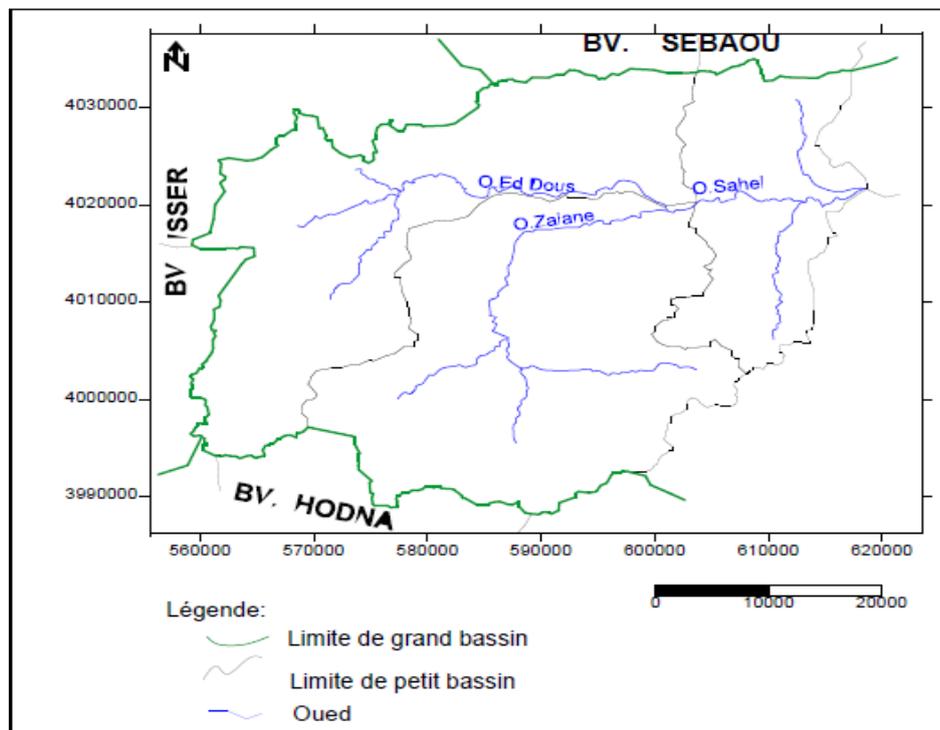


Figure II. 3 : Situation des trois sous bassins versants par rapport aux grands bassins versants de la région [21].

II.3.1. Dimensions des bassins :

Tableau II. 1 : Récapitulatif des paramètres géométriques et de forme.

Bassin versants	Superficie(A) en Km ²	Périmètre(P) en Km
Bassin versant de l'Oued Ed Dous	903	204.98
Sous bassin versant de l'oued Zaiane	1012	165.88
Sous bassin versant de l'oued Sahel amont	430	106.88
Bassin versant total (1+2+3) (Sahel)	2338	260
Bassin versant de la Soummam	9125	530

II.3.2. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est un réseau de drainage dans un bassin versant ou bien c'est l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement.

Le système de drainage dans les trois sous bassins est dirigé vers l'est, et réseau hydrographique de la plaine est représenté par trois oueds principaux, oued el Ed Dous, oued Zaiane et oued Sahel.

L'oued Ed Dous draine la partie Ouest : plateau des Arib et ses pourtours. Issu des deux oueds Sbissed et Lakhel, il reçoit de nombreux affluents qui dévalent le flanc sud du Djurdjura.

Le bassin de l'oued Zaiane est situé au Sud-Est de l'oued Ed Dous, il reçoit les affluents qui drainent le flanc nord de la chaîne des Bibans.

Le Sahel amont est situé à l'est des deux sous bassins précédents ; il présente le lieu de jointure de l'oued Ed Dous avec celui de Zaiane formant ainsi l'oued Sahel. Ce dernier en se joignant à l'oued Bou Sellam près de la région d'Akbou forme l'oued Soummam qui se jette dans la Méditerranée.[21]

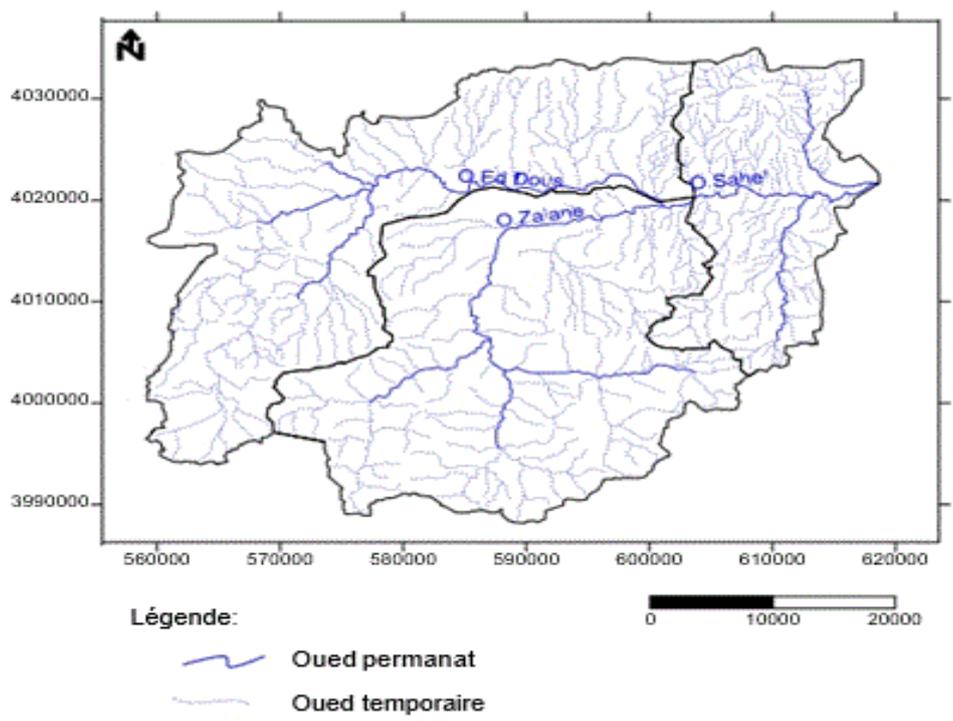


Figure II. 4 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants. [21]

Tableau II. 2 : Classification du réseau hydrographique des trois sous bassins versant

SBV de l'oued Ed Dous						
Ordre	1	2	3	4	Total	
Nombre	109	25	8	1	143	
Longueur (Km)	6570.1	110.31	66.57	48.06	6795.64	
Longueur moyenne (Km)	60.8	4.41	8.32	48.06	121.59	
SBV de l'oued Zaiane						
Ordre	1	2	3	4	Total	
Nombre	113	26	5	1	145	
Longueur (Km)	262.62	92.88	42.58	6.61	404.69	
Longueur moyenne (Km)	2.32	3.57	8.52	6.61	21.02	
SBV de l'oued Sahel amont						
Ordre	1	2	3	4	5	Total
Nombre	91	28	7	3	1	130
Longueur (Km)	393.27	102.30	45.66	32.78	59.50	633.51
Longueur moyenne (Km)	4.32	3.65	6.52	10.93	59.50	84.92

II.3.3. Caractéristiques climatiques du bassin versant Sahel :

Le territoire du bassin versant Sahel est soumis à un climat chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver. La pluviométrie moyenne varie du Nord au Sud entre 660 mm/an et 400mm/an. Les températures évoluent entre 17,5°C et 40°C de mai à septembre et de 2°C à 12°C de janvier à mars. [21]

II.3.3.1. Précipitations :

Les données des précipitations moyennes mensuelles (1970-2009) suivantes sont enregistrées par plusieurs postes d'observations pluviométriques (8 postes) au niveau du bassin versant Sahel.

Tableau II.3 : Caractéristiques générales des stations pluviométriques

Station	Code	X (mètre)	Y (mètre)	Z (mètre)	Années de fonctionnement
Sour el Ghozlane	150101	590600	316450	882	1970-2009
El Hachimia	150103	600651	325100	730	1970-2009
Bouira	150105	616000	337250	520	1970-2009
Crête rouge	150115	628100	340050	410	1971-2009
Bordj Okhriss	150202	614700	309900	750	1970-2009
Hammam Ksena	150203	613450	321650	600	1972-2009
Beni Hammad	150306	635750	346700	546	1971-2009
M'chedallah	150301	640900	341700	450	1970-2009

Tableau II.4 : Précipitations mensuelles moyennes (1970_2009)

Mois	Sep	Oct.	Nou	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jui	Juil	Aout	Annuel
Précipitation (mm) Moyenne	31,07	35,56	45,14	58,44	52,51	43,63	42,77	39,95	32,02	8,77	4,38	9,06	403,26

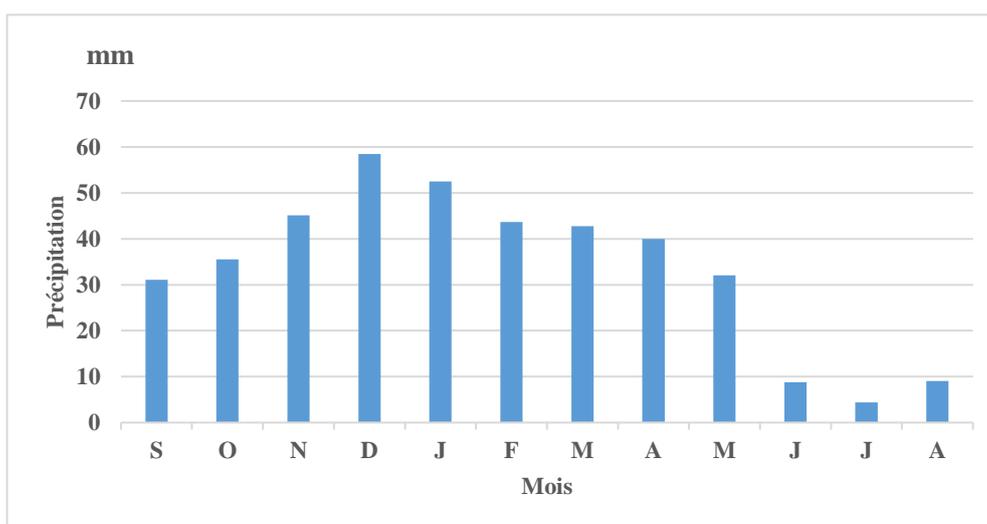


Figure II.6 : Histogramme des précipitations.

D'après le tableau ci-dessus, on remarque que :

- Le mois de Juillet est le mois le plus sec avec une moyenne de 4.38 mm
- Le mois de décembre est le mois le plus pluvieux avec une moyenne de 58.44 mm.

II.3.3.2. Température :

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces dans le biotope.

Les relevés moyens mensuels des températures ont été enregistrés sur une période de 10ans (1997-2007), par la station de Bouira.

Tableau II.5 : Température moyenne mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997-2007).[21]

Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Min	17.1	13.8	8.3	5.2	3.7	4.0	6.4	8.7	12.8	17.3	20.1	20.3	11.6
Max	30.0	25.4	17.5	13.6	13.0	14.4	18.2	20.7	25.9	32.5	35.6	35.2	23.6
Moy	23.5	19.6	12.9	9.4	8.4	9.2	12.3	14.7	19.4	24.9	27.9	27.8	17.5

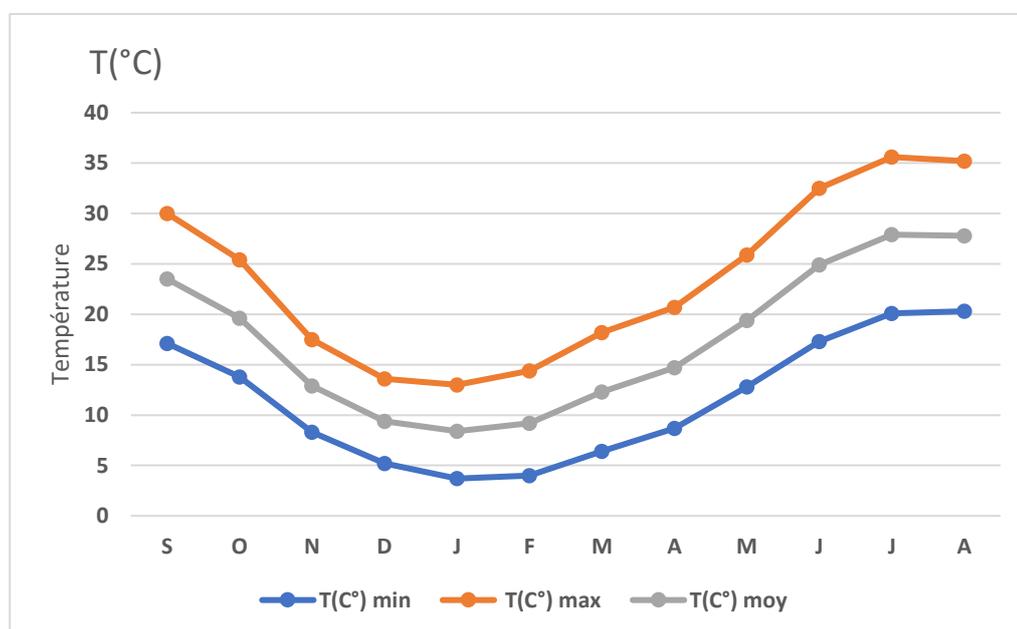


Figure II. 5 : Température moyennes mensuelles, maximales et minimales du bassin de Sahel-Ed Dous. [21]

A travers le graphe on remarque que :

La température moyenne annuelle est 17.5 °C

- Les températures minimales : minimum en Janvier 3.7°C et un maximum en Aout 20.3 °C.
- Les températures maximales : minimum en Janvier 13°C et un maximum en Juillet 35.6°C.
- Les températures moyennes : minimum en Janvier 8.4°C et un maximum en Juillet 27.9°C.

II.3.3.3. Evaporation :

L'évaporation est une des composantes fondamentales du cycle hydrologique, c'est un passage de l'état liquide des eaux de surface a l'état gazeux par la radiation solaire. [10]

Le tableau II.6. Résume les moyennes mensuelles de l'évaporation en mm sur une période de 10 années (1997-2007).

Tableau II.6 : Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997 – 2007).

Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Evaporation (mm)	193.6	156.3	79.3	63.4	65.3	71.1	115.4	137.5	179.3	284.4	336.1	307.3	1981.7

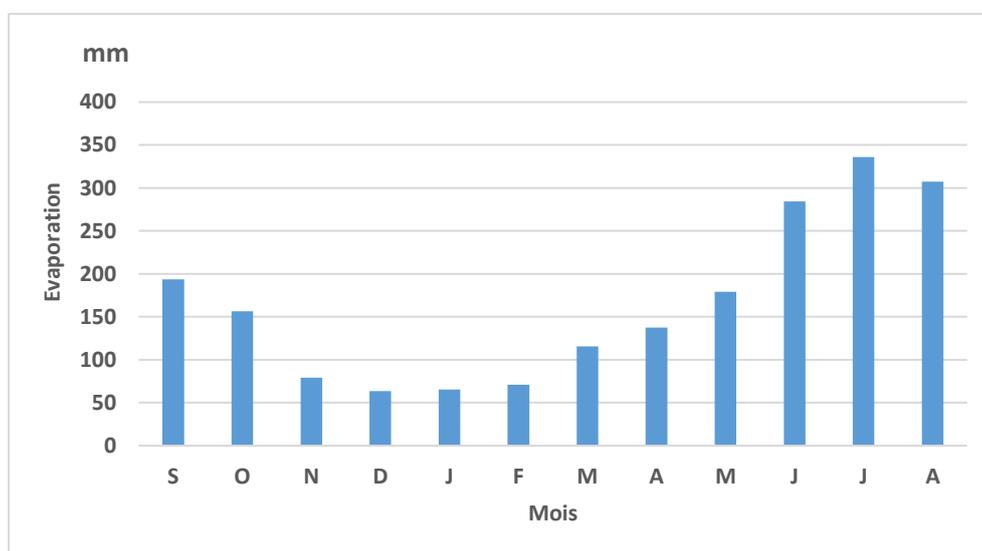


Figure II. 6 : Evaporation moyennes mensuelles et annuelles à la station de Bouira (1997 – 2007).

D'après le graphe nous observons que l'évaporation au mois de juillet est la plus élevée qui atteint jusqu'à 336.1mm, par contre la valeur la plus basse de l'évaporation enregistrée en mois de décembre à 63.4 mm.

II.3.3.4. Evapotranspiration :

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée, si la quantité d'eau disponible était illimitée. C'est le terme le plus important du bilan hydrologique après les précipitations.

Tableau II.7 : Estimation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
ETP	109.9	74.13	30.44	16.63	14.01	16.2	33.4	49.5	90.74	144.8	181.5	168.64	930

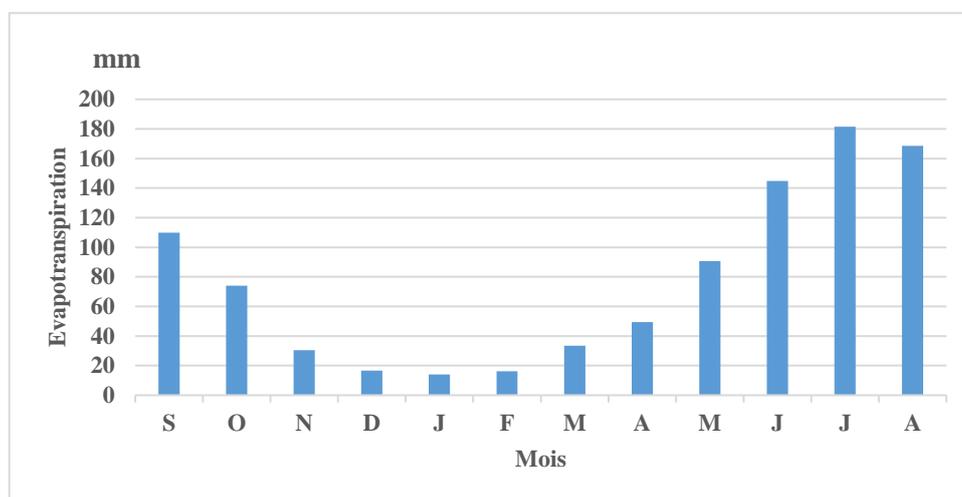


Figure II. 7 : Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle en mm

D'après le graphe on remarque entre le mois de mai jusqu'à au mois d'aout les valeurs de l'ETP sont élevées par rapport aux autres mois, cela signifie que l'intensité de rayonnement solaire est élevée dans cette période de l'année.

II.3.3.5. Vent :

Le vent est un facteur écologique qui est souvent sous-estimé dans l'étude du fonctionnement des écosystèmes, Il joue un rôle important dans le cycle de l'eau. Dans la zone d'étude, les vents soufflent dans des directions à différentes intensités en fonction des saisons, les vents les plus dominants sont ceux du West et Est.

Tableau II.8 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s, période 1997-2007.[21]

Station de Bouira	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne Annuelle
V _{moy} (m/s)	4.5	4.9	3.8	5	3.8	2.5	4.7	5.5	3.8	5.2	4.3	3.8	4.3
V _{max} (m/s)	34	30	29	36	25	20	26	38	28	34	30	29	29,91

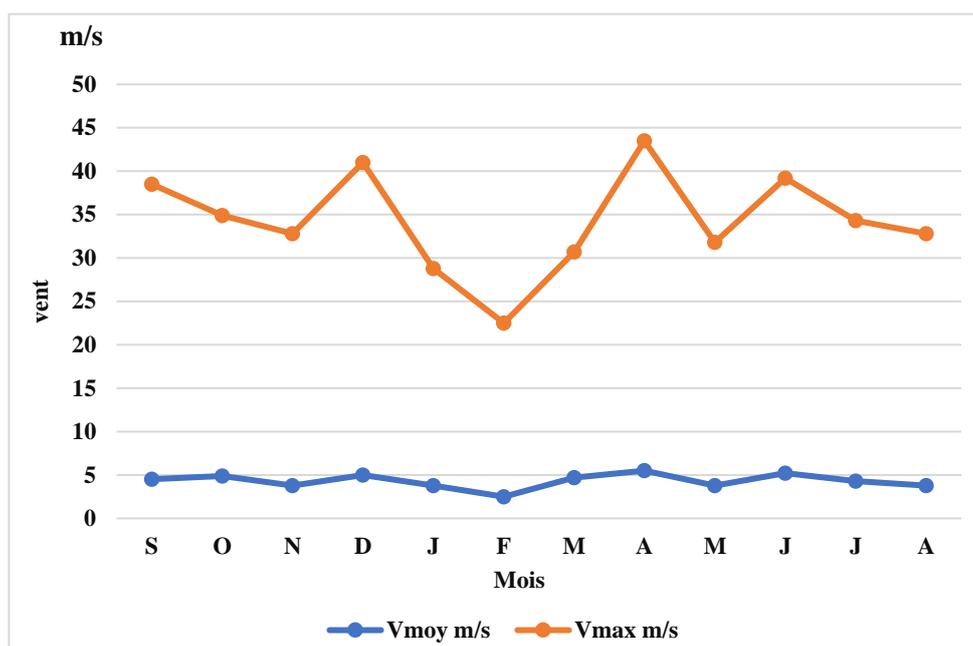


Figure II. 8 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent maximal et vent moyen en m/s, période 1997-2007.

L'intensité du vent dans la zone d'étude varie entre 2.5m/s et 38m/s.

II.3.3.6. Humidité relative :

L'humidité est un facteur important que les précipitations et la température. Les valeurs moyennes mensuelles mesurées à la station de Bouira sont montrées dans le tableau suivant :

Tableau II.9 : Moyennes mensuelles du taux d'humidité relative (Période 1997-2007).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Moyenne mensuelle (%)	65	70	74	85	84	83	74	71	66	53	48	54

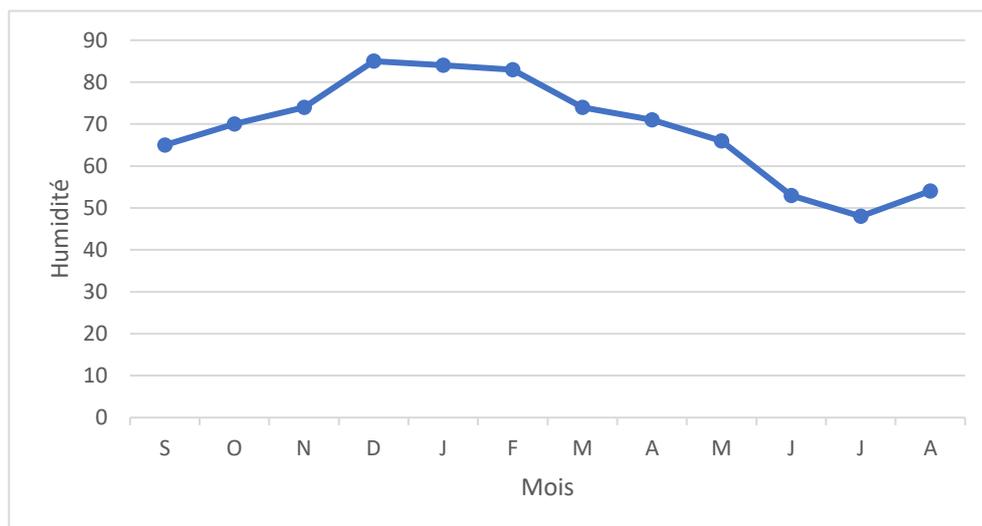


Figure II. 9 : Humidité relative pour la région Bouira (Période 1997-2007).

La courbe nous indique le pourcentage de l'humidité relative est élevée dans la saison hivernale qui atteint jusqu'à 85% par rapport à la saison estivale 48%.

II.3.4. Identification du climat :

II.3.4.1. Climagramme d'Emberger :

Le Climagramme d'Émerger permet de classer une région donnée sur des étages bioclimatiques en tenant compte du quotient d'Émerger (Q2), Cette formule plus élaborée, qui a été créé pour les climats méditerranéens, tient compte aussi de la variation annuelle de la température.[22]

Pour calculer Q2 nous devons utiliser la formule suivante :

$$Q2 = \frac{P}{(M + m)/2 \times (M - m)} 1000$$

Où :

Q2 : facteur des précipitations d'Emberger

P : précipitations moyenne annuelles

M : la température du mois le plus chaud en °K.

m : la température minimale du mois le plus froid en °K.

D'après les données de la période de 31 ans on a :

$$P = 403.2625 \text{ mm}$$

$$M = 35.6 \text{ °C}$$

$$m = 3.7 \text{ °C}$$

Donc $Q2 = 43.16$.

On reporte les valeurs du quotient pluviothermique (Q2) en ordonnées et la température minimale du mois le plus froid en abscisse. On lit directement l'étage bioclimatique correspondant à la région. Pour le bassin versant du Sahel.

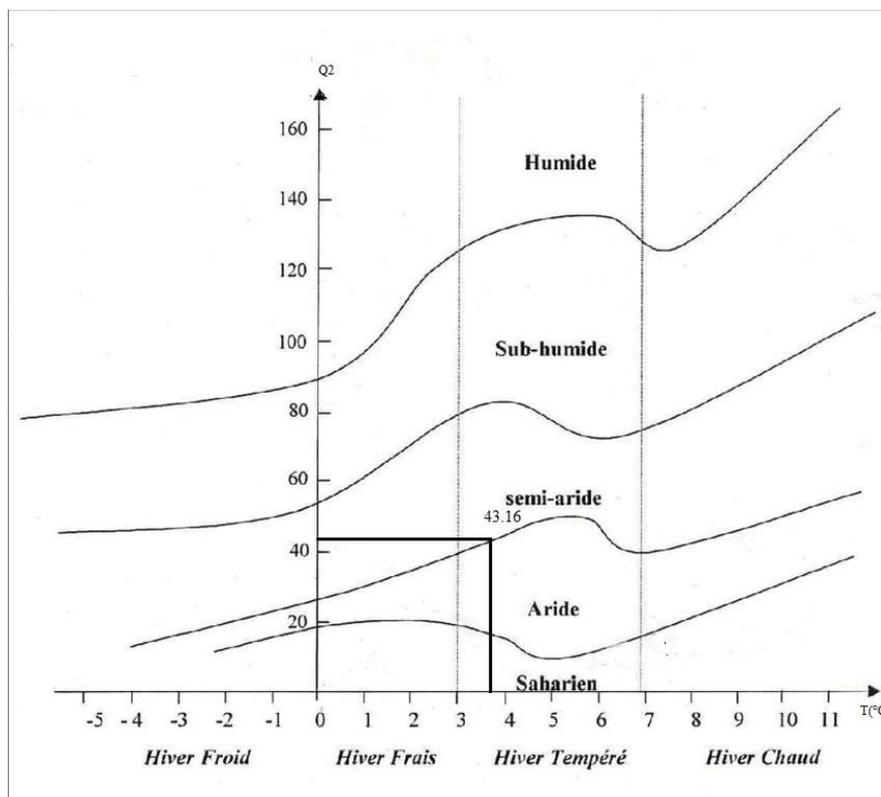


Figure II. 10: Climagramme d'Emberger.

