

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 Sciences Appliquées
Département de Génie Civil

Mémoire de Fin d'Etude

Présenté par :

HASSANI Ichrak

NOUI Hiba

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

Filière : **Hydraulique**

Option : **Ressources Hydrauliques**

Thème

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

Devant le jury composé de :

Mr : Ghernaout Redhouane	MCA	UAMOB	Président
Mr : Metaiche Mehdi	MCA	UAMOB	Encadreur
Mr : Djafer khoja	MCA	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2021/2022

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 tenons à remercier Mr METAICHE Mehdi, notre promoteur, d'avoir accepté de diriger ce mémoire. Pour ces conseils, ces encouragements et pour la confiance qu'il nous a témoigné aux cours de réalisation de ce travail.

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.

Nous tenons à exprimer tout au fond de nos cœurs, nos reconnaissances à nos familles pour toute leur aide morale et financière, ainsi que nos camarades de promo à qui nous souhaitons beaucoup de réussite

Dédicaces :

*Après un long chemin plein d'efforts, De volonté
D'obstacles et de fatigue. C'est grâce à Dieu qui m'a donné
La force et la patience, Je suis arrivé Aujourd'hui à ouvrir
un nouveau chapitre de joie et de réussite.*

J'ai dédié ce modeste travail

*À ma chère mère et mon Cher père qui m'ont toujours
soutenu, Et aider à affronter Les difficultés, Durant toute
ma vie.*

*À mes trois chers frères et deux chères sœurs. Je leur
souhaite la réussite.*

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

*À tous mes amis et mes amis proches (Wahiba et
Halima).*

*À toute personne qui a contribué de près ou de loin a
L'élaboration de ce mémoire.*

HIBA

Dédicaces :

-A l'aide de notre dieu le tout puissant on a pu faire ce modeste travail que je dédie a :

-A celle qui m'a comblé d'amour, de soutien et de tendresse. A vous mon signe de joie et de bonheur, ma fierté et mon honneur : Ma Mère (SALIMA)

-A celui qui a sacrifié sa vie pour me guider et m'encourager avec ces précieux conseils et son soutien tout au long de mes études : Mon Père(RACHID)

- A mon cher frère ADEM, A ma chère sœur MANAR.

-A mes meilleurs amis BOUTHAINA, ASMA, NOOR, HAYET, MANEL, NEDJEMA, BASMA, KATIA .

-A tous mes enseignants qui nous donnent le maximum durant nos études.

-A tous mes amis de promo d'hydraulique

-A tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie

Universitaire.

ICHRAK .

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو دراسة خصائص المياه الجوفية في منطقة بومرداس ومن اجل تقييم نوعية المياه الجوفية 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 بومرداس وبعد التحقق من دقتها، تم حساب العديد من المعلمات التي تميز المياه الجوفية مثل: القلوية، الصلابة، الناقلية الكهربائية، الملوحة، مؤشر التشبع و مدى امتثالها للمعايير الجزائرية لقابلية الشرب ومدى ملائمتها للاستخدام في الري.

كشفت هذه الدراسة ان هذه المياه معتدلة المدين وليست قاسية تماما وهذه المياه صالحة للشرب عموما وفقا للمعايير الجزائرية

تظهر تمثيلات التحليلات البيانية للمياه على الرسومات البيانية :

Piper et Schoeller-Berkaloff, Stiff , Stabler

ان نوعية المياه تتميز بوجهين كيميائيين: كلوريد و كبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم وبيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم.

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 , الصلابة , الري , المعايير.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier les caractéristiques des eaux souterraines dans la région de Boumerdess et afin d'évaluer la qualité des eaux souterraines il est nécessaire de disposer de plusieurs analyses physiques et chimiques de ces eaux.

Au cours de ces travaux, à partir des données d'analyses physico-chimiques des eaux souterraines qui ont été prélevées sur de nombreux forages de la région de Boumerdess 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 et leur conformité a été calculée Normes algériennes de potabilité et d'aptitude à l'irrigation.

Cette étude a révélé que cette eau est modérément minéralisée et pas complètement dure, et cette eau est généralement potable selon les normes algériennes.

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

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, Dureté, irrigation, Normes.

Abstract:

The objective of this work is to study the characteristics of groundwater in the region of Boumerdes and in order to assess the quality of groundwater it is necessary to have several physical and chemical analyzes of these waters.

During this work, from the data of physico-chemical analyzes of groundwater which were taken from numerous boreholes in the Boumerdes region and after verifying their reliability, several parameters characterizing the groundwater were calculated: alkalinity, hardness, electrical conductivity, salinity, saturation index and their conformity was calculated Algerian standards of potability and suitability for irrigation.

This study revealed that this water is moderately mineralized and not completely hard, and this water is generally potable by Algerian standards.

The representations of the chemical analyzes of the waters on the diagrams of Piper and Schoeller-Berkaloff, Stiff, Stabler show that the quality of the waters is characterized by two chemical facies: Chloride and sulphate calcium and magnesium, Bicarbonate calcium and magnesium.

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, Hardness, irrigation, Standards.

Sommaire :

Introduction général 1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX.

I.1. Introduction.....3

I.2. Etat de l'eau.....4

I.2.1. Solide.....4

I.2.2. Etat liquide.....4

I.2.3. Etat gazeux.....5

I.3. Catégories de l'eau.....5

I.4. Répartition de l'eau au monde et en Algérie.....6

I.4.1. L'eau au monde.....6

I.4.2. L'eau en Algérie.....7

I.5. Origine de l'eau.....8

I.5.1. Cycle de l'eau.....8

I.5.1.1. Évaporation et l'évapotranspiration.....8

I.5.1.2. Condensation.....9

I.5.1.3. Précipitation.....9

I.5.1.4. Ruissellement et Infiltration.....9

I.6. Eaux de surface.....9

I.7. Eaux souterraines.....10

I.7.1. Origines des eaux souterraines.....11

I.7.1.1. Eaux météoriques.....11

I.7.1.2. Eaux connues.....11

I.7.1.3. Eaux juvéniles.....11

I.7.2. Différents types d'eau souterraine.....11

I.7.3. Nappes de l'eau.....12

I.7.3.1. Différents types de nappes.....12

I.7.4. Qualité des eaux souterraines	14
I.7.4.1. Qualité organoleptique.....	14
I.7.4.1.1. Odeur et saveur.....	14
I.7.4.1.2. Couleur.....	14
I.7.4.2. Qualité physico-chimique.....	15
I.7.4.2.1. Température(T).....	15
I.7.4.2.2. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH).....	15
I.7.4.2.3. Turbidité.....	15
I.7.4.2.4. Résidu sec.....	16
I.7.4.2.5. Conductivité électrique.....	16
I.7.4.2.6. Alcalinité.....	16
I.7.4.2.6.1. Titre alcalimétrique simple (TA) ou titre alcalimétrique complet (TAC)..	16
I.7.4.2.7. Minéralisation globale.....	17
I.7.4.2.8. Activité ionique.....	17
I.7.4.2.9. Indice de saturation.....	17
I.7.4.2.10. Salinité.....	18
I.7.4.2.11. Potentiel hydrogène (pH).....	18
I.7.4.2.12 Eléments majeurs.....	18
I.7.4.2.12.a. Calcium (Ca^{2+}).....	18
I.7.4.2.12.b. Magnésium (Mg^{2+}).....	18
I.7.4.2.12.c. Sodium (Na^+).....	19
I.7.4.2.12.d. Potassium (K^+).....	19
I.7.4.2.12.e. Bicarbonate (HCO_3^-).....	19
I.7.4.2.12.f. Sulfates (SO_4^{2-}).....	20
I.7.4.2.12.g. Chlorures (Cl^-).....	20
I.7.4.2.12.h. Nitrates (NO_3^-).....	20
I.7.4.2.12.j. Silice (SiO_2).....	21

I.8. Pollution des eaux souterraines.....	21
I.8.1. Différents critères des pollutions des eaux souterraines.....	21
I.8.1.1. Selon l'origine de pollution.....	22
I.8.1.2. Selon la nature de pollution.....	25
Conclusion.....	26
 CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.	
II.1.Introduction.....	27
II.2. Situation géographique de Boumerdes.....	27
II.2.1. Le cadre physique.....	28
II.2.2. Le relief.....	28
II.2.3. Climat.....	28
II.2.4. pédologie.....	29
II.2.5. Hydrographie.....	30
II.3. les ressources hydriques.....	30
II.3.1. les ressource en eaux mobilisées.....	31
II.4. Présentation générale du Bassin hydrographiques Algérois-Hodna-Soummam.....	31
II.4.1. Limites administratives.....	32
II.4.2. Les bassins versants.....	32
II.4.2.1. L'algérois.....	32
II.4.2.2. La Soummam(15).....	32
II.4.2.3. Le Hodna (05).....	33
II.4.3.Le réseau hydrographique.....	34
II.4.4.La pluviométrie.....	34
II.5. Données d'analyse physico-chimique des eaux de forages de la région de Boumerdés (2020-2021).....	34
II.5.1. Donnes d'analyses chimiques.....	35
II.5.2. Donnés d'analyse physique.....	38

Conclusion.....	39
-----------------	----

CHAPITRE III : CALCULS ET INTERPRETATION DES RESULTATS.

III.1.Introduction	40
III.2. Vérification de la fiabilité des données	40
III.2.1. Balance ionique	40
III.2.2. Activité ionique.....	43
III.3. Calculs des titres de l'eau	50
III.3.1. Titre alcalimétrique (alcalinité)	50
III.3.1.1. Titre alcalimétrique simple (alcalinité simple).....	50
III.3.1.2. Titre alcalimétrique complet (alcalinité complète)	50
III.3.2. Titre hydrométrique (Dureté)	54
III.3.2.1. Dureté totale.....	54
III.3.2.2. Dureté calcique	54
III.3.2.3. Dureté magnésienne.....	54
III.3.3. Comparaison enter TH et TAC	58
III.3.4. Dureté permanente PH (dureté non alcaline, dureté non carbonatée)	59
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	65
III.3.8. Salinité anionique SA	67
III.3.9. Salinité totale anionique STA.....	69
III.4. Etude de l'équilibre carbonique de l'eau (indices de saturation)	70
III.4.1. Indice de LANGELIER	70
III.4.2.Indice de saturation de RYZNAR (indice de stabilité)	74
III.4.3. Indice de saturation de LARSON IC (indice de corrosivité).....	76
III.5. Classification des eaux	79

III.5.1. Salinité.....	79
III.5.2. Total des solides dissous (TDS)	80
III.5.3. Conductivité	82
III.5.4. Selon les normes européennes.....	86
III.5.5 Selon VORONOV 2000.....	87
III.6. Vérification aux normes Algériennes	88
III.6.1. Température (T)	89
III.6.2. Potentiel hydrogène (pH)	90
III.6.3. Conductivité	92
III.6.4. Turbidité.....	93
III.6.5. Calcium (Ca ²⁺).....	94
III.6.6. Magnésium (Mg ²⁺).....	95
III.6.7. Chlorures (Cl ⁻)	97
III.6.8. Sodium (Na ⁺)	98
III.6.9. Potassium (K ⁺)	99
III.6.10. Sulfate (SO ₄ ²⁻)	101
III.6.11. Bicarbonates (HCO ₃ ³⁻).....	102
III.6.12. Nitrates (NO ₃ ²⁻)	103
III.7 Logiciel Diagrammes.....	104
III.7.1 Les principaux facies chimiques	105
III.7.1.1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER	105
III.7.1.2 Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff	107
III.7.2 Classification des eaux selon le diagramme de Stiff & Stabler.....	108
III.7.3 Etudes de l'aptitude des eaux à l'irrigation.....	110
III.7.3.1 Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de Riverside.....	110
III.7.3.2 Classification de l'eau d'irrigation selon WILCOX (1948).....	112
Conclusion.....	114

Conclusion général.....116

Liste des figures :

Figure I.1 : Eau verte, bleue et grise.....	06
Figure I.2 : Cycle de l'eau.	08
Figure I.3 : Différentes nappes d'eau souterraine.	13
Figure I.4 : Schématisation pollution anthropique.	23
Figure I.5 : Schématisation Pollution industrielle.	24
Figure I.6 : Schématisation de la pollution agricole.....	25
Figure II.1 : Carte du découpage administratif de la willaya de Boumerdes.....	27
Figure II.2 : Carte des sols de Boumerdes (extraite de l'étude du BNEDER, 2004).....	30
Figure.II.3 : Région hydrographique Algérois- Hodna- Soummam (source ANRH).....	33
Figure. II.4: Carte de la région avec l'emplacement des stations de mesure.....	34
Figure III.1 : Histogramme de la Balance ionique (Année 2020).....	41
Figure III.2 : Histogramme de la Balance ionique (Année 2021).....	42
Figure III.3 : Variation de l'alcalinité complète (TAC) (2020).....	52
Figure III.4 : Variation de l'alcalinité complète (TAC) (2021).....	53
Figure III.5 : Variation de la Dureté (Année 2020).....	56
Figure III.6 : Variation de la Dureté (Année 2021).....	57
Figure III.7 : Comparaison du TH par rapport au TAC (Année 2020).....	58
Figure III.8 : Comparaison du TH par rapport au TAC (Année 2021).....	59
Figure III.9 : Dureté permanente (Année 2020).....	60
Figure III.10 : Dureté permanente (Année 2021).....	61
Figure III.11 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2020).....	63
Figure III.12 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2021).....	64
Figure III.13 : Salinité totale cationique STC (Année 2020).....	66
Figure III.14 : Salinité totale cationique STC (Année 2021).....	67

Figure III.15 : Salinité anionique SA (Année 2020).....	68
Figure III.16 : Salinité anionique SA (Année 2021).....	69
Figure III.17 : Indice LANGELIER (Année 2020).....	72
Figure III.18 : Indice LANGELIER (Année 2021).....	73
Figure III.19 : Variation de l'indice de RYZNAR (Année 2020).....	75
Figure III.20 : Variation de l'indice de RYZNAR (Année 2021).....	76
Figure III.21 : Variation de l'indice LARSON (Année 2020).....	77
Figure III.22 : Variation de l'indice LARSON (Année 2021).....	78
Figure III.23 : Variation de la salinité des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	79
Figure III.24 : Variation de la salinité des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	80
Figure III.25 : Variation de la TDS max et TDS min (Année 2020).....	81
Figure III.26 : Variation de la TDS max et TDS min (Année 2021).....	82
Figure III.27 : Variation de la conductivité (Année 2020).....	84
Figure III.28 : Variation de la conductivité (Année 2021).....	85
Figure III.29 : Variation de la température dans les eaux de forages étudiés(Année2020).....	89
Figure III.30 : Variation de la température dans les eaux de forages étudiés(Année2021).....	90
Figure III.31 : Variation de pH des eaux des forages étudiés (Année 2020).....	91
Figure III.32 : Variation de pH des eaux des forages étudiés (Année 2021).....	91
Figure III.33 : Variation de la Conductivité des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	92
Figure III.34 : Variation de la Conductivité des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	92
Figure III.35 : Variation de la turbidité des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	93
Figure III.36 : Variation de la turbidité des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	93
Figure III.37 : Variation de la teneur en calcium des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	94
Figure III.38 : Variation de la teneur en calcium des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	95

Figure III.39 : Variation de la teneur en magnésium des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	96
Figure III.40 : Variation de la teneur en magnésium des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	96
Figure III.41 : Variation de la teneur en chlorure des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	97
Figure III.42 : Variation de la teneur en chlorure des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	97
Figure III.43 : Variation de la teneur en sodium des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	98
Figure III.44 : Variation de la teneur en sodium des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	99
Figure III.45 : Variation de la teneur en potassium des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	99
Figure III.46 : Variation de la teneur en potassium des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	100
Figure III.47 : Variation de la teneur en sulfate des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	101
Figure III.48 : Variation de la teneur en sulfate des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	101
Figure III.49 : Variation de la teneur en bicarbonate des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	102
Figure III.50 : Variation de la teneur en bicarbonate des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	102
Figure III.51 : Variation de la teneur en nitrates des eaux de forages étudiés (Année 2020).....	103
Figure III.52 : Variation de la teneur en nitrates des eaux de forages étudiés (Année 2021).....	103
Figure III.53 : Interface de logiciel diagrammes.....	104

Figure III.54 : Facies chimique des analysées d'après de diagramme de PIPER (Année 2020).....	105
Figure III.55 : Facies chimique des analysées d'après de diagramme de PIPER (Année 2021).....	106
Figure III.56 : Facies chimique des analysées d'année (2020) d'après de diagramme Schoeller-Berkaloff	107
Figure III.57 : Facies chimique des analysées d'année (2021) d'après de diagramme Schoeller-Berkaloff.....	107
Figure III.58 : Diagramme de STABLER des eaux étudiées (année : 2020).....	108
Figure III.59 : Diagramme de STIFF des eaux étudiées (année : 2020).....	109
Figure III.60 : Aptitude des eaux à l'irrigation (Année 2020) (Riverside).....	110
Figure III.61 : Aptitude des eaux à l'irrigation (Année 2021) (Riverside).....	111
Figure III.62 : Diagramme de WILOX des eaux étudiées (Année : 2020).....	112
Figure III.63 : Diagramme de WILOX des eaux étudiées (Année : 2021).....	113

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Récapitulatif de la répartition de l'eau dans le monde.....	07
Tableau I.2 : Classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit).....	16
Tableau I.3 : Classification des eaux d'après leur Ph.....	18
Tableau II.1. CLIMATIQUE BOUMERDÈS.....	29
Tableau II.2 : La capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes.....	31
Tableau II.3 : capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes.....	31
Tableau II.4: Données d'analyses chimique (Année 2020).....	35
Tableau II.5 : données d'analyses chimique (Année 2021).....	37
Tableau II.6 : Données des paramètres physique (Année 2020).....	38
Tableau II.7 : Données des paramètres physique (Année 2021).....	39
Tableau III.1 : Résultats de calcul de la Balance Ionique(BI) (Année 2020).....	41
Tableau III.2 : Résultats de calcul de la Balance Ionique(BI) (Année 2021).....	42
Tableau III.3 : Valeurs de la force ionique de chaque forage (Année 2020).....	44
Tableau III.4 : Coefficient d'activité ionique γ_i (Année 2020).....	45
Tableau III.5 : Valeurs calculées de l'activité ionique (Année 2020).....	46
Tableau III.6 : Valeurs de la force ionique de chaque forage (Année 2021).....	47
Tableau III.7 : Coefficient d'activité ionique γ_i (Année 2021).....	48
Tableau III.8 : Valeurs calculées de l'activité ionique (Année 2021).....	49
Tableau III.9 : Valeurs calculées de l'alcalinité simple et complète des eaux de forages (Année 2020).....	51
Tableau III.10 : Valeurs calculées de l'alcalinité simple et complète des eaux de forages (Année 2021).....	53
Tableau III.11 : Classes des eaux en °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969	55
Tableau III.12 : Valeurs calculées de la dureté des eaux de forages (Année 2020).....	55

Tableau III.13 : Valeurs calculées de la dureté des eaux de forages (Année2021).....	57
Tableau III.14 : Dureté permanente (Année 2020).....	60
Tableau III.15 : Dureté permanente (Année 2021).....	61
Tableau III.16 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2020).....	63
Tableau III.17 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2021).....	64
Tableau III.18 : Salinité totale cationique STC (Année 2020).....	65
Tableau III.19 : Salinité totale cationique STC (Année 2021).....	66
Tableau III.20 : Salinité anionique SA (Année 2020).....	67
Tableau III.21 : Salinité anionique SA (Année 2021).....	68
Tableau III.22 : Variation des constantes thermodynamiques en fonction de la température..	70
Tableau III.23 : Valeurs de PHs des eaux de forage (Année 2020).....	71
Tableau III.24 : Variation de l'indice de LANGELIER IL(Année 2020).....	71
Tableau III.25 : Valeurs de PHs des eaux de forage (Année 2021).....	72
Tableau III.26 : Variation de l'indice de LANGELIER IL(Année 2021).....	73
Tableau III.27 : Classification de l'indice de saturation de RYZNAR (indice de stabilité)....	74
Tableau III.28 : Calculs de l'indice de RYZNAR(Année 2020).....	74
Tableau III.29 : Calculs de l'indice de RYZNAR(Année 2021).....	75
Tableau III.30 : Classification de l'indice de LARSON.....	77
Tableau III.31 : Calculs de l'indice de corrosivité (Année 2020).....	77
Tableau III.32 : Calculs de l'indice de corrosivité (Année 2021).....	78
Tableau III.33 : Valeurs de salinité (Année 2020).....	79
Tableau III.34 : Valeurs de salinité (Année 2021).....	80
Tableau III.35 : Valeurs de la TDS max et TDS min (Année 2020).....	81
Tableau III.36 : Valeurs de la TDS max et TDS min (Année 2021).....	82
Tableau III.37 : Classification des eaux en fonction de la conductivité.....	83
Tableau III.38 : Valeurs de la conductivité (Année 2020).....	83
Tableau III.39 : Valeurs de la conductivité (Année 2021).....	85

Tableau III.40 : Classification des eaux.....	86
Tableau III.41 : Classification des eaux selon VORONOV.....	87
Tableau III.42 : Normes de paramètres physico-chimiques des eaux (JORA, 2011.....	88
Tableau III.43 : Classification des eaux d’irrigation (Année 2020) selon Wilcox	113
Tableau III.44 : Classification des eaux d’irrigation (Année 2021) selon Wilcox.....	113

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

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

ETP : évapotranspiration

BI : Balance ionique

μs : Micro Siemens.

μs/cm : Micro siemens par centimètre.

mg/l : Milligramme par litre.

% : Pourcentage.

Introduction général

L'eau, c'est la vie, 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 wilaya de Boumerdès dispose de grandes réserves hydriques souterraines et superficielles. Les potentialités hydriques souterraines sont de l'ordre de 99,91 HM3 et sont réparties sur six nappes (Bas Sebaou, Bas Isser, Oued Boumerdes, Oued Corso, Oued Boudouaou, Mitidja orientale). Les barrages de la wilaya de Boumerdès au nombre de six (trois grands barrages et trois petits barrages).

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 de la région de Boumerdès, qui comporte au début une présentation des données d'analyses physico-chimiques prélevées dans certains forages de cette région, en suit nous donne un Présentation générale du Bassin hydrographiques Algérois-Hodna-Soummam.

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.
- ✓ -Classification des eaux selon des diagrammes de Piper, Schoeller-Berkaloff et Stiff - Stabler.
- ✓ -Etudes de l'aptitude des eaux a l'irrigation.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR LES
EAUX.

I.1. Introduction :

L'eau est très présente sur notre planète, ainsi vue de l'espace, la terre apparaît bleue car les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70%). La totalité de l'eau sur terre représente un volume de 1,4 milliard de km³ sous forme liquide, solide ou gazeuse. Cependant, la majeure partie de l'eau (97 %) est salée, elle est contenue dans les océans, ce qui la rend inutilisable par l'homme.

Les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface. Toutefois, certaines caractéristiques minimales sont exigées pour qu'elles puissent servir à la production d'eau potable qui doit-elle-même satisfaire à des normes de qualité physico-chimique et biologique. Mais la qualité naturelle de cette ressource en eau peut être altérée par diverses sources de contamination ponctuelles et diffuses.