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger, la région d'étude est caractérisée par un climat semi-aride avec un hiver tempéré.

II.4. Hydrogéologie du plateau d'El Asnam :

II.4.1. Plateau d'El Asnam :

Le plateau d'El Asnam, situé à 13 km à l'Est du chef-lieu de la wilaya de Bouira. Il couvre une surface de l'ordre de 55km^2 , chevauchant deux sous bassins à savoir l'Oued Ed Dous au Nord et l'Oued Zaiane au Sud-Est, es deux oueds sont les affluents de l'Oued Sahel, lui-même affluent de l'Oued Soummam.

Ce plateau abrite une nappe d'eau importante exploitée pour les besoins en eau potable des principales agglomérations de la zone Bouira - El. Asnam, l'aquifère d'El Asnam présente une superficie de 21.34km^2 et un périmètre de 36.60 km.

II.4.2. Géologie du plateau d'El Asnam :

La géologie, du plateau d'El Asnam est une dépression remplie par des sédiments alluvionnaires d'âge Miocène qui sont discordant sur un ensemble antérieur. Et sa litho-stratigraphique montre que le plateau est principalement constitué d'alluvions anciennes et récentes reposant anormalement sur des formations Miocène continentales. Les dépôts miocènes remaniés auxquels se sont ajoutés les éboulis et cônes de déjection, constituent la couverture alluviale du plateau. Nous noterons toutefois que la limite entre la couverture alluviale essentiellement quaternaire et les formations miocènes sous-jacentes n'est pas évidente ; les deux types de formations étant de nature lithologique semblable.

Le plateau d'El Asnam se caractérise de différents niveaux aquifères où il y a deux aquifères inter-communicant, La différenciation entre les alluvions et la formation miocène ne s'effectue pas facilement, les deux formations sont considérées comme représentatives d'un aquifère unique. Cette aquifère est partager à trois zones ou on trouve un matériel aquifère composé d'argiles et matériaux grossiers, occupe la majeure partie centrale du plateau, puis un matériel constitué de graviers et sables argileux occupe tout autour de la ville d'El Asnam et ces environs, et un matériel composé de sables et graviers couvrant une grande plage au nord West du plateau.

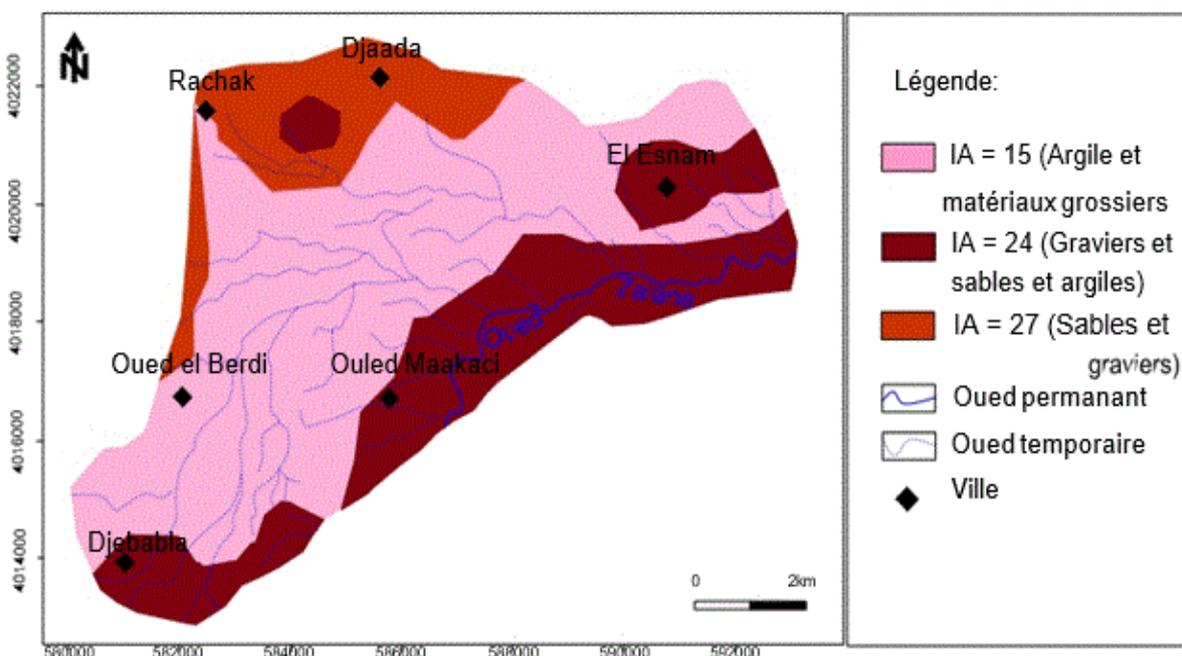


Figure II. 11 : Carte du Matériel aquifère de la nappe de plateau d'El-Asnam.[21]

II.4.3. Pédologie :

La pédologie du plateau d'El Asnam se caractérise majoritairement de terre argileuse, cependant que, au nord du plateau on rencontre de l'argile fissurée, par contre le sud se compose de sables et graviers.

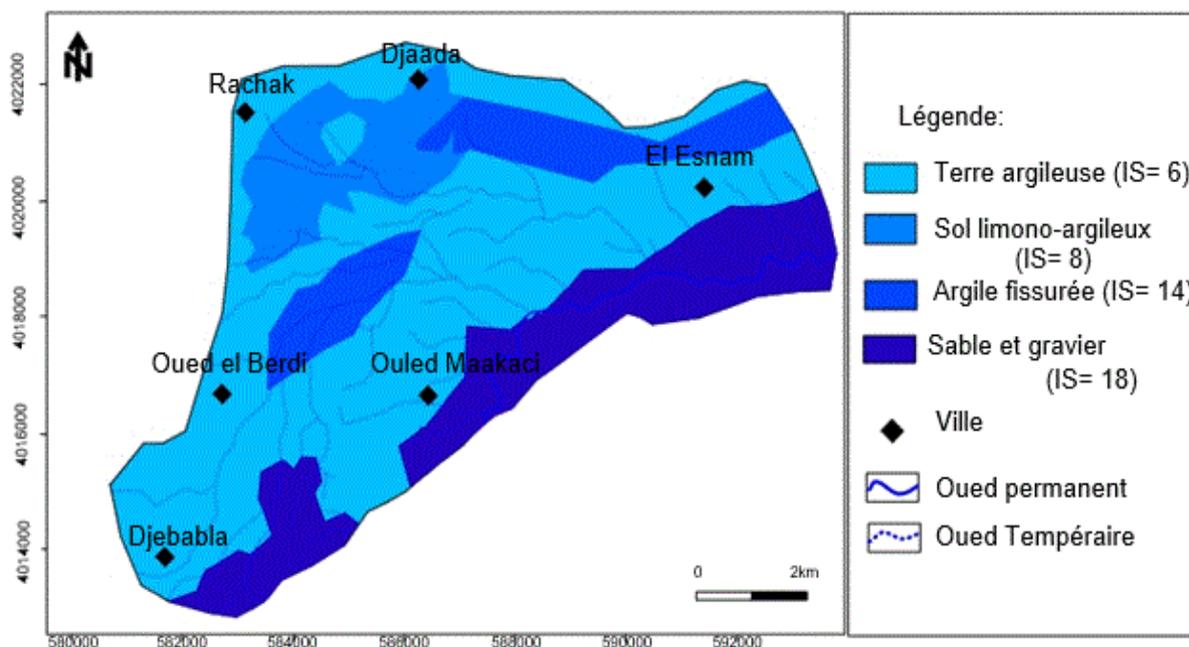


Figure II. 12 : Carte de la nature du sol de la nappe du plateau d'El Asnam.[21]

II.4.4. Hydrodynamisme du plateau d'El Asnam :

II.4.4.1. Type et la profondeur de la nappe de l'eau du plateau :

La nappe de l'eau du plateau d'El Asnam est considérée comme une nappe alluviale dont sa profondeur allant comme suite :

- Une zone de très faible profondeur inférieure à 1.5m est située au voisinage de la ville d'El Asnam.
- Des profondeurs allant de (1.5 à 4.5m) et (4.5 à 9m) couvrant toute la partie Ouest du plateau à proximité de la ville d'El Asnam ainsi que des petites zones à côté de Djaada et Djebabla et entre Rachak et Oued El Berdi.
- Des profondeurs de (9 à 15m) et (15 à 23m) se situent dans la partie centrale du plateau.
- Des profondeurs de (23 à 31m) et (>31m) se localisent essentiellement dans la partie Sud-Ouest du plateau entre Oued El Berdi, Oulad Maakaci et Djebabla et des petites zones au centre et en amont à proximité de Rachak et Djaada,

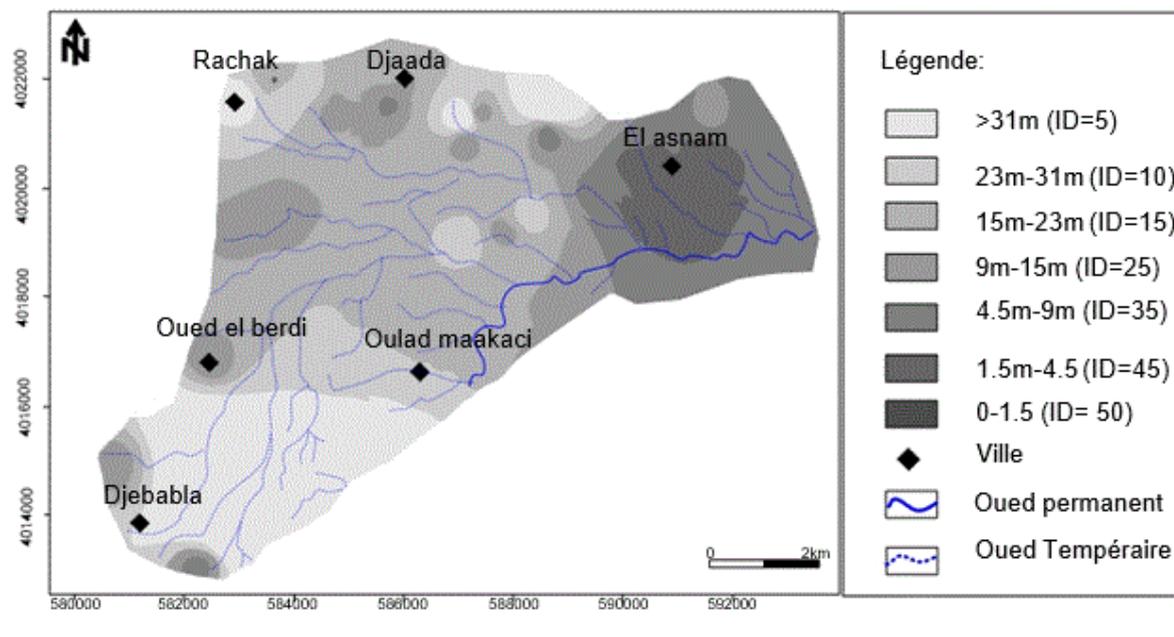


Figure II. 13 : Carte qui montre la profondeur de l'eau la nappe du plateau d'El Asnam.[21]

II.4.4.2. Etudes piézométrique :

La piézométrie nous permet de savoir le comportement hydrodynamique de la nappe du plateau d'El Asnam, on a consulté plusieurs compagnes piézométriques établies dans la région depuis 1987, ces données sont essuies de différentes compagnies : (Mai 1987, Mai 1989, Mai 2005, 2009, 2010, Mai 2011).

II.4.4.2.1. Carte piézométrique 1987 :

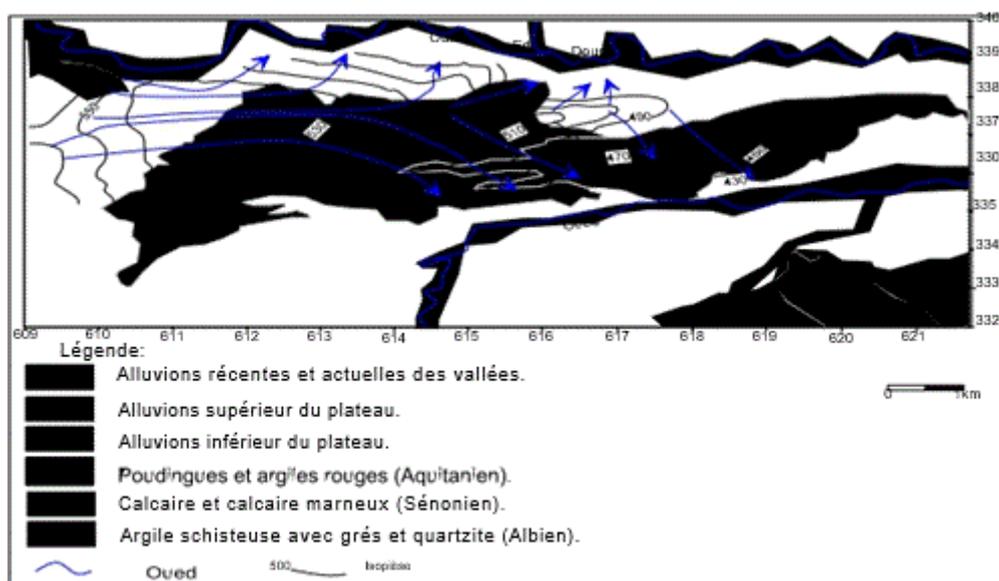


Figure II. 14 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d'El Asnam (Zombre-Seni).[21]

Cette carte piézométrique nous montre que l'écoulement de nappe qui suit la direction NW-SE.

Il y a un petit resserrement des hydroisohypses dans les parties NW et NE, ce qui indique une pente croissante de la surface piézométrique et un écoulement non uniforme des eaux de la nappe.

II.4.4.2.2. Carte piézométrique 1989 :

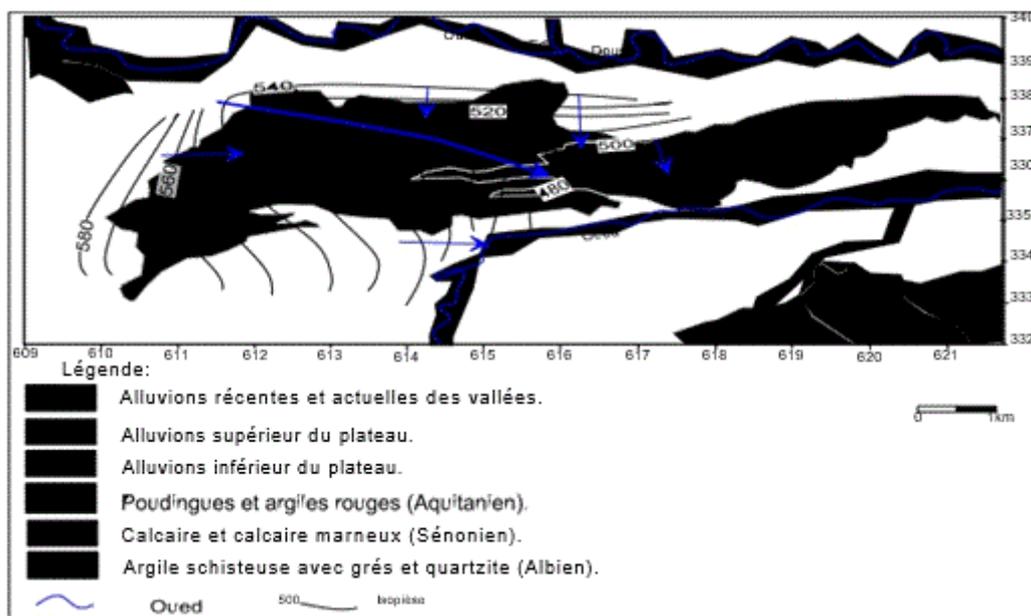


Figure II. 15 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d’El Asnam (Sidi Moussa).[21]

Dans la carte piézométrique de l’année 1989 L’écoulement se dirige vers la direction du N-W vers S-E. et un niveau piézométrique démené sur toute la plaine, le niveau varie de 540m à 430m.

II.4.4.2.3. Carte piézométrique 2005 :

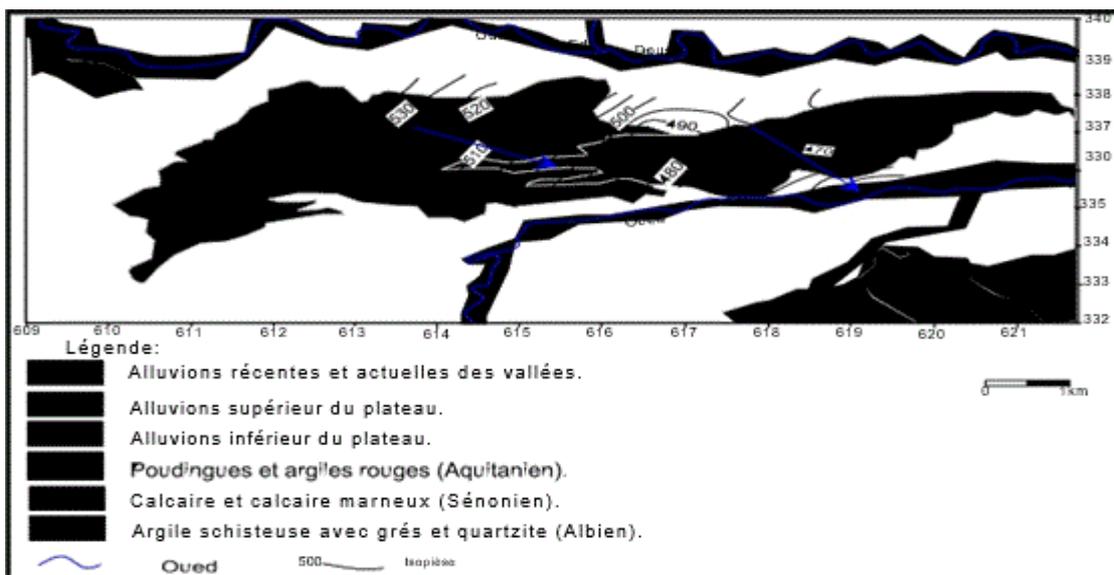


Figure II. 16 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d’El Asnam (HELLAL, 2005).[10]

Pour la carte piézométrique de l’année 2005, il n’y a pas beaucoup de changement du niveau piézométrique, et la même chose pour l’orientation de l’écoulement est toujours NW-S

II.4.4.2.4. Carte piézométrique 2009 :

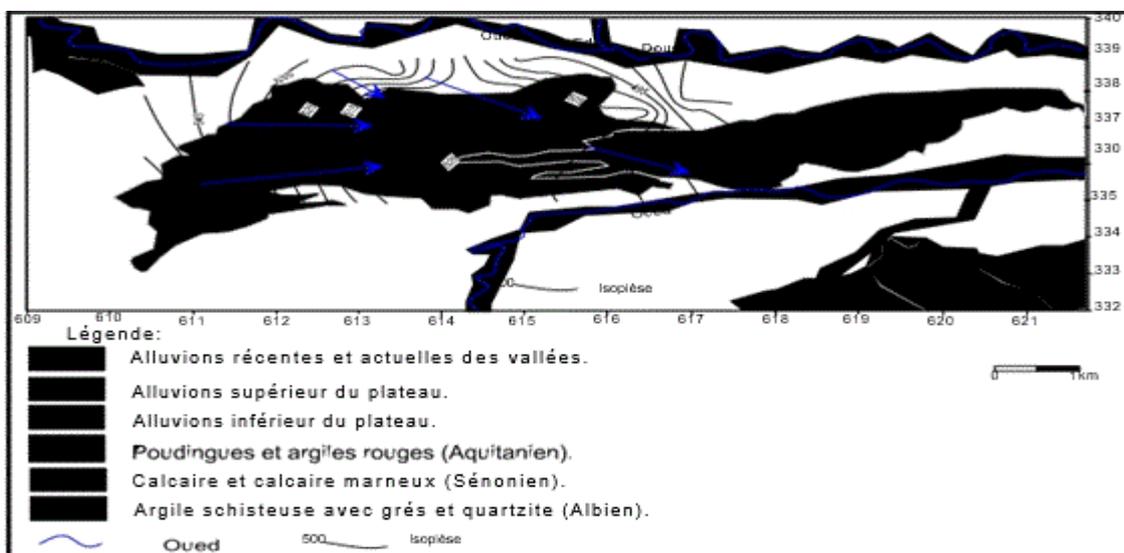


Figure II. 17 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d’El Asnam (ANRH, 2009).[21]

L’analyse de la carte piézométrique de l’année 2009, indique un écoulement des eaux de la nappe qui se fait de l’West vers l’Est. On note le début de la formation d’un cône de dépression autour du champ captant au centre.

II.4.4.2.5. Carte piézométrique 2010 :

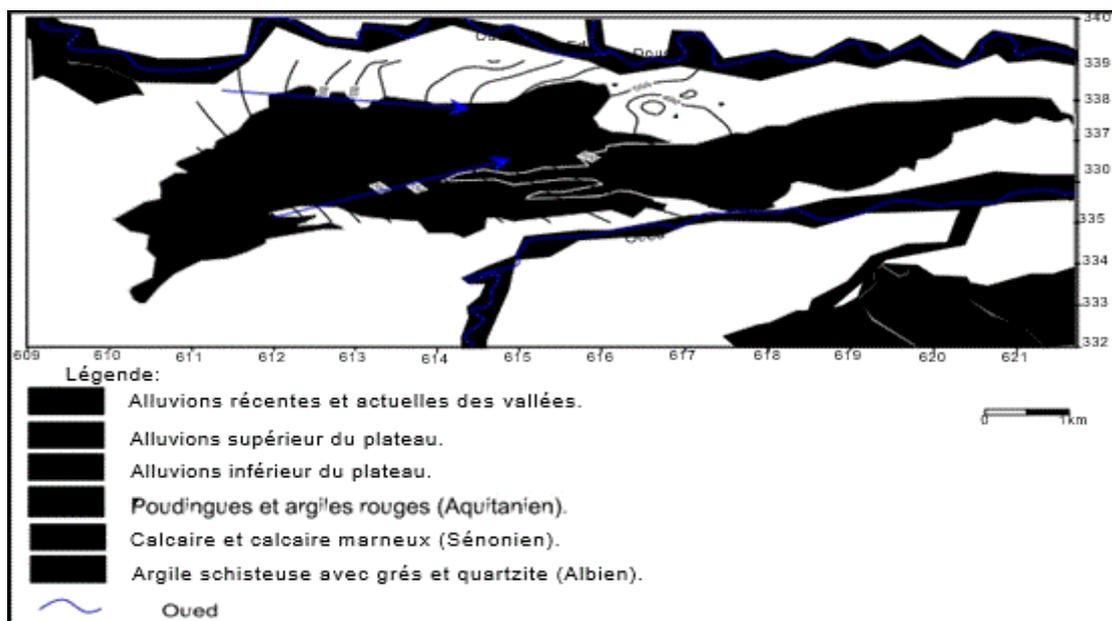


Figure II. 18 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau d'El Asnam (2010).[21]

Cette carte montre des courbes isohypses très espacées, traduisant une zone de très bonne perméabilité confirmant la formation d'un cône de dépression autour du champ captant au centre. On note un sens d'écoulement général d'orientation West-Est.

II.4.4.2.6. Carte piézométrique 2011 :

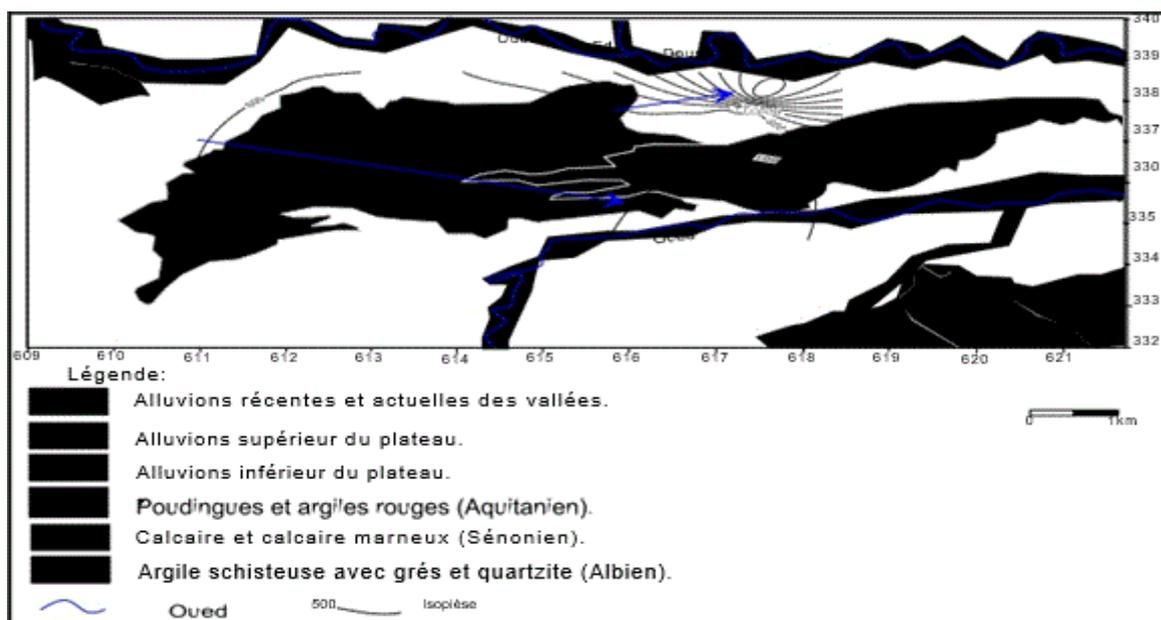


Figure II. 19 : Carte piézométrique des eaux de la nappe du plateau. D'El Asnam (Mai 2011). [21]

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

- Des courbes isopièzes bien espacées à l'Ouest, traduisant une zone de très bonne perméabilité contrairement au Nord-est où on observe un net resserrement des isopièzes traduisant une zone à faible perméabilité.

- La formation d'un cône de dépression autour du champ captant.

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

II.4.4.3. Relation nappe-oued.

II.4.4.3.1. Coupes hydrogéologiques :

Les coupes hydrogéologiques transversales et longitudinales nous, permettent de mettre en évidence la géométrie du substratum marneux, le recouvrement argileux et de distinguer la formation aquifère des alluvions quaternaires.

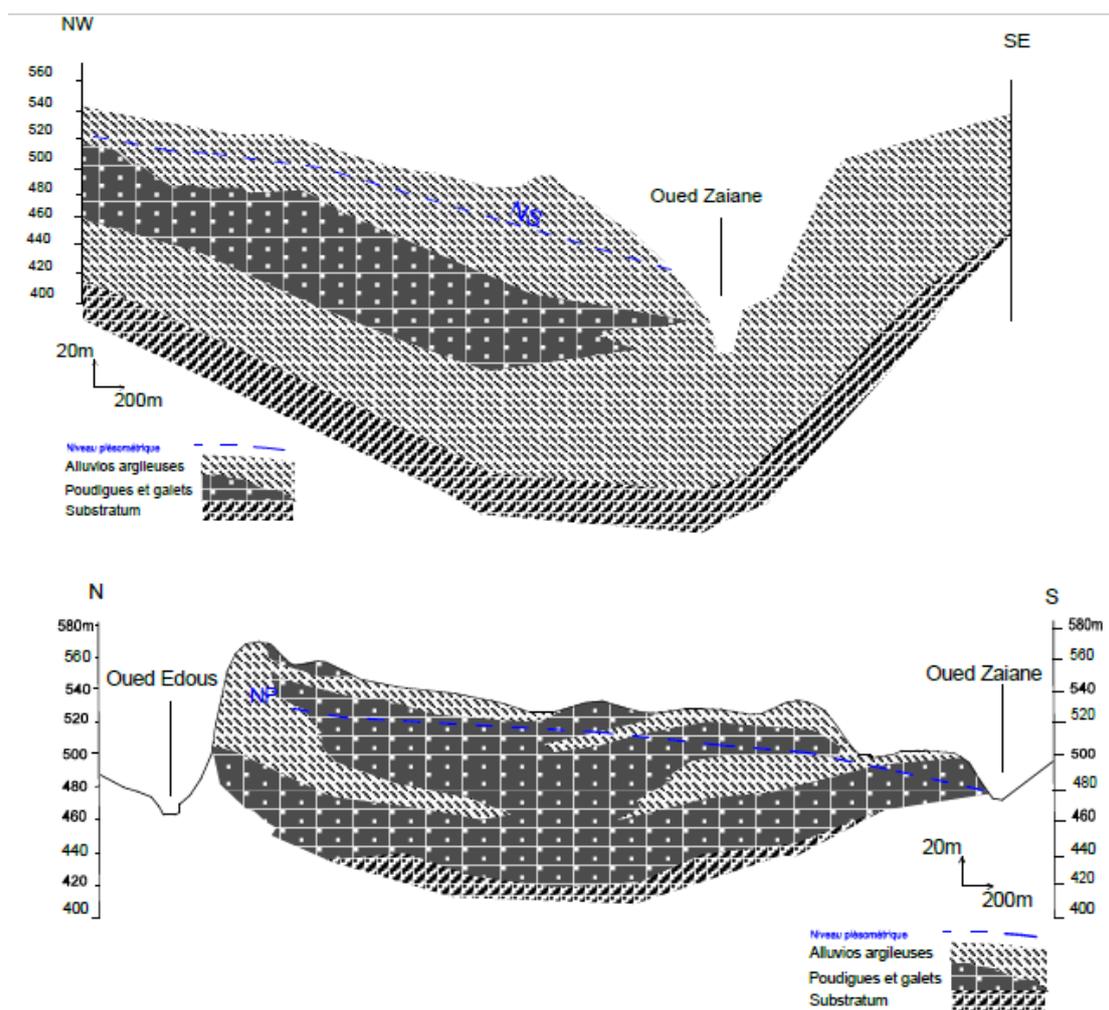


Figure II. 20 : Coupe hydrogéologique.[21]

Les coupes hydrogéologiques nous permettent de déduire que :

La nappe alimente en partie les Oueds Zaiane et Ed Dous, ce qui indique l'existence d'un contact entre la nappe et les oueds.

II.5. Données d'analyse physico-chimique des eaux de forages de la région de Bouira (2016) :

Les données d'analyse présentées ici sont issues de la campagne de prélèvement réalisée par laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau (Bouira) sur 40 forages en 2016.

II.5.1. Données d'analyses chimiques :

Le tableau ci-dessous montre les données d'analyses des paramètres chimique.

Tableau II. 10 : Données d'analyses chimique.

Forage	Nom de	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	
BOUIRA	F1	f8 Harkat	114,4	29,36	42	0,9	242,78	129,93	69,66	11,82
	F2	f1 Sida ziane	99,2	32,525	37,6	1	248,27	134,54	69,065	25,295
	F3	f16 Sidi ziane	103,2	45,04	44	1,4	289,14	145,90	68,71	6,005
	F4	NV Sidi ziane	84,4	41,25	39,2	1	261,69	166,11	73,955	8,9
	F5	f11 Ouadhia	110,4	43,445	50,8	1	261,10	191,34	50,57	15,99
	F6	f1 Saïd Abid	56,8	12,63	29,2	1,3	140,3	32,66	48,72	8,46
	F7	f2 Saïd Abid	64,8	11,17	23,8	1,3	115,9	39,05	61,94	12,09
	F8	Thameur	167,2	66,03	39	0,9	334,28	170,92	54,03	50,61
	F9	Djaada	151,2	39,61	46	0,9	340,38	192,37	39,15	52,8
	F10	f5 Haizer	56,4	36,2	23,8	1,4	261,08	60,35	61,105	8,46
	F11	f1 Haizer	75,2	60,015	20,8	1,5	346,48	67,75	50,325	14,71
	F12	f2 Haizer	70,4	50,3	19,4	1,9	319,64	54,315	43,07	10,01
	F13	f4 Taghzout	50,4	44,22	28,8	1,1	264,74	41,18	38,22	5,93
	F14	h12 f3 Taghzout	84	75,33	56,8	1,7	314,76	195,83	42,945	15,64
	F15	f3 Taghzout	47,2	38,39	28,6	1,7	272,06	76,68	18,12	10,76
	Lakhdaria	F16	Oued El-bardi	104	37,415	37,1	1,2	223,26	130,28	110,73
F17		Boulerbah	164,8	102,50	43,4	3,6	377,59	392,98	542,15	14,9
F18		Ouled Laalem	222,4	70,63	102,8	2	359,7	244,59	503,27	13,02
F19		Guergour	138,4	68,525	18,8	3,1	376,37	51,475	394,16	1,105
F20		Mahouene	110,4	117,12	59,6	3	367,83	95,495	517,41	0,995
F21		p2 Merdja	120	89,425	69,2	2,6	461,77	182,11	375,67	8,815
SEG	F22	Maala	176	106,26	88,8	3	420,9	211,93	447,45	11,79
	F23	Bakouche	125,6	31,36	21,8	0,8	279,38	48,28	153,6	12,75
Ain bes-	F24	Guelta Zarga	133,6	41,305	40	0,7	268,4	101,87	184,8	18,935
	F25	Source Kraimia	321,6	50,54	14	1,1	396,5	87,01	214,2	62,33
	F326	Ain Beidha	225,6	28,18	53,2	0,6	245,22	230	236,25	110,75
	F27	Ouled Zidane	177,6	33,04	31,5	1,3	172,02	138,27	162,8	110,75
M'chedallah	F28	f51 M'chedallah	120	67,685	57,2	2,3	322,07	185,31	207,82	14,24
	F29	f2 Semmache	92,8	60,26	64,4	3,4	126,88	180,34	140,2	3,67
	F30	f3 Semmache	72	37,905	38,6	2,9	255,59	96,915	119,21	3,545
	F31	f1 El adjiba	63,6	39,65	56,4	4	248,88	102,59	103,68	0,73
	F32	f2 El adjiba	102,4	58,32	56,8	2,5	301,34	157,38	153,8	5,98
	F33	Ouled Bouali	136	59,38	69,4	2,6	498,98	234,54	248,77	8,2175
	F34	F1 Chorfa	120,4	39,15	55,4	2,1	275,72	123,86	77,835	2,755
	F35	f4 Chorfa	77,6	56,7	32,6	1,8	261,69	83,565	109,97	7,945
	F36	f3 Chorfa(f3+f1)	88,8	32,26	26,6	2,1	262,3	82,285	81,3	8,92
Bordj akhris	F37	f2 Esnam + f1 Guemgouma	129,6	16,52	44,4	1,3	292,8	127,09	39,12	91,03
	F38	f1 Guemgouma	121,2	32,745	45,2	1,3	317,8	125,65	41,37	66,45
	F39	Mesdour	42,8	25,37	54	3,3	198,86	66,74	113,83	1,17
	F40	Tarfa	281,6	119,64	120	2,3	366,97	172,88	1101,9	8,57

II.5.2. Données d'analyse physique :

Le tableau ci-dessous montre l'ensemble des données d'analyses des paramètres physiques.

Tableau II.11 : Données des paramètres physique

Point d'eau	PH	T(°c)	Conductivité (µs/cm)	Turbidité NTU	Point d'eau	PH	T(°c)	Conductivité (µs/cm)	Turbidité NTU
F1	7,14	18,1	1142	0.27	F21	7,65	19,2	1578	0.18
F2	7,11	18,7	1020	0.64	F22	7,25	18,3	1954	0.4
F3	7,09	17,5	1093	0.18	F23	7,67	14,8	1002	0.42
F4	7,2	18,8	1022	0.41	F24	7,73	19,9	1111	0.98
F5	7,16	19,4	1159	1.03	F25	7,04	18,8	1645	0.39
F6	7,24	21,6	854	0.36	F26	7,05	17,4	1767	0.66
F7	7,31	21	856	0.46	F27	7,05	17,6	1288	9.94
F8	6,92	15,6	1491	0.37	F28	7,09	17,9	1450	0.33
F9	7,06	16	1396	0.37	F29	7,12	19,1	1320	0.41
F10	7,35	19,1	763	0.89	F30	7,9	17,3	1029	5.69
F11	7,2	18,2	1055	2.11	F31	7,71	16,7	996	2.78
F12	7,33	18,7	935,5	0.2	F32	7,13	20,5	911	2.05
F13	7,37	20,8	785	0.64	F33	7,5	15,3	1636	1.04
F14	7,27	21	1405	1.94	F34	7,31	16,4	1237	1.29
F15	7,25	20,5	795	1.66	F35	7,22	16,6	943,5	0.36
F16	7,33	19,6	1220	2.45	F36	7,22	15,8	917,5	0.45
F17	7,14	20	2090	0.26	F37	7,08	17,1	1096	0.53
F18	7,03	18,6	2031	0.36	F38	7,03	15,9	1174	0.49
F19	7,15	20	1264	0.16	F39	7,82	23,3	684,5	0.58
F20	7,59	19,9	1578	0.28	F40	7,24	23,4	2515	1.32

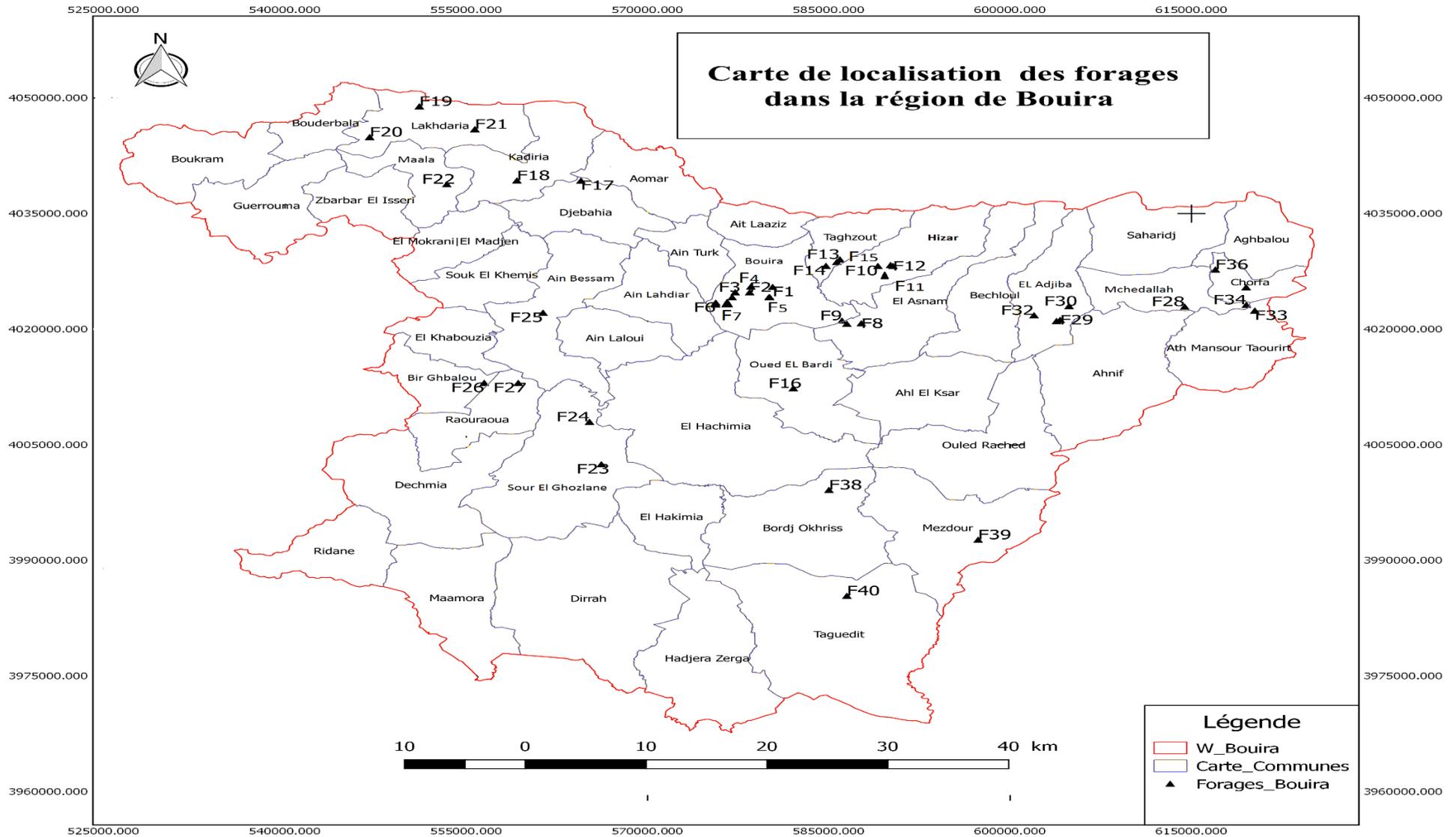


Figure II. 21 : Carte de localisation des forages de la région de Bouira.

Conclusion :

La région de Bouira, reçoit un apport hydrique très important, ses capacités de ressources hydriques s'élèvent à 235,4 Hm³, avec 35,5 Hm³ pour les eaux souterraines et 199,9 Hm³ en eaux superficielles.

Les eaux superficielles, se trouvent dans les ouvrages comme les barrages et les retenues collinaires, les eaux souterraines se situent principalement dans la région Nord au niveau des plateaux d'El Asnam, de bled El Madjen et des vallées de l'Oued Ed Dous et de l'Oued Sahel. Ces eaux sont exploitées par des puits, des forages et 23 sources.

Le bassin versant Sahel présente un climat semi-aride selon Climagramme d'Emberger, où la température moyenne annuelle est à l'ordre de 17,5°C avec un écart de température de 31,9 °C entre les températures du mois de janvier et celle de juillet.

Le réseau hydrographique du bassin versant Sahel se compose de trois oueds principaux L'oued el Ed Dous, oued Zaiane et oued Sahel. Et le système de drainage dans les trois sous bassins est dirigé vers l'est.

Le plateau d'El Asnam abrite une nappe d'eau importante alluviale sa profondeur variée entre 1,5m à 31m, exploitée pour les besoins en eau potable des principales agglomérations de la zone Bouira [21].

Les cartes piézométriques et la coupe hydrogéologiques nous montrent un écoulement qui suit la direction West _ Est avec la création d'une dépression autour du champ de captage. Il y a un contact entre la nappe et les deux oueds (L'oued el Ed Dous, oued Zaiane)

CHAPITRE III :
Calculs et interprétation
des résultats.

III.1. Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité et sa classification donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, des rejets industriels et l'activité agricole.

Ce chapitre a pour objectif, de définir la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région de Bouira à travers d'effectuer plusieurs calculs comme les titres d'eau, indices de saturation et en fin l'aptitude de ces eaux à l'irrigation ...etc. en utilisant des données d'analyses physicochimique qui sont issues dans cette région.

Ces données d'analyses sont prélevées au niveau de différents forages l'année 2016 par « Laboratoire de Contrôle de Qualité-Algérienne des eaux UNITE DE BOUIRA » qui est à Bouira, avant de commencer nos calculs nous essayons de faire une vérification de la fiabilité de ces analyses en utilisant la méthode de la balance ionique (BI), puis lors de notre travail tous nos calculs sont faits avec l'activité ionique pour le but d'avoir les résultats plus précis.

III.2. Vérification de la fiabilité des données :

III.2.1. Balance ionique :

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes forages, il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI).

La balance ionique représente la différence entre la somme des anions et la somme des cations, autrement dit, l'équilibre anions-cations qui égal naturellement zéro c'est à dire que les anions et les cations sont égaux.

La balance ionique nous permet de vérifier si les analyses ont été bien faite et précises, les calculs effectués en utilisant une unité commune, l'équivalent par litre (ég/l), les résultats ne doivent pas dépasser 10%, dans le cas d'une trop grande différence entre cations et anions, il faut revoir les calculs et/ou les mesures, car une espèce a été peut-être mal estimée ou oubliée.

La formule dont on a utilisé pour calculer la balance ionique est :

$$BI = \frac{\sum(\text{cations}) - \sum(\text{anions})}{\sum(\text{cations}) + \sum(\text{anions})} \times 100$$

Tableau III.1 : Valeurs calculés de la balance ionique.

N° de forage	BI (%)						
F1	3,58	F11	4,10	F21	11,45	F31	0,83
F2	2,22	F12	4,37	F22	2,09	F32	0,93
F3	2,00	F13	7,54	F23	2,47	F33	15,34
F4	6,61	F14	4,35	F24	1,71	F34	9,43
F5	1,49	F15	2,65	F25	18,23	F35	4,92
F6	8,44	F16	1,47	F26	3,94	F36	0,95
F7	7,58	F17	21,42	F27	4,38	F37	4,28
F8	11,74	F18	4,56	F28	3,28	F38	0,26
F9	0,62	F19	8,20	F29	10,31	F39	6,16
F10	3,69	F20	4,54	F30	5,56	F40	7,59

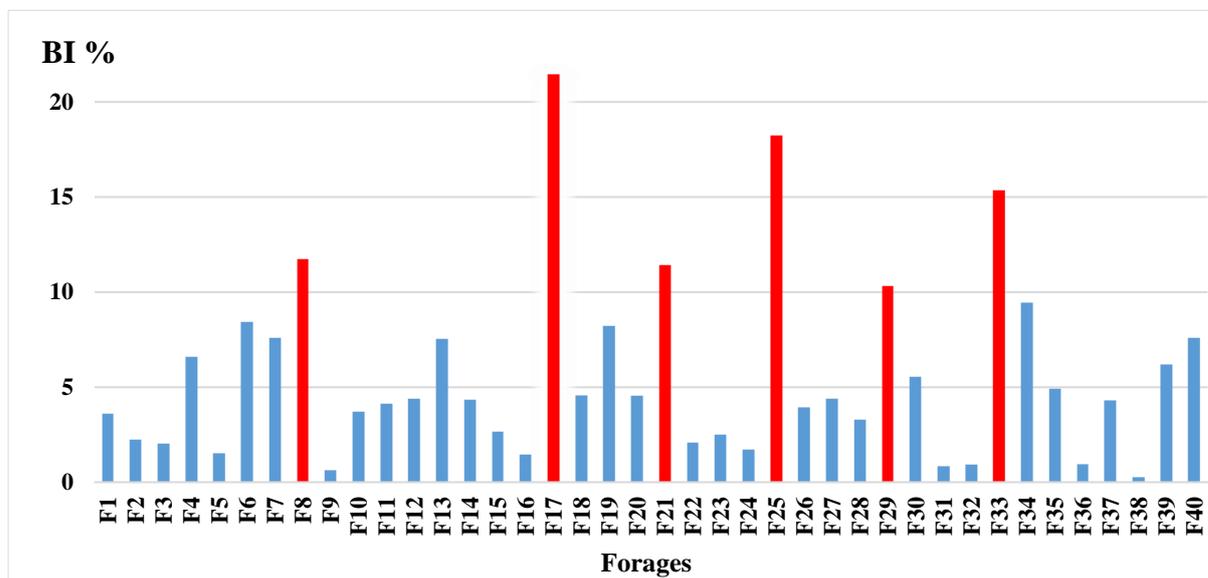


Figure III. 1 : Histogramme de la Balance ionique.

Dans notre cas lorsque on a calculé la balance ionique, les résultats montrent qu’il y a six forages qui dépassent la valeur de 10% sont : (F8 :11,74%), (F17 :21,42%), (F21 : 11,45%), (F25 :18,23), (F29 : 10,31%), (F33 : 15,34%), (figure III.1),c’est-à-dire les analyses des eaux de ces forages ne sont pas bien faites ou bien ne sont pas précises, alors on a éliminé les six forages dont leurs valeurs dépassent la norme, pour nous continuons notre travail, enfin on a trouvé 34 forages à étudier.

III.2.2. Activité ionique :

Une activité ionique correspond à un type de grandeur rendant compte des phénomènes d’interactions entre ions en solution qui augmentent lorsque la concentration augmente. Elle correspond à la notion de concentration efficace d’un ion.

Tous nos calculs sont faits en fonction de l'activité ionique, cela pour l'objectif d'avoir des valeurs précises.

La formule dont on a calculé l'activité ionique est présentée ci-dessous :

$$a_i = \gamma_i \cdot [i] / [o]$$

a_i : activité ionique de l'ion i .

γ_i : coefficient de l'activité ionique de l'ion i .

$[i]$ (mol/l) : concentration de l'espèce.

$[o]$ (mol/l) = 1 : concentration de référence (standards).

Les formules qu'on a utilisées pour calculer le coefficient d'activité ionique :

Modèle Debye-Huckel :

Limité : pour $I < 10^{-2.3}$ mol/l

$$\ln(\gamma_i) = -0,509 \cdot z_i^2 \cdot \sqrt{I}$$

Étendue : Pour $I < 0,1$ mol/l

$$\ln(\gamma_i) = -0,509 \cdot z_i^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + 3,3 \cdot d_{e_i} \sqrt{I}} \right)$$

d_{e_i} : diamètre effectif moyen de l'ion hydraté (en nm).

z_i : charge de l'ion i .

I (mol/l) : force ionique de l'ion i .

Tableau III.2 : Diamètre effectif moyen de l'ion hydraté.

Ion	d_{e_i} (nm)	Ion	d_{e_i} (nm)
H_3O^+ , Al^{3+} , Fe^{3+}	0,900	Na^+ , HCO_3^-	0,425
Mg^{2+}	0,800	OH^- , HS^-	0,350
Ca^{2+} , Fe^{2+}	0,600	K^+ , Cl^-	0,300

Pour calculer la force ionique nous utilisons la formule ci-dessous :

$$I(\text{mol/l}) = 0,5 \sum C_i \cdot z_i^2$$

C_i (mol/l) : concentration de l'ion i .

Z_i : charge de l'ion i .

Tableau III.3 : Valeurs de la force ionique de chaque forage.