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 les paramètres physico-chimique 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]

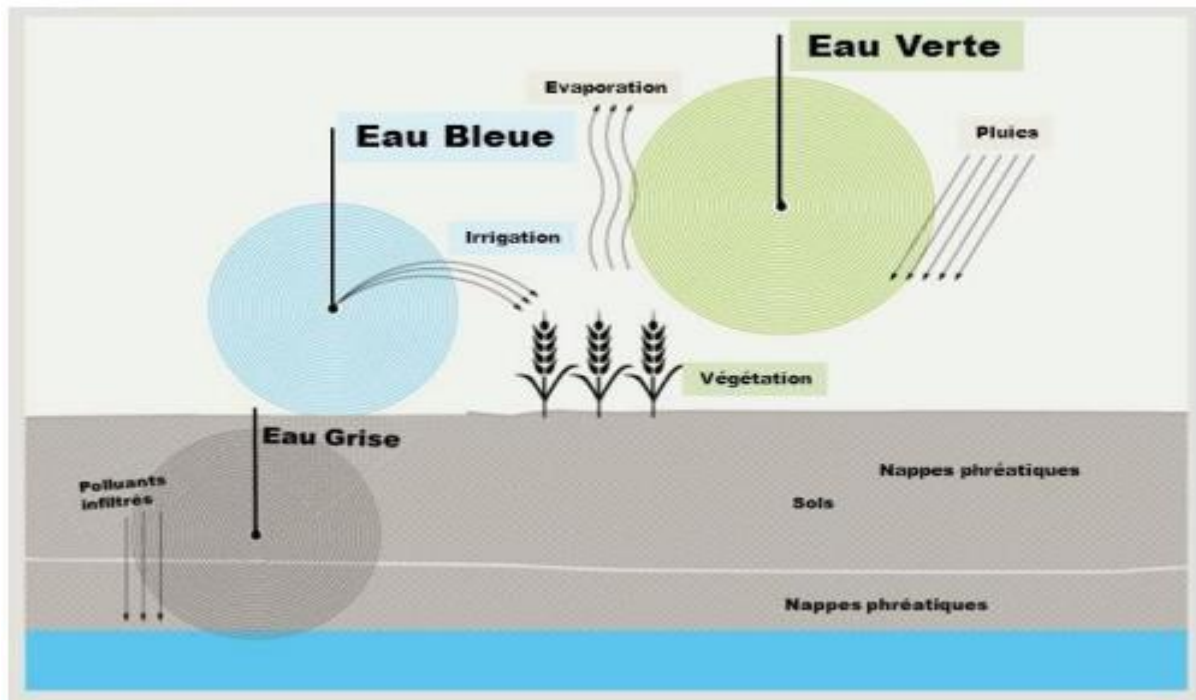


Figure I.1 : Eau verte, bleue et grise. [3]

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 millions 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]

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

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

I.4.2. L'eau en Algérie :

La répartition de l'eau en Algérie se 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.
- 12.4 milliards de mètres cube d'écoulement superficiel.
- 1.8 milliards de mètres cube d'eaux souterraines mobilisables dans le nord et sont exploités après de 90%.
- 6 milliards 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 :

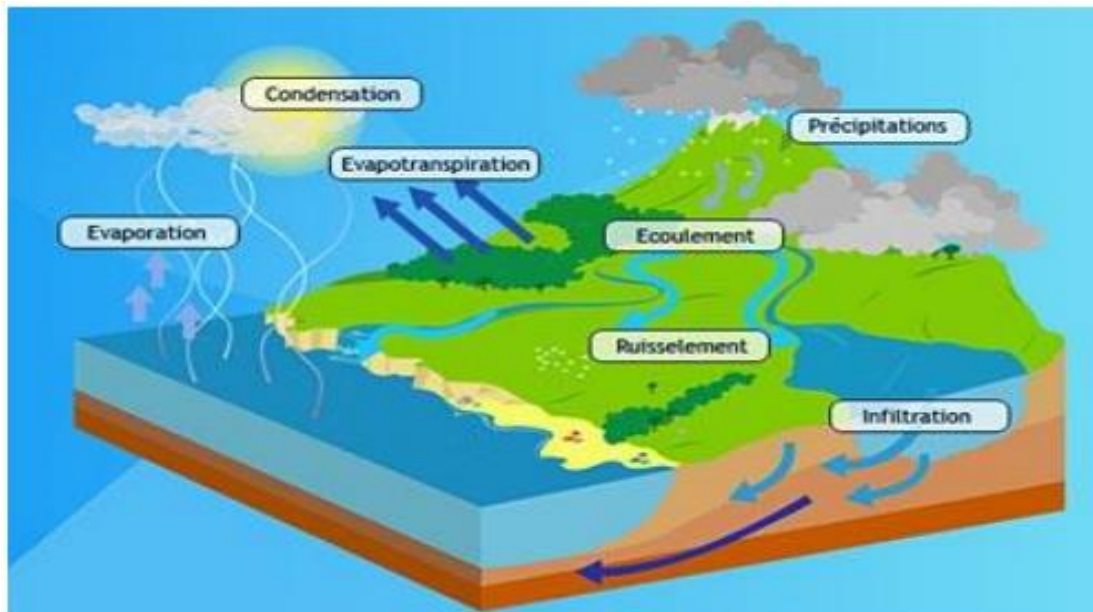


Figure I. 2 : Cycle de l'eau.

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 différente.

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 ruissèlement. Soit elle entre dans des roches ou des sols perméables, et cela s'appelle l'infiltration.

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 eauatmosphère. 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 organique ne favorisent 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 celle 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 les 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 connues :

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 connues 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 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]

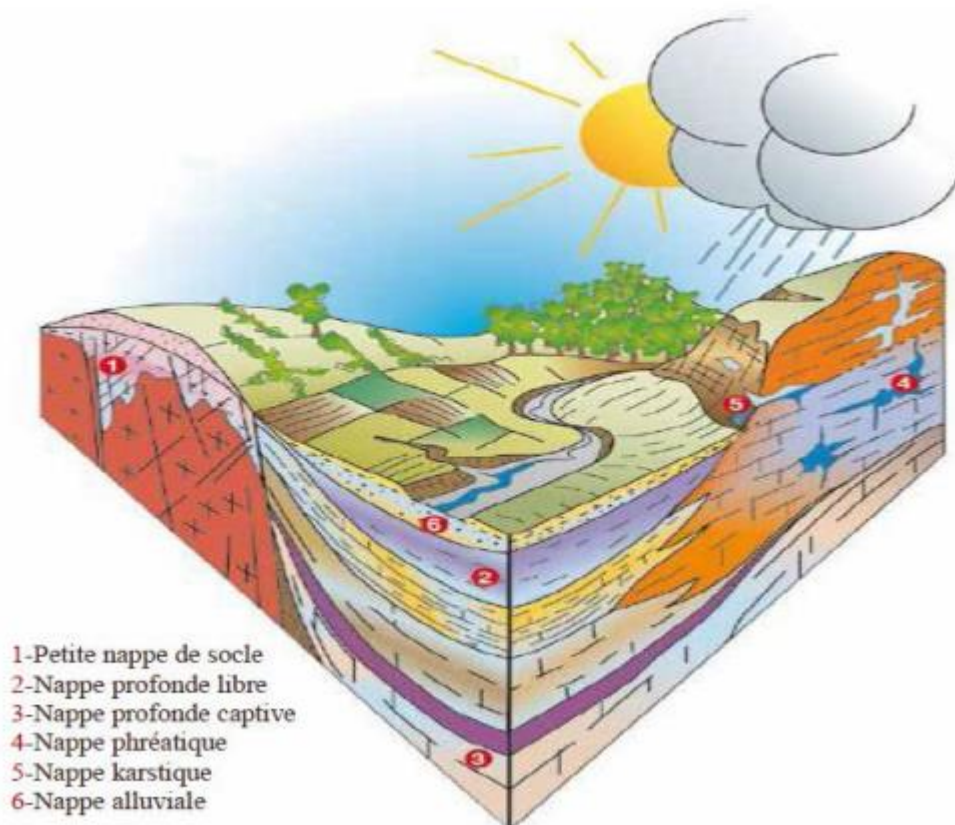


Figure I. 3 : Différentes nappes d'eau souterraine. [9]

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 concentration 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 Néphélométries (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 Néphélométrie.

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

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

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 L'angéliser 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 nitrificationdénitrification 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 conçue 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]

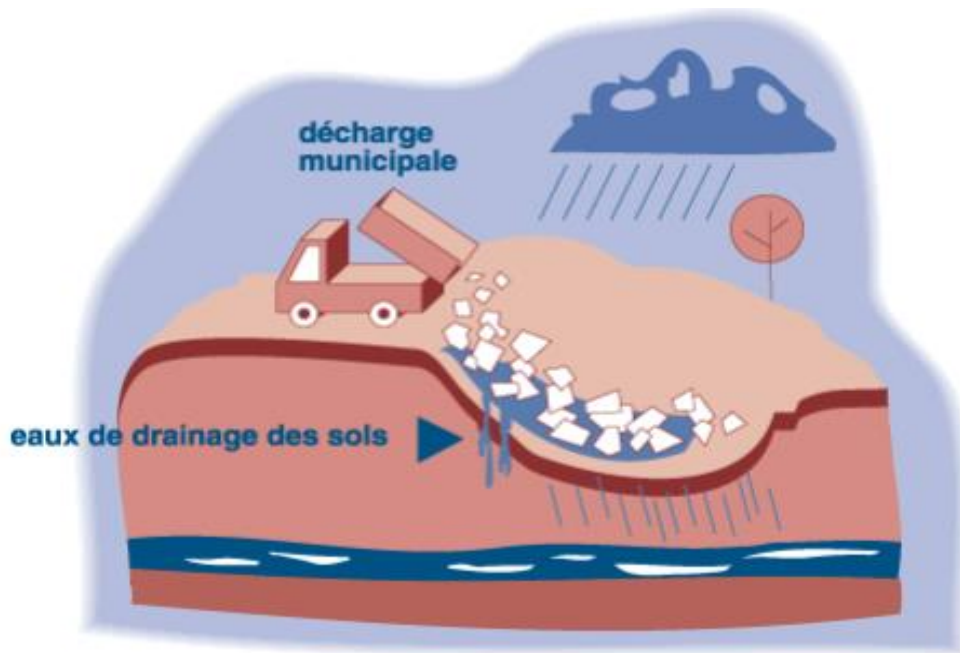


Figure I. 4 : Schématisation pollution anthropique. [20]

❖ **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]

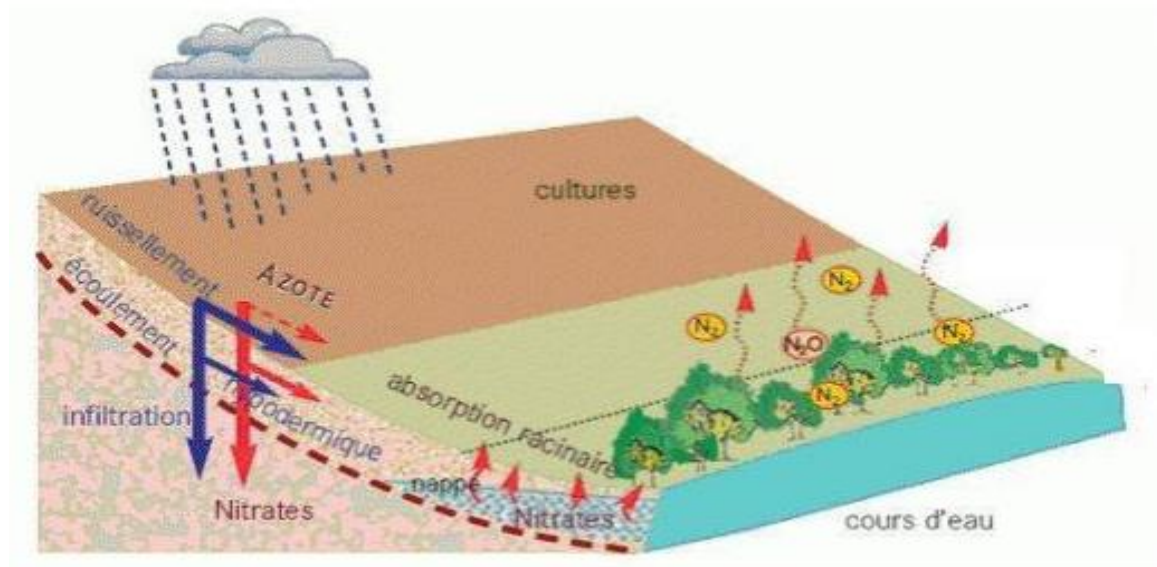


Figure I. 6 : Schématisation de la pollution agricole. [20]

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]

Conclusion :

Généralement l'eau souterraine est de bon qualité mais avant toute consommation de cette eau, il est indispensable de procéder au contrôle de sa qualité aussi bien physico- chimique, et bactériologique car c'est une ressource fragile, et la négligence de ce contrôle provoquerait l'apparition de maladies à transmission hydrique chez la population en cas de consommation d'eau polluée. Donc il est impérieux de la protéger adéquatement afin de minimiser les risques de contamination qui la menacent.

CHAPITRE II :
PRESENTATION DE LA
ZONE D'ETUDE.

II.1.Introduction :

Avant d'entamer n'importe quel projet, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques du lieu et les facteurs qui influent sur l'élaboration de ce projet, pour cela nous devons disposer de certaines données Géographiques, climatiques et géologiques.

Ce chapitre a pour but de donner une idée générale sur la région d'étude, d'abord nous allons entamer par la présentation des données physico-chimiques des eaux souterraines de la région de Boumerdés, 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 hydrographiques Algérois-Hodna-Soummam ou on a fait une présentation du bassin, son réseau hydrographique, les caractéristiques climatiques.

II.2. Situation géographique de Boumerdés :

La wilaya de Boumerdés est une wilaya côtière du centre du pays qui s'étend sur une superficie de 1 456,16 km² avec 100 km de profil littoral allant du cap de Boudaoud el Bahri à l'ouest à la limite est de la commune d'Alfir. La population de la wilaya est évaluée à 801 068 habitants, réparti sur 32 communes et 09 daïras.



Figure II.1 : Carte du découpage administratif de la wilaya de Boumerdes.

II.2.1. Le cadre physique :

Au plan géographique, la wilaya de Boumerdés est limitée par

- La Mer méditerranée au nord.
- La wilaya de Tizi-Ouzou à l'Est et la wilaya de Bouira au sud-est.
- La wilaya de Blida au sud-ouest.
- La wilaya d'Alger à l'ouest.

Cette position géographique confère à la wilaya de Boumerdés une position intéressante sur le plan des échanges commerciaux pour la région nord comme lieu de passage entre les parties Est et ouest de l'Algérie. A travers la wilaya de Bouira, Boumerdés constitue une porte vers la région steppique et du sud d'Algérie.

II.2.2 .Le relief :

Le relief de la Wilaya est caractérisé par une juxtaposition d'ensembles physiques bien différenciés :

- une partie de la plaine de la MITIDJA orientale.
- la zone des côtiers d'Alger-Est et les vallées des oueds ISSER et SEBAOU.
- la zone des collines de la chaîne côtière.
- la zone des piedmonts.
- la zone montagneuse.

Il s'agit d'une topographie de plaines et de vallées au nord, de collines et de plateaux dans sa partie intermédiaire et de montagnes au sud. la wilaya caractérisée au Nord par la partie orientale de la large baie de Boumerdés au centre de laquelle se trouve son chef-lieu.

II.2.3. Climat :

La wilaya de boumerdès est caractérisée par un climat méditerranée (hivers froids et humides et étés chauds et secs).

La pluviométrie est irrégulière et varie entre 300 et 1300 mm/an.

Les amplitudes thermiques annuelles sont en général faibles dans la wilaya ; ceci étant dû à la proximité de la mer. La température moyenne est de 18° près de la cote et de 25° à l'intérieur des terres.

Tableau II.1. CLIMATIQUE BOUMERDÈS

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	9.8	10	12.5	15	18.4	22.9	26.4	26.6	23.3	19.9	14.1	11
Température minimale moyenne (°C)	5.9	5.8	7.8	9.9	12.9	16.8	20	20.8	18.3	15.2	10.4	7.3
Température maximale (°C)	14.5	14.8	17.6	20.2	23.7	28.8	32.6	32.8	29	25.5	18.8	15.5
Précipitations (mm)	94	79	74	69	53	9	2	9	34	61	96	92
Humidité(%)	75%	73%	72%	71%	69%	59%	54%	56%	63%	64%	71%	74%
Jours de pluie (j/ée)	9	8	7	7	5	2	1	1	5	6	9	8
Heures de soleil (h)	6.8	7.5	8.7	9.9	11.0	12.3	12.4	11.4	10.1	8.9	7.3	6.8

Data: 1991 - 2021 Température minimale moyenne (°C), Température maximale (°C), Précipitations (mm), Humidité, Jours de pluie. Data: 1999 - 2019: Heures de soleil

Entre le plus sec et le plus humide des mois, l'amplitude des précipitations est de 94 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 16.8 °C.

II.2.4. pédologie :

Du point de vue pédologique, Boumerdès dispose d'un potentiel en sols d'une grande valeur agronomique, essentiellement réparti sur la vallée du bas Isser, la plaine du SEBAOU et de la Mitidja. Les sols sont caractérisés par une texture fine et par leur forte aptitude culturale. Selon leur potentialité agro-pédologique, nous distinguons trois catégories principales:

- Les sols fertiles à haut rendement agricole formant les plaines du littoral dont une partie est souvent marécageuse (bordure des oueds).
- Les sols cultivables mais parfois accidentés et exposés à l'érosion, propices à la pratique de la céréaliculture et de l'arboriculture rustique au niveau des piedmonts.
- Les sols pratiquement incultes formant les massifs montagneux rocaillieux, accidentés et recouverts de végétation forestière.

La nature pédologique des sols est influencée par une roche mère de nature calcaire. Ce substrat géologique est omniprésent dans les bassins versants de l'Oued Sébaou et l'Oued Isser. Il est représenté notamment par les formations du tertiaire (marnes bleues du Miocène et Miopliocène) et des formations quaternaires du littoral. Ces formations sont représentées par des faciès littoraux et alluviaux masquant souvent la structure géologique de la région (Chemlal, 1983). Les alluviaux littoraux appelés aussi dépôts éoliens sableux sont formés à partir du retrait de la mer et du ravinement des formations tertiaires ; ils constituent le support actuel des sols agricoles étudiés. S'agissant des formations du quaternaire, elles sont répandues dans la région et décrites comme étant des sables de couleur rouge brique plus ou moins argileux, très fins et très riches en oxydes de fer. Ces formations rougeâtres qui gardent

l'empreinte calcique de la roche mère sont par endroit sablo-limoneuses peuvent atteindre 50 m de profondeur (Chemlal (1983). D'après la synthèse des travaux du BNEDER (1994), les sols sont principalement répartis entre les classes de sols calcaires moyennement profonds, les sols calcaires calciques dunaires et les sols bruns calcaires. Du point de vue pédologique les sols étudiés appartiennent à la classe des sols fersiallitiques et sont formés sur un substrat géologique de type sables rouges du pliocène supérieur très compact qui affleurent et recouvrent les marnes bleues plus anciennes à certains endroits.

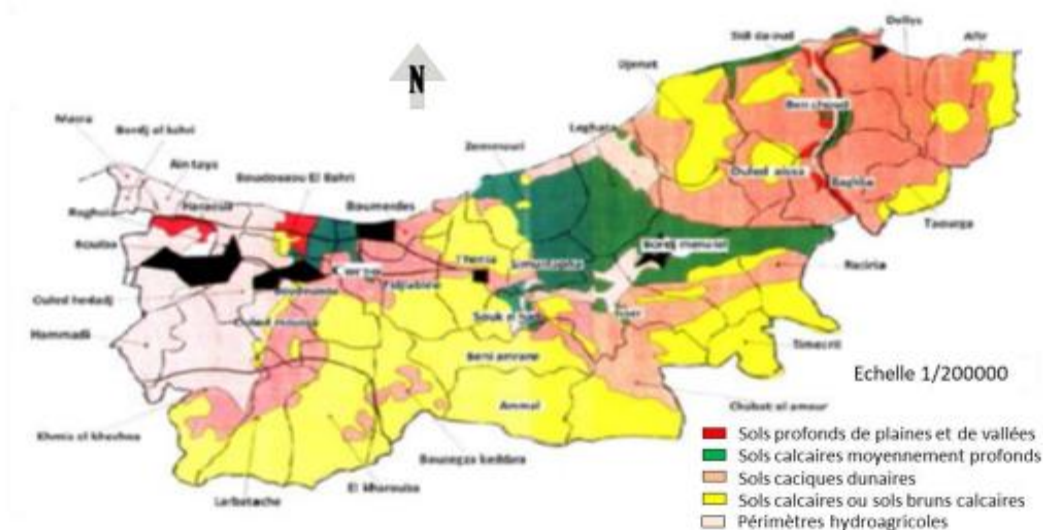


Figure II.2 : Carte des sols de Boumerdes (extraite de l'étude du BNEDER, 2004).

II.2.5. Hydrographie :

Le territoire de la wilaya de Boumerdes est traversé par un important réseau hydrographique. Outre les petits cours d'eau, il existe des oueds d'un débit appréciable tels que :

- L'Oued SEBAOU.
- L'Oued ISSER.
- L'Oued LARBATACHE.
- L'Oued KEDDARA.

Les débits de ces oueds, bien qu'importants en saison humide, sont en général irréguliers.

II.3. les ressources hydriques :

La wilaya de Boumerdes dispose de grandes réserves hydriques souterraines et superficielles. Les potentialités hydriques souterraines sont de l'ordre de 99,91 HM3 et sont réparties sur six

nappes (Bas Sebaou, Bas Isser, Oued Boumerdès, Oued Corso, Oued Boudouaou, Mitidja orientale).

Les barrages de la wilaya de Boumerdès au nombre de six (trois grands barrages et trois petits barrages) forment principalement les réserves superficielles d'une capacité totale théorique de : 183 184 000 M3

Tableau II.2 : La capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes.

Nom du barrage	Capacité x10 ⁵ m ³
Keddara	145.6
Hamiz	162.8
Amrane	131
Sahel Bouberek	37
Djinet	28
Chender	17

II.3.1. les ressource en eaux mobilisées :

Les ressources effectivement mobilisées sont de l'ordre de 284,74 Hm3 /an et sont répartis comme le montre le tableau II.2

Tableau II.3 : capacité en eau mobilisé dans la wilaya de Boumerdes.

Ressources	Volume x 1000 (m3/An)
Barrages	183.88
Eaux souterraines	82.88
Retenues collinaires	1.16
Sources	0.69

La wilaya de Boumerdes dispose de ressources en eaux potentiellement mobilisables et qui sont représentées par les 3 stations d'épuration (Boumerdes, Thenia et (Zemmouri). Ces infrastructures ont permis d'atteindre des taux de raccordement appréciables 88,18 % en assainissement) et de mettre en évidence la réelle opportunité de valorisation agricole des eaux usées épurées.

II.4.Présentation générale du Bassin hydrographiques Algérois-Hodna-Soummam:

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam est situé dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. Il couvre une superficie de 47 431 Km² . Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Chellif-Zahrez, à l'Est par le bassin Constantinois-Seybouse-Mellègue et enfin au Sud par le bassin du Sahara.

II.4.1. Limites administratives:

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam s'étend sur 14 wilayas, 06 en totalité et 08 partiellement avec :

- Communes : 460
- Agglomération : 1483
- Superficie : 47 588 Km²
- Population : 11 409 089 habitants (2008).

II.4.2. Les bassins versants:

D'une superficie de 47 588 km² , le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam englobe trois grands bassins versants à savoir :

- L'Algérois (02) : Il s'étend sur une superficie de 12 620 km².
- La Soummam (15) : s'étend sur une superficie de 9 125 km².
- Le Hodna (05) : s'étend sur une superficie de 25 843 km.