Point d'eau	I(mol/l)	Point d'eau	I(mol/l)	Point d'eau	I(mol/l)
F1	0,014418	F14	0,018009	F30	0,013561
F2	0,014031	F15	0,009933	F31	0,013365
F3	0,015737	F16	0,015348	F32	0,019116
F4	0,014570	F18	0,036152	F34	0,016111
F5	0,016222	F19	0,025020	F35	0,014947
F6	0,007218	F20	0,031624	F36	0,012766
F7	0,007575	F22	0,035346	F37	0,014550
F9	0,018560	F23	0,015604	F38	0,015516
F10	0,010660	F24	0,018582	F39	0,010391
F11	0,014124	F26	0,025807	F40	0,054993
F12	0,012462	F27	0,019926		
F13	0,010388	F28	0,022526		

Tableau III.4 : Coefficient d'activité ionique γ_i

N° de forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
F1	0,821	0,831	0,949	0,947	0,949	0,947	0,843	0,952
F2	0,823	0,832	0,950	0,947	0,950	0,947	0,845	0,952
F3	0,815	0,825	0,947	0,945	0,947	0,945	0,839	0,950
F4	0,820	0,830	0,949	0,947	0,949	0,947	0,843	0,952
F5	0,813	0,824	0,946	0,944	0,946	0,944	0,838	0,950
F6	0,862	0,868	0,962	0,961	0,962	0,961	0,876	0,964
F7	0,860	0,866	0,961	0,960	0,961	0,960	0,874	0,963
F9	0,804	0,815	0,943	0,941	0,943	0,941	0,831	0,947
F10	0,840	0,848	0,955	0,953	0,955	0,953	0,858	0,957
F11	0,822	0,832	0,949	0,947	0,949	0,947	0,844	0,952
F12	0,830	0,839	0,952	0,950	0,952	0,950	0,851	0,955
F13	0,841	0,849	0,956	0,954	0,956	0,954	0,859	0,958
F14	0,806	0,817	0,944	0,941	0,944	0,941	0,832	0,947
F15	0,844	0,852	0,956	0,955	0,956	0,955	0,862	0,959
F16	0,817	0,827	0,948	0,945	0,948	0,945	0,840	0,951
F18	0,755	0,773	0,926	0,922	0,926	0,922	0,795	0,932
F19	0,783	0,797	0,936	0,933	0,936	0,933	0,815	0,941
F20	0,765	0,782	0,930	0,926	0,930	0,926	0,802	0,935
F22	0,757	0,774	0,927	0,922	0,927	0,922	0,797	0,933
F23	0,816	0,826	0,947	0,945	0,947	0,945	0,839	0,950
F24	0,804	0,815	0,943	0,941	0,943	0,941	0,831	0,947
F26	0,780	0,795	0,935	0,932	0,935	0,932	0,813	0,940
F27	0,799	0,811	0,942	0,939	0,942	0,939	0,827	0,945
F28	0,790	0,803	0,939	0,936	0,939	0,936	0,821	0,943
F30	0,825	0,834	0,950	0,948	0,950	0,948	0,846	0,953
F31	0,826	0,835	0,951	0,949	0,951	0,949	0,847	0,953
F32	0,802	0,814	0,943	0,940	0,943	0,940	0,829	0,946
F34	0,813	0,824	0,947	0,944	0,947	0,944	0,838	0,950
F35	0,818	0,828	0,948	0,946	0,948	0,946	0,842	0,951
F36	0,829	0,838	0,952	0,950	0,952	0,950	0,849	0,954
F37	0,820	0,830	0,949	0,947	0,949	0,947	0,843	0,952
F38	0,816	0,826	0,947	0,945	0,947	0,945	0,840	0,950
F39	0,841	0,849	0,956	0,954	0,956	0,954	0,859	0,958
F40	0,722	0,745	0,914	0,908	0,914	0,908	0,773	0,922

Tableau III.5 : Valeurs calculées de l'activité ionique.

N° de Fo-rage	Ca ²⁺ (mmol/l)	Mg ²⁺ (mmol/l)	Na ⁺ (mmol/l)	K ⁺ (mmol/l)	HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	Cl ⁻ (mmol/l)	SO ₄ ²⁻ (mmol/l)	NO ₃ ⁻ (mmol/l)
F1	2,34	1,00	1,73	0,0218	3,78	3,47	0,612	0,181
F2	2,04	1,11	1,55	0,0242	3,86	3,60	0,6,07	0,389
F3	2,10	1,53	1,81	0,0338	4,49	3,89	0,6	0,0920
F4	1,73	1,41	1,62	0,0242	4,07	4,44	0,649	0,137
F5	2,24	1,47	2,09	0,0241	4,05	5,10	0,441	0,245
F6	1,22	0,0451	1,22	0,0319	2,21	8,85	0,444	0,131
F7	1,39	0,398	0,995	0,0319	1,83	1,06	0,564	0,188
F9	3,03	1,33	1,89	0,0217	5,26	5,10	0,339	0,806
F10	1,18	1,26	0,989	0,0341	4,09	1,62	5,46	0,131
F11	1,54	2,05	0,859	0,0363	5,39	1,81	0,442	0,226
F12	1,46	1,74	0,803	0,0462	4,99	1,46	0,381	0,154
F13	1,06	1,54	1,20	0,0268	4,15	1,11	0,342	0,0916
F14	1,69	2,53	2,33	0,0409	4,87	5,20	0,372	0,239
F15	9,94	1,35	1,19	0,0415	4,27	2,07	0,163	0,166
F16	2,12	1,27	1,53	0,0290	3,47	3,47	0,969	0,541
F18	4,19	2,25	4,14	0,0472	5,46	6,36	4,17	0,196
F19	2,70	2,25	0,766	0,0740	5,78	1,35	3,34	0,0168
F20	2,11	3,77	0,241	0,0710	5,61	2,49	4,32	0,0150
F22	3,32	3,39	3,58	0,0708	6,40	5,51	3,71	0,177
F23	2,56	1,07	0,898	0,0193	4,34	1,29	1,34	0,195
F24	2,68	1,39	1,64	0,0168	4,15	2,70	1,60	0,289
F26	4,39	0,922	2,16	0,0143	3,76	6,05	2,00	1,68
F27	3,54	1,10	1,29	0,0312	2,66	3,66	140	1,69
F28	2,37	2,24	2,34	0,0550	4,96	4,89	1,78	0,217
F30	1,48	1,30	1,60	0,0703	3,98	2,59	1,05	0,0545
F31	1,31	1,36	2,33	0,0970	3,88	2,74	0,914	0,0112
F32	2,05	1,95	2,33	0,0601	4,66	4,17	1,33	0,0913
F34	2,44	1,33	2,28	0,0507	4,28	3,30	0,679	0,0422
F35	1,58	1,93	1,34	0,0436	4,07	2,23	0,964	0,0122
F36	1,84	1,11	1,10	0,0510	4,09	2,20	0,719	0,137
F37	2,65	0,564	1,83	0,0315	4,55	3,39	0,343	1,40
F38	2,47	1,11	1,86	0,0314	4,94	3,35	0,362	1,02
F39	0,899	0,886	2,24	0,0805	3,11	1,80	1,02	0,0181
F40	5,07	3,67	4,77	0,0534	5,50	4,43	8,86	0,127

Tableau III.6 : Teneurs des ions majeurs en mg/l

N° de forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
F1	93,90	24,39	39,86	0,85	230,41	123,01	58,75	11,25
F2	81,60	27,07	35,71	0,95	235,76	127,47	58,35	24,09
F3	84,11	37,18	41,67	1,32	273,86	137,84	57,65	5,71
F4	69,22	34,24	37,19	0,95	248,29	157,23	62,34	8,47
F5	89,75	35,79	48,08	0,94	247,13	180,63	42,35	15,18
F6	48,98	10,97	28,09	1,25	134,98	31,38	42,69	8,15
F7	55,71	9,67	22,88	1,25	111,41	37,49	54,14	11,64
F9	121,54	32,31	43,40	0,85	321,13	180,96	32,52	49,99
F10	47,37	30,69	22,73	1,33	249,37	57,54	52,44	8,10
F11	61,83	49,93	19,75	1,42	328,97	64,18	42,50	14,01
F12	58,45	42,21	18,47	1,81	304,32	51,60	36,64	9,55
F13	42,41	37,56	27,52	1,05	252,99	39,28	32,85	5,68
F14	67,69	61,58	53,63	1,60	297,18	184,36	35,74	14,82
F15	39,84	32,70	27,35	1,62	260,22	73,21	15,61	10,31
F16	84,94	30,94	35,16	1,13	211,58	123,16	93,05	33,52
F18	167,89	54,59	95,24	1,84	333,24	225,44	400,25	12,14
F19	108,31	54,61	17,60	2,89	352,37	48,01	321,24	1,04
F20	84,47	91,57	55,43	2,78	342,12	88,41	415,22	0,93
F22	133,17	82,29	82,32	2,77	390,20	195,49	356,40	11,00
F23	102,44	25,91	20,65	0,76	264,67	45,62	128,94	12,12
F24	107,38	33,69	37,74	0,66	253,21	95,83	153,49	17,93
F26	176,03	22,40	49,77	0,56	229,39	214,31	192,15	104,09
F27	141,88	26,80	29,67	1,22	162,01	129,81	134,63	104,70
F28	94,82	54,39	53,70	2,15	302,37	173,37	170,53	13,43
F30	59,39	31,62	36,68	2,75	242,89	91,89	100,91	3,38
F31	52,52	33,11	53,62	3,79	236,59	97,31	87,84	0,70
F32	82,10	47,46	53,55	2,35	284,09	147,92	127,51	5,66
F34	97,94	32,27	52,44	1,98	261,01	116,94	65,21	2,62
F35	63,51	46,98	30,91	1,70	248,15	79,05	92,56	7,56
F36	73,59	27,03	25,31	1,99	249,60	78,13	69,06	8,51
F37	106,30	13,72	42,13	1,23	277,82	120,30	32,98	86,63
F38	98,89	27,06	42,83	1,23	301,10	118,75	34,74	63,15
F39	36,01	21,55	51,60	3,15	190,03	63,66	97,83	1,12
F40	203,26	89,10	109,69	2,09	335,45	156,91	851,40	7,90

III.3. Calculs des titres de l'eau :

La formule ci-dessous consiste à calculer les titres d'eau qui suivent :

$$\left(\text{Titre } (^{\circ}f) = 5000 \sum \left[\frac{C_i \left(\frac{g}{l} \right) \cdot z_i}{Mm_i \left(\frac{g}{mol} \right)} \right] \right)$$

$$\text{Titre } (^{\circ}f) = 5000 \sum a_i \left(\frac{mol}{l} \right) \cdot z_i$$

[x] : titre ($^{\circ}F$)

z_i : charge de l'ion.

a_i : activité ionique de l'ion.

III.3.1. Titre alcalimétrique (alcalinité) :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et les hydroxydes, elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC). Le TA et le TAC traduisent l'alcalinité d'une eau. La connaissance de ces valeurs est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau.

Le titre d'alcalimétrie (simple et complet) exprimé en degré français $^{\circ}F$ et donné par ces formules suivantes :

III.3.1.1. Titre alcalimétrique simple (alcalinité simple) :

$$TA = [CO_3^{2-}] + [OH^-]$$

TA : Titre alcalimétrique simple (alcalinité simple) ($^{\circ}F$).

$[CO_3^{2-}]$ ($^{\circ}F$) : concentration en carbonate.

$[OH^-]$ ($^{\circ}F$) : concentration en hydroxyde.

Les résultats de l'alcalinité simple sont nuls à cause de l'indisponibilité des analyses de l'élément $[CO_3^{2-}]$ et $[OH^-]$.

III.3.1.2. Titre alcalimétrique complet (alcalinité complète) :

$$TAC = [CO_3^{2-}] + [OH^-] + [HCO_3^-]$$

TAC ($^{\circ}F$) : Titre alcalimétrique complet (alcalinité complète).

$[CO_3^{2-}]$ ($^{\circ}F$) : concentration en carbonate.

$[OH^-]$ ($^{\circ}F$) : concentration en hydroxyde.

$[HCO_3^-]$ ($^{\circ}F$) : concentration en bicarbonate.

1 $^{\circ}f$ = 10 mg/l de $CaCO_3$

Dans ce cas $TAC = [HCO_3^-]$ car les concentrations de $[OH^-]$ et $[HCO_3^-]$ ne sont pas indisponibles, les résultats de calcul de titre d'alcalimétrie (simple et complet) présentent ci-dessous dans le Tableau III.7

Tableau III. 7 : Valeurs calculées de l'alcalinité simple et complet des eaux de forages.

Point d'eau	TA (°F)	TAC (°F)	TAC (mg/l CaCO ₃)	Point d'eau	TA (°F)	TAC (°F)	TAC (mg/l CaCO ₃)
F1	0	18,88	188,8	F20	0	28,04	280,4
F2	0	19,32	193,2	F22	0	31,98	319,8
F3	0	22,44	224,4	F23	0	21,69	216,9
F4	0	20,35	203,5	F24	0	20,75	207,5
F5	0	20,25	202,5	F26	0	18,80	188,0
F6	0	11,06	110,6	F27	0	13,28	132,8
F7	0	9,13	91,3	F28	0	24,78	247,8
F9	0	26,32	263,2	F30	0	19,91	199,1
F10	0	20,44	204,4	F31	0	19,39	193,9
F11	0	26,96	269,6	F32	0	23,28	232,8
F12	0	24,94	249,4	F34	0	21,39	213,9
F13	0	20,73	207,3	F35	0	20,34	203,4
F14	0	24,36	243,6	F36	0	20,46	204,6
F15	0	21,33	213,3	F37	0	22,77	227,7
F16	0	17,34	173,4	F38	0	24,68	246,8
F18	0	27,31	273,1	F39	0	15,57	155,7
F19	0	28,88	288,8	F40	0	27,49	274,9

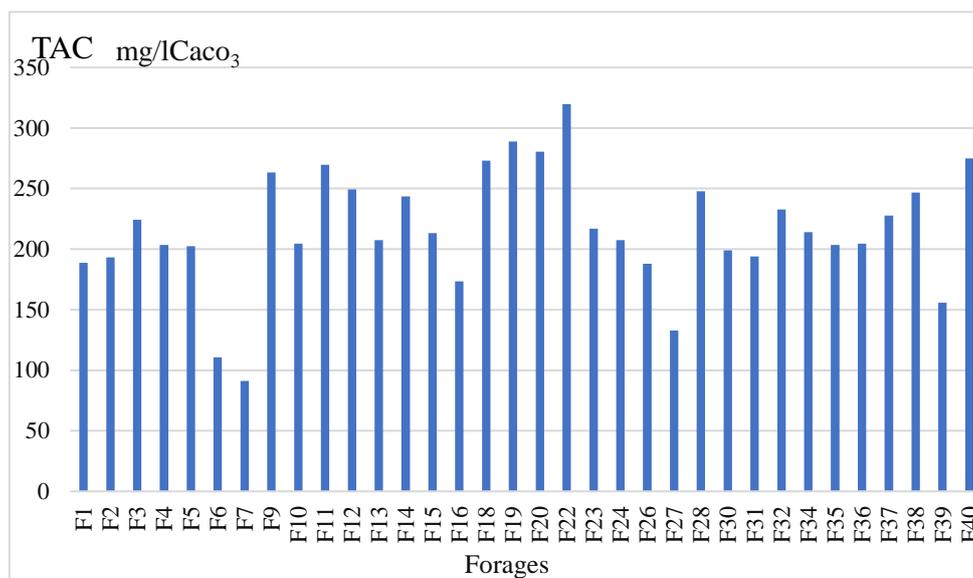


Figure III. 2 : Variation de l'alcalinité complète (TAC).

Les valeurs calculées de l'alcalinité des eaux de forages de la région de Bouira varient entre la valeur maximale 319,8 mg/l CaCO_3 qui est enregistrée au forage F22 et la valeurs minimale 91,3 mg/l CaCO_3 enregistrée au forage F7, selon la norme Algérienne des eaux potable qui est à l'ordre de 500 mg/l CaCO_3 les valeurs sont conformes.

III.3.2. Titre hydrométrique (Dureté) :

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium. Une eau à titre hydrotimétrie élevée est dit « dure » dans le cas contraire il s'agit d'une « douce ».

III.3.2.1. Dureté totale :

La dureté totale égale à la dureté calcique plus la dureté magnésienne, pour calculer ces duretés il faut d'abord calculer le titre calcique et le titre magnésien (voir le tableau III.8).

La dureté totale exprimée en degré français ($^{\circ}\text{F}$) et donnée par la formule suivante :

$$TH = TH_{Ca} + TH_{Mg}$$

$TH(^{\circ}\text{f})$: Titre hydrométrique (Dureté).

TH_{Ca} : Dureté calcique.

TH_{Mg} : Dureté magnésien.

III.3.2.2. Dureté calcique :

La dureté calcique donnée par l'équation :

$$TH_{Ca} = [Ca]$$

TH_{Ca} : Dureté calcique.

$[Ca]$: Titre calcique.

III.3.2.3. Dureté magnésienne :

La dureté magnésienne donnée par l'équation :

$$TH_{Mg} = [Mg]$$

TH_{Mg} : Dureté magnésienne.

$[Mg]$: Titre magnésien.

$$1^{\circ}\text{f} = 10 \text{ mg/l de } \text{CaCO}_3, 4\text{mg/l de } \text{Ca}^{2+}, 2,4\text{mg/l de } \text{Mg}$$

Tableau III.8 : Classes des eaux en °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969

D.H.T (en °F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Dureté de l'eau	Douce	Modéré- ment douce	Assez douce	Dure	Très dure

Les résultats de calcul de la dureté (totale, calcique et magnésienne) sont présentés ci-dessous dans le tableau III.9 :

Tableau III.9 : Valeurs calculées de la dureté des eaux de forages.

N° Forage	TH _{Ca2+} (°F)	TH _{Mg2} + (°F)	TH (F°)	TH (ppm CaCO 3)	N° Fo- rage	TH _{Ca2+} (°F)	TH _{Mg2} + (°F)	TH (F°)	TH (ppm CaCO 3)
F1	23,43	10,03	33,46	334,6	F20	21,08	37,67	58,74	587,4
F2	20,36	11,14	31,5	315	F22	33,22	33,85	67,08	670,8
F3	20,99	15,30	36,28	362,8	F23	25,56	10,66	36,21	362,1
F4	17,27	14,09	31,36	313,6	F24	26,79	13,86	40,65	406,5
F5	22,39	14,72	37,12	371,2	F26	43,92	9,22	53,14	531,4
F6	12,22	4,51	16,73	167,3	F27	35,40	11,03	46,42	464,2
F7	13,90	3,98	17,88	178,8	F28	23,66	22,37	46,03	460,3
F9	30,32	13,29	43,61	436,1	F30	14,82	13,01	27,83	278,3
F10	11,82	12,63	24,45	244,5	F31	13,10	13,62	26,72	267,2
F11	15,43	20,54	35,96	359,6	F32	20,48	19,52	40,01	400,1
F12	14,58	17,36	31,95	319,5	F34	24,44	13,27	37,71	377,1
F13	10,58	15,45	26,03	260,3	F35	15,85	19,33	35,17	351,7
F14	16,89	25,33	42,22	422,2	F36	18,36	11,12	29,48	294,8
F15	9,94	13,45	23,39	233,9	F37	26,52	5,64	32,16	321,6
F16	21,19	12,73	33,92	339,2	F38	24,67	11,13	35,81	358,1
F18	41,89	22,46	64,35	643,5	F39	8,99	8,86	17,85	178,5
F19	27,02	22,46	49,49	494,9	F40	50,71	36,65	87,37	873,7

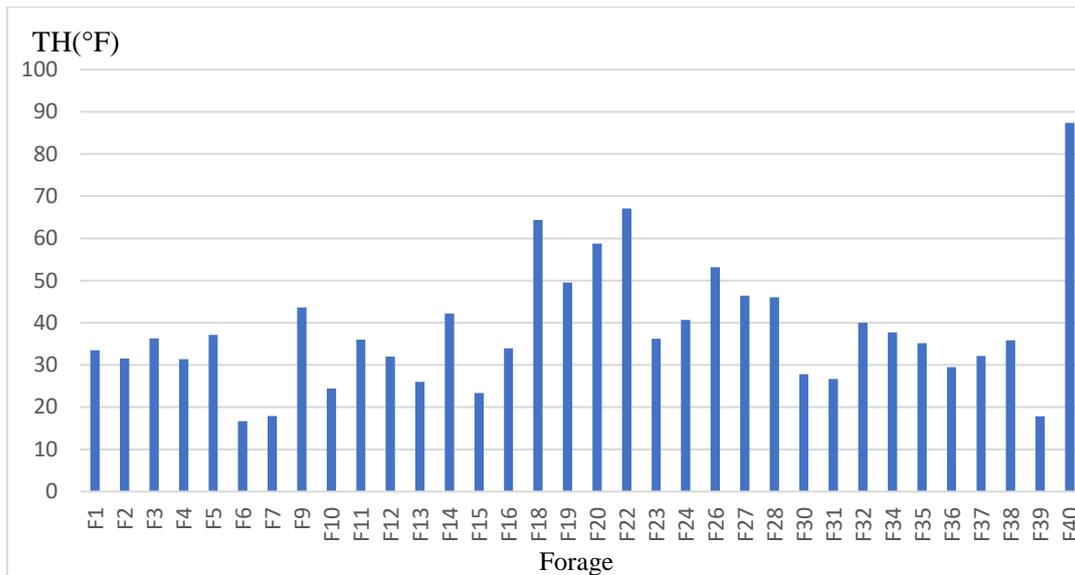


Figure III.3 : Variation de la Dureté.

Les résultats de calcul varient entre 16.73 (°F) et 87.37 (°F).

Selon la classification de (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969) de la dureté des eaux

35% des forages (F2, F4, F6, F7, F10, F12, F13, F15, F30, F31, F6, F39) confèrent à un caractère modérément doux à assez douce,

65% des forages ont un caractère dur à très dure, ces eaux peuvent être proviennent des aquifères riches en calcium et magnésium.

Selon la normes Algériennes qui est à l'ordre de 50 °F, toutes les eaux des forages étudiés sont conformes, à l'exception des forages suivants (F18), (F20), (F22), (F26), (F40).

III.3.3. Comparaison enter TH et TAC :

La comparaison entre la dureté et l'alcalinité se fait classer les eaux comme suite :

Si $TAC < TH$: dureté carbonatée

Si $TAC = TH$: il ne peut y avoir d'autres sels de Ca^{2+} ou Mg^{2+} autre que des bicarbonates et dans ce cas la dureté carbonatée représenté également le TAC

Si $TAC > TH$: l'eau renferme HCO_3^- , (Na^+ ou K^+) et la dureté carbonatée = TH

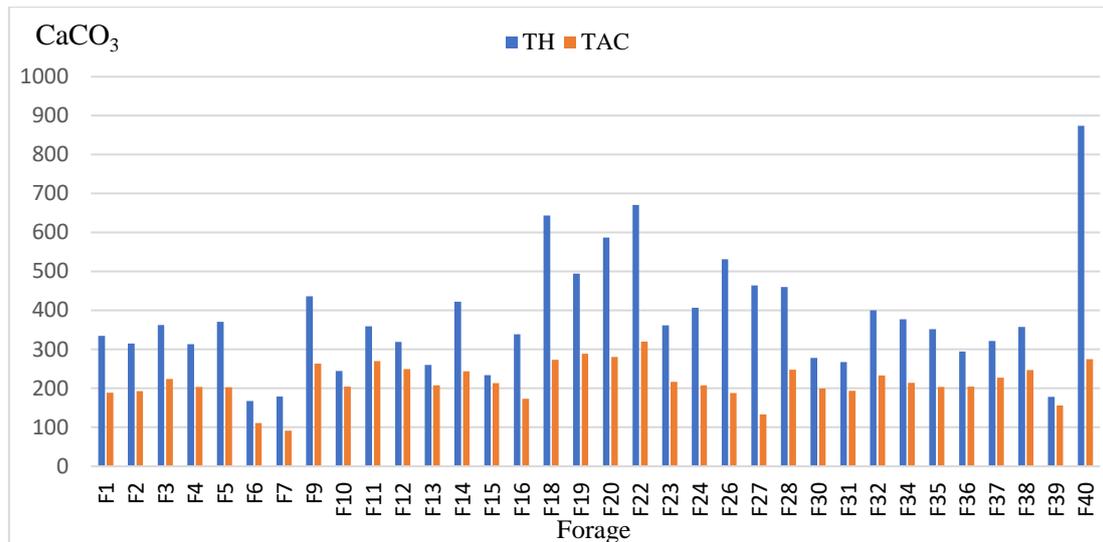


Figure III.4 : Comparaison du TH par rapport au TAC.

D’après la figure III .4 on constate que dans tous les forages, la dureté est supérieure à l’alcalinité alors on conclut que les eaux étudiées ont une dureté carbonatée.

III.3.4. Dureté permanente PH (dureté non alcaline, dureté non carbonatée) :

La dureté permanente, qui persiste après l’ébullition, est donc la dureté non carbonatée : cela signifie qu’elle ne prend pas en compte les carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium ; elle correspond notamment aux sulfates de calcium et de magnésium.

$$PH = TH - TAC$$

(À condition que l’eau ne renferme pas NaHCO₃)

PH : Dureté permanente.

TH : Titre hydrotimétrique.

TAC : Titre d’alcalimétrie complet. Histogramme

Tableau III.10 : Dureté permanente.

Forage	PH (°F)						
F1	14,58	F11	9,00	F22	35,10	F34	16,32
F2	12,17	F12	7,01	F23	14,52	F35	14,84
F3	13,84	F13	5,30	F24	19,90	F36	9,02
F4	11,01	F14	17,87	F26	34,34	F37	9,39
F5	16,86	F15	2,07	F27	33,15	F38	11,13
F6	5,67	F16	16,58	F28	21,25	F39	2,27
F7	8,75	F18	37,03	F30	7,92	F40	59,87
F9	17,29	F19	20,61	F31	7,33		
F10	4,01	F20	30,70	F32	16,72		

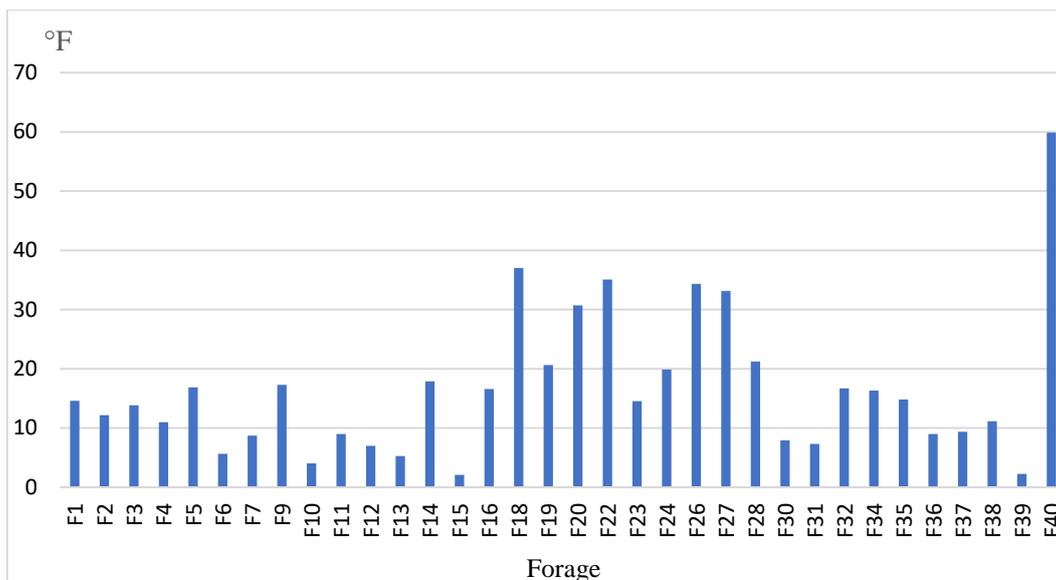


Figure III.5 : Dureté permanente

III.3.5. Dureté temporaire KH (dureté alcaline, dureté carbonatée) :

La dureté temporaire, qui disparaît au moment de l'ébullition, appelée aussi dureté carbonatée (KH), ou encore TAC pour Titre Alcalimétrique Complet, correspond uniquement aux carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium ; elle ne prend pas en compte les sulfates de calcium et de magnésium.

$$KH = PH - TH$$

TAC ≤ TH : Dureté temporaire KH = TAC.

TAC > TH : Dureté permanente PH = 0

Dureté temporaire KH = TH.

$$TH = PH + KH$$

D'après la figure III.4 on constate dans tous les forages TH > TAC, c'est-à-dire KH= TAC alors on conclut les eaux ont une dureté temporaire.

III.3.6. Titre en sels d'acides forts SAF :

La dénomination SAF vient donc de Sels d'Acides Forts, car les anions cités sont présents dans les trois acides forts suivants : acide sulfurique, acide chlorhydrique, acide nitrique.

$$SAF = [Cl^-] + [NO_3^-] + [SO_4^{2-}]$$

SAF : Titre en sels d'acides forts.

[Cl⁻] : concentration en chlorure.

[NO₃⁻] : concentration en nitrate.

[SO₄²⁻] : concentration en sulfate.

Tableau III.11 : Titre en sels d'acides forts SAF.

Forage	SAF (°F)						
F1	24,37	F11	14,61	F22	65,56	F32	34,59
F2	25,99	F12	11,86	F23	20,83	F34	23,49
F3	25,90	F13	9,42	F24	30,94	F35	21,39
F4	29,35	F14	30,92	F26	58,62	F36	18,90
F5	31,11	F15	12,78	F27	40,77	F37	27,39
F6	9,53	F16	29,76	F28	43,29	F38	25,46
F7	11,86	F18	74,44	F30	23,74	F39	19,25
F9	32,94	F19	40,30	F31	22,93	F40	111,40
F10	14,23	F20	55,77				

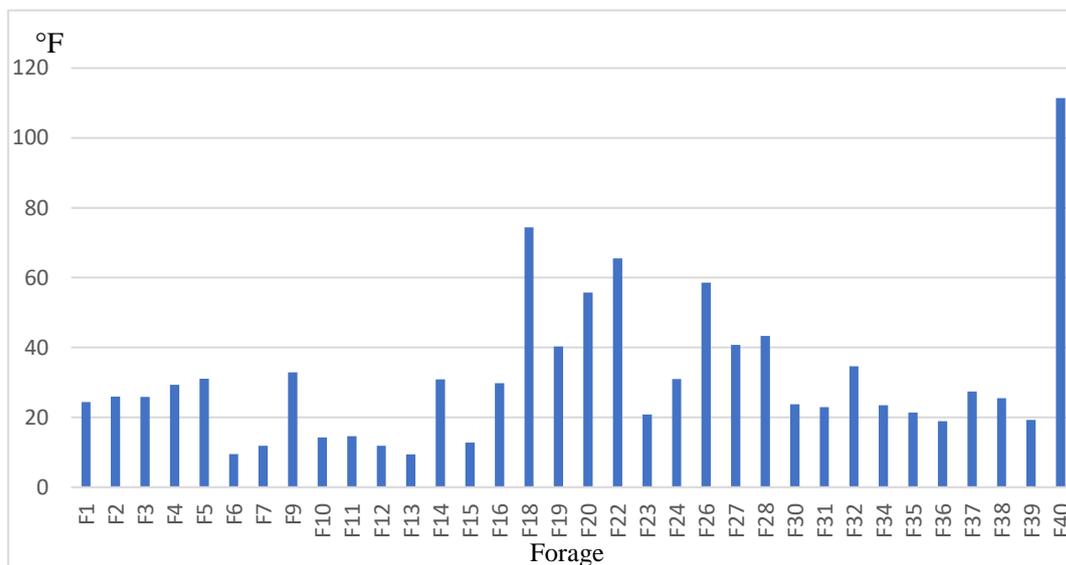


Figure III.6 : Titre en sels d'acides forts (SAF)

III.3.7. Salinité totale cationique STC :

La STC permet de définir l'échange sur une résine cationique forte en cycle sodium ou hydrogène (régénération à l'acide).

$$STC = [H^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+]$$

[H⁺] : est négligeable pour les eaux naturelles ; donc :

$$STC = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+]$$

Soit encore :

$$STC = TAC + SAF$$

[Ca²⁺] (°F) : Titre calcique.

[Mg²⁺] (°F) : Titre magnésien.

[Na⁺] (°F) : concentration en sodium

[K⁺] (°F) : concentration en potassium.

Tableau III.12 : Salinité totale cationique STC

Forage	STC °F						
F1	50,92	F11	45,20	F22	95,00	F34	54,46
F2	49,59	F12	39,45	F23	42,75	F35	46,54
F3	55,89	F13	31,71	F24	54,25	F36	40,75
F4	53,65	F14	68,43	F26	83,43	F37	49,29
F5	62,71	F15	33,93	F27	64,89	F38	52,71
F6	21,32	F16	51,44	F28	70,76	F39	27,23
F7	23,33	F18	96,38	F30	41,14	F40	109,76
F9	69,24	F19	56,63	F31	40,93		
F10	32,73	F20	71,57	F32	61,17		

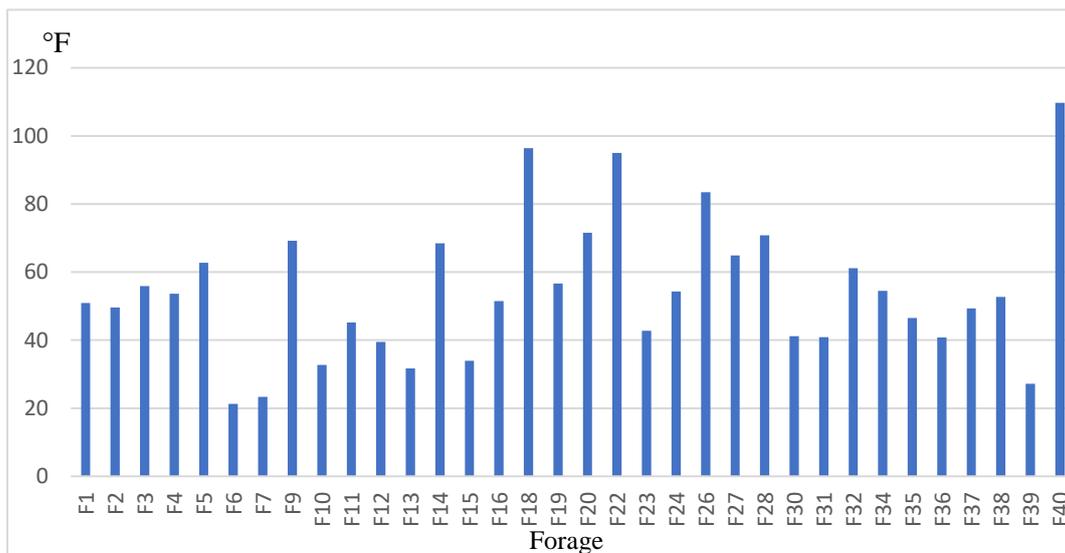


Figure III.7 : Salinité totale cationique STC

III.3.8. Salinité anionique SA :

C'est l'ensemble de titre bicarbonate et concentrations chlorure, nitrate, et sulfate, elle permet de définir l'échange sur une résine anionique forte en cycle chlorures.

$$SA = STC = TAC + SAF$$

SA : Salinité anionique (°F).

TAC : Titre d'alcalimétrie complet.

SAF : Titre en sels d'acides forts.

Tableau III.13 : Salinité anionique SA.

Forage	SA (°F)						
F1	43,26	F11	41,57	F22	97,54	F34	90,76
F2	45,32	F12	36,80	F23	42,53	F35	41,73
F3	48,35	F13	30,15	F24	51,69	F36	39,35
F4	49,70	F14	55,27	F26	77,42	F37	50,16
F5	51,36	F15	34,11	F27	54,04	F38	50,14
F6	20,59	F16	47,10	F28	68,07	F39	34,83
F7	20,99	F18	101,75	F30	43,64	F40	138,89
F9	59,26	F19	69,18	F31	42,32		
F10	34,66	F20	83,81	F32	57,88		

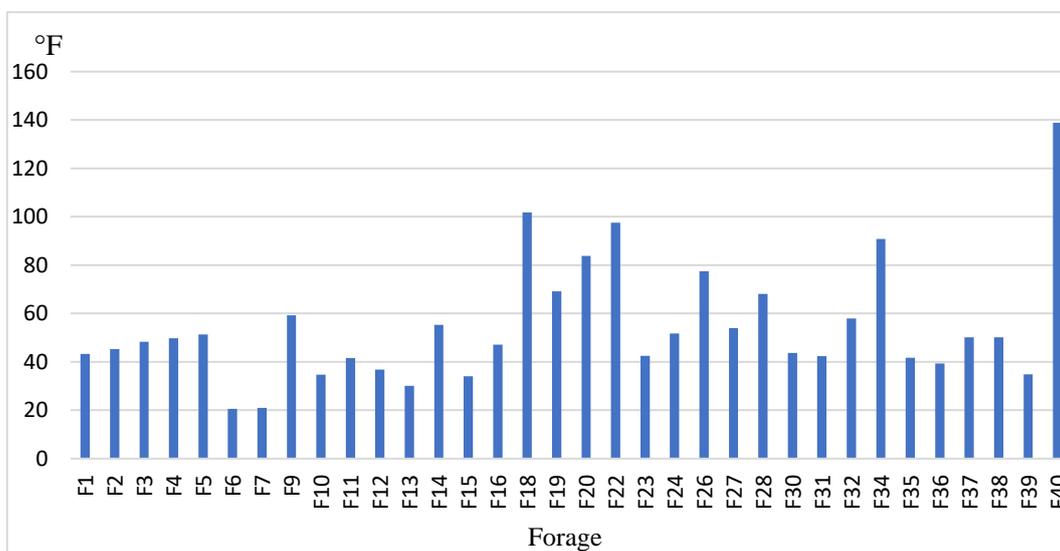


Figure III.8 : Salinité anionique SA.

III.3.9. Salinité totale anionique STA :

La salinité totale anionique est la somme de titre bicarbonate et les concentrations chlorure, nitrate, sulfates, carbone dioxyde et la silice, elle permet de définir l'échange sur une résine anionique forte qui permet de capter le CO₂ et la SiO₂ en cycle hydroxyle (régénération à la soude).

$$STA = SA + [CO_2] + [SiO_2]$$

STA : Salinité totale anionique (°F).

SA : Salinité anionique

[CO₂] (°F) : concentration en dioxyde de carbone.

[SiO₂] (°F) : concentration en silice.

On a aussi:

$$STA = TAC + SAF + [CO_2] + [SiO_2].$$

En tant que $[CO_2]$ et $[SiO_2]$ ne sont pas disponibles comme données, donc $STA = SA$ alors les valeurs calculées sont les mêmes (tableau III.13).

III.4. Etude de l'équilibre carbonique de l'eau (indices de saturation) :

III.4.1. Indice de Langelier :

La méthode la plus simple pour le calcul de l'agressivité est la méthode de Langelier. Cet auteur a établi un indice IL, appelé indice de saturation ou indice de Langelier, il définit égal à la différence entre le pH de l'eau considérée et son pHs calculé :

$$IL = pH - pHs$$

L'échelle de classification des eaux selon Langelier :

$IL < 0$ l'eau est agressive.

$IL = 0$ l'eau est à l'équilibre.

$IL > 0$ L'eau est incrustante (entartrante).

Langelier propose une formule simple pour déterminer le pH d'équilibre (pHs) :

$$pHs = pk_2 - pK_s - \log [Ca^{2+}] - \log [HCO_3^-]$$

Dans cette formule pK_2 et pK_s dépendent de la température de l'eau.

Tableau III.14 : Variation des constantes thermodynamiques en fonction de la température

Température (°c)	pk2	Pks	Température (°c)	pk2	Pks
0	10,63	8,02	40	10,22	8,51
10	10,49	8,15	50	10,17	8,62
18	10,4	8,26	60	10,14	8,74
20	10,38	8,28	70	10,12	8,86
25	10,33	8,34	80	10,12	8,97
30	10,29	8,39			

Tableau III.15 : Valeurs de PHs des eaux de forage

N° de forage	T°C	pk2	PKs	PHs	N° de forage	T°C	pk2	PKs	PHs
F1	18,1	10,40	8,26	7,20	F22	18,3	10,40	8,26	6,81
F2	18,7	10,39	8,26	7,24	F23	14,8	10,44	8,21	7,18
F3	17,5	10,41	8,25	7,19	F24	19,9	10,38	8,28	7,06
F4	18,8	10,39	8,26	7,28	F26	17,4	10,41	8,25	6,94
F5	19,4	10,39	8,27	7,16	F27	17,6	10,41	8,25	7,18
F6	21,6	10,36	8,30	7,63	F28	17,9	10,40	8,25	7,08
F7	21	10,37	8,29	7,67	F30	17,3	10,41	8,25	7,39
F9	16	10,42	8,23	6,99	F31	16,7	10,42	8,24	7,47
F10	19,1	10,39	8,27	7,44	F32	20,5	10,38	8,29	7,11
F11	18,2	10,40	8,26	7,22	F34	16,4	10,42	8,23	7,17
F12	18,7	10,39	8,26	7,27	F35	16,6	10,42	8,24	7,37
F13	20,8	10,37	8,29	7,44	F36	15,8	10,43	8,23	7,32
F14	21	10,37	8,29	7,16	F37	17,1	10,41	8,24	7,09
F15	20,5	10,38	8,29	7,46	F38	15,9	10,42	8,23	7,11
F16	19,6	10,39	8,27	7,24	F39	23,3	10,35	8,32	7,58
F18	18,6	10,40	8,26	6,77	F40	23,4	10,34	8,32	6,58
F19	20	10,38	8,28	6,91					
F20	19,9	10,38	8,28	7,03					

Tableau III.16 : Variation de l'indice de Langelier IL.

N° de Forage	IL	N° de Forage	IL	N° de Forage	IL
F1	-0,059	F14	0,107	F30	0,506
F2	-0,126	F15	-0,212	F31	0,238
F3	-0,096	F16	0,086	F32	0,020
F4	-0,082	F18	0,255	F34	0,144
F5	0,002	F19	0,242	F35	-0,152
F6	-0,392	F20	0,559	F36	-0,104
F7	-0,363	F22	0,436	F37	-0,007
F9	0,068	F23	0,492	F38	-0,082
F10	-0,088	F24	0,673	F39	0,243
F11	-0,023	F26	0,106	F40	0,664
F12	0,060	F27	-0,134		
F13	-0,070	F28	0,009		

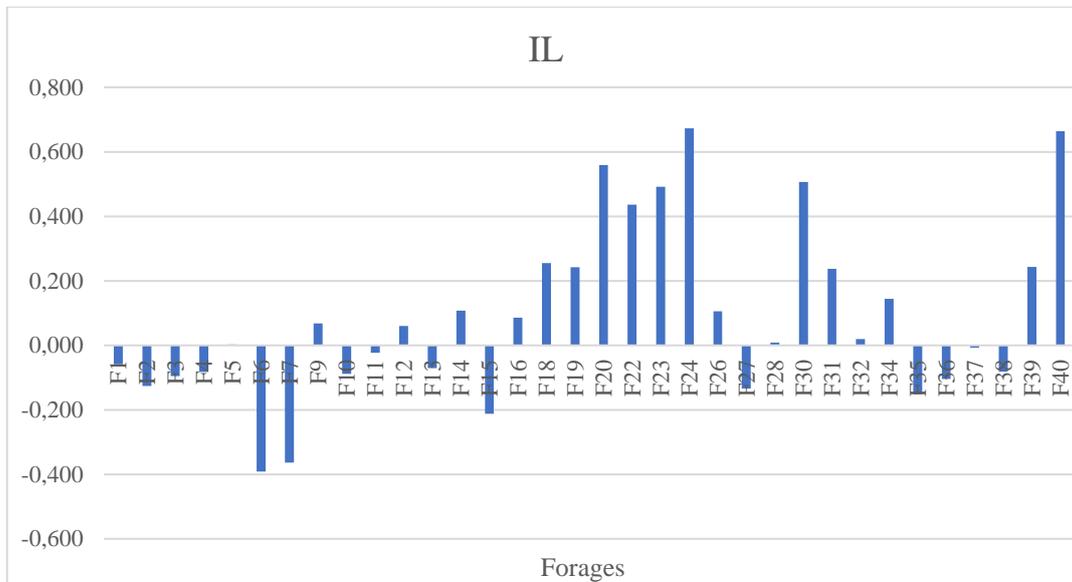


Figure III. 9 : Indice Langelier.

L'indice da Langelier varie entre -0.392 et 0.673, les valeurs de l'indice de Langelier de ces forages (F5, F9, F12, F14, F16, F18, F19, F20, F22, F23, F24, F26, F28, F30, F31, F32, F34, F39, F40) est supérieures à zéro donc l'eau de ces forages sont entartrantes, par contre ces forages (F1, F2, F3, F4, F7, F9, F10, F11, F13, F15, F27, F35, F36, F37, F38) leur indice de Langelier est inférieur à zéro donc les eaux son agressive dans ces forages . Alors selon Langelier on peut conclure que la moitié des eaux souterraines de la région de Bouira sont agressives et l'autre moitié sont entartrantes.

III.4.2. Indice de saturation de Ryznar (indice de stabilité) :

Appelé également indice de stabilité, il permet de définir la tendance agressive ou entartrante d'une eau, cet indice est défini par la formule suivante :

$$IR=2pH-pH$$

Le tableau ci-dessous montre la relation entre l'indice de stabilité et la tendance entartrante (incrustante) ou agressive de l'eau.

Tableau III.17 : Classification de l'indice de saturation de Ryznar (indice de stabilité)

IR	IR>8,7	8,7>IR>6,9	6,9>IR>5,8	5,8>IR>3,7	3,7>IR
Ten-dance	Eaux très agressives	Eaux moyennement agressive	Eaux stables	Eaux entartrantes	Eaux très entartrantes

Tableau III.18 : Calculs de l'indice de Ryznar

N° de Forage	IR	N° de Forage	IR	N° de Forage	IR
F1	7,258	F14	7,055	F30	6,887
F2	7,362	F15	7,674	F31	7,235
F3	7,281	F16	7,159	F32	7,090
F4	7,365	F18	6,519	F34	7,022
F5	7,155	F19	6,666	F35	7,523
F6	8,023	F20	6,472	F36	7,428
F7	8,036	F22	6,377	F37	7,094
F9	6,923	F23	6,686	F38	7,193
F10	7,526	F24	6,385	F39	7,334
F11	7,247	F26	6,838	F40	5,913
F12	7,210	F27	7,318		
F13	7,510	F28	7,072		

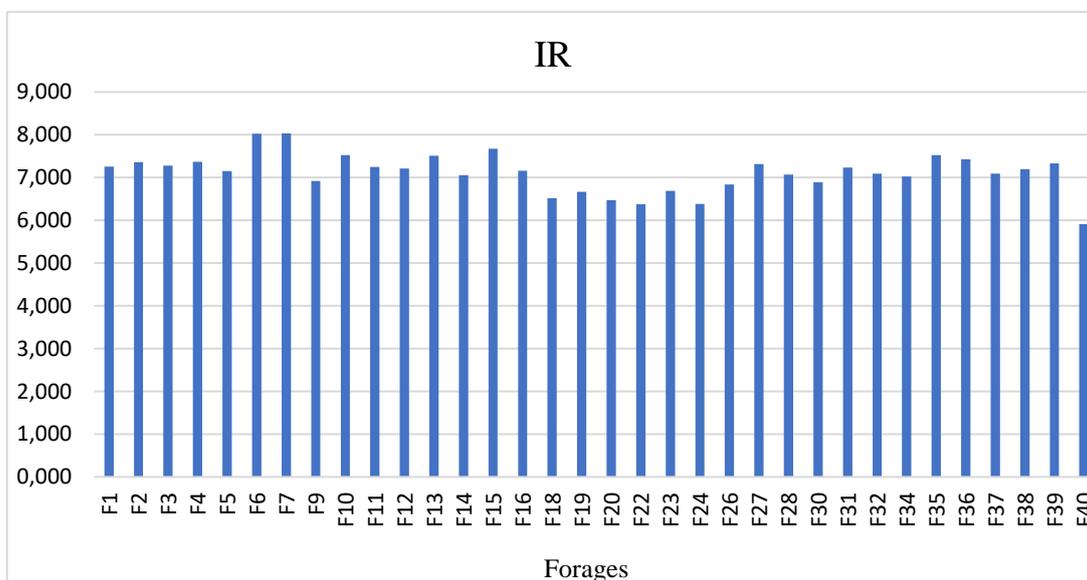


Figure III.10 : Variation de l'indice de Ryznar.

Les valeurs calculées de l'indice de Ryznar varient entre 5.913 et 8.036, selon Ryznar on a trouvé la majorité des eaux souterraines de la région de Bouira sont moyennement agressive à l'exception de ces forages (F18, F19, F20, F22, F23, F24, F26, F30, F40) leur qualité est stable.

III.4.3. Indice de saturation de Larson IC (indice de corrosivité) :

L'indice de Larson permet de définir la tendance à la corrosion d'une eau, il est calculé par cette formule :

$$IC = \frac{2 \cdot [SO_4^{2-}] + [Cl^-]}{\text{Alcalinité(TAC)}} = \frac{2 \cdot [SO_4^{2-}] + [Cl^-]}{[HCO_3^-]}$$

IC: mol/l.

[SO₄²⁺]: mol/l

[Cl⁻]: mol/l

[HCO₃⁻]: mol/l

TAC: mol/l

Tableau III.19 : Classification de l'indice de Larson.

IC	IC<0,2	0,2≤IC<0,4	0,4≤IC<0,5	0,5≤IC<1,1	1,1≤IC
Tendances	Pas de tendance à la corrosion	Faible tendance à la corrosion	Légère tendance à la corrosion	Tendance moyenne à la corrosion	Nette tendance à la corrosion

Tableau III. 20 : Calculs de l'indice de corrosivité

N° de Forage	IC	N° de Forage	IC	N° de Forage	IC
F1	1,567	F14	1,373	F30	1,706
F2	1,559	F15	0,637	F31	1,651
F3	1,401	F16	2,119	F32	2,036
F4	1,728	F18	4,216	F34	1,406
F5	1,693	F19	2,550	F35	1,496
F6	1,203	F20	3,528	F36	1,242
F7	1,813	F22	3,183	F37	1,047
F9	1,227	F23	1,534	F38	0,972
F10	0,931	F24	2,191	F39	1,884
F11	0,664	F26	3,736	F40	7,253
F12	0,598	F27	3,490		
F13	0,597	F28	2,419		

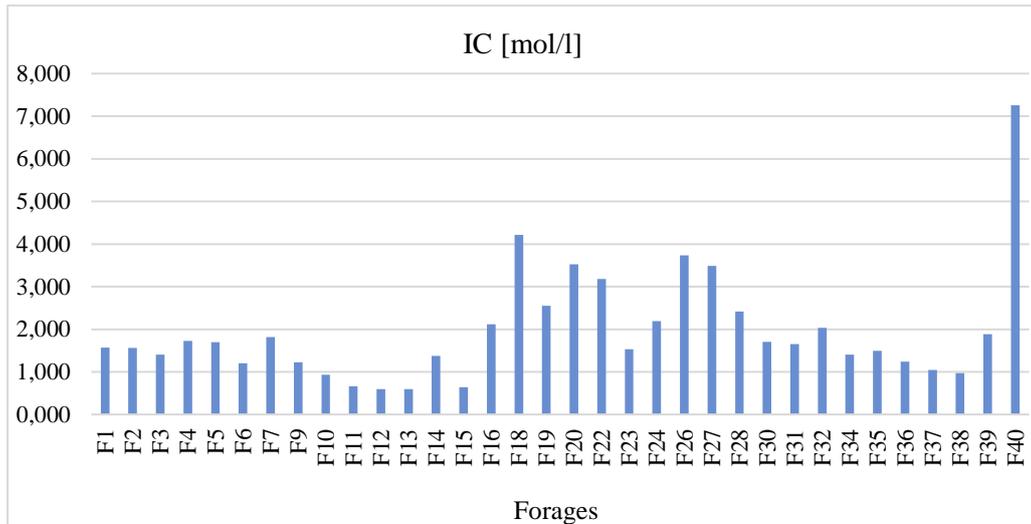


Figure III.11 : Variation de l'indice Larson.

Selon l'indice de Larson on a trouvé la majorité des eaux étudiées possèdent une nette tendance à la corrosion à l'exception de ces forages (F10, F11, F12, F13, F15, F37, F38) qui ont une moyenne tendance à la corrosion.

III.4.4. Logiciel Equil1F :

Logiciel Equil1F permet de calculer les indices d'équilibre calco-carbonique, tel que l'indice de Langelier, l'indice de Ryznar et l'indice de Larson. Le principe de fonctionnement de ce logiciel est basé sur l'insertion des données des différents paramètres tel que la température, pH, TAC, TH, conductivité, chlorures, sulfates. Après avoir obtenu des résultats, le logiciel Equil1F donne une classification de l'eau selon Ryznar.



Figure III.12 : interface de logiciel Equil1F

III.5. Classification des eaux :

La classification des eaux minérales basé sur une combinaison des propriétés géologiques, hydrochimique, et l’aspects thérapeutiques (A. Hazzab).