II.4.2.1. L'algérois :

Il s'étend sur une superficie de 12620 km² . Le réseau hydrographique compte 22 oueds principaux totalisant une longueur de 818km, il est composé de trois bassins (ABH, 2002) :

1. Isser (09).
2. Côtier algérois (2a).
3. Côtier algérois (2b).

Le bassin hydrographique côtier algérois 2a se caractérise par sa diversité qui comprend de grandes villes, une zone agricole parmi les plus importantes d'Algérie, un aquifère menacé de surexploitation, des oueds pour lesquels la pollution est souvent préoccupante, une activité industrielle importante..... ;(ABH, 2002).

II.4.2.2. La Soummam(15) :

Le bassin versant de la Soummam s'étend sur une superficie de 9125km² .Il couvre une région essentiellement montagneuse dont les montagnes s'arrêtent à quelques kilomètres de la mer. Il est caractérisé par un réseau hydrographique très marqué et bien alimenté, ayant provoqué des érosions profondes. Il reçoit une quantité importante d'eau, estimé à environ 700millions de mètres cubes par on, On y retrouve des cours d'eau permanents et temporaires dont le plus important est l'oued Soummam. Le bassin versant de la Soummam est drainé par un réseau dense d'affluents temporaires. Le profil en long présente un aspect général concave,

tout à fait classique : les pentes décroissent vers l'aval (3.6% en aval du confluent Sahel-Boussellam, 0.3% dans la plaine de Bejaia) soit une pente moyenne de 1.95% (Coyne et Bellier,1973).

II.4.2.3. Le Hodna (05) :

Il couvre une superficie de 25 843 km². Le bassin versant du Hodna est un bassin endoréique sous forme dépression allongé Est-Ouest. Le chevelu hydrographique est moins dense, il est représenté par plusieurs petits oueds qui prennent leur naissance des monts du Hodna, situés au Nord. Les oueds qui existent dans toute la région sont des oueds temporaires et il n'y a écoulement superficiel que pendant les fortes et rares chutes de pluies. Ces oueds trouvent leurs exutoires dans le chott El Hodna. Ce dernier est une vaste dépression endoréique salée avec une superficie de 362.000 ha. Le chott el Hodna est considéré parmi les zones humides représentatives au niveau de la méditerranée.

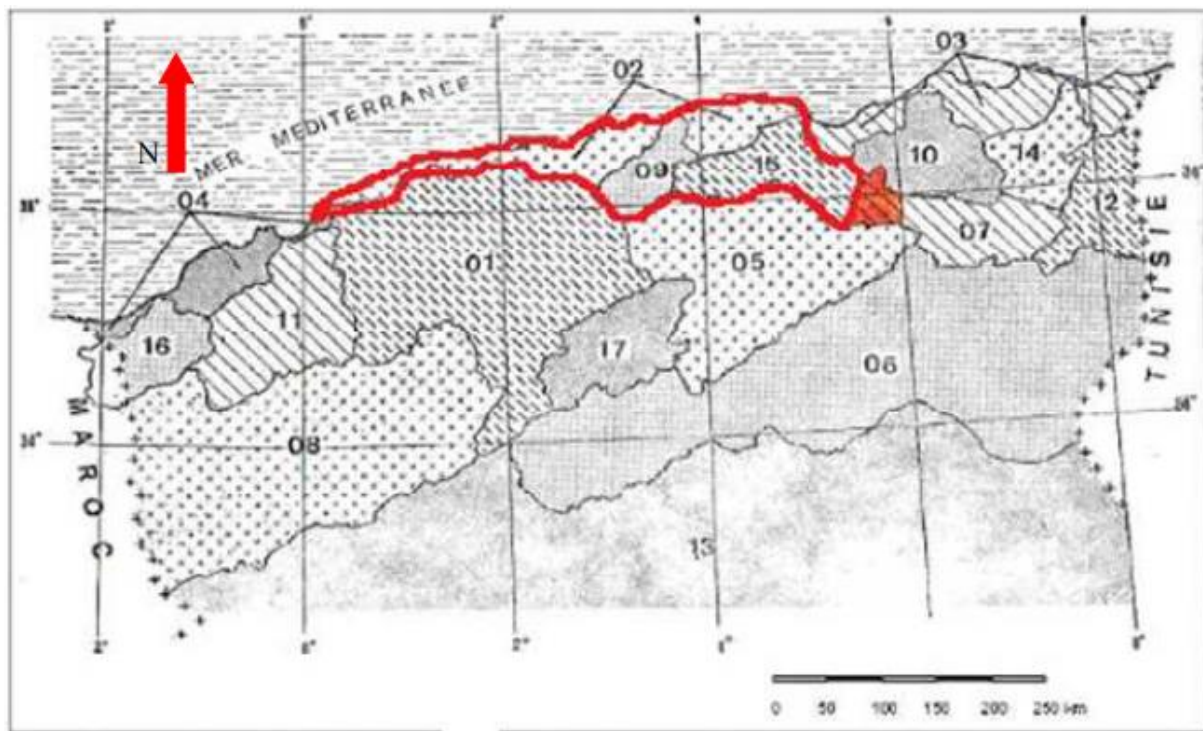


Figure.II.3 : Région hydrographique Algérois- Hodna- Soummam (source ANRH).



Figure. II.4: Carte de la région avec l'emplacement des stations de mesure.

Source (ANRH) Echelle

1/500000

II.4.3. Le réseau hydrographique:

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam présente un réseau hydrographique dense d'environ 2 700 km. Il draine les apports de 57 sous bassins :

- Le bassin du Côtier-Algérois, composé de 18 sous bassins, Il comprend deux parties distinctes le Côtier Algérois (02a) à l'ouest et le Côtier Algérois (02b) à l'est. Les oueds Mazafran, El Harrach et le Sébaou constituent les plus importants oueds du bassin.
- Le bassin de l'Isser, composé de 05 sous-bassins, a une superficie de 4 149 km². l'oued du même nom s'écoulant du sud vers le nord constitue le principal cours d'eau du bassin.
- Le bassin de la Soummam, composé de 10 sous bassins, Le principal système de drainage du bassin comprend de l'ouest vers l'est, les oueds Sahel et Bou Sellam et leurs affluents.

II.4.4. La pluviométrie:

Les précipitations dans le bassin Algérois - Hodna - Soummam se caractérisent par une grande variation spatiale et temporaire. Les valeurs de la pluie annuelle diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte. En effet, les précipitations varient en moyenne entre 559 et 760 mm dans la région côtière et de 220 à 400 mm dans le sud (bassin du Hodna).

II.5. Données d'analyse physico-chimique des eaux de forages de la région de Boumerdés (2020-2021) :

Les données d'analyse présentées ici sont issues de la campagne de prélèvement réalisée par laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau (Boumerdes) sur 59 forages en 2020 et forages en 2021.

II.5.1. Données d'analyses chimiques :

Le tableau ci-dessous montre les données d'analyses des paramètres chimiques pour année 2020 :

Tableau II.4: Données d'analyses chimique (Année 2020).

Forages	Nom de forages	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F1	f18 TOUZALINE	184	82	43	4	159	126	549	0.02
F2	f6 NACERIA	176	38	30	4	117	114	494	1.86
F3	f1 NACERIA	120	72	31	5	138	73	475	0.01
F4	f5 SOUK ELHAAD	200	100	45	4	175	111	400	2.04
F5	f1 TIDJELABINE	212	34	46	3	175	129	463	0.22
F6	f5 BOUDOUAOU	1	256	55	3.4	212	136	360	20
F7	f5 O MOUSSA	128	14	34	2	103	99	256	60
F8	f ROUIBA ECHANG	128	11	40	1.5	118	109	280	76
F9	f TALAOUDDRAR	73	46	29	2.2	138	53	408	9
F10	f KAOUCHACHE	93	55	36	3	117	118	287	7
F11	PUIT SIDI SALEM	122	29	42	0.6	117	81	335	8
F12	f MOUAISSIA	91	21	34	2	67	77	292	7.35
F13	f BENAMAR	86	19	29	1.5	102	114	274	7.3
F14	f SMAIDIA	98	19	29	2	139	91	280	14
F15	f HAMMADI	82	23	27	1.3	67	82	213	13
F16	f BENHAMZA	79	26	29	1.3	102	56	219	14
F17	f O BRAHIM	70	17	41	1.2	138	65	207	15
F18	f BENOADAH	91	14	39	1.4	103	53	189	15
F19	f2 DELLYS	132	10	41	3	110	95	250	0.08
F20	f VAS BENCHOUD	108	24	42	5.4	150	77	335	0.08
F21	f ZAATRA	120	69	41	4	244	165	561	14
F22	s KHAROUBA ARR	91	51	28	4	153	177	219	3.72
F23	f BAGHLIA	40	16	35	4.8	120	41	402	0.53
F24	f GOUFFAF	22	18	36	5	134	66	372	0.53
F25	f SIDI DAOUD	32	25	32	4	92	61	372	2.39
F26	f LAZAD	54	30	39	3	85	39	305	0.5
F27	f DAR EL BEIDA	38	12	37	3	134	43	451	0.53
F28	f TAOUARGA	18	12	34	4	113	81	408	0.53
F29	s TAOURGA	19	63	32	33	104	68	335	60

Suite des données d'analyses des paramètres chimiques pour année 2020 :

Forages	Nom de forages	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F30	f2 BOUDOUAOU	105	30	56	5	251	173	600	10
F31	s KHAROUBA DEP	61	38	50	6	195	132	195	5
F32	f SIDI SALEM	58	37	43	0.8	159	84	445	70
F33	f1 BOULERDESS	192	38	49	3	147	141	445	5.37
F34	f2 O BRAHIM	88	48	42	1	138	79	317	4.48
F35	f O LARBI	112	57	53	2	123	225	358	109
F36	f6 KEK	120	60	32	2	76	250	301	77
F37	f BENYAMINA	120	24	31	1	91	226	363	15
F38	f3 BENHAMZA	120	48	31	1.3	88	127	351	22
F39	f2 HAMMADI	120	67	28	1.5	82	131	327	32
F40	f BENCHOUUD	124	32	35	3.3	174	110	370	3.18
F41	f1 BENITHOUR	140	28	42	4	150	94	436	3
F42	f3 BENITHOUR	124	33	43	6	143	94	440	3
F43	f1 O MOUSSA	208	19	41	2	70	99	311	50
F44	f8 KHMIS	184	53	46	2	107	124	305	46.2
F45	f CHEBACHEB	168	124	48	5	112	106	292	10
F46	f5 HAMMADI	120	53	29	1	39	117	250	9
F47	f4 HAMMADI	152	57	31	1	40	63	268	13
F48	f1 HAMMADI	152	48	34	1	58	88	274	20
F49	f2 HAMMADI	120	8	35	1	58	112	268	24
F50	R BAGHLIA	168	62	47	3	87	74	427	7
F51	f VAS GOUFFAF	168	110	50	5	91	82	420	0.79
F52	sr OULED AISSA	176	106	44	3	84	75	384	3.5
F53	f1 TIMIZRIT	152	67	49	4	128	60	457	0.66
F54	f7 NECERIA	112	124	43	3	92	86	451	16.7
F55	f2 TIMIZRIT	128	154	52	5	134	107	420	1.3
F56	f2 BENOADAH	192	5	42	3	85	56	335	26
F57	f2 LAZAD	208	34	42	3	85	88	366	0.84
F58	CAP BENI ATTAR	184	14	23	3	85	48	296	9
F59	f2 BENHAMZA	160	72	50	3	120	80	390	0.08

Le tableau ci-dessous montre les données d'analyses des paramètres chimiques pour année 2021 :

Tableau II.5 : données d'analyses chimique (Année 2021).

forages	Nom de forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	k ⁺	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F1	f2 BOUDOUAOU	184	43	33.5	1.6	21.7	190	548	14
F2	f SIDI SALEM	104	28.8	14.8	1.9	33.9	40	141	8
F3	f2 ISSER	20	8.2	50	3	127	190	544	3.46
F4	f1 TILMIZRIT	112	14	49	3	110	50	50	4.48
F5	f1 NACERIA	152	29	43	6	125	92	483	5.68
F6	f2 NACERIA	128	32	35	4	86	77	470	28
F7	f2R O MOUSSA	160	43	27	1	157	117	345	1.16
F8	f19 SI MOUSTPHL	200	110	36	3	139	166	570	10
F9	fO MOUSSA	120	38	37	3	38	62	354	45
F10	BM 13 B MENAIL	52	14	23	4	49	41	186	19
F11	f24 TOUZALINE	160	57	56	3.5	149	120	485	20
F12	f5 O MOUSSA	112	84	51	2	115	100	330	103
F13	f5 BOUDOUAOU	144	74	93	3	212	102	484	24
F14	fTAOUARGA	216	44	37	5	158	63	441	6
F15	f2 HAMMADI	112	22	31	2	68	72	296	50
F16	fSMAIDIA	128	22	32	2	94	82	296	48
F17	fMOUAISSIA	104	24	33	2	60	90	308	34
F18	fO BRAHIM	100	36	46	1	73	48	335	43
F19	f13 SI MOUSTPHL	168	62	60	5	173	116	689	19
F20	f20 SI MOUSTPHL	160	19	53	2	102	11	500	42
F21	fDELLYS	144	19	43	7	60	60	378	7
F22	fLAZAD	80	38	41	3	40	47	408	6
F23	f1.2 TOUARGA	136	11	51	6	49	48	463	6.47
F24	CAP BENIATTAR	64	27	21	3	22	31	359	7
F25	fGOUFFAF	128	12	51	6	50	56	396	1.4
F26	fBAGHLIA	88	40	47	5	46	74	372	8.32
F27	fBENHAMZA	80	45	43	3	39	83	356	5.49
F28	fO KEDACHE	168	33	51	1.4	288	103	457	20
F29	fVAS BENCHOU	128	19	50	7	85	78	403	4
F30	f1 AFIR	144	45	46	5	62	68	404	3
F31	f1 BOUMERDES	120	58	59	3	141	85	494	8
F32	S TALAOUDRAR	72	67	34	2	68	36	530	6
F33	fTALAOUDRAR	96	44	37	2	52	37	463	7
F34	BM 8	168	68	56	1	184	139	616	12
F35	f6 BOUDOUAOU	104	14	66	2	236	52	585	35
F36	fR3 BOUDOUAOU	216	67	73	2	160	65	518	40
F37	fBENOUDAH	112	40	49	3	78	24	240	45
F38	f5 HAMMADI	96	58	33	3	42	92	274	27
F39	f7 SOUK EL HAA	180	79	59	5	129	312	610	13
F40	f5 SOUK EL HAA	184	105	64	3	111	76	506	20
F41	f21 SOUK ELHAA	160	105	55	3	93	68	494	16
F42	f5R O MOUSSA	136	38	46	2	85	73	244	50
F43	f1 o kedache	200	34	63	2	152	53	463	29
F44	f6 AFIR	120	48	44	5	101	23	378	9
F45	f1 BENITHOUR	120	72	51	6	96	36	439	6
F46	fBENCHOU	160	38	48	4	91	32	384	7
F47	f4 AFIR	124	32	42	3	133	111	397	2.35
F48	f2 SIDI DAUD	140	46	33	3	281	98	392	1.32
F49	f2 TOUARGA	116	50	39	4	278	104	447	2
F50	f2 BAGHLIA	108	36	36	4	299	97	412	4
F51	fVAS BAGHLIYA	104	29	36	4	216	94	409	2
F52	S TAOUARGA	100	36	24	3	241	72	314	1

II.5.2. Données d'analyse physique :

Le tableau ci-dessous montre l'ensemble des données d'analyses des paramètres physiques pour année 2020 :

Tableau II.6 : Données des paramètres physique (Année 2020).

Forages	T(°c)	PH	Cond (µs/cm)	Turbidité (NTU)	Forages	T(°c)	PH	Cond (µs/cm)	Turbidité (NTU)
F1	18	7.05	1726	0.45	F31	20	7.8	1686	10
F2	5	7.08	1168	0.45	F32	10	8.84	1607	0.5
F3	5	7.11	1121	0.43	F33	22	6.72	1669	0.8
F4	14	8.3	606	0.36	F34	23	6.67	1102	0.5
F5	17	7.23	1691	0.36	F35	15	6.87	1674	0.7
F6	17	7.25	2160	4.33	F36	17	6.92	1331	1.9
F7	21	6.67	1371	0.56	F37	19	7.12	992	1.6
F8	21	6.79	1310	0.48	F38	19	7.87	1007	0.6
F9	19	7.4	1265	3	F39	19	7.5	1056	0.6
F10	21	7.29	1495	1	F40	14	7.07	1201	2.4
F11	20	7.21	1647	2	F41	13	7.14	1242	21
F12	16	7.68	1068	2	F42	13	6.97	1267	2
F13	15	7.56	987	0.3	F43	8	7.24	1091	1
F14	15	7.4	1162	0.2	F44	8	7.25	1219	0.5
F15	15	7.35	1023	0.6	F45	8	9.07	1072	0.4
F16	16	7.36	947	0.5	F46	7	7.46	812	0.4
F17	14	7.17	1047	0.3	F47	8	7.34	816	0.5
F18	15	7.63	1226	0.2	F48	8	7.22	889	0.3
F19	20	7.48	1436	10	F49	8	7.26	942	0.2
F20	18	7.28	1297	4	F50	18	7.09	1174	0.3
F21	12	6.99	2400	0.42	F51	18	7.11	1201	0.2
F22	22	7.02	1535	3	F52	18	5.51	1033	2
F23	21	7.16	1210	0.3	F53	19	7.17	1190	29
F24	23	7.31	1300	0.3	F54	20	7.29	1180	0.9
F25	16	7.24	1036	0.7	F55	20	7.16	1245	0.6
F26	17	7.41	1354	0.2	F56	20	7.05	1030	0.4
F27	18	7.07	1277	0.4	F57	12	7.34	973	0.4
F28	18	7.6	1276	0.4	F58	12	7.05	705	0.3
F29	19	7.16	1476	0.2	F59	12	7.28	1107	0.2
F30	21	6.63	2280	0.7					

Le tableau ci-dessous montre l'ensemble des données d'analyses des paramètres physiques pour année 2021 :

Tableau II.7 : Données des paramètres physique (Année 2021).

forages	T(°c)	PH	Cond (µs/cm)	Turbidité (NTU)	forages	T(°c)	PH	Cond (µs/cm)	Turbidité (NTU)
F1	18	6.97	1799	0.8	F27	25	7.23	1078	0.5
F2	17	7.59	507	0.5	F28	11	7	1449	0.8
F3	21	7.56	1979	21	F29	22	7.16	1154	5
F4	12	6.89	1032	9	F30	24	7.3	1156	1.5
F5	12	6.78	1350	0.4	F31	24	6.62	1536	0.9
F6	12	6.84	1149	0.5	F32	24	7.36	1095	0.3
F7	10	7.08	1192	3	F33	23	7.84	1100	0.3
F8	16	6.9	2050	9	F34	25	6.71	1763	6
F9	16	7.18	1204	7.66	F35	24	6.98	1819	0.6
F10	20	7.62	538	1	F36	24	6.78	1819	0.6
F11	22	6.83	1675	0.7	F37	26	7.19	1114	10
F12	10	7.26	1215	0.7	F38	24	7.44	904	51
F13	19	6.83	1827	0.3	F39	23	7.7	1766	4
F14	20	7.66	1289	5.5	F40	18	7.08	1730	1
F15	25	6.97	947	0.4	F41	18	7.08	1739	6
F16	24	7.06	1058	0.5	F42	19	7.24	1151	0.9
F17	23	7.08	953	1.6	F43	8	6.98	1471	0.4
F18	21	7.08	996	0.8	F44	9	7.68	1136	0.6
F19	20	6.85	210	62	F45	9	7.74	1125	1
F20	21	6.91	1434	39	F46	9	7.76	1094	3.4
F21	23	7.32	1103	8	F47	14	7.09	1237	11
F22	25	6.99	1014	0.9	F48	19	6.98	1204	2.2
F23	25	7.07	1157	0.4	F49	20	6.76	1361	0.5
F24	25	7.06	698	0.4	F50	20	6.83	1272	0.5
F25	25	7.08	114	0.5	F51	20	6.83	1227	0.8
F26	25	7.09	1121	0.4	F52	19	6.68	1163	0.7

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons pu présenter notre zone d'études, La région de Boumerdés, dispose de grandes réserves hydriques souterraines et superficielles. Les potentialités hydriques souterraines sont de l'ordre de 99,91 HM3 et sont réparties sur six nappes (Bas Sebaou, Bas Isser, Oued Boumerdes, Oued Corso, Oued Boudouaou, Mitidja orientale).

nous avons présenté un aperçu sur Le Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam concernée du point de vue limite administrative, climatologique.

*CHAPITRE III : CALCULS
ET INTERPRETATION DES
RESULTATS.*

Introduction :

L'eau souterraine constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable de la population. Cette eau est le plus souvent de bonne qualité car elle est naturellement filtrée par le sol. Celle-ci demeure une ressource fragile et plusieurs sources de contamination peuvent en affecter la qualité et la rendre impropre à toute fin.

Cependant, la qualité de l'eau a été largement décrite dans la littérature scientifique. La définition la plus courante de la qualité de l'eau est: «ce sont les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau».

Donc 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.).

Le but de ce chapitre est de définir la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région de Boumerdès 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.

L'ensemble des analyses sont prélevées au niveau de différents forages « Laboratoire de Contrôle de Qualité-Algérienne des eaux UNITE DE BOUMERDES » qui est à Boumerdes

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 (éq/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 :

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

Tableau III.1 : Résultats de calcul de la Balance Ionique(BI) (Année 2020).

N° de forage	BI(%)	N° de Forage	BI(%)	N° de Forage	BI(%)	N° de Forage	BI(%)	N° de Forage	BI(%)	N° de Forage	BI(%)
F1	5.28	F11	1,39	F21	18,58	F31	15,12	F41	8.79	F51	27.71
F2	1.78	F12	3.69	F22	7.34	F32	30.36	F42	9.61	F52	30.94
F3	0,72	F13	15.89	F23	37,21	F33	1.54	F43	16.18	F53	10,72
F4	18,85	F14	15.56	F24	44,98	F34	2,92	F44	15.77	F54	19,10
F5	0.78	F15	0.73	F25	32.03	F35	11,07	F45	33,71	F55	24,84
F6	22,15	F16	3.16	F26	8.44	F36	4,46	F46	19.86	F56	11,33
F7	5.52	F17	13.95	F27	45.09	F37	18,09	F47	31,93	F57	19,10
F8	11.43	F18	0.52	F28	53,88	F38	0.37	F48	22,31	F58	15,23
F9	14,98	F19	0.49	F29	12.72	F39	7.78	F49	3,26	F59	17,08
F10	1,09	F20	9.66	F30	33,62	F40	12.15	F50	16.84		

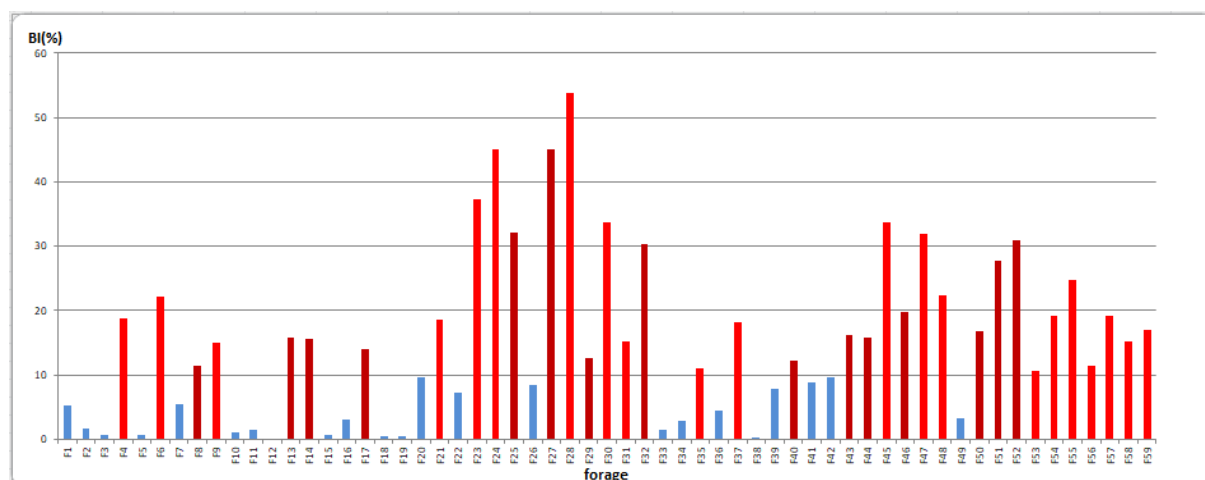


Figure III. 1 : Histogramme de la Balance ionique (Année 2020).