III.5.1. Salinité :

La salinité totale d’une eau correspond à la somme des Cations et des anions présents exprimée en mg/l.

$$\text{Salinité} = \sum \text{sels dissous minéraux et organiques (ions minéraux et non minéraux)}$$

Tableau III.21 : Valeurs de salinité

N° de forage	Salinité (ppm)						
F1	582,43	F11	582,58	F22	1253,64	F34	630,41
F2	590,99	F12	523,04	F23	601,10	F35	570,42
F3	639,34	F13	439,34	F24	699,91	F36	533,22
F4	617,93	F14	716,59	F26	988,71	F37	681,10
F5	659,86	F15	460,88	F27	730,71	F38	687,76
F6	306,50	F16	613,48	F28	864,76	F39	464,96
F7	304,19	F18	1290,64	F30	569,52	F40	1755,80
F9	782,69	F19	906,06	F31	565,48		
F10	469,57	F20	1080,93	F32	750,64		

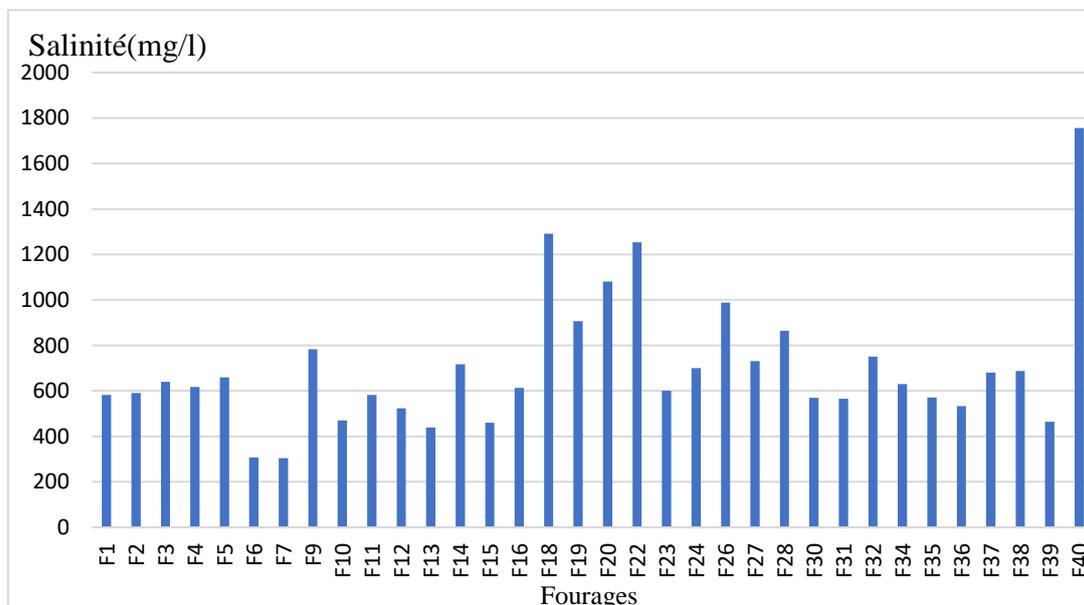


Figure III.13 : Variation de la salinité des eaux de forages étudiés

Les eaux de la région de Bouira présentent une salinité comprise entre 304.19 à 1755,8 mg/l

III.5.2. Total des solides dissous (TDS) :

Le TDS signifie total des solides dissous et représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau.

Les formules de calcul de la TDS max et TDS min présentent ci-dessous :

$$\text{TDS max (ppm)} = \sum C_i(\text{mg/l})$$

$$\text{TDS min (ppm)} = \sum C_i(\text{mg/l}) - 31. [\text{HCO}_3^-(\text{meq/l})]$$

Tableau III.22 : Valeurs de la TDS max et TDS min.

Fo- rage	TDS max mg/l	TDS min mg/l	Fo- rage	TDS max mg/l	TDS min mg/l
F1	582,43	465,35	F20	1080,93	907,09
F2	590,99	471,19	F22	1253,64	1055,37
F3	639,34	500,19	F23	601,10	466,61
F4	617,93	491,77	F24	699,91	571,25
F5	659,86	534,28	F26	988,71	872,15
F6	306,50	237,91	F27	730,71	648,39
F7	304,19	247,58	F28	864,76	711,11
F9	782,69	619,51	F30	569,52	446,09
F10	469,57	342,86	F31	565,48	445,26
F11	582,58	415,42	F32	750,64	606,29
F12	523,04	368,41	F34	630,41	497,79
F13	439,34	310,79	F35	570,42	444,33
F14	716,59	565,58	F36	533,22	406,39
F15	460,88	328,65	F37	681,10	539,93
F16	613,48	505,97	F38	687,76	534,76
F18	1290,64	1121,31	F39	464,96	368,40
F19	906,06	727,01	F40	1755,80	1585,35

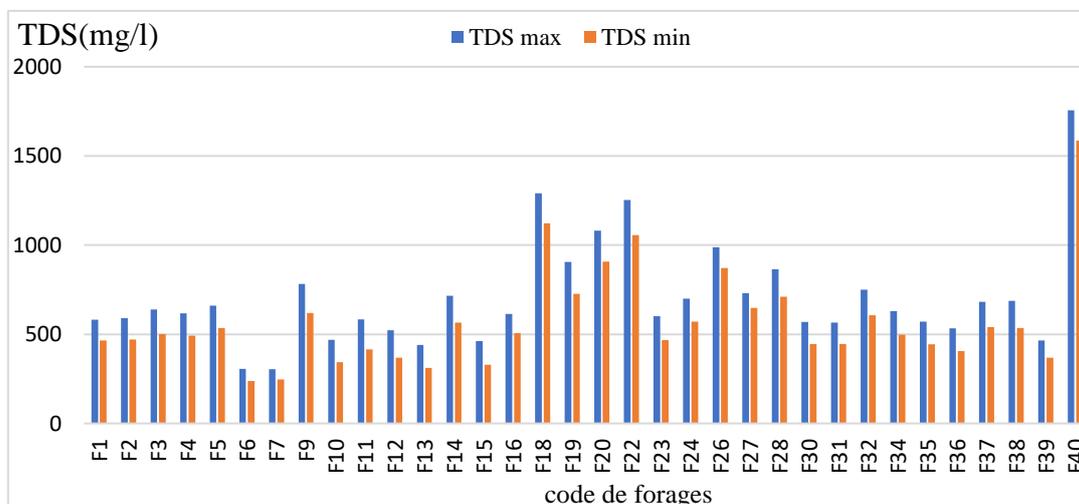


Figure III.14 : Variation de la TDS max et TDS min.

Les méthodes choisies pour la classification des eaux sont :

III.5.3. Conductivité :

La conductivité électrique de l'eau représente sa capacité à laisser les charges électriques se déplacer librement. Cette caractéristique dépend de la quantité d'ions présents en solution, donc de degré de minéralisation globale de l'eau.

La formule pour calculer la Conductivité en fonction de l'activité ionique :

$$\sigma_t(\mu\text{S/cm}) = 100 \cdot (\sum \text{Activité ionique des cations}(\text{még/l}) + \sum \text{Activité des anions}(\text{még/l})) / 2$$

$$\sigma_t = \frac{\sigma_{25^\circ\text{C}}}{1 + 0.023 \cdot (25 - t)}$$

$$\sigma_{25^\circ\text{C}} = \sigma_t * [1 + 0.023 \cdot (25 - t)]$$

σ_t ($\mu\text{S/cm}$) : conductivité électrique a la température t.

σ_{25° ($\mu\text{S/cm}$) : conductivité électrique a la température 25 °C.

t : température.

Tableau III.23 : Classification des eaux en fonction de la conductivité.

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) à 25 °C	Degré de minéralisation
< 450	Très faible
450 – 750	Faible
750 – 1500	Moyen
1500 – 2300	Moyennement élevé
2300 – 3000	Élevé
> 3000	Très élevé

Tableau III.24 : Valeurs de la conductivité.

Forage	Conductivité théorique par l'activité ionique 25°C (μS/cm)	Conversion de la conductivité mesurée à 25°C	Forage	Conductivité théorique par l'activité ionique 25°C (μS/cm)	Conversion de la conductivité mesurée à 25°C
F1	736,98	984,404	F20	1731,38	1417,044
F2	969,72	891,48	F22	2110,56	1692,164
F3	1100,52	929,05	F23	1028,78	797,592
F4	1019,93	895,272	F24	1124,35	997,678
F5	1118,15	1029,192	F26	1661,81	1498,416
F6	470,02	795,928	F27	1253,01	1097,376
F7	480,56	787,52	F28	1466,40	1244,1
F9	1356,88	1144,72	F30	939,33	870,534
F10	729,39	672,966	F31	966,84	830,664
F11	948,34	911,52	F32	1211,99	829,01
F12	835,74	817,627	F34	1128,96	1024,236
F13	683,21	719,06	F35	1000,44	784,992
F14	1194,23	1292,6	F36	903,72	748,68
F15	702,47	723,45	F37	1082,89	922,832
F16	998,44	1088,24	F38	1153,82	960,332
F18	2145,81	1771,032	F39	668,17	661,227
F19	1369,88	1137,6	F40	2595,95	2434,52

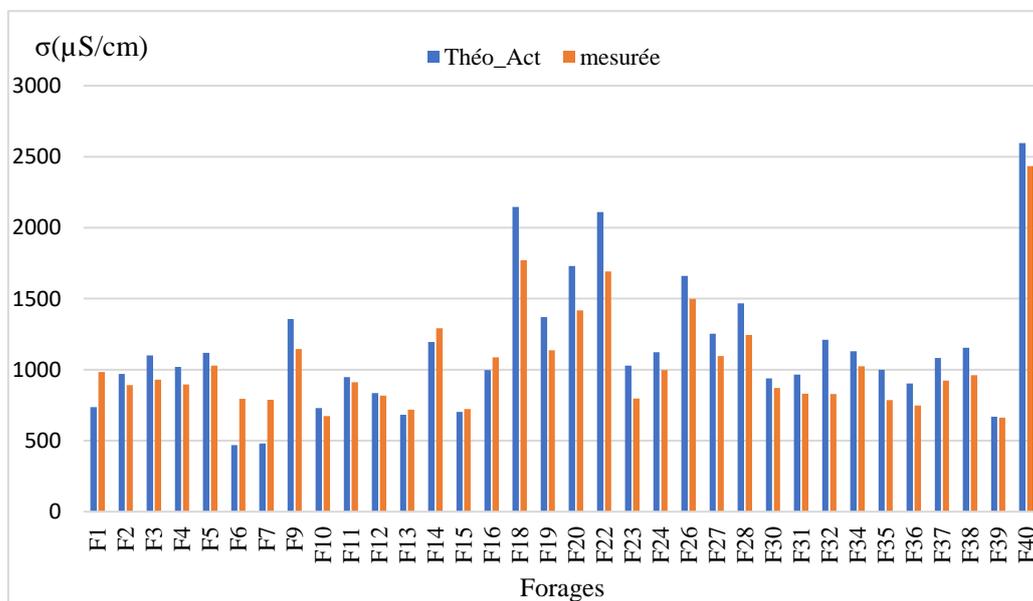


Figure III.15 : Variation de la conductivité mesurée(25C°) et calculée (25 C°) de forages.

La variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium (Ca²⁺), de sodium (Na⁺), de chlorures (Cl⁻), des

bicarbonates (HCO_3^-) ...etc. (Rodier et al. 2009). Généralement, la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température (Dib, 2009).

Les résultats de calculs de la conductivité des eaux étudiées varient entre la valeur maximale 2595,95 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la valeur minimale 470,02 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la comparaison entre la conductivité mesurée et la conductivité calculée montre qu'il y a une différence entre eux c'est-à-dire les valeurs de mesure ne sont pas précises, la classification des eaux en fonction de la conductivité implique que la majorité des forages ont une minéralité moyenne, à l'exception de (F1, F6, F7, F10, F13, F15, F39), qui ont une minéralité faible, par contre les forages (F18, F20, F22, F26), possèdent une minéralité moyennement élevée et F40 a une minéralité élevée cela due à la présence élevée ou moyenne des minéraux dans ces forages, la conversion de la conductivité à (20°C) montre que tous les forages sont conformes à la norme Algérienne qui est à l'ordre de 2800 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) excepté l'eau de forage le (F40 ; 2884 $\mu\text{S}/\text{cm}$) qui dépasse la norme .

III.5.4. Selon les normes européennes :

La classification des eaux selon les normes européennes tient compte de la teneur des constituants ionique (calcium [Ca^{2+}], magnésium [Mg^{2+}], chlorure [Cl^-], sulfate [SO_4^{4-}] ...)

Le tableau ci-dessous représente la classification des eaux selon les normes européennes :

Tableau III.25 : Classification des eaux.

Caractéristique	Teneur (mg/l)
Faiblement minéralisée	TDS \leq 500
Très faiblement minéralisée	TDS \leq 50
Riche en sels minéraux	TDS $>$ 1500
Bicarbonatée	[HCO_3] $>$ 600
Sulfatée	[SO_4] $>$ 200
Chlorurée	[Cl] $>$ 200
Calcique	[Ca] $>$ 150
Magnésienne	[Mg] $>$ 50
Fluorée ou contient du fluore	[F] $>$ 1
Ferrugineuse ou contient du fer	[Fe bivalent] $>$ 1
Acidulée	[CO_2 libre] $>$ 250
Sodique	[Na] $>$ 200
Convient pour régime pauvre en sodium	[Na] $<$ 20
Ne convient pas pour l'alimentation des bébés et la consommation régulière des jeunes enfants [réglementation Algérienne : Arrêté interministériel du 23 Février 2008]	[F] $>$ 1,5
Selon cette réglementation ; TDS : teneur en sels minéraux, calculée comme résidu fixe	

les résultats obtenus révèlent que :

- ❖ Les eaux de ces forages (F6, F7, F10, F13, F15, F39) ont un caractère faiblement minéralisé, puis il y a que le forage F40 qui a une eau riche en sels minéraux (Tableau III.28).
- ❖ Toutes les valeurs de $[\text{HCO}_3^-]$ ne dépassent pas 600 mg/l, on conclut que toutes les eaux de forages étudiées ne sont pas bicarbonatées. (Tableau I.6)
- ❖ Les forages (F18, F19, F20, F22, F40) caractérisés d'une eau sulfatée.
- ❖ On a trouvé que deux forages (F18 ; 225,44 mg/l), (F26 ; 214,3 mg/l) leur eau est chlorurée.
- ❖ Il y a que trois forages (F18 ; 167.89 mg/l), (F26 ; 176,03 mg/l), (F40 ; 203,26 mg/l) qui ont une eau calcique.
- ❖ Les forages (F14, F18, F19, F20, F22, F28, F40) ont une eau magnésienne.
- ❖ Les eaux de ces forages (F11, F12, F19) ont une eau pauvre en sodium.

III.5.5. Selon Voronov 2000 :

La classification selon Voronov basé sur la concentration en total des solides dessous (TDS) qui correspond à la valeur des résidu sec (A. Hazzab), :

Tableau III.26 : Classification des eaux selon Voronov.

Eaux faiblement minéralisées	Résidu sec ≤ 50 mg/l
Eaux oligo-minérales	50 mg/l < Résidu sec ≤ 500 mg/l
Eaux modérément minéralisées	500mg/l < Résidu sec ≤ 1500 mg/l
Eaux riches en sels minéraux	Résidu sec > 1500 mg/l

D'après les résultats obtenus (Tableau III.22) :

On constate que les forages (F6, F7, F10, F13, F15, F39) ont une eau Oligo-minérale et le forage F40 est le seul qui a une eau riche en sels minéraux, par contre tout le reste de forages caractérisent d'une eau modérément minéralisée.

Enfin on conclut que la majorité des eaux étudiées sont modérément minéralisées à l'exception de ces forages (F6, F7, F10, F13, F15, F39) qui ont une eau faiblement minéralisée et que l'eau de forages F18 et F40 jouent de propriétés diversifiées où on trouve l'eau de F18 est à la fois sulfatée, calcique, magnésienne et chlorurée, et l'eau de F40 aussi sulfatée, calcique et magnésienne à la fois, on note aucune eau est bicarbonaté.

III.6. Vérification aux normes Algériennes :

Afin de définir régulièrement une eau potable, des normes qui ont été établies, fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nuisibles

et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne désigne donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (Alouane, 2012).

Globalement, les qualités de l'eau de boisson doivent 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 (Bouziari, 2000).

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

Tableau III.27 : Normes de paramètres physico-chimiques des eaux (JORA, 2011).

Paramètres	Unités	Valeurs indicative
Alcalinité (TAC)	mg/l en CaCO ₃	500
Dureté	°F	50
Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
Résidu sec	mg/l	1500
Ph	Unité Ph	≥6,5 et ≤9
Température	°C	25
Turbidité	NTU	5
Calcium	mg/l	80
Magnésium	mg/l	150
Chlorures	mg/l	500
Sodium	mg/l	200
Bicarbonates	mg/l	600
Sulfates	mg/l	400
Potassium	mg/l	12
Nitrates	mg/l	50

III.6.1. Température (T) :

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et par conséquent sur la conductibilité d'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques (Dib, 2009) et par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Rodier et al., 2005).

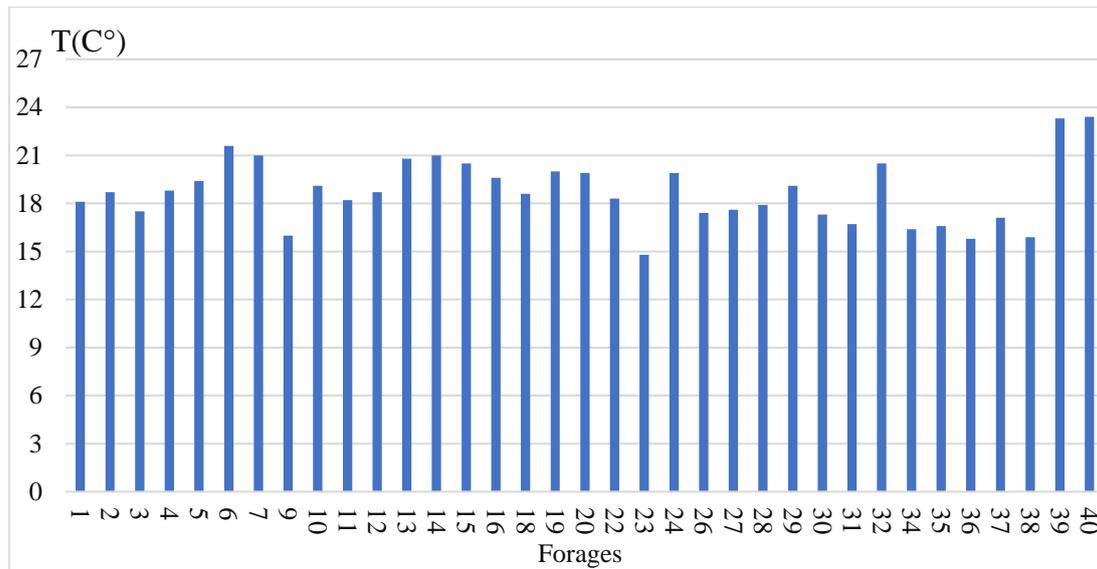


Figure III.16 : Variation de la température dans les eaux de forages étudiés.

Dans la région d'étude, les résultats obtenus montrent que les degrés de la température varient entre 14.8°C et 23°C, ceci est due au changement climatique. Ces valeurs obtenues conformément à la norme algérienne recommandée qui est inférieure à 25 °C (JORA, 2011).

III.6.2. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une l'eau. Les législations algériennes et européennes précisent comme niveau guide du pH est de 6,5 à 9.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 si :

- Ph > 7 : l'eau est basique.
- Ph < 7 : l'eau est acide.
- Ph = 7 : l'eau est neutre.

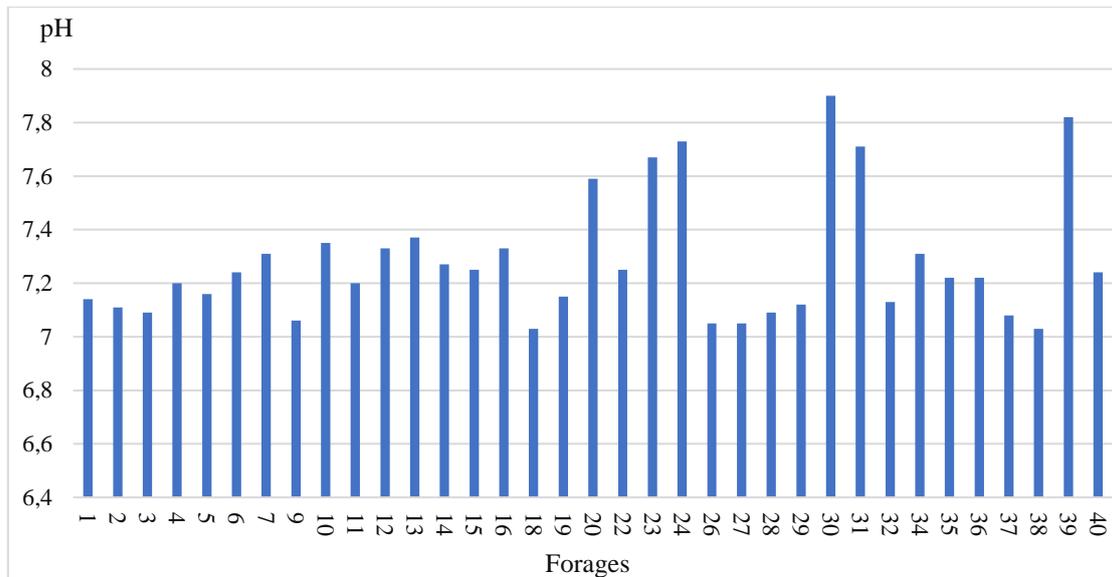


Figure III.17 : Variation de pH des eaux de forages étudiés.

Dans notre secteur d'étude, les valeurs du pH enregistrées varient entre la valeur minimale 7.03 et la valeur maximale 7.9, ce qui reflète un caractère basique. Ces valeurs sont situées dans la fourchette des normes de potabilité ($6,5 < \text{pH} < 9$), ça nous fait savoir que toutes les valeurs sont conformées à la norme Algérienne.

III.6.3. Turbidité :

La turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu). Les normes algériennes (JORA, 2011), recommandent comme valeur limite de turbidité : 5 NTU.

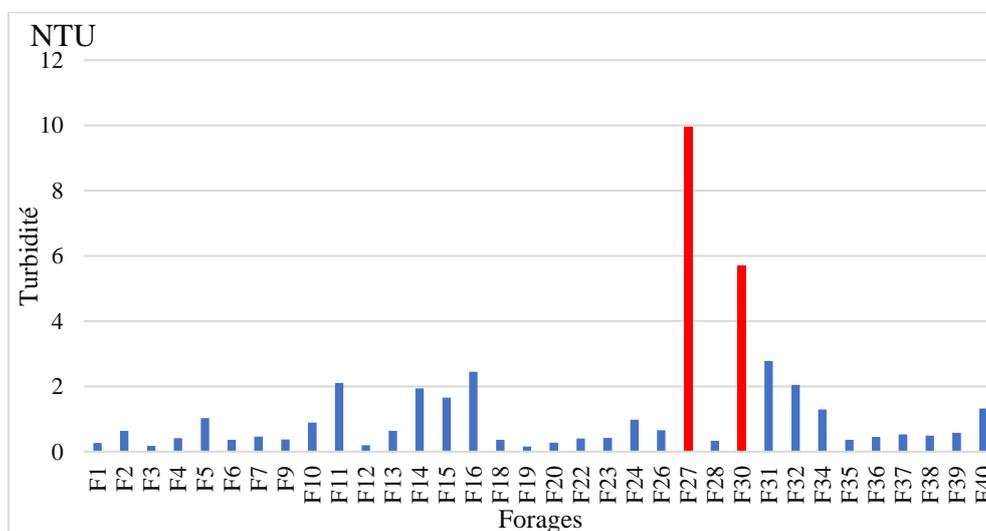


Figure III.18 : Variation de la turbidité des eaux de forages étudiés.

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 0.16 NTU et la valeur maximale 9.94 NTU, les eaux de forages étudiés ont une turbidité conforme à la norme Algérienne à l'exception de ces forages (F27 ; 9.94 NTU) et F30 ; 9.69 NTU).

III.6.4. Calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium est l'un des principaux cations associés à la dureté de l'eau potable. C'est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

Le calcium peut provenir de deux origines naturelles différentes qui sont :

La dissolution des formations carbonatées et la dissolution des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$).

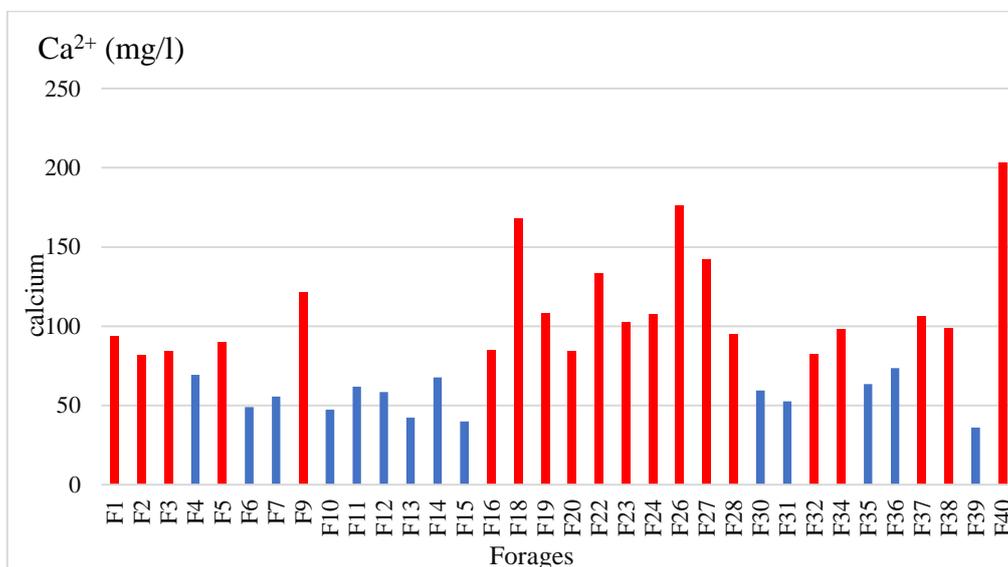


Figure III.19 : Variation de la teneur en calcium des eaux de forages étudiés

La variation de la teneur en calcium dans les eaux de forages étudiées elle est entre la valeur minimale 36,01 mg/l, enregistrée au forage F39, et la valeur maximale 203,26 mg/l, enregistrée au forage F25, selon la norme Algérienne des eaux potable qui est à l'ordre de 80 mg/l il y a 14 forages (F4, F6, F7, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F30, F31, F35, F36, F39) sont conformes à la norme le reste de forages ne sont pas conformes.

III.6.5. Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre, il constitue un élément significatif de dureté de l'eau.

Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

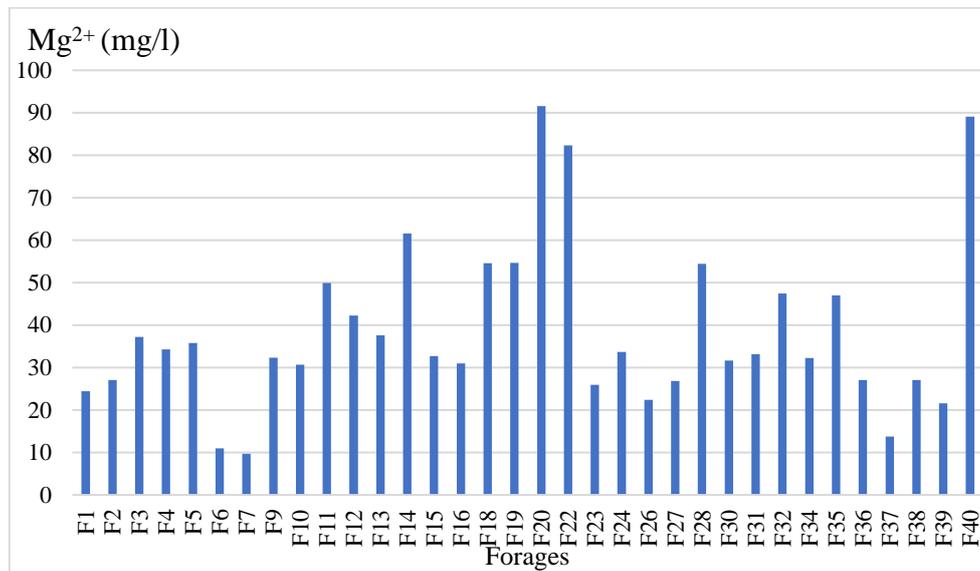


Figure III.20 : Variation de la teneur en magnésium des eaux de forages étudiés.

La teneur du magnésium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 9,67 mg/l qui est enregistrée au forage F7 et la valeur maximale 91,57 mg/l qui est enregistrée au forage F20. Toutes les valeurs sont conformes aux normes Algériennes (150 mg/l).

III.6.6. Chlorures (Cl⁻) :

Les chlorures sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables, La présence de chlorures dans les eaux est due, le plus souvent, à la nature des terrains traversés. Peut être due aussi aux rejets des égouts, et Infiltration d'eaux marines dans les nappes

Phréatiques. Une présence excessive des chlorures dans l'eau d'alimentation, la rend corrosive et nocive pour la santé.

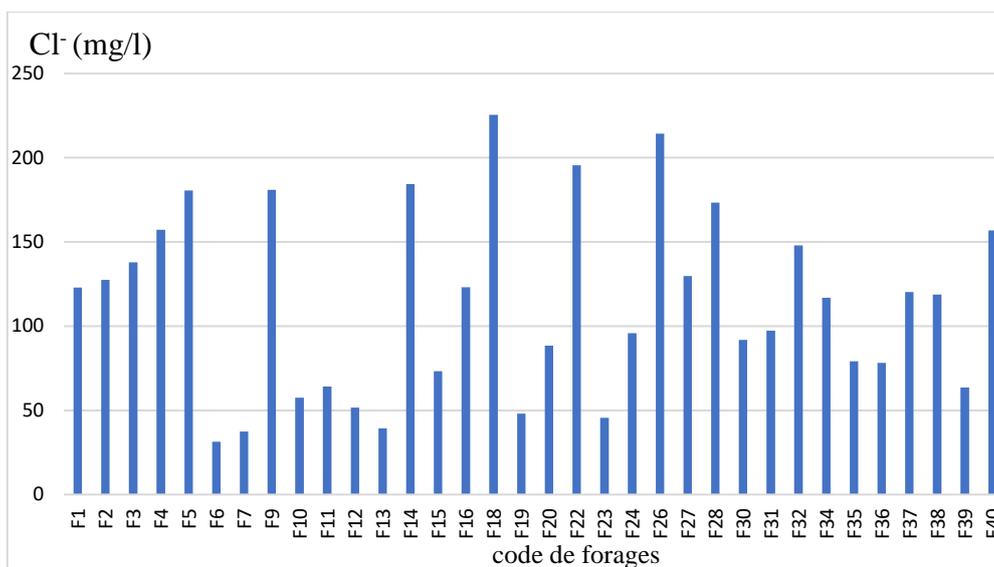


Figure III.21 : Variation de la teneur en chlorure des eaux de forages étudiés.

La teneur des chlorures des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 31,38 mg/l qui est enregistrée au forage F6 et la valeur maximale 225,44 mg/l qui est enregistrée au forage F18, toutes les eaux de forages étudiées sont conformes à la normes Algérienne de l'eau potable qui est à l'ordre de 500 mg/l.

III.6.7. Sodium (Na⁺) :

Le sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie 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).

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

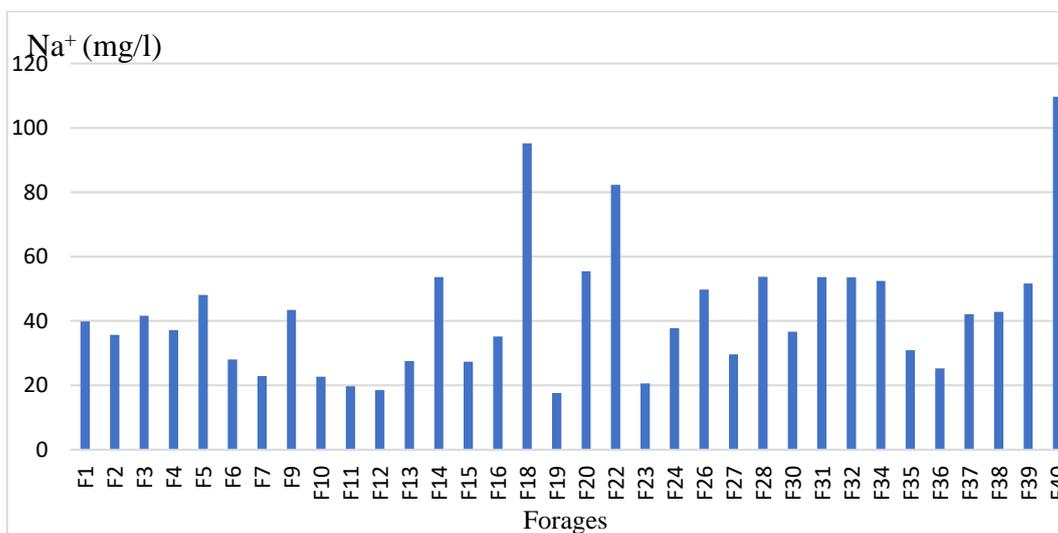


Figure III.22 : Variation de la teneur en sodium des eaux de forages étudiés.

La teneur de sodium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 17,60 mg/l qui est enregistrée au forage F19 et la valeur maximale 109,69 mg/l qui est enregistrée au forage F40, toutes les eaux étudiées sont conformes à la normes Algériennes qui est à l'ordre de 200 mg/l.

III.6.8. Potassium(K^+) :

Le potassium résulte de l'altération des certaines argiles et de la dissolution des engrais chimiques

(NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques, et sa teneur naturelle ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l.

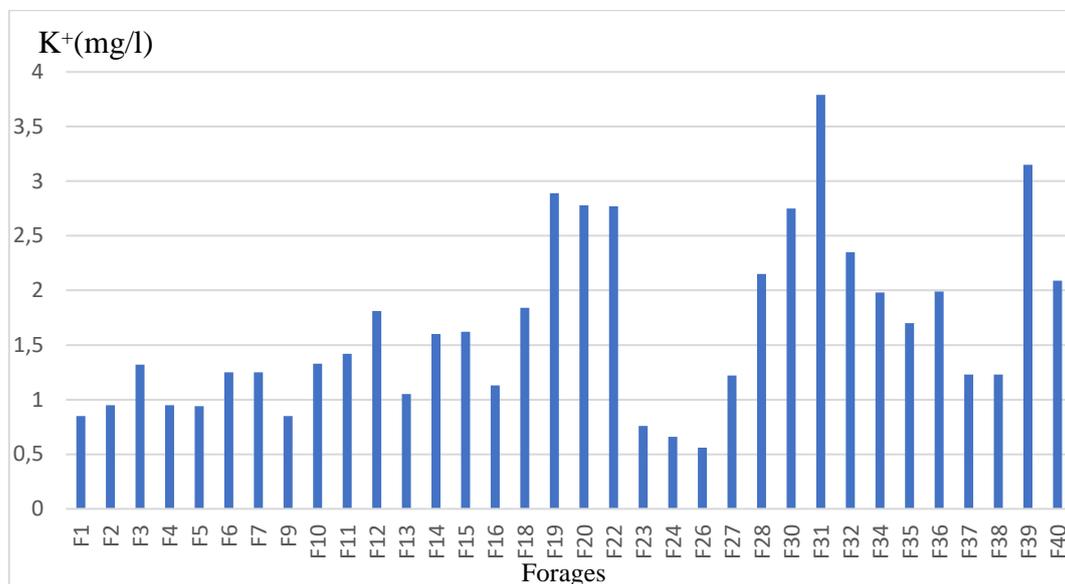


Figure III. 23 : Variation de la teneur en potassium des eaux de forages étudiés.

La teneur de sodium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 0.56 mg/l qui est enregistrée au forage F26 et la valeur maximale 3,79 mg/l qui est enregistrée au forage F31. selon la norme Algérienne de l'eau potable on a trouvé les eaux de forages qu'on a étudiées sont conformes.

III.6.9. Sulfate (SO_4^{2-}) :

Les sulfates qui se dissout dans l'eau provient de certains minéraux en particulier du gypse ou apparait à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux (Beriere, 2000). Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut entrainer des troubles intestinaux. Les concentrations admissibles sont de l'ordre de 400 mg/l (Bouziani, 2000).

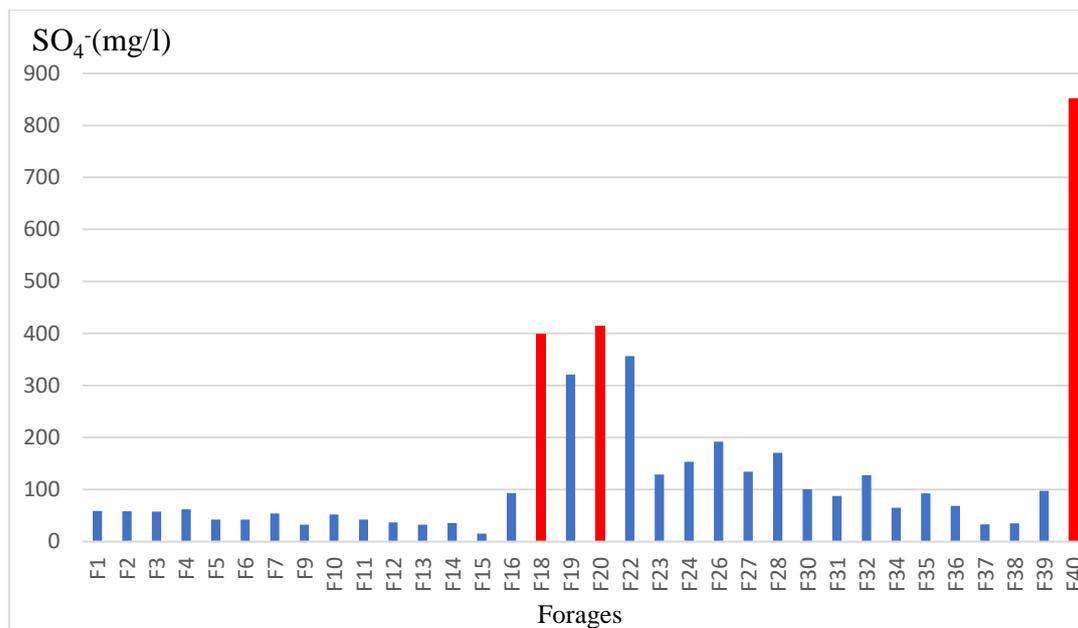


Figure III.24 : Variation de la teneur en sulfate des eaux de forages étudiés.

La teneur en sulfate dans les eaux de forages étudiées varie entre la minimale 15,61 mg/l qui est enregistrée au forage F15, et la maximale 851,40 mg/l qui est enregistrée au forage F40, toutes ces valeurs sont conformes à la norme algérienne recommandée qui est de 400 mg/l, à l'exception de ces forages (F18, F20, F40).

III.6.10. Bicarbonates (HCO₃⁻) :

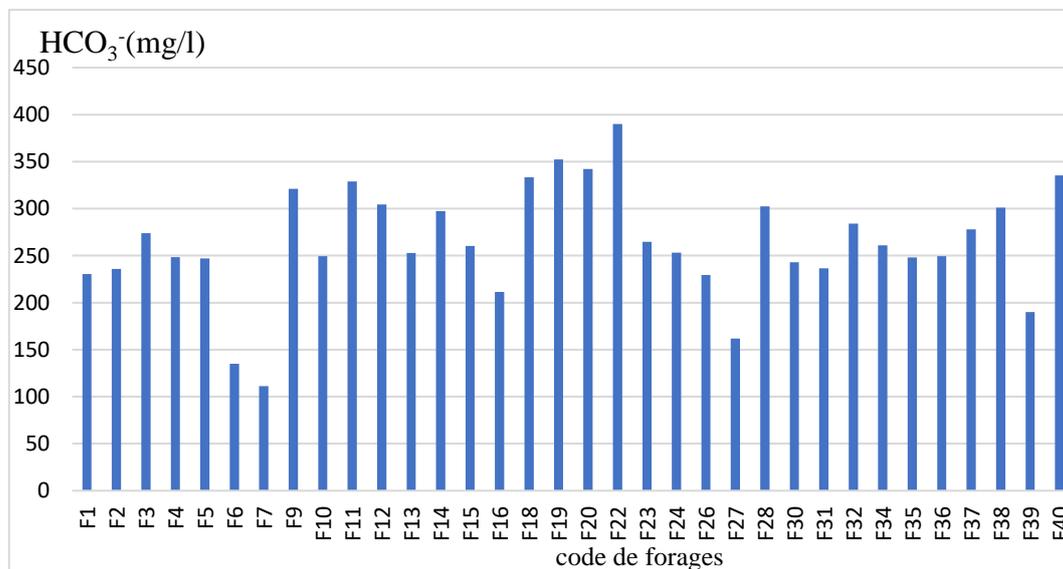


Figure III.25 : Variation de la teneur en bicarbonate des eaux de forages étudiées.

La teneur en bicarbonate dans les eaux de forages étudiées varie entre la valeur minimale 111,41 mg/l qui est enregistrée au forage F7, et la valeur maximale 390,20 mg/l qui est

enregistrée au forage F22, toutes les valeurs sont conformes à la norme Algérienne qui est à l'ordre de 600 mg/l.

III.6.11. Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates résultent de l'oxydation de l'azote organique et sont donc présents à l'état naturel dans les sols et dans les eaux. L'augmentation du taux de nitrates dans les eaux superficielles et souterraines est due pour une large part à l'enrichissement des sols par des engrais chimiques ou organiques, ainsi qu'aux rejets d'eaux usées ou mal traitées dans les cours d'eau.

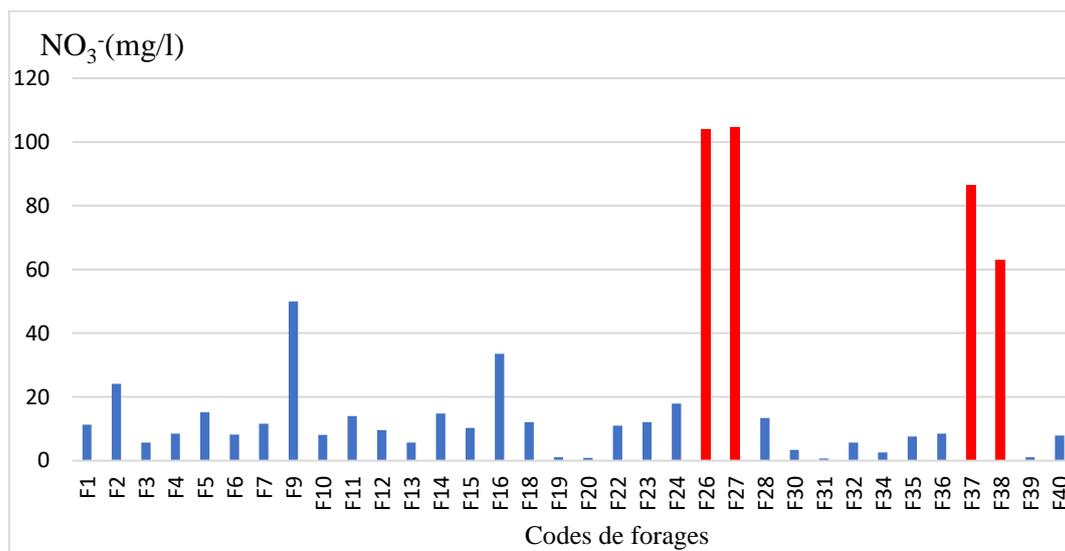


Figure III.26 : Variation de la teneur en nitrates des eaux de forages étudiés.

Les teneurs des nitrates obtenues varient entre la valeur minimale 0,70 mg/l enregistrée au forage F31 et la valeur maximale 104,70 mg/l enregistrée au forage F27, toutes les eaux de forages étudiées sont conformes à la norme algérienne qui est à l'ordre de 50 mg/l à l'exception de ces forages (F26, 27, F37, F38).

III.7. Etudes de l'aptitude des eaux à l'irrigation :

L'agriculture durable passe par le maintien de la qualité du sol et de l'eau. Notre région d'étude étant à vocation agricole, l'eau destinée à l'irrigation doit présenter des caractéristiques physico-chimiques et chimiques tolérables par les plantes. Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela, nous allons utiliser plusieurs méthodes à l'aide de logiciel Diagrammes à fins de les classer.

III.7.1. Logiciel Diagrammes :

Logiciel d'hydrochimie qui sert à calculer plusieurs paramètres (TDS, la balance ionique, dureté, pHs, la conductivité. ... etc.) à partir de l'insertion des différents éléments physicochimiques comme les ions majeurs analysés (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), température et pH, il donne aussi des statistiques (fréquences, matrice de corrélation) et Il transfère la simulation de neutralisation vers PHREEQ d'une partie ou de l'ensemble des données avec récupération des résultats. Il permet aussi de présenter des différents résultats dans plusieurs diagrammes (Piper, Stiff, Schoeller-Berkalov, Korjinski, Riverside et Wilcox, Stabler, ternaire).

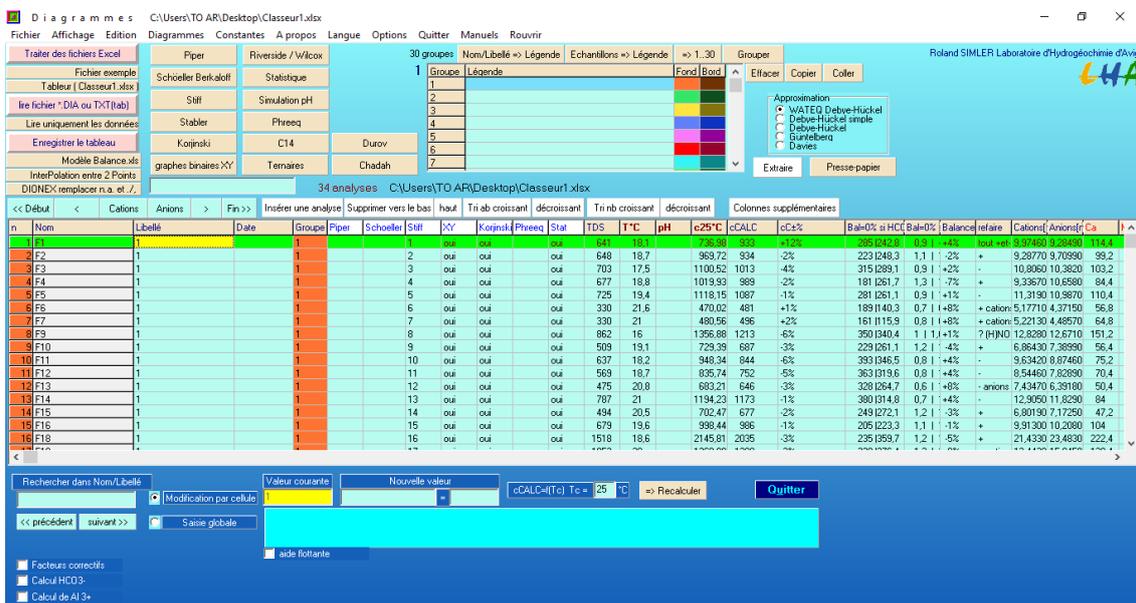


Figure III.27 : Interface de logiciel diagrammes.

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR, Na%) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif était de représenter les échantillons sur le diagramme de, Riverside et Wilcox afin de faciliter la caractérisation des eaux profondes sur leur aptitude à l'irrigation,

III.7.2. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de Riverside :

Le risque de l'alcalinisation des sols par suite d'échanges ioniques, concernant surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol. De fortes teneurs en sodium modifient la structure des sols et leur perméabilité. On a utilisé le diagramme de Riverside qui permet de faire une classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation. Il travaille avec la conductivité électrique à 25° C et la relation d'absorption du Sodium (S.A.R), ce dernier est évalué par la formule ci-dessous :

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

Avec Na, Ca et Mg en meq/l

La projection des différentes valeurs de SAR en fonction de la conductivité sur le diagramme de Riverside, a donné les classes suivantes :

C3S1 : Eaux admissible à l'irrigation, généralement, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée, c'est le cas de la majorité des forages d'eau à 76,45%, on compte 26 forages qui sont (F2, F3, F4, F5, F9, F11, F12, F14, F16, F18, F19 F20, F22, F23, F24, F26, F27, F28, F30, F31, F32, F34, F35, F36, F37, F38).

C2S1 : Eaux bonne a l'irrigation, en général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes aux sels, C'est la caractéristique de ces forages (F1, F6, F7, F10, F13, F15, F39).

C4S1 : Elle représente les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés. Le point F40 est l'unique point appartenant à cette classe.

L'eau des forages étudiés présentent en général les mêmes qualités pour l'irrigation, ils ont une salinité peu variable caractérisée par la classe C3, nous pouvons considérer celle-ci comme étant une alerte d'accumulation des sels dans le sol donc un suivi régulier de la salinité est nécessaire.

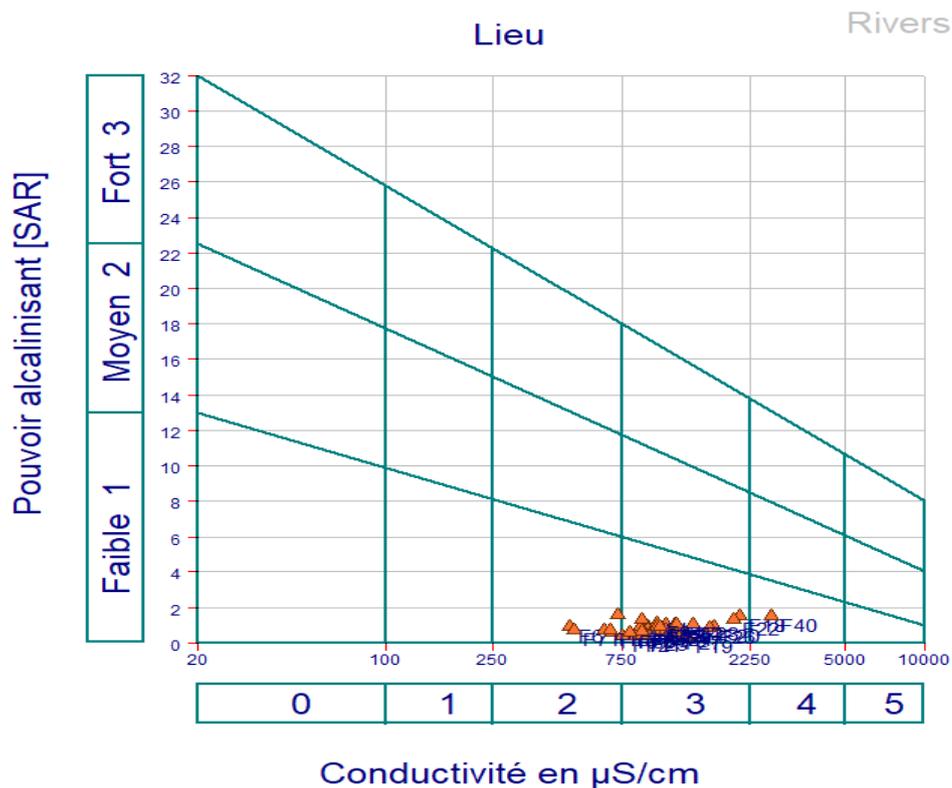


Figure III.28 : Aptitude des eaux à l’irrigation (Riverside).

III.7.3. Classification des eaux selon WILCOX (1948) :

Le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium, c’est pourquoi on utilise une classification basée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l’eau, qui est définie par la relation suivante :

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

Les éléments sont exprimés en (még/l).

Tableau III.28 : Classification des eaux d’irrigation selon Wilcox (1948).