Dans notre cas lorsque on a calculé la balance ionique, les résultats montrent qu'il y a 36 forages qui dépassent la valeur de 10% sont : (F4 :18.85%), (F6 :22.15%), (F8 :11.43%), (F9 :14.98%), (F13 :15.89%), (F14 :15.56%), (F17 :13.95%), (F21 :18.58%), (F23 :37.21%), (F24 :44.98%), (F25 :32.03%), (F27 :45.09%), (F28 :53.88%), (F29 :12.72%), (F30 :33.62%), (F31 :15.12%), (F32 :30.36%), (F35 :11.07%), (F37 :18.09%), (F40 :12.15%), (F43 :16.18%), (F44 :15.77%), (F45 :33.71%), (F46 :19.86%), (F47 :31.93%), (F48 :22.31%), (F50 :16.84%), (F51 :27.71%), (F52 :30.94%), (F53 :10.72%), (F54 :19.10%), (F55 :24.84%), (F56 :11.33%), (F57 :19.10%), (F58 :15.23%), (F59 :17.08%), (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 36 forages dont leurs valeurs dépassent la norme, pour nous continuons notre travail, enfin on a trouvé 23 forages à étudier.

Tableau III.2 : Résultats de calcul de la Balance Ionique(BI) (Année 2021).

N° de Forage	IB(%)	N° de Forage	IB(%)	N° de Forage	IB(%)	N° de Forage	IB(%)	N° de Forage	IB(%)
F1	1.58	F12	8.73	F23	0.06	F34	5.56	F45	14.12
F2	32.23	F13	2.88	F24	6.27	F35	31.77	F46	15.96
F3	61.59	F14	10.41	F25	3.49	F36	13.08	F47	8.07
F4	27.98	F15	1.55	F26	4.15	F37	10.21	F48	14.39
F5	5.71	F16	1.75	F27	4.84	F38	15.95	F49	19.48
F6	6.73	F17	2.87	F28	15.04	F39	5.62	F50	26.57
F7	0.72	F18	3.83	F29	1.84	F40	21.61	F51	23.06
F8	10	F19	7.61	F30	13.92	F41	21.27	F52	19.46
F9	9.7	F20	0.31	F31	2.08	F42	15.67		
F10	7.1	F21	7.72	F32	3.69	F43	7.31		
F11	0.75	F22	0.49	F33	0.67	F44	10.67		

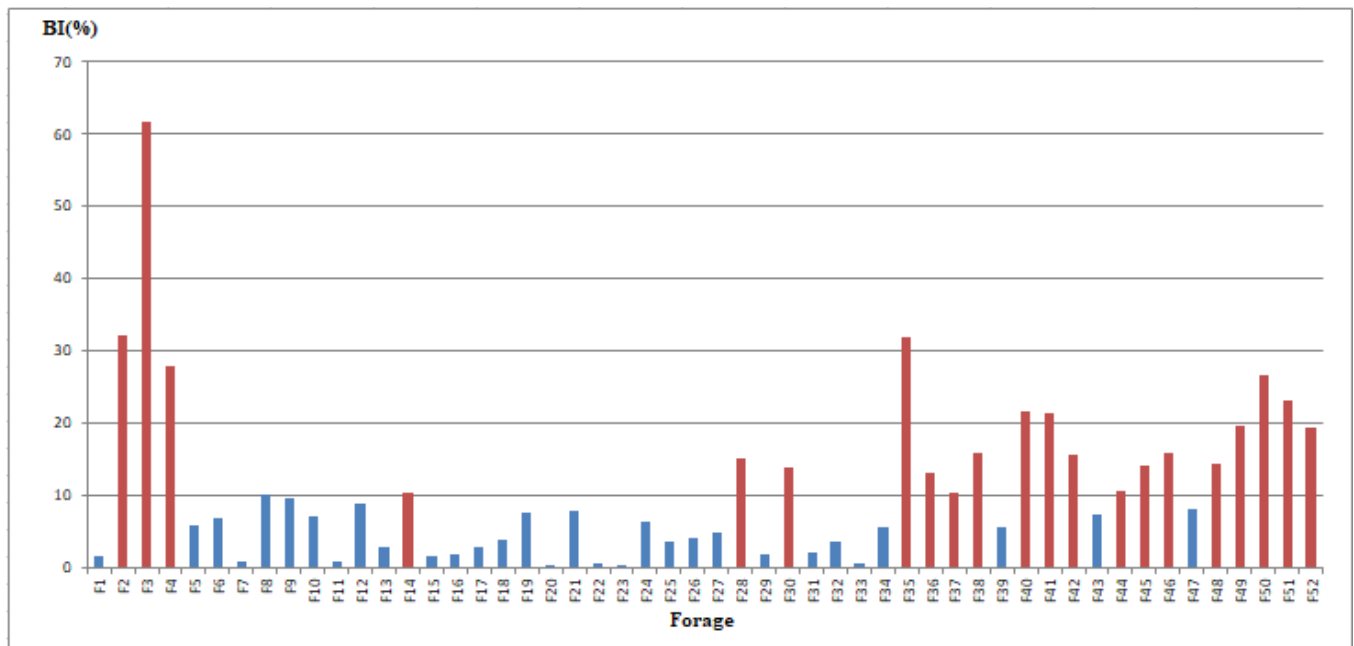


Figure III.2 : Histogramme de la Balance ionique (Année 2021).

Dans notre cas lorsque on a calculé la balance ionique, les résultats montrent qu'il y a 21 forages qui dépassent la valeur de 10% sont : (F2 :32.23%), (F3 :61.59%), (F4 :27.98%), (F14 :10.41%), (F28 :15.04%), (F30 :13.92%), (F35 :31.77%), (F36 :13.08 %), (F37 :10.21), (F38 :15.95%), (F40 :21.61%), (F41 :21.27%), (F42 :15.67%), (F44 :10.67 %), (F45 :14.12), (F46 :15.96%), (F48 :14.39%), (F49 :19.48%), (F50 :26.57%), (F51 :23.06 %), (F52 :19.46), (Figure III.2), 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 21 forages dont leurs valeurs dépassent la norme, pour nous continuons notre travail, enfin on a trouvé 31 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 :

$$a_i = \gamma_i \cdot C_i$$

a_i : activité ionique de l'ion i .

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

Modèle de Debye-Hückel limité DHL :

$$\ln(\gamma_i) = -0.509 \cdot Z_i^2 \cdot \sqrt{I}$$

Z_i : charge de l'ion i .

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

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 (Année 2020).

Forage	I(mol/l)	Forage	I(mol/l)
F1	2.63E-02	F20	1.48E-02
F2	2.07E-02	F22	1.71E-02
F3	2.00E-02	F26	1.06E-02
F5	2.34E-02	F33	2.25E-02
F7	1.44E-02	F34	1.55E-02
F10	1.65E-02	F36	2.10E-02
F11	1.55E-02	F38	1.76E-02
F12	1.20E-02	F39	1.89E-02
F15	1.11E-02	F41	1.79E-02
F16	1.12E-02	F42	1.75E-02
F18	1.08E-02	F49	1.30E-02
F19	1.39E-02		

Tableau III.4 : Coefficient d'activité ionique γ_i (Année 2020).

N° de Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F1	0.47	0.47	0.83	0.83	0.83	0.47	0.83	0.83
F2	0.51	0.51	0.84	0.84	0.84	0.51	0.84	0.84
F3	0.52	0.52	0.85	0.85	0.85	0.52	0.85	0.85
F5	0.49	0.49	0.84	0.84	0.84	0.49	0.84	0.84
F7	0.57	0.57	0.87	0.87	0.87	0.57	0.87	0.87
F10	0.55	0.55	0.86	0.86	0.86	0.55	0.86	0.86
F11	0.56	0.56	0.86	0.86	0.86	0.56	0.86	0.86
F12	0.60	0.60	0.88	0.88	0.88	0.60	0.88	0.88
F15	0.61	0.61	0.88	0.88	0.88	0.61	0.88	0.88
F16	0.61	0.61	0.88	0.88	0.88	0.61	0.88	0.88
F18	0.61	0.61	0.89	0.89	0.89	0.61	0.89	0.89
F19	0.58	0.58	0.87	0.87	0.87	0.58	0.87	0.87
F20	0.57	0.57	0.87	0.87	0.87	0.57	0.87	0.87
F22	0.54	0.54	0.86	0.86	0.86	0.54	0.86	0.86
F26	0.62	0.62	0.89	0.89	0.89	0.62	0.89	0.89
F33	0.49	0.49	0.84	0.84	0.84	0.49	0.84	0.84
F34	0.56	0.56	0.86	0.86	0.86	0.56	0.86	0.86
F36	0.51	0.51	0.84	0.84	0.84	0.51	0.84	0.84
F38	0.54	0.54	0.86	0.86	0.86	0.54	0.86	0.86
F39	0.52	0.52	0.85	0.85	0.85	0.52	0.85	0.85
F41	0.53	0.53	0.85	0.85	0.85	0.53	0.85	0.85
F42	0.54	0.54	0.86	0.86	0.86	0.54	0.86	0.86
F49	0.59	0.59	0.88	0.88	0.88	0.59	0.88	0.88

Tableau III.5 : Valeurs calculées de l'activité ionique (Année 2020).

N°de Forage	ca ²⁺ (mol/l)	Mg ²⁺ (mol/l)	Na ⁺ (mol/l)	k ⁺ (mol/l)	Cl ⁻ (mol/l)	SO ₄ ²⁻ (mol/l)	HCO ₃ ⁻ (mol/l)	NO ₃ ⁻ (mol/l)
F1	2.15E-03	1.58E-03	1.55E-03	8.46E-05	3.71E-03	6.13E-04	7.44E-03	2.67E-07
F2	2.24E-03	7.96E-04	1.10E-03	8.64E-05	2.79E-03	6.05E-04	6.84E-03	2.53E-05
F3	1.54E-03	1.53E-03	1.14E-03	1.08E-04	3.30E-03	3.92E-04	6.60E-03	1.37E-07
F5	2.58E-03	6.83E-04	1.67E-03	6.41E-05	4.13E-03	6.56E-04	6.34E-03	2.97E-06
F7	1.82E-03	3.28E-04	1.28E-03	4.44E-05	2.52E-03	5.87E-04	3.64E-03	8.41E-04
F10	1.27E-03	1.24E-03	1.35E-03	6.60E-05	2.84E-03	6.73E-04	4.05E-03	9.71E-05
F11	1.70E-03	6.65E-04	1.58E-03	1.33E-05	2.85E-03	4.70E-04	4.74E-03	1.12E-04
F12	1.36E-03	5.17E-04	1.30E-03	4.50E-05	1.66E-03	4.79E-04	4.21E-03	1.04E-04
F15	1.25E-03	5.77E-04	1.04E-03	2.94E-05	1.67E-03	5.21E-04	3.09E-03	1.85E-04
F16	1.20E-03	6.51E-04	1.11E-03	2.94E-05	2.54E-03	3.55E-04	3.17E-03	1.99E-04
F18	1.40E-03	3.54E-04	1.50E-03	3.17E-05	2.57E-03	3.39E-04	2.74E-03	2.14E-04
F19	1.89E-03	2.37E-04	1.55E-03	6.68E-05	2.70E-03	5.69E-04	3.57E-03	1.12E-06
F20	1.52E-03	5.58E-04	1.58E-03	1.20E-04	3.67E-03	4.53E-04	4.76E-03	1.12E-06
F22	1.23E-03	1.14E-03	1.05E-03	8.78E-05	3.70E-03	9.99E-04	3.08E-03	5.15E-05
F26	8.32E-04	7.62E-04	1.50E-03	6.80E-05	2.13E-03	2.51E-04	4.43E-03	7.15E-06
F33	2.37E-03	7.74E-04	1.79E-03	6.44E-05	3.48E-03	7.27E-04	6.12E-03	7.27E-05
F34	1.23E-03	1.10E-03	1.58E-03	2.21E-05	3.36E-03	4.59E-04	4.49E-03	6.25E-05
F36	1.52E-03	1.25E-03	1.17E-03	4.32E-05	1.81E-03	1.32E-03	4.16E-03	1.05E-03
F38	1.61E-03	1.06E-03	1.15E-03	2.85E-05	2.13E-03	7.10E-04	4.92E-03	3.04E-04
F39	1.57E-03	1.45E-03	1.04E-03	3.26E-05	1.97E-03	7.15E-04	4.56E-03	4.39E-04
F41	1.86E-03	6.15E-04	1.56E-03	8.74E-05	3.62E-03	5.22E-04	6.11E-03	4.14E-05
F42	1.66E-03	7.30E-04	1.60E-03	1.31E-04	3.45E-03	5.26E-04	6.17E-03	4.14E-05
F49	1.76E-03	1.93E-04	1.33E-03	2.24E-05	1.43E-03	6.84E-04	3.84E-03	3.39E-04

Tableau III.6 : Valeurs de la force ionique de chaque forage (Année 2021).

N° de Forage	I(mol/l)	N° de Forage	I(mol/l)	N° de Forage	I(mol/l)
F1	2.23E-02	F16	1.48E-02	F27	1.39E-02
F5	1.87E-02	F17	1.34E-02	F29	1.53E-02
F6	1.67E-02	F18	1.41E-02	F31	2.00E-02
F7	1.96E-02	F19	2.55E-02	F32	1.60E-02
F8	3.00E-02	F20	1.68E-02	F33	1.46E-02
F9	1.50E-02	F21	1.50E-02	F34	2.58E-02
F10	7.52E-03	F22	1.30E-02	F39	3.02E-02
F11	2.27E-02	F23	1.44E-02	F43	2.14E-02
F12	2.09E-02	F24	9.86E-03	F47	1.72E-02
F13	2.46E-02	F25	1.37E-02		
F15	1.34E-02	F26	1.41E-02		

Tableau III.7 : Coefficient d'activité ionique γ_i (Année 2021).

N° de Forage	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻
F1	0.50	0.50	0.84	0.84	0.84	0.50	0.84	0.84
F5	0.53	0.53	0.85	0.85	0.85	0.53	0.85	0.85
F6	0.55	0.55	0.86	0.86	0.86	0.55	0.86	0.86
F7	0.52	0.52	0.85	0.85	0.85	0.52	0.85	0.85
F8	0.44	0.44	0.82	0.82	0.82	0.44	0.82	0.82
F9	0.56	0.56	0.87	0.87	0.87	0.56	0.87	0.87
F10	0.67	0.67	0.90	0.90	0.90	0.67	0.90	0.90
F11	0.49	0.49	0.84	0.84	0.84	0.49	0.84	0.84
F12	0.51	0.51	0.84	0.84	0.84	0.51	0.84	0.84
F13	0.48	0.48	0.83	0.83	0.83	0.48	0.83	0.83
F15	0.58	0.58	0.87	0.87	0.87	0.58	0.87	0.87
F16	0.57	0.57	0.87	0.87	0.87	0.57	0.87	0.87
F17	0.58	0.58	0.87	0.87	0.87	0.58	0.87	0.87
F18	0.57	0.57	0.87	0.87	0.87	0.57	0.87	0.87
F19	0.47	0.47	0.83	0.83	0.83	0.47	0.83	0.83
F20	0.54	0.54	0.86	0.86	0.86	0.54	0.86	0.86
F21	0.56	0.56	0.87	0.87	0.87	0.56	0.87	0.87
F22	0.59	0.59	0.87	0.87	0.87	0.59	0.87	0.87
F23	0.57	0.57	0.87	0.87	0.87	0.57	0.87	0.87
F24	0.63	0.63	0.89	0.89	0.89	0.63	0.89	0.89
F25	0.58	0.58	0.87	0.87	0.87	0.58	0.87	0.87
F26	0.57	0.57	0.87	0.87	0.87	0.57	0.87	0.87
F27	0.58	0.58	0.87	0.87	0.87	0.58	0.87	0.87
F29	0.56	0.56	0.87	0.87	0.87	0.56	0.87	0.87
F31	0.52	0.52	0.85	0.85	0.85	0.52	0.85	0.85
F32	0.55	0.55	0.86	0.86	0.86	0.55	0.86	0.86
F33	0.57	0.57	0.87	0.87	0.87	0.57	0.87	0.87
F34	0.47	0.47	0.83	0.83	0.83	0.47	0.83	0.83
F39	0.44	0.44	0.82	0.82	0.82	0.44	0.82	0.82
F43	0.50	0.50	0.84	0.84	0.84	0.50	0.84	0.84
F47	0.54	0.54	0.86	0.86	0.86	0.54	0.86	0.86

Tableau III.8 : Valeurs calculées de l'activité ionique (Année 2021).

N° de Forage	ca ²⁺ (mol/l)	Mg ²⁺ (mol/l)	Na ⁺ (mol/l)	k ⁺ (mol/l)	Cl ⁻ (mol/l)	SO ₄ ²⁻ (mol/l)	HCO ₃ ⁻ (mol/l)	NO ₃ ⁻ (mol/l)
F1	2.28E-03	8.78E-04	1.22E-03	3.44E-05	5.14E-04	9.82E-04	7.54E-03	1.90E-04
F5	2.00E-03	6.29E-04	1.59E-03	1.31E-04	3.00E-03	5.05E-04	6.74E-03	7.81E-05
F6	1.74E-03	7.18E-04	1.31E-03	8.79E-05	2.08E-03	4.37E-04	6.62E-03	3.88E-04
F7	2.07E-03	9.18E-04	9.97E-04	2.17E-05	3.76E-03	6.32E-04	4.80E-03	1.59E-05
F8	2.21E-03	2.01E-03	1.28E-03	6.26E-05	3.20E-03	7.67E-04	7.62E-03	1.32E-04
F9	1.68E-03	8.80E-04	1.39E-03	6.65E-05	9.28E-04	3.63E-04	5.02E-03	6.29E-04
F10	8.64E-04	3.84E-04	9.04E-04	9.24E-05	1.25E-03	2.84E-04	2.75E-03	2.77E-04
F11	1.97E-03	1.16E-03	2.04E-03	7.50E-05	3.52E-03	6.17E-04	6.66E-03	2.70E-04
F12	1.42E-03	1.76E-03	1.87E-03	4.32E-05	2.74E-03	5.29E-04	4.57E-03	1.40E-03
F13	1.72E-03	1.46E-03	3.37E-03	6.38E-05	4.98E-03	5.09E-04	6.60E-03	3.22E-04
F15	1.62E-03	5.26E-04	1.18E-03	4.47E-05	1.68E-03	4.36E-04	4.24E-03	7.04E-04
F16	1.81E-03	5.12E-04	1.21E-03	4.44E-05	2.30E-03	4.83E-04	4.21E-03	6.71E-04
F17	1.51E-03	5.74E-04	1.25E-03	4.47E-05	1.48E-03	5.44E-04	4.41E-03	4.79E-04
F18	1.43E-03	8.49E-04	1.74E-03	2.23E-05	1.79E-03	2.86E-04	4.78E-03	6.03E-04
F19	1.98E-03	1.21E-03	2.16E-03	1.06E-04	4.05E-03	5.71E-04	9.36E-03	2.54E-04
F20	2.17E-03	4.25E-04	1.98E-03	4.39E-05	2.47E-03	6.23E-05	7.04E-03	5.82E-04
F21	2.02E-03	4.40E-04	1.62E-03	1.55E-04	1.47E-03	3.52E-04	5.37E-03	9.78E-05
F22	1.17E-03	9.16E-04	1.56E-03	6.71E-05	9.87E-04	2.87E-04	5.85E-03	8.47E-05
F23	1.93E-03	2.58E-04	1.93E-03	1.33E-04	1.20E-03	2.85E-04	6.59E-03	9.07E-05
F24	1.00E-03	6.97E-04	8.13E-04	6.83E-05	5.52E-04	2.03E-04	5.24E-03	1.00E-04
F25	1.85E-03	2.85E-04	1.93E-03	1.34E-04	1.23E-03	3.37E-04	5.66E-03	1.97E-05
F26	1.26E-03	9.44E-04	1.78E-03	1.11E-04	1.13E-03	4.42E-04	5.31E-03	1.17E-04
F27	1.15E-03	1.06E-03	1.63E-03	6.68E-05	9.58E-04	4.97E-04	5.08E-03	7.71E-05
F29	1.79E-03	4.38E-04	1.88E-03	1.55E-04	2.07E-03	4.55E-04	5.71E-03	5.58E-05
F31	1.54E-03	1.23E-03	2.17E-03	6.50E-05	3.37E-03	4.56E-04	6.86E-03	1.09E-04
F32	9.93E-04	1.52E-03	1.28E-03	4.41E-05	1.65E-03	2.07E-04	7.49E-03	8.35E-05
F33	1.36E-03	1.03E-03	1.40E-03	4.44E-05	1.27E-03	2.19E-04	6.59E-03	9.80E-05
F34	1.97E-03	1.32E-03	2.02E-03	2.12E-05	4.30E-03	6.81E-04	8.36E-03	1.60E-04
F39	1.99E-03	1.44E-03	2.09E-03	1.04E-04	2.97E-03	1.44E-03	8.15E-03	1.71E-04
F43	2.51E-03	7.04E-04	2.31E-03	4.31E-05	3.61E-03	2.78E-04	6.39E-03	3.94E-04
F47	1.67E-03	7.11E-04	1.57E-03	6.58E-05	3.22E-03	6.24E-04	5.58E-03	3.25E-05

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

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

$$(\text{Titre } (^\circ f) = 5000 \sum [(g/l) \cdot z_i / M_{mi} (g/mol)])$$

$$(\circ f) = 5000 \sum a_i (/l) \cdot z_i$$

[x] : titre (°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 °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) (°F).

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

$[OH^-]$ (°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 (°F) : Titre alcalimétrique complet (alcalinité complète).

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

$[OH^-]$ (°F) : concentration en hydroxyde.

$[HCO_3^-]$ (°F) : concentration en bicarbonate. Avec $1^\circ f = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$

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.9 , III 10)

Tableau III.9 : Valeurs calculées de l'alcalinité simple et complète des eaux de forages

(Année 2020).

N° de Forage	TA (°F)	TAC (°F)	TAC (ppm CaCO ₃)	N° de Forage	TA (°F)	TAC (°F)	TAC (ppm CaCO ₃)
F1	0	44.99	449.9	F20	0	27.45	274.5
F2	0	40.48	404.8	F22	0	17.94	179.4
F3	0	38.92	389.2	F26	0	24.99	249.9
F5	0	37.94	379.4	F33	0	36.46	364.6
F7	0	20.98	209.8	F34	0	25.98	259.8
F10	0	23.52	235.2	F36	0	24.66	246.6
F11	0	27.45	274.5	F38	0	28.76	287.6
F12	0	23.93	239.3	F39	0	26.79	267.9
F15	0	17.45	174.5	F41	0	35.73	357.3
F16	0	17.94	179.4	F42	0	36.05	360.5
F18	0	15.49	154.9	F49	0	21.96	219.6
F19	0	20.49	204.9				

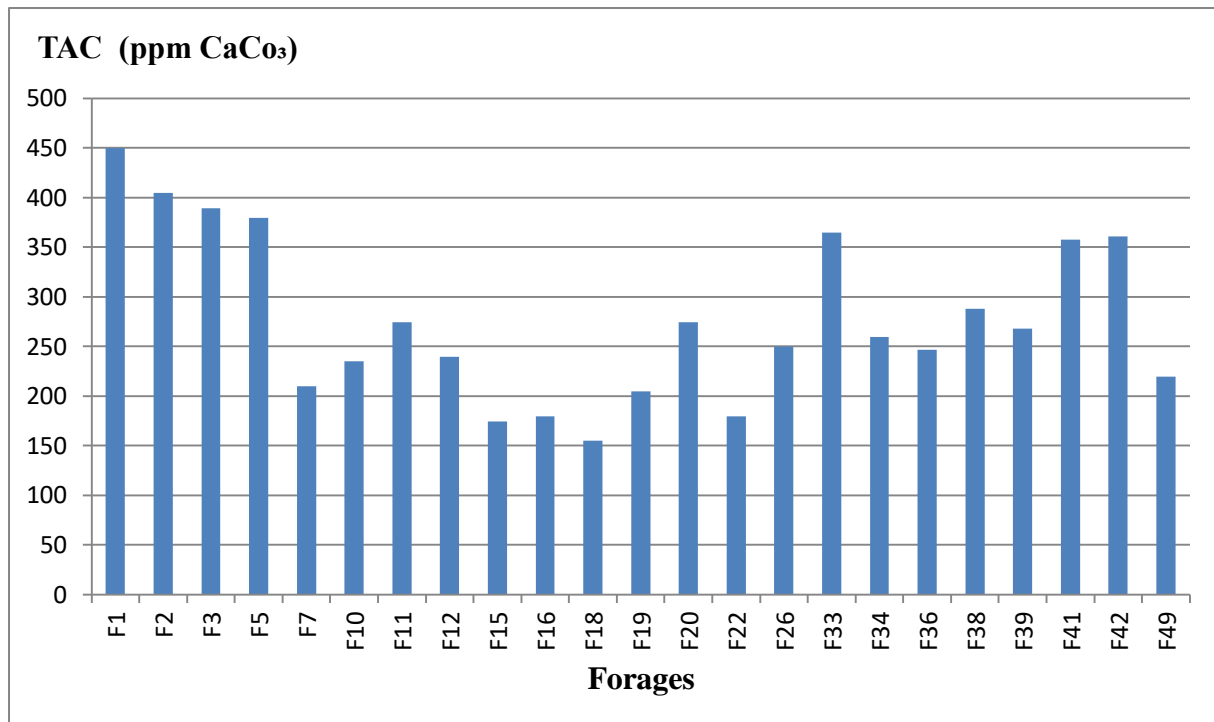


Figure III.3 : Variation de l'alcalinité complète (TAC) (2020).

Les valeurs calculées de l'alcalinité des eaux de forages de la région de Boumerdès d'année 2020 varient entre la valeur maximale 449.9 mg/l CaCO₃ qui est enregistrée au forage F1 et la valeur minimale 154.9 mg/l CaCO₃ enregistrée au forage F18, selon la norme Algérienne des eaux potable qui est à l'ordre de 500 mg/l CaCO₃ les valeurs sont conformes.

Tableau III.10 : Valeurs calculées de l'alcalinité simple et complète des eaux de forages (Année 2021) .

N° de Forage	TA (°F)	TAC (°F)	TAC (ppm CaCO ₃)	N° de Forage	TA (°F)	TAC (°F)	TAC (ppm CaCO ₃)
F1	0	44.90	449.0	F21	0	30.97	309.7
F5	0	39.58	395.8	F22	0	33.43	334.3
F6	0	38.51	385.1	F23	0	37.94	379.4
F7	0	28.27	282.7	F24	0	29.42	294.2
F8	0	46.71	467.1	F25	0	32.45	324.5
F9	0	29.01	290.1	F26	0	30.48	304.8
F10	0	15.24	152.4	F27	0	29.17	291.7
F11	0	39.74	397.4	F28	0	33.02	330.2
F12	0	27.04	270.4	F29	0	40.48	404.8
F13	0	39.66	396.6	F30	0	43.43	434.3
F15	0	24.25	242.5	F31	0	37.94	379.4
F16	0	24.25	242.5	F32	0	50.48	504.8
F17	0	25.24	252.4	F33	0	49.98	499.8
F18	0	27.45	274.5	F34	0	37.94	379.4
F19	0	56.46	564.6	F35	0	32.53	325.3
F20	0	40.97	409.7				

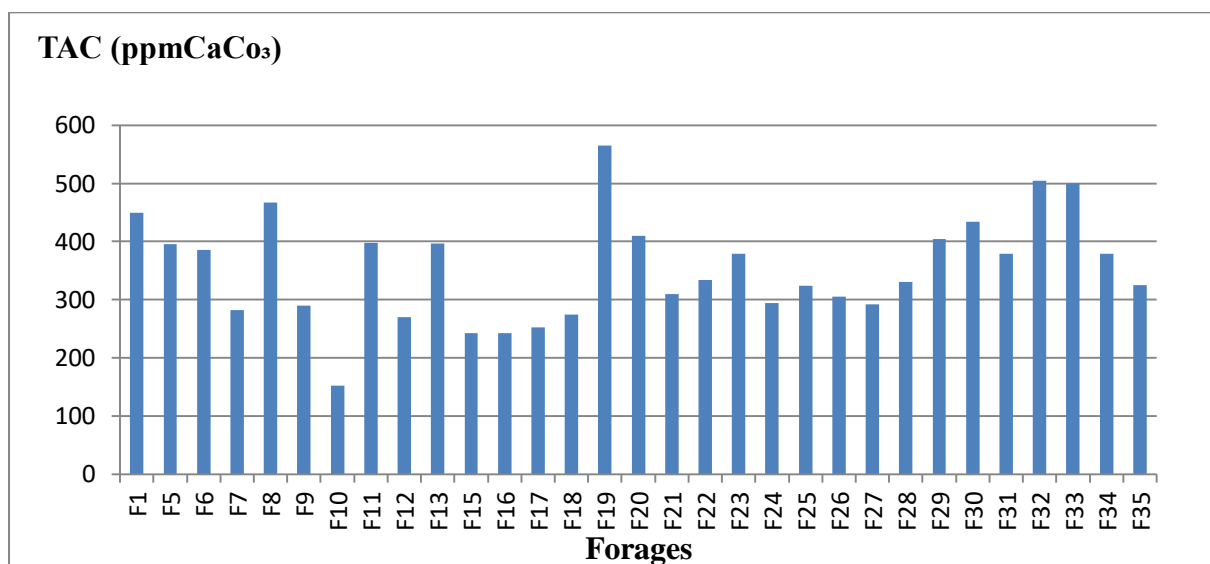


Figure III.4 : Variation de l'alcalinité complète (TAC) (2021).

Les valeurs calculées de l'alcalinité des eaux de forages de la région de Boumerdès d'année 2021 sont conformes, selon la norme Algérienne des eaux potable qui est à l'ordre de 500 mg/l CaCO₃ varient d'une valeur minimale 152. mg/l CaCO₃ enregistrée au forage F7 sauf pour les 02 forages (F19 :564.6 mg/l CaCO₃) et (F32 :504.8 mg/l CaCO₃) qui sont dépassé les normes.

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.11).

La dureté totale exprimée en degré français (°F) et donnée par la formule suivante :

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

TH(°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.

Avec : 1°f = 10 mg/l de CaCO₃.

Tableau III.11 : Classes des eaux en °F selon W. THEOBALD et A. GAMA, 1969

D.H.T (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément 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.12

Tableau III.12 : Valeurs calculées de la dureté des eaux de forages (Année 2020).

N° de Forage	TH _{Ca²⁺} (°F)	TH _{Mg²⁺} (°F)	TH(°F)	TH (ppmCa CO ₃)	N° de Forage	TH _{Ca²⁺} (°F)	TH _{Mg²⁺} (°F)	TH(°F)	TH (ppmCa CO ₃)
F1	45.91	33.73	79.64	796.4	F20	26.95	9.87	36.82	368.2
F2	43.91	15.63	59.54	595.4	F22	22.70	20.98	43.68	436.8
F3	29.94	29.62	59.56	595.6	F26	13.47	12.34	25.81	258.1
F5	52.89	13.99	66.88	668.8	F33	47.90	15.63	63.54	635.4
F7	31.94	5.76	37.70	377.0	F34	21.96	19.74	41.70	417.0
F10	23.20	22.62	45.83	458.3	F36	29.94	24.68	54.62	546.2
F11	30.44	11.93	42.37	423.7	F38	29.94	19.74	49.69	496.9
F12	22.70	8.64	31.34	313.4	F39	29.94	27.56	57.50	575.0
F15	20.46	9.46	29.92	299.2	F41	34.93	11.52	46.45	464.5
F16	19.71	10.70	30.41	304.1	F42	30.94	13.57	44.51	445.1
F18	22.70	5.76	28.46	284.6	F49	29.94	3.29	33.23	332.3
F19	32.93	4.11	37.05	370.5					

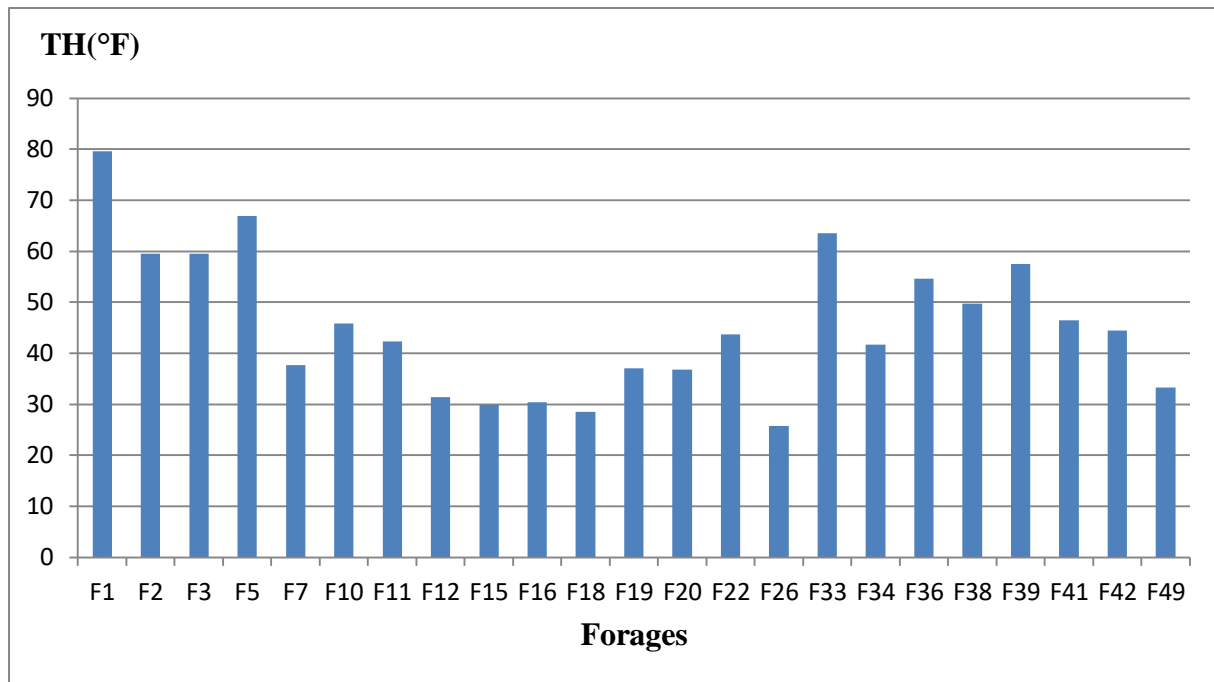


Figure III.5 : Variation de la Dureté (Année 2020).

Les résultats de calcul varient entre 25.81 (°F) et 79.64 (°F).

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

20% des forages (F12, F15, F16, F18, F26,) confèrent à un caractère modérément douce à assez douce,

80% des forages ont un caractère dur à très dure, ces eaux peuvent être proviennent des aquifères riches en calcium et magnésium.

Selon la norme Algérienne qui est à l'ordre de 50 °F, toutes les eaux des forages étudiés sont conformes, à l'exception des forages suivants (F1), (F2), (F3), (F5), (F33), (F36), (F39).

Tableau III.13 : Valeurs calculées de la dureté des eaux de forages (Année2021).

N° de Forage	TH Ca ²⁺ (°F)	TH Mg ²⁺ (°F)	TH(°F)	TH (ppm CaCO ₃)	N° de Forage	TH Ca ²⁺ (°F)	TH Mg ²⁺ (°F)	TH(°F)	TH (ppm CaCO ₃)
F1	45.91	17.69	63.60	636.0	F21	35.93	7.82	43.74	437.44
F5	37.92	11.93	49.85	498.5	F22	19.96	15.63	35.59	355.92
F6	31.94	13.16	45.10	451.0	F23	33.93	4.52	38.46	384.57
F7	39.92	17.69	57.61	576.1	F24	15.97	11.11	27.07	270.75
F8	49.90	45.25	95.15	951.5	F25	31.94	4.94	36.87	368.72
F9	29.94	15.63	45.57	455.7	F26	21.96	16.45	38.41	384.10
F10	12.97	5.76	18.73	187.3	F27	19.96	18.51	38.47	384.71
F11	39.92	23.45	63.37	633.7	F29	31.94	7.82	39.75	397.52
F12	27.94	34.55	62.50	625.0	F31	29.94	23.86	53.80	537.99
F13	35.93	30.44	66.37	663.7	F32	17.96	27.56	45.52	455.25
F15	27.94	9.05	36.99	369.9	F33	23.95	18.10	42.05	420.52
F16	31.94	9.05	40.99	409.9	F34	41.92	27.97	69.89	698.88
F17	25.95	9.87	35.82	358.2	F39	44.91	32.50	77.41	774.07
F18	24.95	14.81	39.76	397.6	F43	49.90	13.99	63.89	638.86
F19	41.92	25.50	67.42	674.2	F47	30.94	13.16	44.10	441.01
F20	39.92	7.82	47.74	477.4					

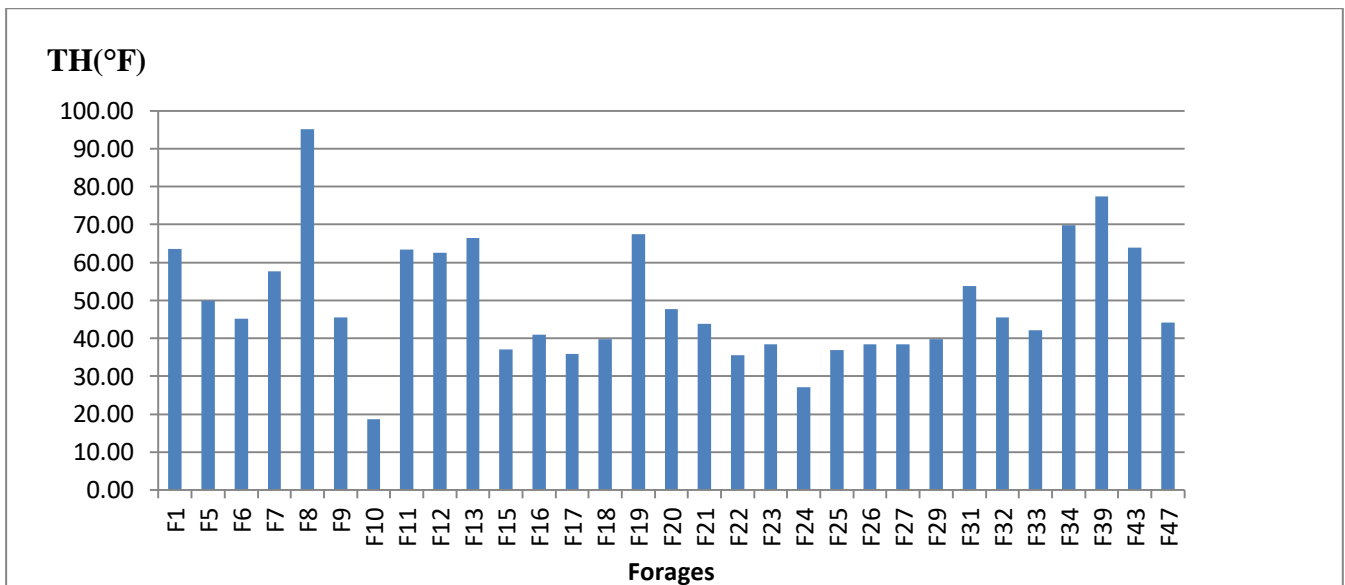


Figure III.6 : Variation de la Dureté (Année 2021).

Les résultats de calcul varient entre 18.73 (°F) et 95.15 (°F).

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

Le forage (F10) et le forage (F24) confèrent à un caractère modérément douce à assez douce,

90% des forages ont un caractère dur à très dure, ces eaux peuvent être proviennent des aquifères riches en calcium et magnésium.

Selon la norme Algérienne qui est à l'ordre de 50 °F, toutes les eaux des forages étudiés sont conformes, à l'exception des forages suivants (F1), (F7), (F8), (F11), (F12), (F13), (F19), (F31), (F34), (F39), (F43).

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 Ca²⁺ ou Mg²⁺autre que des bicarbonates et dans ce cas la dureté carbonatée représenté également le TAC.

Si TAC>TH : l'eau renferme HCO₃⁻ , (Na⁺ ou K⁺) et la dureté carbonatée représenté également le TH.

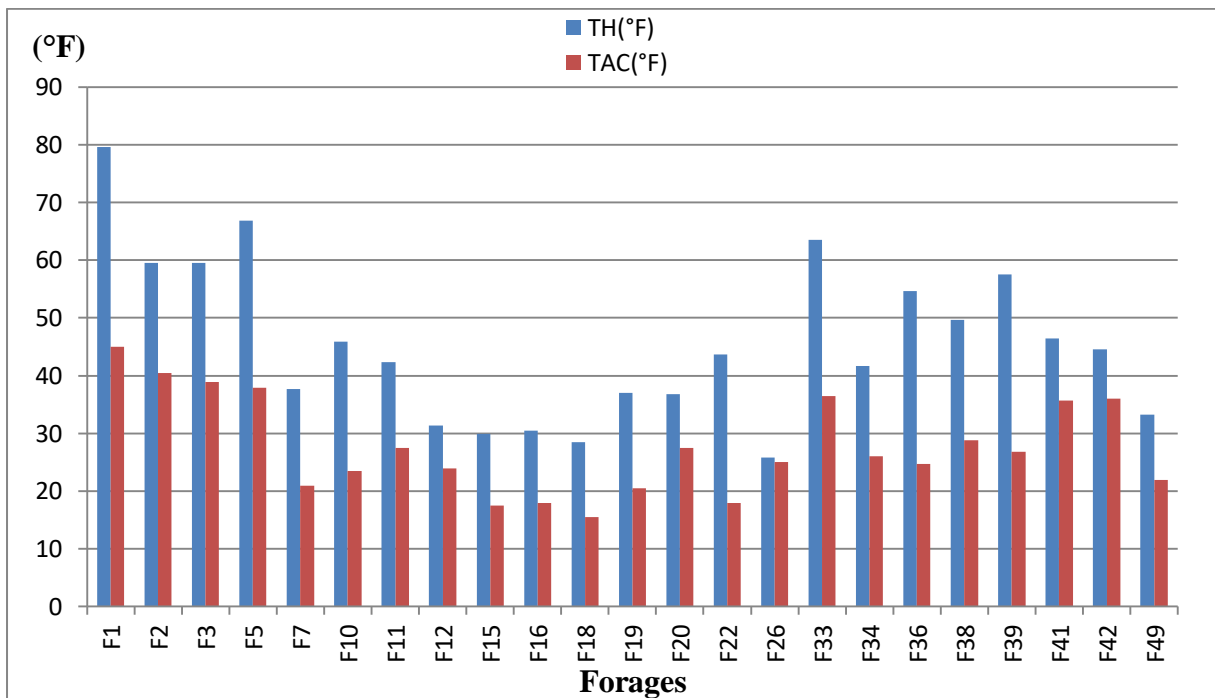


Figure III.7 : Comparaison du TH par rapport au TAC (Année 2020).

D'après la figure III .7 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.

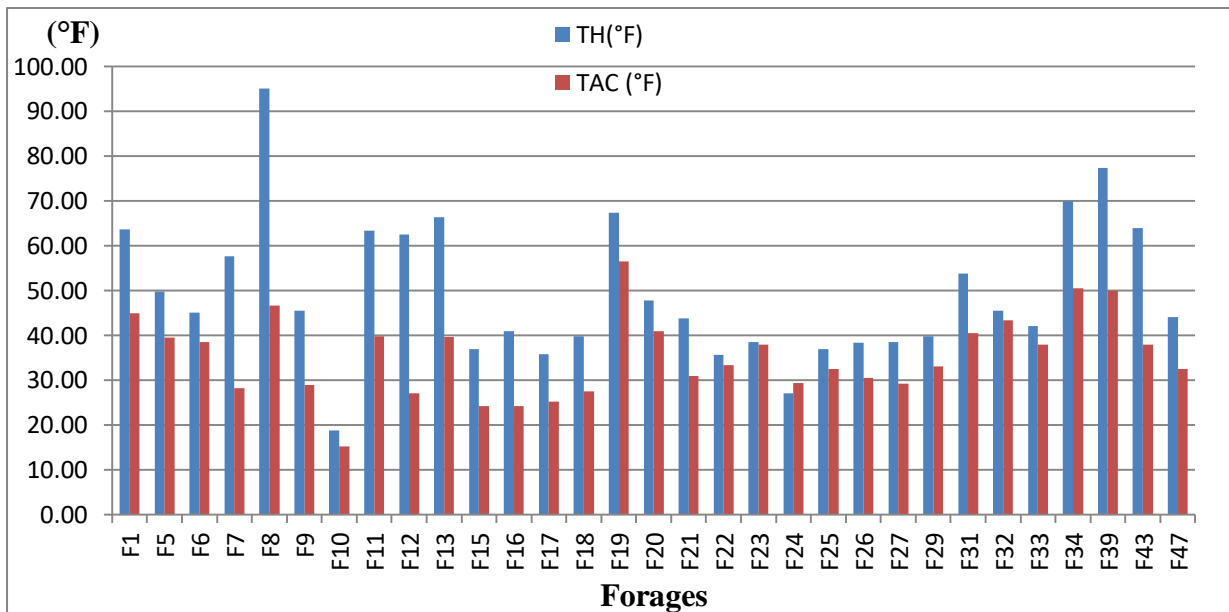


Figure III.8 : Comparaison du TH par rapport au TAC (Année 2021).

D’après la figure III .8 on constate que dans tous les forages sauf (F24), 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.

$$PH = TH - TAC$$

PH : Dureté permanente.

TH : Titre hydrotimétrique.

TAC : Titre d’alcalimétrie complet.