Classes	Pourcentage %	Forages
Excellente	20,58 %	(F1 F6 F7 F10 F13 F15 F39)
Bonne	70,58%	(F2 F3 F4 F5 F9 F11 F12 F14 F16 F19 F20 F23 F24 F26 F27 F28 F30 F31 F32 F34 F35 F36 F37 F38).
Admissible	00	/
Médiocre	8,8 %	(F18 F22 F40)
Mauvaise	00	/

Selon Wilcox on constate que 70,58% des forages ont une eau représente un caractère bon pour l’irrigation, 20,58 % Excellente et 8,8 % médiocre à l’irrigation par contre on a noté aucune

eau de ces forages admissible ou mauvaise. On conclut que la majorité des forages sont apte à une l'irrigation.

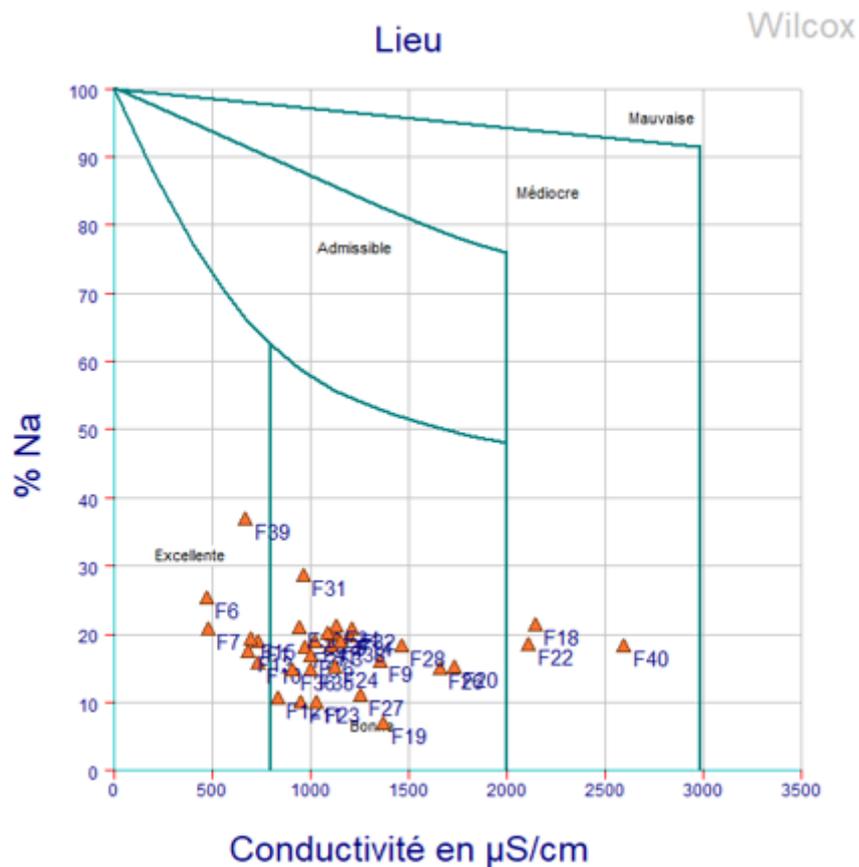


Tableau III.29 : Classification des eaux (Selon la méthode de Wilcox (1948)).

D'après la classification de Riverside et Wilcox on conclut que les eaux de la région étudiées ne représentent aucun danger pour l'irrigation, mais il y a que quatre forages (F18, F22, F40) doivent être contrôlés.

Conclusion :

Ce chapitre est basé sur les calculs et l'interprétation des résultats.

La partie vérification de la fiabilité des données implique l'élimination des six forages à cause de leur balance ionique qui est supérieure à 10 %

Le calcul des titres d'eau montre que les eaux de forages analysées de la région de Bouira ne sont pas totalement dures, il y a un nombre de forages sont douce.

L'étude de l'équilibre carbonique de l'eau montre selon l'indice de Langelier il y a presque la moitié des eaux analysées sont agressive ça compte à 15 forages et 19 forages leur eaux sont incrustantes, selon l'indice de Ryznar la majorité des eaux analysées sont moyennement agressives a l'exception de neuf forages leur eaux sont stables, pour l'indice de Larson les

résultats révèlent que la majorité des eaux analysées ont une nette tendance à la corrosion par contre les sept forages qui restent ont une moyenne tendance à la corrosion.

La classification de l'eau montre que la majorité des eaux de forages analysées sont modérément minéralisées à l'exception de six forages leur minéralité est faible par contre le forage F40 est riche en sels minéraux.

L'aptitude des eaux à l'irrigation montre que la majorité des eaux analysées sont acceptable pour l'utilisation à l'irrigation mais l'évolution de la salinité doit être contrôlée, à l'exception des eaux de ces forages (F18, F22, F40) qui sont médiocres, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés.

Conclusion générale

Aux termes de notre travail, nous avons défini les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la région de Bouira, les différents chapitres de notre étude ont fait l'objet de conclusions partielles, aussi, résumons-nous brièvement les résultats obtenus.

La région de Bouira précisément le bassin versant Sahel, soumise à un climat semi-aride, chaud, sec en été et froid en hiver, dont la température moyenne annuelle est à l'ordre de 17,5 °C, avec des précipitations moyennes annuelles de 403,26 mm. Le réseau hydrographique du bassin est représenté par trois oueds principaux, oued el Ed Dous, oued Zaiane et oued Sahel dont le système de drainage ce dirige vers l'est.

La géologie révèle que le plateau d'El Asnam est une dépression remplie par des sédiments alluvionnaires d'âge Miocène qui sont discordant sur un ensemble antérieur. Et sa lithostratigraphique montre que le plateau est principalement constitué d'alluvions anciennes et récentes reposant anormalement sur des formations Miocène continentales, se caractérise de différents niveaux aquifères où il y a deux aquifères inter-communicant, La différenciation entre les alluvions et la formation miocène ne s'effectue pas facilement, les deux formations sont considérées comme représentatives d'un aquifère unique.

Le plateau d'El Asnam abrite une nappe d'eau importante alluviale dont sa profondeur variée entre 1.5m à 31m, exploitée pour les besoins en eau potable des principales agglomérations de la zone Bouira, l'étude piézométrique du plateau montre que l'écoulement suit la direction West-Est.

Sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, dans notre travail on s'est intéressé sur toute la région de Bouira. À l'aide des données d'analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la région qui sont prélevées dans plusieurs forages et après avoir vérifié leur fiabilité, on a fait des calculs qui montrent :

Les eaux souterraines de la région de Bouira ne sont pas totalement dures, il y a des forages dont leurs eaux sont douces, et dans l'aspect de l'agressivité et l'entartrage on trouve la majorité des eaux sont moyennement agressives. La majorité des eaux souterraines de la région sont moyennement minéralisés, nous pouvons dire que la majorité des eaux souterraines de la région de Bouira sont potables, car ils sont conformes aux norme Algériennes de potabilité, mais il y a certains forages (F18, F20, F22, F26, F40) leurs eaux ont un caractère en commun ou on les trouve dures et en même temps ont une minéralité élevée, pour les nitrates il y a quatre forages (F26, F27, F37, F38) ne sont pas conformes aux normes Algériennes, alors ils doivent être contrôlés et les traités avant de les utilisés pour la consommation,

Sur le plan de l'irrigation, à l'aide de logiciel diagrammes on a réalisé deux diagrammes (Riverside et Wilcox) qui peuvent déterminer l'aptitudes des eaux a l'irrigation, les résultats obtenus montrent que la majorité des eaux analysées sont acceptable pour l'utilisation à l'irrigation mais l'évolution de la salinité doit être contrôlée, à l'exception des eaux de ces forages (F18, F22, F40) qui sont médiocres, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés

Références bibliographiques

- [1] **CHELLI Lynda et DJOUHRI Nabila**, « Analyses des eaux de réseau de la ville de Bejaïa Et évaluation de leur pouvoir entartrant » mémoire master université de Bejaia 2013.
- [2] **Site internet**, « <http://www.septiemecontinent.com> » consulté 6/2019.
- [3] **R. BOUCHENEB**, « cours économie de l'eau » 2018.
- [4] **BADJADJ Nesrine**, « analyse de système de production D'eau potable ainsi que sa gestion et son exploitation au niveau de la wilaya de Bejaia » Mémoire master, Université de Bejaia 2017.
- [5] **Kettab Ahmed, Mitiche Ratiba et Bennaçar Naoual** « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies » Revue des sciences de l'eau v21 (2) : 247-256. Page 250.
- [6] **Musy. A**, « cours d'hydrologie générale, ISTE/HYDRAM », 2005
- [7] **DEGREMONT**, « Mémento technique de l'eau », livre PDF page 21-32
- [8] **François. R**, « Cours d'hydrogéologie », UJF-Grénoble, France, 2002, p.4
- [9] **AYAD Wissam**, « évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el Harrouch (wilaya de Skikda) » Thèse de Doctorat université de Annaba 2017.
- [10] **HAMED Mahmoud GUETTACHE Akram BOUAMER Lemya**, « Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar » mémoire De Fin D'Etude, université de Bechar 2012.
- [11] **JEAN RODIER**, « L'analyse de l'eau » Livre 9^{ème} édition.
- [12] **Réffa**, « Analyse physico-chimique » pdf.
- [13] **Site internet**, «<https://www.aquaportail.com/definition-5090-activite-ionique.html> » consulté 07/2019.
- [14] **Site internet**, « <http://www.hydro-land.com/e/doc/local/LSI.html> » consulté 07/2019.
- [15] **Site internet**, « <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-salinite-4406/> » consulté 08/2019.
- [16] **ZAIZ Issam**, « Etude qualitative des eaux de la nappe du complexe terminal de la vallée Oued-Souf sud Algérie » Mémoire de Master. Université de Ouargla 2015.
- [17] **GAAGAI A**, « Étude Hydrologique et Hydrochimique du bassin versant du barrage de BABAR sur Oued el ARAB région Est de l'Algérie ». Thèse Magister en Hydraulique 2009.

[18] **LIFERKI Mohammed** « Etude des propriétés physico-chimiques et Bactériologiques de l'eau du barrage Sidi M'hamed Ben Taiba » Mémoire master université Khemis Miliana 2016

[19] **M.Tardat-Henry** « Chimie des eaux » 1ere édition griffon d'argile INC ,paris.(1984).

[20] **FRIOUA Salim**, « Localisation et caractérisation des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide du SIG » mémoire Master, Université Mohamed Khider – Biskra 2014.

[21] **ZERDANE Douniazad**, « Etude Hydrologique et hydrogéologique de la région de Bouira » Mémoire magister, Université de Houari Boumadienne 2013.

[22] **Demdoum Abdeslam** « Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma » mémoire doctorat d'état, Université Mentouri Constantine 2010.

Annexe

Données d'analyses chimique année 2014.

	N° de Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NTU	T(°C)	PH	cond
Bouira	F1	123,00	28,60			292,50	138,40	42,29	17,90	0,48	20.5	6.94	1093
	F65	120,00	29,90			281,80	99,40	77,58	11,78	0,96	17.7	7	1070
	F3	104,00	27,20			313,50	99,40	53,60	7,26	2,82	19.5	6.94	1116
	F48	125,00	31,10			342,80	97,98	60,70	10,89	0,21	20	6.95	1162
	F4	86,40	65,12			335,50	90,88	75,18	6,55	1,13	21.5	7.08	1054
	F60	89,60	44,71			308,60	109,30	36,12	1,86	1,20	18.3	6.99	1081
	F5	105,00	34,20			263,20	154,70	51,48	16,34	1,19	20.6	7.19	1130
	F52	112,00	23,81			297,60	70,29	38,13	16,20	0,81	20.6	7	971
	F8	144,00	63,18			372,10	174,70	63,56	20,37	0,38	19.7	7.05	1352
	F9	136,00	50,54			360,00	177,50	65,16	33,13	1,05	21	7.35	1343
	F10	73,20	33,29			423,30	86,86	42,04	3,27	0,66	17.95	7.07	698.5
	F12	102,00	37,42			401,40	72,42	41,19	11,47	0,31	20.8	7.05	941
	F53	101,00	58,32			506,30	174,70	37,44	3,06	0,44	20.7	7.23	1033
	F54	72,20	35,96			379,00	57,51	45,96	0,88	0,32	16	7.25	891
Lakhdaria	F55	160,00	68,04			452,60	232,20	247,35	3,80	0,82	16.4	6.51	2180
	F18	208,00	68,04			408,70	172,50	248,00	2,08	0,25	18.1	6.68	1973
	F19	144,00	58,32			164,70	147,70	123,80	0,22	1,24	19.6	7.24	1107
	F20	120,00	82,62			145,20	137,00	252,80	0,39	1,25	19.4	7.77	1505
SEG	F56	97,60	66,10			418,40	97,27	293,00	19,12	0,29	13	6.96	1292
	F57	113,00	31,59			384,30	66,74	103,55	38,09	1,30	13.2	7.2	1022
ain bessam	F58	136,00	39,85			247,60	134,20	258,90	52,76	0,43	12.7	7.22	1413
	F59	66,40	33,05			342,80	56,09	21,50	27,64	0,10	12.7	6.98	654
m'chedallah	F44	49,60	19,44			274,50	56,04	52,20	0,93	0,49	11.7	7.35	535
	F45	88,80	24,79			261,00	105,10	95,77	1,10	0,67	21.2	7.02	841
	F30	85,60	30,13			269,60	104,40	101,91	1,37	2,30	20.4	7.47	851
	F61	158,00	31,10			364,70	169,70	203,98	12,49	0,26	22.2	6.9	1467
	F62	66,40	33,05			342,80	56,09	21,50	27,64	0,10	12.7	6.98	654
	F63	259,00	97,20			145,10	198,10	193,36	2,10	0,50	23.5	7	1672
	F33	109,00	47,63			159,80	183,90	155,55	5,09	0,49	16.1	7.26	1460
	F64	72,00	39,37			287,90	118,60	54,72	1,86	0,49	21.4	7.15	825
bordj akhris	F38	147,00	35,00			401,00	103,00	35,15	15,60	0,69	18	7,02	1081
	F66	120,00	63,20			411,00	177,00	40,85	41,10	0,30	10,2	6,67	1337
	F50	142,00	31,10			418,00	158,00	57,45	84,00	0,21	17,3	6,46	1276
	F47	152,00	43,70			401,00	103,00	42,20	29,20	0,78	17,1	7,17	1295
	F68	134,00	51,50			377,00	167,00	52,75	53,80	0,78	18,6	7,08	1139

Données d'analyses chimique année 2015.

	N° de Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NTU	T	ph	Conductivité
Bouira	F1	71,06	48,44		224,03	118,57	72,36	23,65	0,755	20,6	7,065	1050
	F65	63,20	55,68		329,00	102,24	80,79	7,53	0,36	23,6	6,87	1049
	F3	88,00	45,68		315,98	124,96	89,67	7,93	0,16	17,9	7,21	1055
	F4	74,20	36,00		291,00	100,82	50,16	16,26	0,49	22,8	6,94	989
	F60	136,00	14,58		210,49	106,50	51,20	44,30	2,13	21,9	6,63	1099
	F5	96,00	32,07		269,62	176,08	79,47	6,02	0,22	15,9	7,28	1173
	F6	126,40	50,54		320,86	71,00	54,57	10,19	0,7	17,7	7,27	944
	F67	134,40	44,71		229,36	83,78	60,42	16,92	0,34	15,7	7,27	950
	F8	150,40	14,88		411,14	230,00	52,25	0,17	0,26	20,8	6,99	1397
	F9	142,00	30,13		369,66	181,10	48,10	44,30	0,2	14	7,24	1406
	F10	59,20	39,66		310,80	38,34	34,05	9,81	0,76	18,5	7,1	764
	F11	112,00	35,48		280,60	56,80	52,35	34,11	0,3	15,8	7,25	958
	F12	69,60	54,40		317,20	40,47	37,20	22,15	0,14	16,6	7,21	866
	F13	65,60	46,65		247,66	39,05	33,03	17,27	0,47	16,1	7,41	821
	F43	92,80	48,60		384,30	249,20	53,61	10,58	0,51	16,7	7,16	1491
F69	60,00	43,25		250,10	34,79	26,46	16,65	0,78	16,4	7,52	777	
F15	40,80	52,00		223,26	39,05	60,54	13,73	1,61	16,7	7,36	786	
Lakhdaria	F17	227,20	50,54		325,74	291,10	575,20	11,78	0,49	16,5	7,4	2150
	F18	220,80	92,16		433,10	213,71	341,75	5,36	0,2	22,5	6,89	2210
	F19	209,60	76,78		350,14	49,70	205,95	0,00	0,55	18	7,14	1543
	F20	158,40	80,67		325,74	92,30	430,20	0,00	0,093	18,5	7,8	1676
	F21	164,80	40,57		433,10	156,20	543,00	14,79	0,16	17,5	7,93	1580
SEG	F56	149,52	43,34		394,06	81,79	123,66	9,83	1,04	19,7	6,94	1188
	F24	119,20	25,76		274,50	48,28	135,15	6,90	2,17	20,2	7,26	964
	F73	275,20	83,59		330,62	165,43	853,20	2,34	0,28	14,8	7,12	2360
Ain Bessam	F58	163,20	53,76		220,82	139,87	147,10	9,87	0,18	19,9	7,23	1452
	F27	145,60	34,02		185,00	117,86	225,12	110,75	0,15	16,9	7,54	1318
Mchedallah	F44	40,80	24,00		236,68	7,10	35,09	0,21	0,9	14,7	7,51	398
	F28	142,40	19,68		530,70	202,40	136,85	12,89	0,26	20,8	6,99	1397
	F45	60,80	32,11		317,20	106,50	93,25	0,00	1,88	21,1	7,85	824
	F30	66,40	37,92		325,74	108,60	96,05	0,71	1,22	21,1	7,85	877
	F61	137,60	59,29		335,50	225,70	195,79	9,88	0,1	16,2	7	1522
	F62	158,40	58,32		359,90	289,60	239,12	9,44	1,85	17,8	7,18	1854
	F74	150,40	74,84		330,60	282,50	215,28	14,93	0,94	16,7	7,16	1847
	F33	148,80	61,24		357,46	284,00	161,22	9,30	0,32	16,2	7,39	1703
	F34	116,80	53,46		325,74	56,08	113,96	2,17	0,15	22,6	6,9	1067
F64	92,80	27,22		351,36	40,02	10,02	1,02	0,78	23,2	7,11	827	
Bordj Khris	F40	294,40	101,08		950,38	383,40	747,00	0,84	10,1	13,9	7,71	2550
	F38	125,00	18,47		315,98	121,40	41,26	66,45	0,31	14,1	7,13	1125
	F75	149,00	24,30		347,70	138,50	53,88	44,30	3,42	13,1	6,99	1298
	F50	144,00	27,22		342,82	148,40	49,54	66,45	0,5	14,2	6,92	1350
	F39	49,60	36,94		181,78	51,83	89,91	0,00	0,33	13,7	8,4	634

Données d'analyses chimique année 2017.

	N° de Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NTU	T	ph	Conductivité
Bouira	F1	110,40	33,60			252,54	134,19	265,20	44,30	0,45	17,1	7,11	1111
	F70	96,00	48,00			311,10	283,29	119,88	44,30	1,44	17,5	6,86	1453
	F72	116,80	27,80			245,22	118,57	275,70	41,55	0,65	17,8	7,1	960
	F42	119,20	25,20			303,17	107,57	73,18	42,53	1,29	20,7	6,93	998
	F5	110,40	29,76			300,73	139,16	65,00	13,00	1,09	16,3	6,97	1061
	F71	166,40	29,16			418,46	173,95	124,68	3,80	0,35	14,7	6,95	1360
	F3	104,00	34,80			320,25	100,11	91,51	31,03	0,48	20,9	6,94	1036
	F76	96,00	29,28			323,91	88,75	49,19	25,78	1,1	19,4	7,08	900,5
	F6	95,60	28,75			386,28	67,81	46,34	4,16	0,26	16,4	7,03	885,5
	F7	108,00	20,03			305,00	73,84	44,89	12,31	0,26	16,6	7,11	853,5
	F8	147,20	34,99	39	0,9	211,06	200,93	78,00	61,39	1,27	17,1	7,01	1472
	F9	144,00	31,10			201,30	196,67	78,00	29,63	0,17	16,4	7,01	1318
	F10	64,00	41,54			280,60	39,41	55,48	10,59	0,36	19,7	7,16	706,5
	F11	92,40	49,04			383,08	61,77	53,17	32,60	0,96	19,3	6,94	942,5
	F12	70,40	47,80			356,85	53,25	49,94	37,03	1,53	20	7,04	826
F16	85,60	51,51			180,56	114,31	84,99	43,06	0,43	18	7,36	1147	
Lakhdaria	F18	126,57	64,16			334,28	149,81	323,15	10,81	0,3	15,9	7,29	1775
	F22	147,20	96,59			356,85	233,24	354,63	1,19	0,57	25,4	7,21	1830
	F77	139,20	37,44			462,38	145,55			1,24	19,5	6,87	1256
SEG	F24	118,40	30,13			337,90	137,74	140,07	43,59	0,35	17,9	7,2	1100
	F73	396,80	130,56			437,98	217,26	1020,00	8,94	0,62	21,8	7,28	2041
Ain Bessam	F25	184,00	69,90			291,58	80,94	435,45	51,63	0,27	18,6	7	1326
	F78	177,60	33,04	31,5	1,3	172,02	138,27	162,80	110,75	9,94	17,6	7,05	1288
Mchedallah	F44	82,00	34,33			305,50	24,83	91,36	0,33	0,29	19,5	7,17	672
	F79	145,60	67,20			486,78	241,40	144,50	16,30	7,01	19,7	6,95	1525
Bordj Khris	F39	45,60	22,08			115,90	48,28	54,64	0,00	0,49	13,3	8,1	777
	F40	294,40	71,04			218,38	177,50	462,90	6,74	0,78	12,3	7,01	2730

Données d'analyses chimique année 2018.

	N° de Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NTU	T	PH	Conductivité
Bouira	F1	114,40	28,90		328,18	113,60	83,98	47,40	0,305	21,2	7,395	1030
	F3	82,10	49,57		341,60	132,06	82,68	40,75	0,61	23,5	7,14	1001
	F4	96,40	22,11		320,25	108,99	72,76	43,81	0,56	21,4	7,46	992
	F65	100,00	38,88		274,10	116,44	65,25	58,87	0,38	23,6	7,21	959
	F5	116,40	21,89		306,85	175,82	70,63	14,89	0,39	14	7,32	1097
	F60	114,40	17,26		317,45	102,60	98,19	33,80	0,52	16,7	7,53	966
	F6	105,60	14,58		320,86	82,36	55,22	15,06	0,45	16,3	7,33	880
	F8	70,40	32,56		541,62	183,18	25,60	34,42	0,42	15,2	6,85	1377
	F9	70,00	32,56		416,02	218,68	20,60	63,65	0,43	15,7	6,95	1300
	F10	60,40	38,64		335,50	35,15	49,33	2,26	0,33	15,3	7,21	673,5
	F11	103,20	42,03		436,15	83,78	38,67	17,23	0,45	14,3	7,04	896,5
	F46	47,20	11,78		197,64	63,19	32,82	1,72	0,49	15	7,87	303
	F12	80,00	52,00		396,50	47,57	26,56	41,90	0,93	14,1	6,93	800
	F80	80,40	33,27		419,67	134,90	86,97	2,17	1,38	16,7	7,29	990,5
	F81	56,80	34,50		377,00	57,51	31,54	7,57	0,11	16,3	7,44	767
	F82	141,90	60,55		533,14	384,82	58,54		1,75	23,8	7,35	1973
F16	92,80	36,37		491,66	129,93	79,86	21,18	0,34	17,1	7,16	1175	
Lakhdaria	F18	136,80	68,52		202,52	213,71	361,50	0,00	0,62	15,1	7,23	1841
	F19	139,20	57,35		430,70	81,65	265,44	9,13	0,85	13,3	7,53	1171
	F20	156,80	91,37		420,90	98,69	388,90	0,58	0,21	14,2	7,14	1670
	F83	125,60	80,68		374,58	148,02	167,88	17,70	0,57	17,7	7,36	1598
	F22	115,00	86,02		184,22	161,59	247,50	6,02	1,34	12,1	7,83	1712
SEG	F84	108,00	31,59		494,00	109,34	521,50	0,39	0,98	17,9	7,37	1766
	F85	180,00	77,76		414,80	304,59	749,25	5,18	2,09	17,7	7,72	2640
	F86	181,60	85,95		375,76	298,91	386,81	1,75	2,56	14,8	7,72	2176
	F87	88,00	31,59		324,52	51,83	215,00	5,93	0,19	14,7	7,94	1214
ain bessam	F25	310,40	9,72		267,18	37,57	229,67	28,31	0,54	14,7	7,18	1509
	F26	212,80	55,40		286,70	205,95	167,04	93,43	0,46	15,5	7,17	1781
	F27	198,40	31,10		364,78	33,37	103,55	85,06	0,53	17,4	7,28	1295
Mchedallah	F44	62,40	20,90		262,30	18,46	39,02	0,04	0,39	23,9	7,65	499
	F28	108,00	89,91		469,70	209,45	89,70	9,74	0,23	21,1	7,04	1385
	F31	60,00	36,94		296,46	80,94	70,09	0,00	0,55	15,6	7,76	826
	F33	105,20	48,11		362,95	224,01	139,41	7,31	0,31	17,4	7,54	1452
	F34	86,40	47,63		390,40	150,52	45,21	20,82	0,35	19,6	7,21	1012
	F35	82,40	47,14		380,64	132,06	81,04	8,23	0,23	17,9	7,21	1011
	F64	88,80	26,00		365,39	110,76	74,38	9,81	0,31	17,9	7,4	952
bourdj khris	F66	114,40	50,52		451,40	154,07	54,66	73,10	0,28	16,6	7,28	1373
	F38	88,00	42,76		462,38	127,09	43,88	104,10	0,1	16,6	6,97	1088
	F50	84,60	61,23		401,38	132,77	50,40	110,75	0,11	17,6	6,83	1257
	F68	110,40	56,37		386,74	149,81	49,22	110,75	0,29	16,4	6,79	1336
	F39	46,40	23,81		213,50	44,28	83,90	2,25	2,77	13,6	7,86	625