(À condition que l’eau ne renferme pas NaHCO_3)

Tableau III.14 : Dureté permanente (Année 2020)

Forage	PH(°F)	Forage	PH(°F)
F1	34.65	F20	9.37
F2	19.07	F22	25.74
F3	20.64	F26	0.82
F5	28.94	F33	27.07
F7	16.72	F34	15.73
F10	22.31	F36	29.96
F11	14.92	F38	20.92
F12	7.42	F39	30.71
F15	12.47	F41	10.72
F16	12.46	F42	8.46
F18	12.98	F49	11.27
F19	16.56		

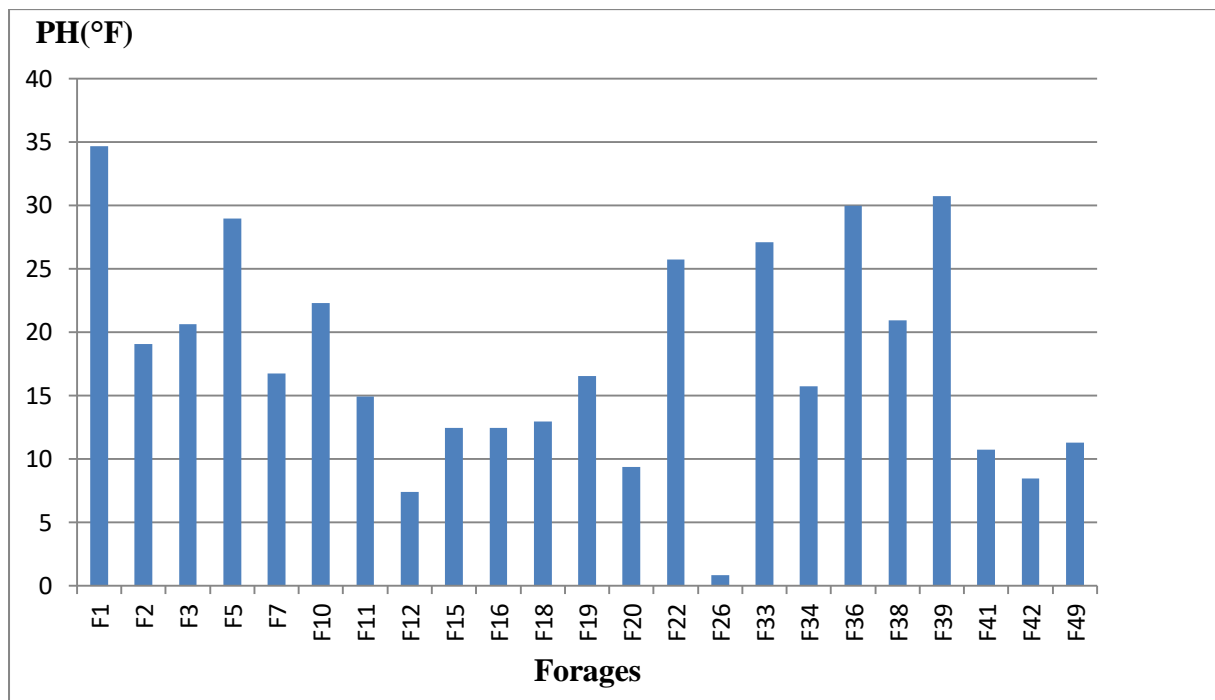


Figure III.9 : Dureté permanente (Année 2020).

Tableau III.15 : Dureté permanente (Année 2021).

Forage	PH(°F)	Forage	PH(°F)
F1	18.69	F21	12.77
F5	10.28	F22	2.16
F6	6.59	F23	0.52
F7	29.34	F24	-2.34
F8	48.44	F25	4.42
F9	16.56	F26	7.93
F10	3.49	F27	9.3
F11	23.63	F29	6.73
F12	35.46	F31	13.32
F13	26.71	F32	2.1
F15	12.74	F33	4.11
F16	16.73	F34	19.41
F17	10.58	F39	27.42
F18	12.31	F43	25.95
F19	10.96	F47	11.57
F20	6.77		

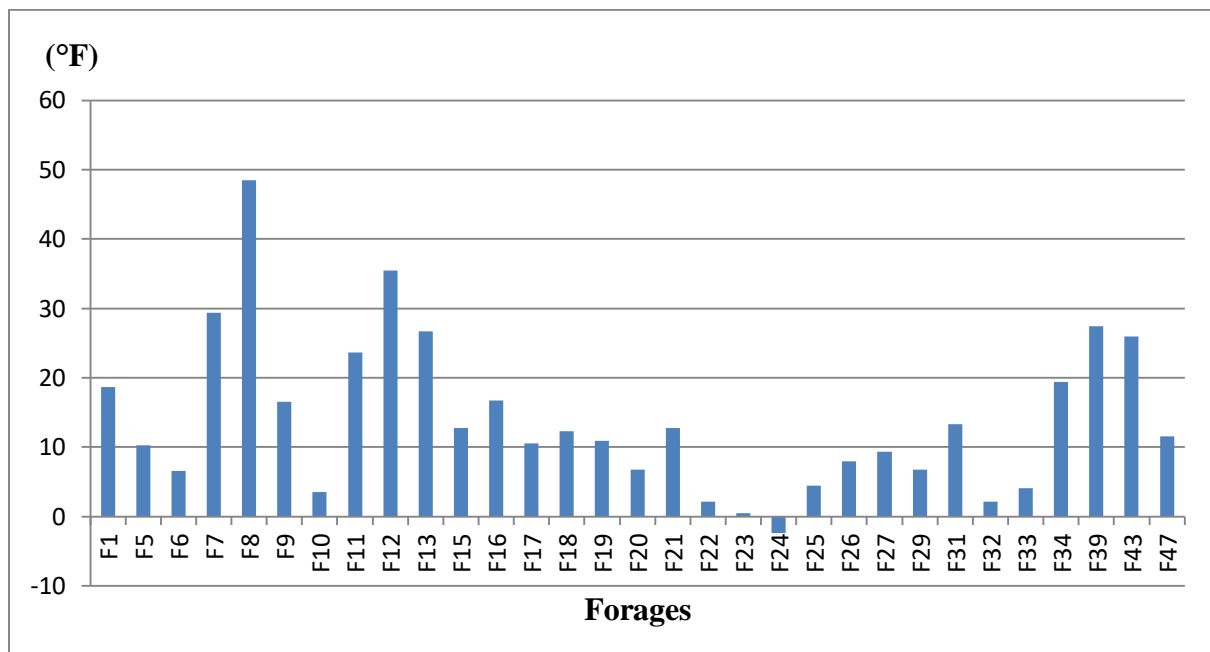


Figure III.10 : Dureté permanente (Année 2021).

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 \leq TH : Dureté temporaire KH = TAC.

TAC > TH : Dureté permanente PH = 0.

Dureté temporaire KH = TH.

TH = PH + KH.

D'après la figure III.9 et 10 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.16 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2020).

Forage	SAF(°F)	Forage	SAF(°F)
F1	35.54	F20	29.18
F2	28.52	F22	40.31
F3	27.06	F26	16.09
F5	38.13	F33	35.84
F7	29.67	F34	28.05
F10	29.35	F36	42.95
F11	25.58	F38	27.41
F12	18.06	F39	27.78
F15	19.03	F41	31.18
F16	21.35	F42	30.20
F18	21.25	F49	21.78
F19	25.41		

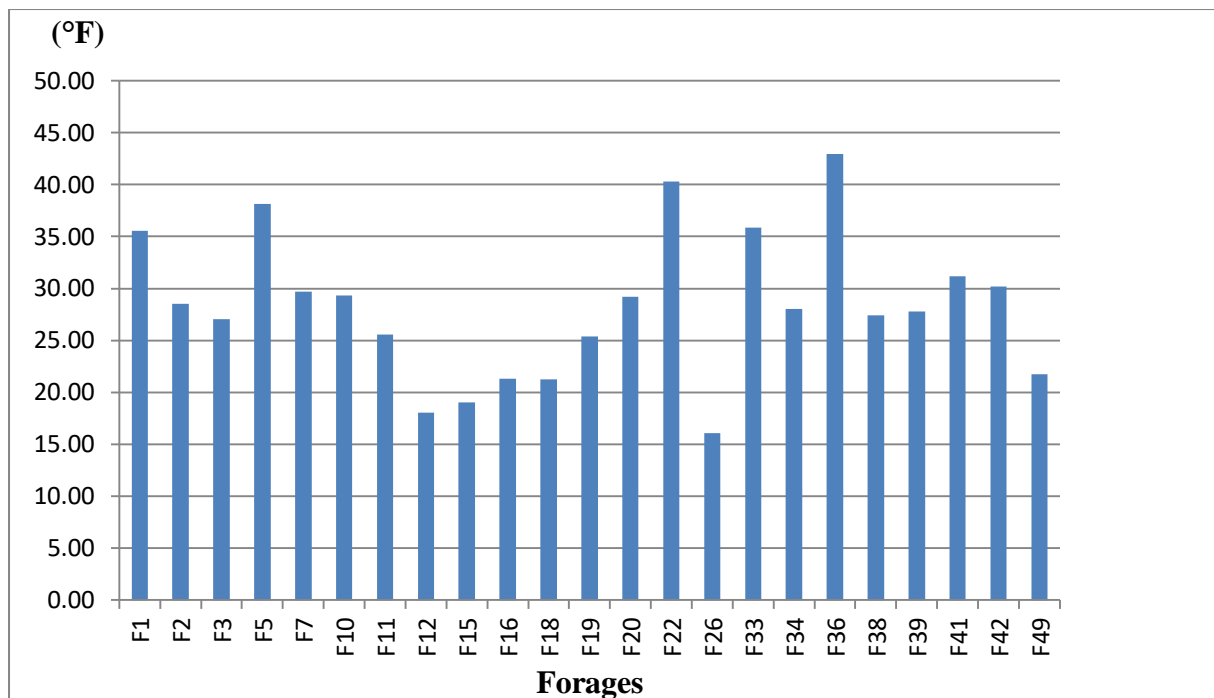


Figure III.11 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2020).

Tableau III.17 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2021).

Forage	SAF(°F)	Forage	SAF(°F)
F1	23.97	F21	15.27
F5	27.67	F22	11.02
F6	22.40	F23	12.43
F7	34.42	F24	6.89
F8	37.69	F25	12.99
F9	15.44	F26	14.86
F10	12.71	F27	14.58
F11	35.12	F29	20.43
F12	34.94	F31	29.38
F13	42.46	F32	13.82
F15	21.12	F33	11.75
F16	25.67	F34	41.39
F17	20.57	F39	51.72
F18	18.76	F43	29.29
F19	38.01	F47	30.50
F20	18.92		

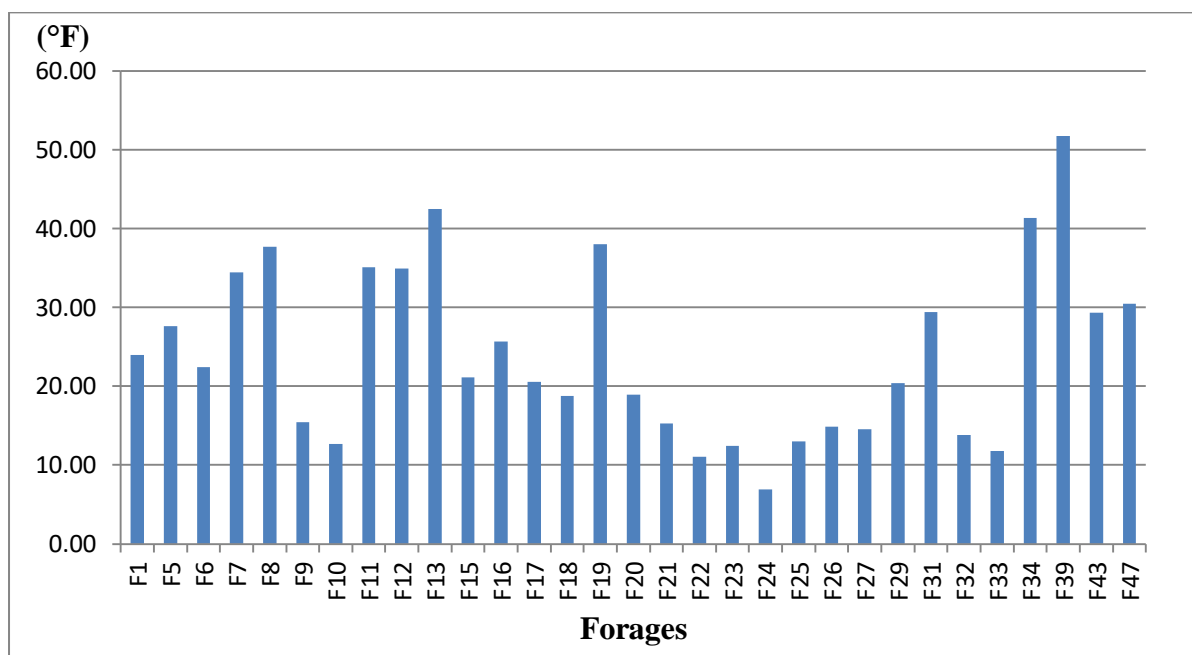


Figure III.12 : Titre en sels d'acides forts SAF (Année 2021).

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 :

$$STC = TAC + SAF$$

$[Ca^{2+}]$ (°F) : Titre calcique.

$[Mg^{2+}]$ (°F) : Titre magnésien.

$[Na^+]$ (°F) : concentration en sodium.

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

Tableau III.18 : Salinité totale cationique STC (Année 2020)

Forage	STC(°F)	Forage	STC(°F)
F1	89.50	F20	46.64
F2	66.58	F22	50.28
F3	66.94	F26	34.68
F5	77.27	F33	74.58
F7	45.35	F34	50.96
F10	54.04	F36	61.84
F11	51.58	F38	56.59
F12	38.99	F39	63.78
F15	35.96	F41	56.09
F16	36.88	F42	54.63
F18	37.12	F49	40.97
F19	46.35		

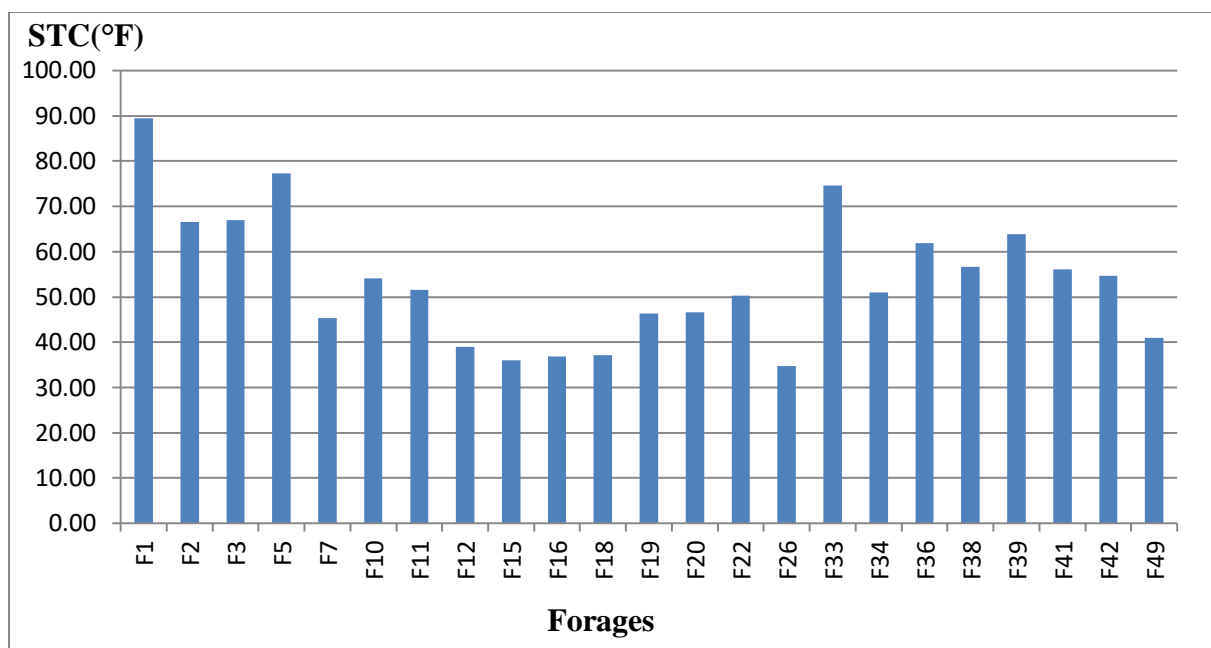


Figure III.13 : Salinité totale cationique STC (Année 2020)

Tableau III.19 : Salinité totale cationique STC (Année 2021)

Forage	STC(°F)	Forage	STC(°F)
F1	56.94	F21	47.74
F5	50.43	F22	32.39
F6	42.69	F23	46.70
F7	49.46	F24	23.14
F8	67.16	F25	44.78
F9	41.50	F26	36.11
F10	19.64	F27	33.40
F11	57.24	F29	45.27
F12	46.20	F31	47.93
F13	62.63	F32	31.13
F15	36.75	F33	35.87
F16	40.96	F34	59.82
F17	35.36	F39	64.88
F18	38.04	F43	66.65
F19	60.71	F47	43.09
F20	53.27		

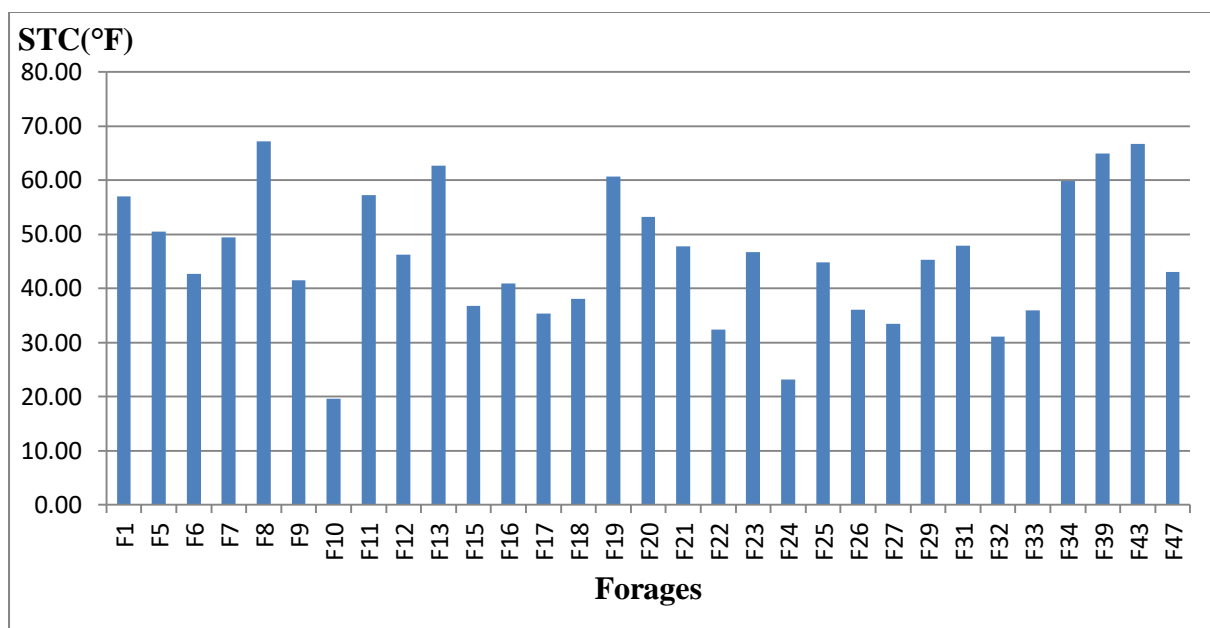


Figure III.14 : Salinité totale cationique STC (Année 2021).

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.20 : Salinité anionique SA (Année 2020).

Forage	SA(°F)	Forage	SA(°F)
F1	80.53	F20	56.63
F2	69.00	F22	58.25
F3	65.99	F26	41.08
F5	76.07	F33	72.31
F7	50.65	F34	54.02
F10	52.87	F36	67.62
F11	53.03	F38	56.17
F12	41.99	F39	54.58
F15	36.49	F41	66.91
F16	39.29	F42	66.25
F18	36.74	F49	43.74
F19	45.90		

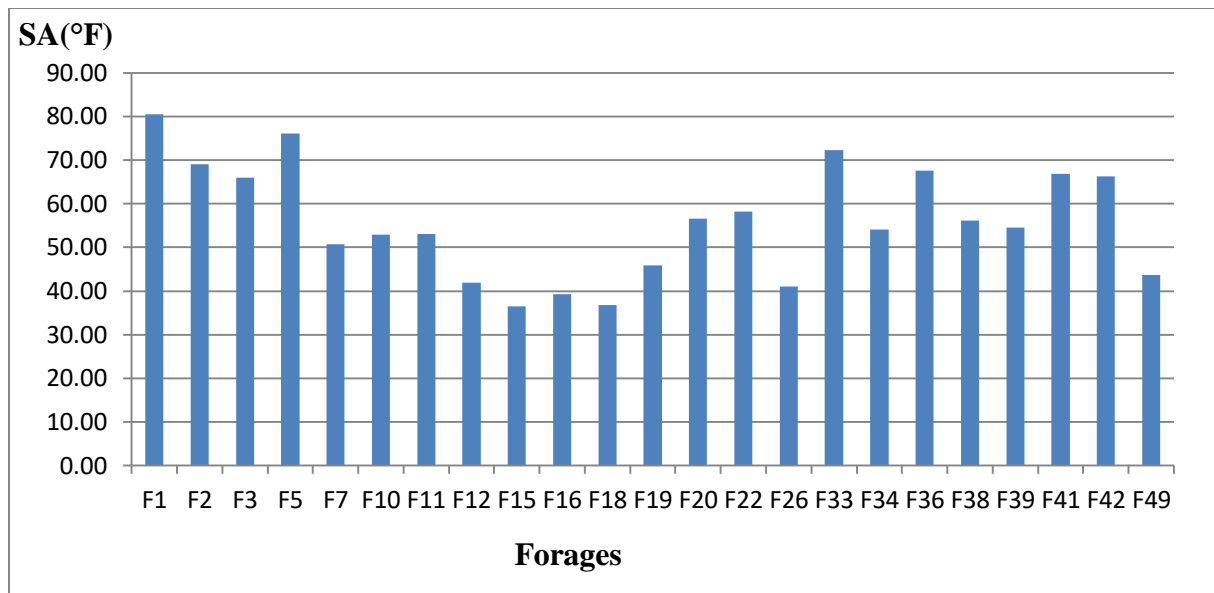


Figure III.15 : Salinité anionique SA (Année 2020)

Tableau III.21 : Salinité anionique SA (Année 2021).

Forage	SA(°F)	Forage	SA(°F)
F1	68.87	F21	46.25
F5	67.24	F22	44.45
F6	60.92	F23	50.37
F7	62.69	F24	36.31
F8	84.40	F25	45.44
F9	44.45	F26	45.34
F10	27.95	F27	43.75
F11	74.86	F29	53.45
F12	61.98	F31	69.86
F13	82.11	F32	57.25
F15	45.37	F33	49.69
F16	49.92	F34	91.87
F17	45.81	F39	101.71
F18	46.21	F43	67.23
F19	94.47	F47	63.03
F20	59.89		

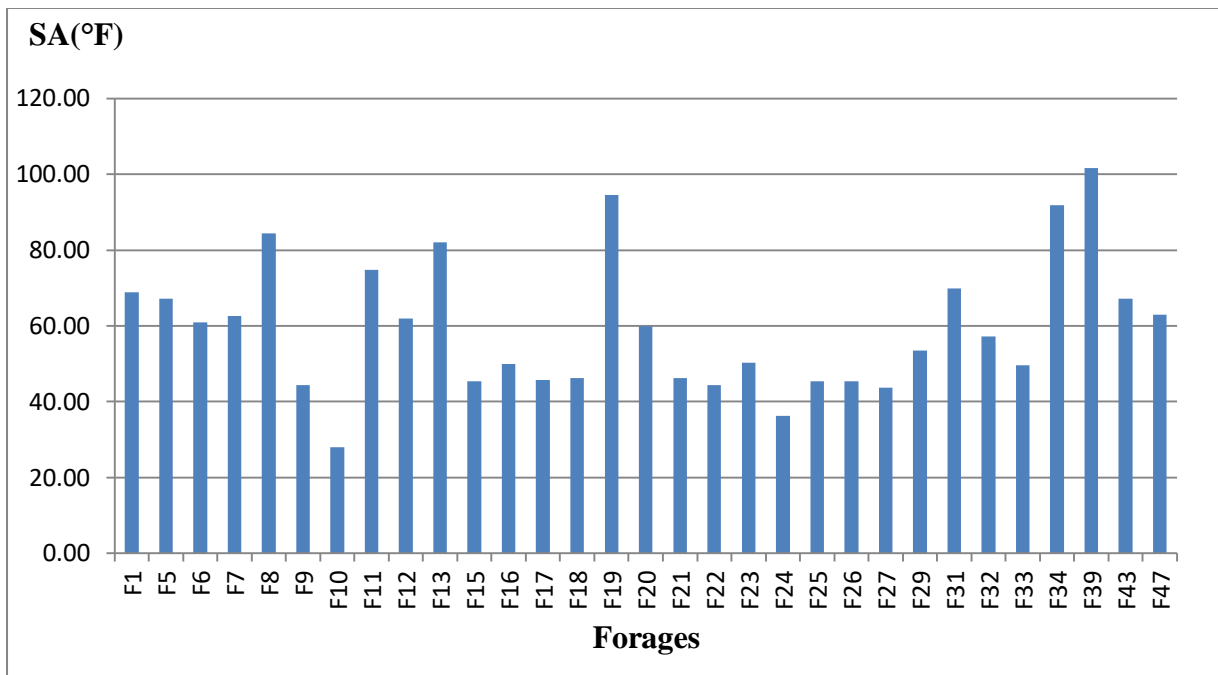


Figure III.16 : Salinité anionique SA (Année 2021).

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 [CO2] et [SiO2] ne sont pas disponible comme données, donc STA= SA alors les valeurs calculées sont les mêmes (tableau III.20/21).

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 :

$$IL = \text{pH (mesuré)} - \text{pHs}$$

L'échelle de classification des eaux selon LANGELIER :

IL < 0 l'eau est agressif.

IL = 0 l'eau est à l'équilibre.

IL > 0 L'eau est incrustant.

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

$$\text{pHs} = \text{pk}_2 - \text{pKs} - \log [\text{Ca}^{2+}] - \log [\text{HCO}_3^-]$$

Dans cette formule pK2 et pKs dépendent de la température de l'eau.

Tableau III.22 : 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	10.40	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.23 : Valeurs de PHs des eaux de forage (Année 2020).

Forages	T(°c)	pk2	PKS	PHs	Forages	T(°c)	pk2	PKS	PHs
F1	18	10.4	8.26	6.53	F20	18	10.4	8.26	6.97
F2	5	10.56	8.09	6.91	F22	22	10.36	8.31	7.14
F3	5	10.56	8.09	7.1	F26	17	10.41	8.24	7.34
F5	17	10.41	8.24	6.56	F33	22	10.36	8.31	6.51
F7	21	10.37	8.29	6.95	F34	23	10.35	8.32	6.97
F10	21	10.37	8.29	7.04	F36	17	10.41	8.24	6.99
F11	20	10.38	8.28	6.87	F38	19	10.39	8.27	6.88
F12	16	10.42	8.23	7.15	F39	19	10.39	8.27	6.91
F15	15	10.43	8.22	7.36	F41	13	10.45	8.19	6.86
F16	16	10.42	8.23	7.34	F42	13	10.45	8.19	6.91
F18	15	10.43	8.22	7.36	F49	8	10.52	8.13	7.27
F19	20	10.38	8.28	6.97					

Tableau III.24 : Variation de l'indice de LANGELIER IL(Année 2020).

Forages	IL	Forages	IL
F1	0.52	F20	0.31
F2	0.17	F22	-0.12
F3	0.01	F26	0.07
F5	0.67	F33	0.21
F7	-0.28	F34	-0.3
F10	0.25	F36	-0.07
F11	0.34	F38	0.99
F12	0.53	F39	0.59
F15	-0.01	F41	0.28
F16	0.02	F42	0.06
F18	0.27	F49	-0.01
F19	0.51		

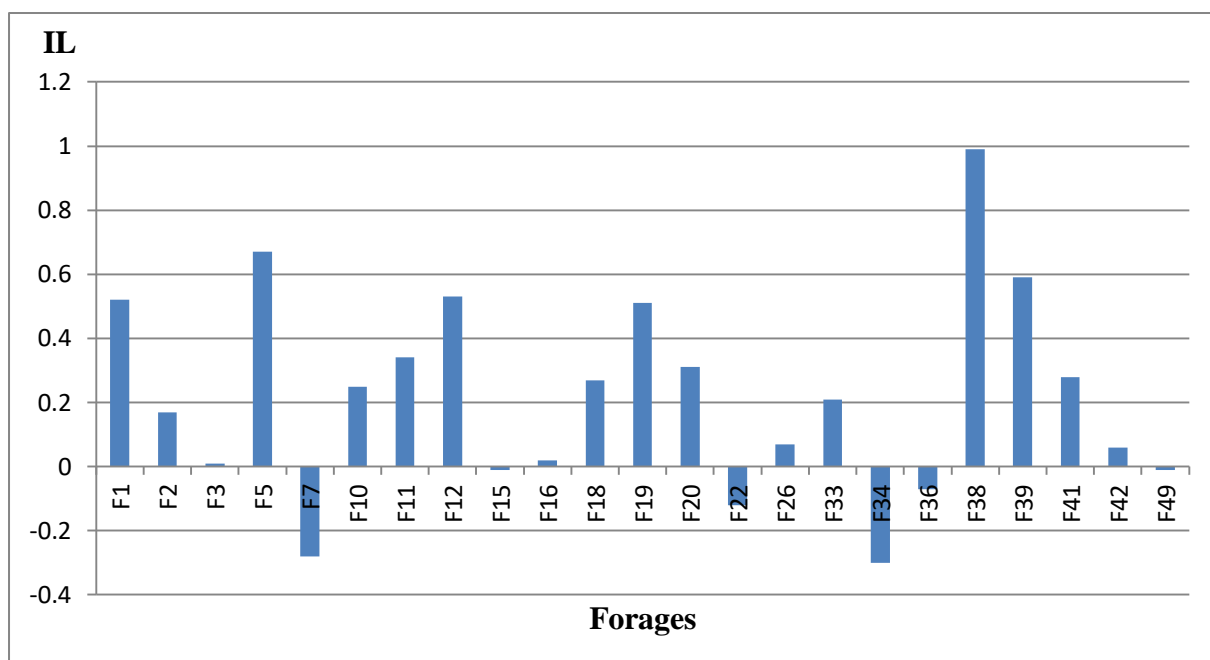


Figure III.17 : Indice LANGELIER (Année 2020).

L'indice da LANGELIER d'année 2020 varie entre -0.3 et 0.99, Les valeurs des indice des eaux de tous les forages dans le tableau ci-dessus sont supérieures à zéro donc l'eau de ces forages sont incrustante sauf les forages (F7, F22, F34, F36 ,F49) sont agressive, on peut dire que l'aspect générale de ces eaux sont incrustantes selon LANGELIER.

Tableau III.25 : Valeurs de PHs des eaux de forage (Année 2021).

Forages	T(°c)	pk2	PKS	PHS	Forages	T(°c)	pk2	PKS	PHS
F1	18	10.4	8.26	6.53	F21	23	10.35	8.32	6.68
F5	12	10.47	8.18	6.81	F22	25	10.33	8.34	6.86
F6	12	10.47	8.18	6.89	F23	25	10.33	8.34	6.58
F7	10	10.49	8.16	6.98	F24	25	10.33	8.34	7.02
F8	16	10.42	8.23	6.52	F25	25	10.33	8.34	6.67
F9	16	10.42	8.23	6.95	F26	25	10.33	8.34	6.86
F10	20	10.38	8.28	7.5	F27	25	10.33	8.34	6.92
F11	22	10.36	8.31	6.55	F29	22	10.36	8.31	6.73
F12	10	10.49	8.16	7.15	F31	24	10.34	8.33	6.63
F13	19	10.39	8.27	6.66	F32	24	10.34	8.33	6.82
F15	25	10.33	8.34	6.86	F33	23	10.35	8.32	6.77
F16	24	10.34	8.33	6.82	F34	25	10.33	8.34	6.36
F17	23	10.35	8.32	6.91	F39	23	10.35	8.32	6.38
F18	21	10.37	8.29	6.94	F43	8	10.52	8.13	6.81
F19	20	10.38	8.28	6.42	F47	14	10.44	8.21	6.93
F20	21	10.37	8.29	6.56					

Tableau III.26 : Variation de l'indice de LANGELIER IL(Année 2021).

forages	IL	forages	IL	forages	IL
F1	0.44	F16	0.24	F27	0.31
F5	-0.03	F17	0.17	F29	0.43
F6	-0.05	F18	0.14	F31	-0.01
F7	0.1	F19	0.43	F32	0.54
F8	0.38	F20	0.35	F33	1.07
F9	0.23	F21	0.64	F34	0.35
F10	0.12	F22	0.13	F39	1.32
F11	0.28	F23	0.49	F43	0.17
F12	0.11	F24	0.04	F47	0.16
F13	0.17	F25	0.41		
F15	0.11	F26	0.23		

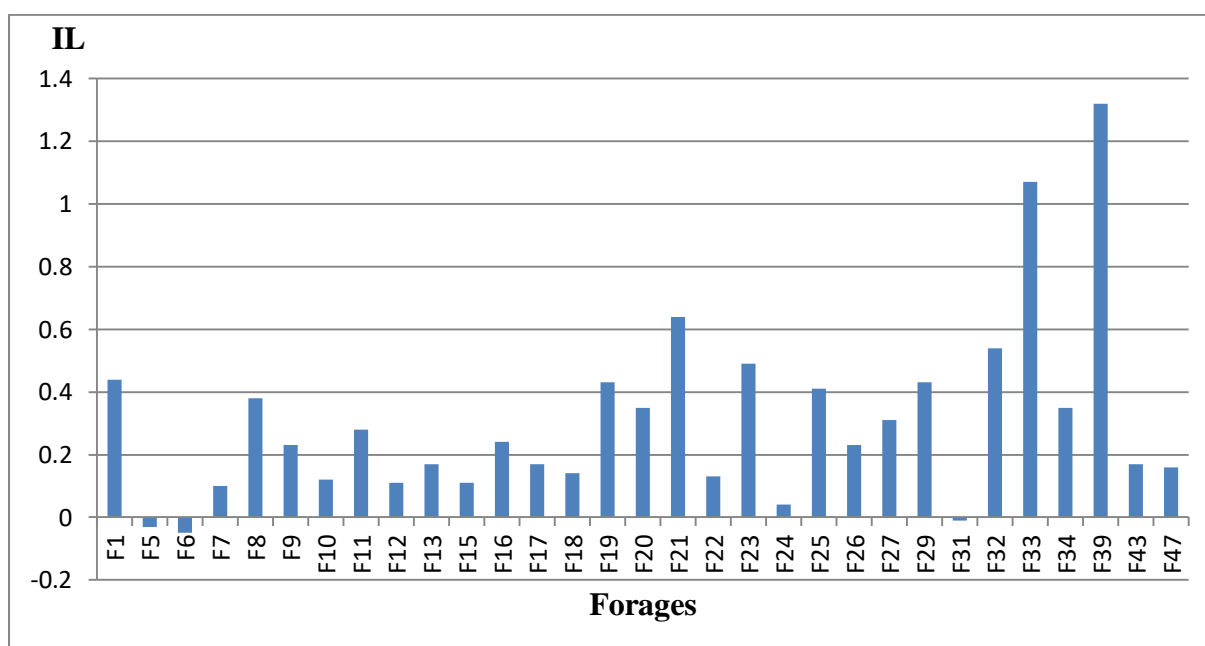


Figure III.18 : Indice LANGELIER (Année 2021).

L'indice da LANGELIER d'année 2021 varie entre -0.05 et 1.32, Les valeurs des indice des eaux de tous les forages dans le tableau ci-dessus sont supérieures à zéro donc l'eau de ces forages sont incrustante sauf les forages (F5, F6, F31) sont agressive, on peut dire que l'aspect générale de ces eaux sont incrustantes selon LANGELIER.

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

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

$$IR = 2pHs - pH$$

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

Tableau III.27 : 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
Tendance	Eaux très agressives	Eaux moyennement agressives	Eaux sables	Eaux entartrantes	Eaux très entartrantes

Tableau III.28 : Calculs de l'indice de RYZNAR(Année 2020).

Forages	IR	Forages	IR
F1	6.00	F20	6.66
F2	6.75	F22	7.26
F3	7.08	F26	7.26
F5	5.89	F33	6.30
F7	7.23	F34	7.28
F10	6.78	F36	7.07
F11	6.54	F38	5.90
F12	6.62	F39	6.33
F15	7.36	F41	6.58
F16	7.32	F42	6.85
F18	7.10	F49	7.27
F19	6.45		

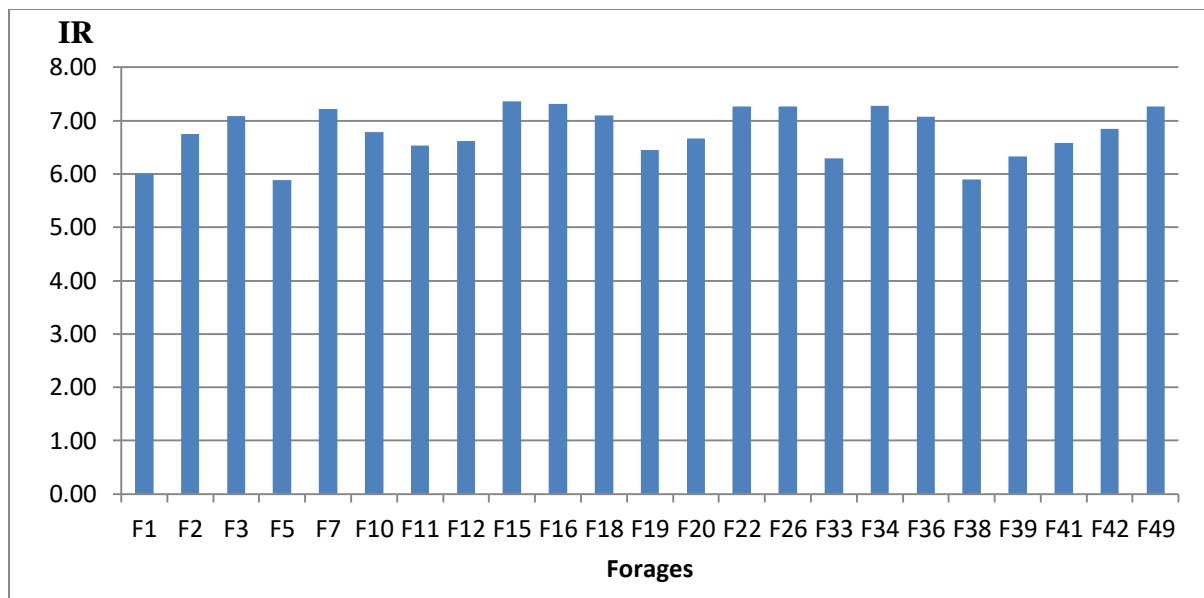


Figure III.19 : Variation de l'indice de RYZNAR (Année 2020).

D'année 2020, Les valeurs calculées de l'indice de RYZNAR varient entre 5.89 et 7.36, selon RYZNAR on a trouvé que la moitié des eaux souterraines de la région de Boumerdès sont moyennement agressive et l'autre moitié leur qualité est stable.

Tableau III.29 : Calculs de l'indice de RYZNAR(Année 2021).

forages	IR	forages	IR	forages	IR
F1	6.08	F16	6.58	F27	6.62
F5	6.83	F17	6.75	F29	6.30
F6	6.95	F18	6.80	F31	6.63
F7	6.88	F19	5.99	F32	6.27
F8	6.14	F20	6.21	F33	5.70
F9	6.72	F21	6.05	F34	6.02
F10	7.38	F22	6.74	F39	5.06
F11	6.27	F23	6.09	F43	6.63
F12	7.05	F24	6.97	F47	6.77
F13	6.50	F25	6.27		
F15	6.75	F26	6.64		

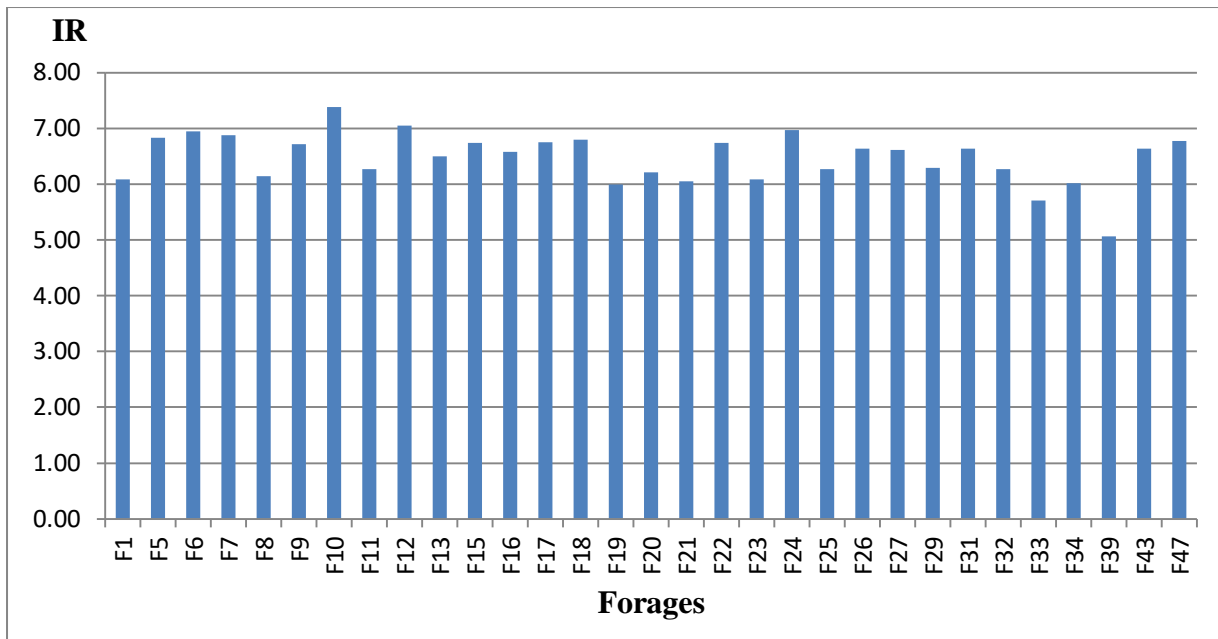


Figure III.20 : Variation de l'indice de RYZNAR (Année 2021).

Les valeurs calculées de l'indice de RYZNAR d'année 2021 varient entre 5.06 et 7.38, selon RYZNAR on a trouvé la majorité des eaux souterraines de la région de Boumerdès sont sables à l'exception de ces forages (F10, F12) leur qualité est moyennement agressive et les forages (F33, F39) leur qualité est entartrantes .

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 :

$$IC = (2[SO_4^{2-}] + [Cl^-]) / [HCO_3^-]$$

Où :

IC: mol/l.

[SO₄²⁻]: mol/l

[Cl⁻]: mol/l

[HCO₃⁻]: mol/l

Cette formule empirique est basée sur de nombreuses expérimentations effectuées par les américains LARSON et SKOLD, qui ont estimé que cet indice ne devrait pas dépasser 0,2 ou 0,3. D'autres ont estimé des valeurs allant jusqu'à l'unité étaient acceptables. Le tableau ci-contre montre l'interprétation que l'on peut faire des valeurs de l'indice

Tableau III.30 : Classification de l'indice de LARSON.

IC	TENDANCE
<0,2	Pas tendance à la corrosion
0,2 à 0,4	Faible tendance à la corrosion
0,4 à 0,5	Légère tendance à la corrosion
0,5 à 1	Tendance moyenne à la corrosion
> 1	Nette tendance à la corrosion

Tableau III.31 : Calculs de l'indice de corrosivité (Année 2020).

Forages	IC	Forages	IC
F1	0.50	F20	0.77
F2	0.41	F22	1.21
F3	0.50	F26	0.48
F5	0.65	F33	0.57
F7	0.69	F34	0.75
F10	0.70	F36	0.44
F11	0.60	F38	0.43
F12	0.40	F39	0.43
F15	0.54	F41	0.59
F16	0.80	F42	0.56
F18	0.94	F49	0.37
F19	0.76		

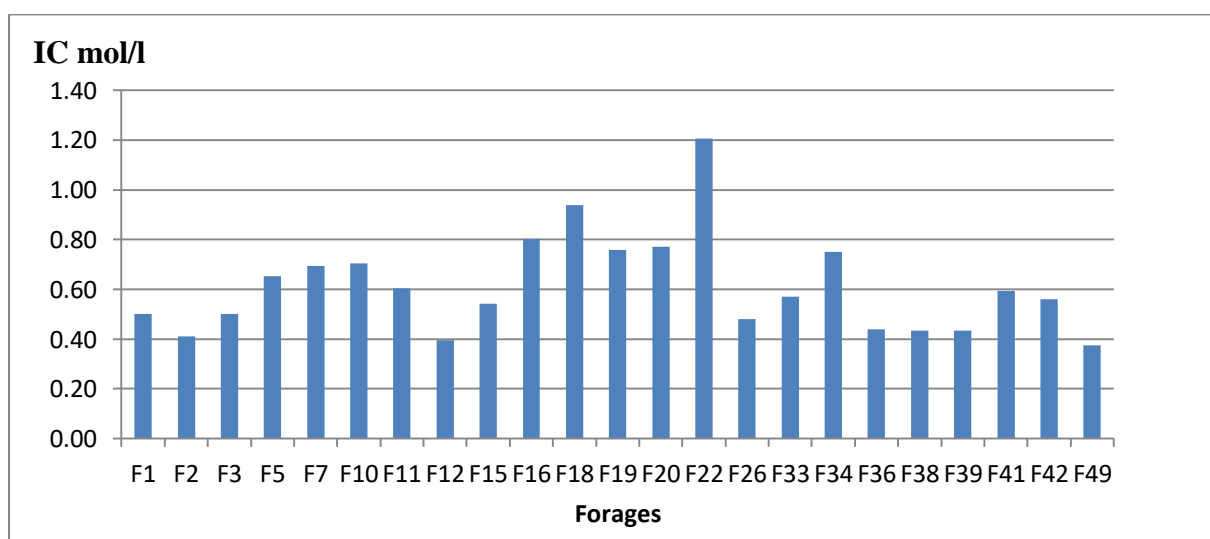


Figure III.21 : Variation de l'indice LARSON (Année 2020).

Selon l'indice de LARSON on a trouvé la majorité des eaux étudiés en 2020 possèdent une tendance moyenne à la corrosion a l'exception de ces forages (F2, F12, F26, F36, F38, F39) qui ont une légère tendance à la corrosion et le forage (F22) qui possède une nette tendance à la corrosion

Tableau III.32 : Calculs de l'indice de corrosivité (Année 2021).

forages	IC	forages	IC	forages	IC
F1	0.51	F16	0.90	F27	0.48
F5	0.69	F17	0.71	F29	0.61
F6	0.52	F18	0.56	F31	0.71
F7	1.21	F19	0.65	F32	0.31
F8	0.79	F20	0.38	F33	0.29
F9	0.41	F21	0.47	F34	0.80
F10	0.73	F22	0.32	F39	1.01
F11	0.84	F23	0.31	F43	0.71
F12	0.98	F24	0.22	F47	0.93
F13	1.02	F25	0.40		
F15	0.70	F26	0.47		

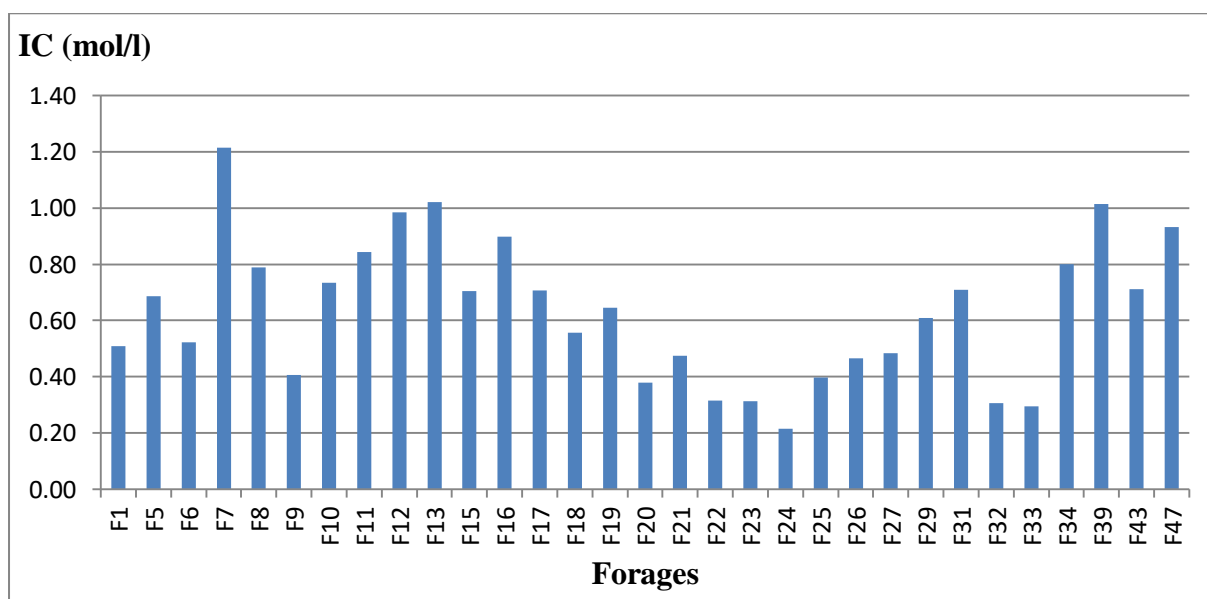


Figure III.22 : Variation de l'indice LARSON (Année 2021).

Selon l'indice de LARSON on a trouvé la majorité des eaux étudiés en 2021 possèdent une tendance moyenne à la corrosion a l'exception de ces forages (F9, F21, F25, F26, F27) qui ont une légère tendance à la corrosion et ces forages (F20, F22, F23, F24, F31, F32) qui ont une faible tendance à la corrosion et le forage (F7) qui possède une nette tendance à la corrosion.

III.5. Classification des eaux :

La classification des eaux minérales basées sur une combinaison des propriétés géologiques, hydro chimique, et l'aspect thérapeutique (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.

Salinité = \sum sels dissous minéraux et organiques (ions minéraux et non minéraux).

Tableau III.33 : Valeurs de salinité (Année 2020).

Forages	salinité	Forages	salinité
F1	1147.02	F20	741.48
F2	974.86	F22	726.72
F3	914.01	F26	555.50
F5	1062.22	F33	1020.37
F7	696.00	F34	717.48
F10	716.00	F36	918.00
F11	734.60	F38	788.30
F12	591.35	F39	788.50
F15	508.30	F41	897.00
F16	526.30	F42	886.00
F18	505.40	F49	626.00
F19	641.08		

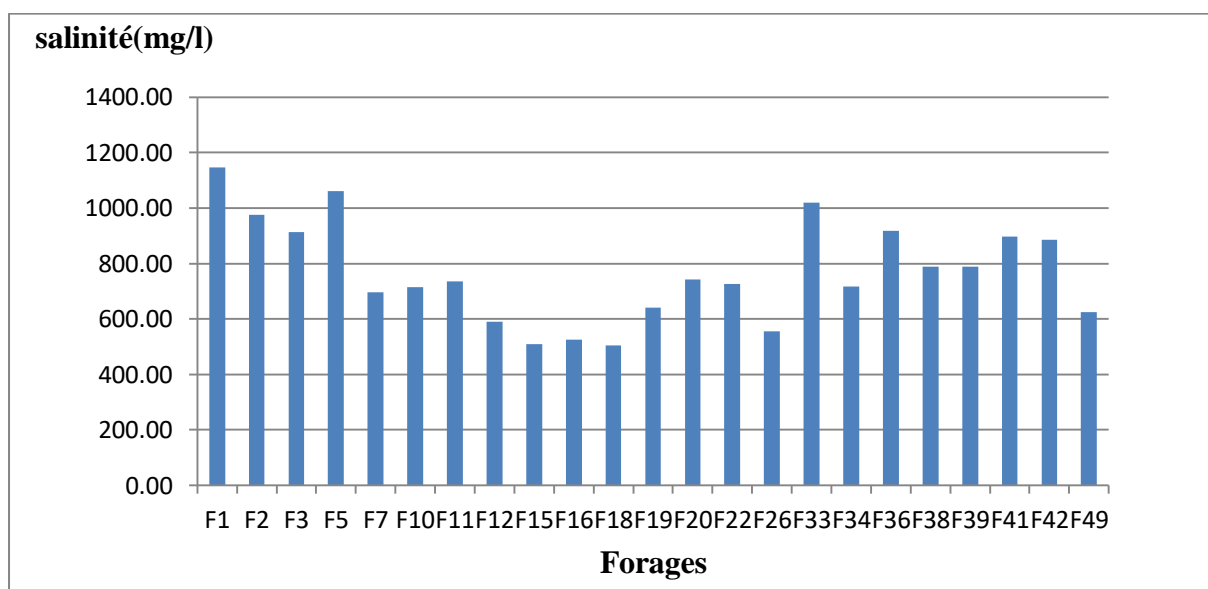


Figure III.23 : Variation de la salinité des eaux de forages étudiés (Année 2020).

Les eaux de la région de Boumerdès présentent une salinité comprise entre 505.40 à 1147.02 mg/l

Tableau III.34 : Valeurs de salinité (Année 2021).

forages	salinite	forages	salinite	forages	salinite
F1	1035.80	F16	704.00	F27	654.49
F5	935.68	F17	655.00	F29	774.00
F6	860.00	F18	682.00	F31	968.00
F7	851.16	F19	1292.00	F32	815.00
F8	1234.00	F20	889.00	F33	738.00
F9	697.00	F21	718.00	F34	1244.00
F10	388.00	F22	663.00	F39	1387.00
F11	1050.50	F23	770.47	F43	996.00
F12	897.00	F24	534.00	F47	844.35
F13	1136.00	F25	700.40		
F15	653.00	F26	680.32		

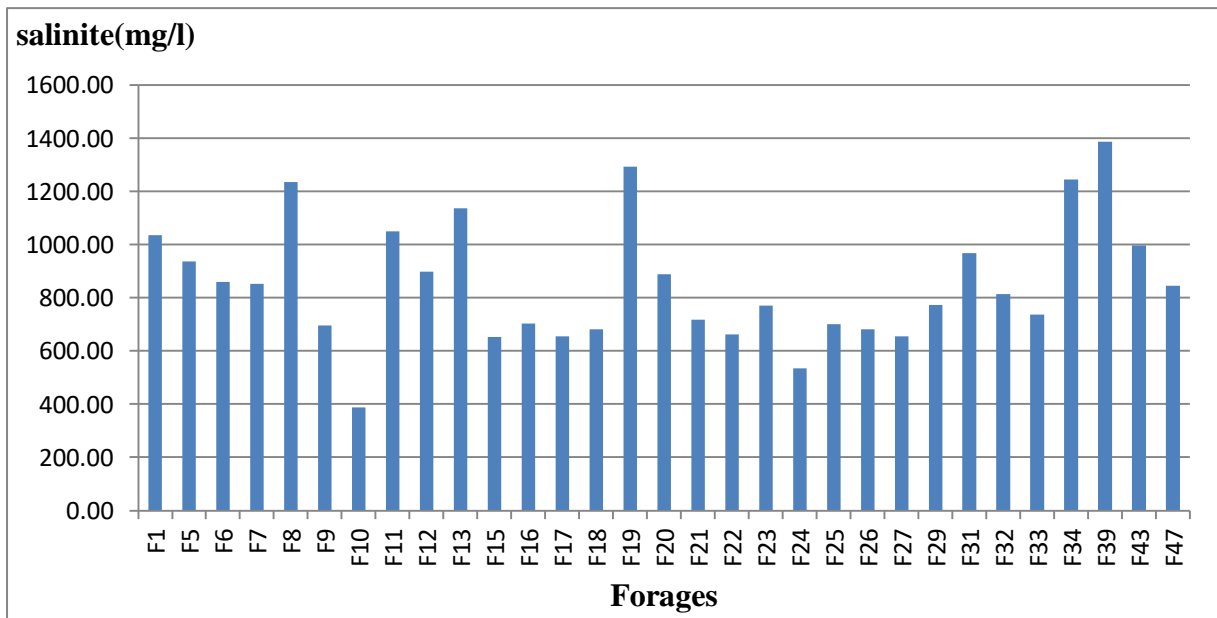


Figure III.24 : Variation de la salinité des eaux de forages étudiés (Année 2021).

Les eaux de la région de Boumerdès présentent une salinité comprise entre 388 à 1387mg/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 :

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

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

Tableau III.35 : Valeurs de la TDS max et TDS min (Année 2020).

Forages	TDS max mg/l	TDS min mg/l	Forages	TDS max mg/l	TDS min mg/l
F1	1147.02	868.11	F20	741.48	571.29
F2	974.86	723.89	F22	726.72	615.46
F3	914.01	672.70	F26	555.50	400.55
F5	1062.22	827.00	F33	1020.37	794.30
F7	696.00	565.94	F34	717.48	556.43
F10	716.00	570.20	F36	918.00	765.08
F11	734.60	564.41	F38	788.30	609.98
F12	591.35	443.01	F39	788.50	622.37
F15	508.30	400.09	F41	897.00	675.50
F16	526.30	415.04	F42	886.00	662.47
F18	505.40	409.38	F49	626.00	489.85
F19	641.08	514.07			

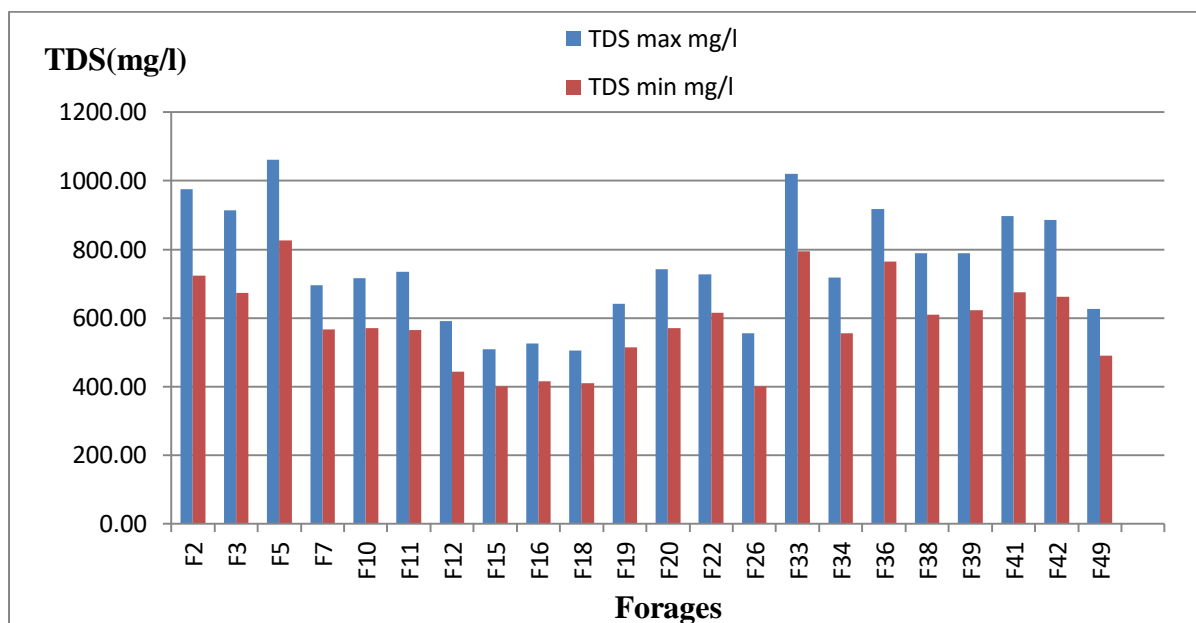


Figure III.25 : Variation de la TDS max et TDS min (Année 2020).

Tableau III.36 : Valeurs de la TDS max et TDS min (Année 2021).

Forages	TDS max mg/l	TDS min mg/l	Forages	TDS max mg/l	TDS min mg/l	Forages	TDS max mg/l	TDS min mg/l
F1	1035.80	757.40	F16	704.00	553.62	F27	654.49	473.63
F5	935.68	690.30	F17	655.00	498.53	F29	774.00	569.26
F6	860.00	621.23	F18	682.00	511.81	F31	968.00	717.03
F7	851.16	675.89	F19	1292.00	941.97	F32	815.00	545.74
F8	1234.00	944.42	F20	889.00	634.98	F33	738.00	502.78
F9	697.00	517.16	F21	718.00	525.96	F34	1244.00	931.05
F10	388.00	293.51	F22	663.00	455.72	F39	1387.00	1077.10
F11	1050.50	804.11	F23	770.47	535.25	F43	996.00	760.78
F12	897.00	729.35	F24	534.00	351.62	F47	844.35	642.66
F13	1136.00	890.11	F25	700.40	499.22			
F15	653.00	502.62	F26	680.32	491.33			

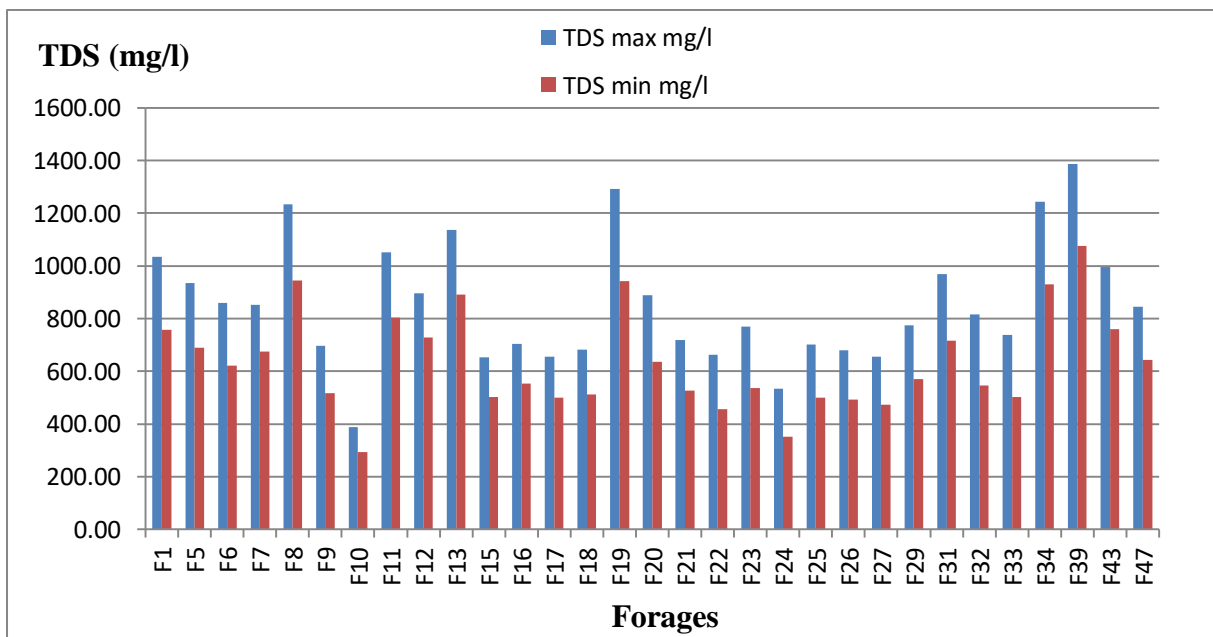


Figure III.26 : Variation de la TDS max et TDS min (Année 2021).

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 :

$$\sigma (\mu\text{s/cm}) = 100. (\sum \text{Activité ionique des cations (még/l)} + \sum \text{Activité des inions (még/l)}) / 2$$

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

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

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

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

t : température.

Tableau III.37 : Classification des eaux en fonction de la conductivité.

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 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.38 : Valeurs de la conductivité (Année 2020).

Forages	σ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25°C	Forages	σ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25°C
F1	1974.07	F20	1198.99
F2	1979.44	F22	1160.24
F3	1940.70	F26	897.00
F5	1815.50	F33	1570.19
F7	1048.26	F34	1098.17
F10	1167.44	F36	1532.75
F11	1166.39	F38	1283.22
F12	977.41	F39	1346.94
F15	891.09	F41	1569.53
F16	919.36	F42	1542.46
F18	908.55	F49	1178.26
F19	1028.52		

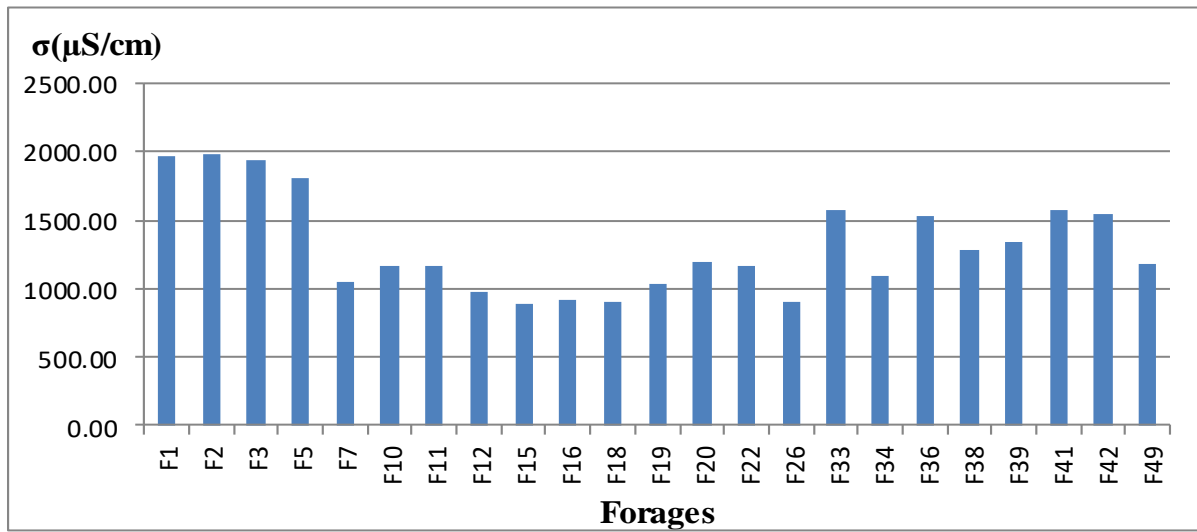


Figure III.27 : Variation de la conductivité (Année 2020).

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 (Ca^{2+}), 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 d'année 2020 varient entre la valeur maximale 1979.44 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la valeur minimale 891.09 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la classification des eaux en fonction de la conductivité implique que la majorité des forages ont une minéralité moyenne, à l'exception de (F1, F2, F3, F5, F33, F36, F41, F42), qui ont une minéralité moyennement élevée, cela due à la présence élevée ou moyenne des minéraux dans ces forges, la conversion de la conductivité à (20C°) montre que tous les forages sont conforme à la normes Algériennes qui est à l'ordre de 2800 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tableau III.39 : Valeurs de la conductivité (Année 2021).

Forages	σ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25°C	Forages	σ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25°C
F1	1624.92	F21	1048.49
F5	1652.53	F22	893.42
F6	1482.66	F23	1006.84
F7	1698.67	F24	683.37
F8	2266.27	F25	941.75
F9	1188.32	F26	946.16
F10	582.02	F27	919.61
F11	1612.65	F29	1122.18
F12	1826.81	F31	1400.21
F13	1924.27	F32	1129.66
F15	893.65	F33	1046.45
F16	1003.78	F34	1740.60
F17	931.62	F39	2014.43
F18	1049.43	F43	2018.02
F19	1957.65	F47	1461.67
F20	1303.93		

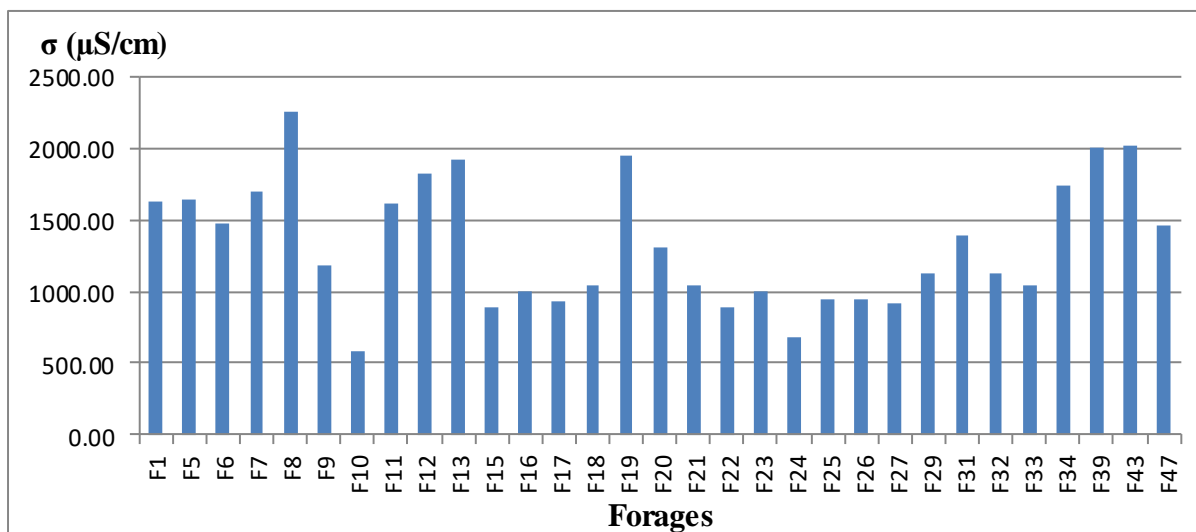


Figure III.28 : Variation de la conductivité (Année 2021).

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 (Ca^{2+}), 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 2266.27 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la valeur minimale 582.02 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la classification des eaux en fonction de la conductivité implique que la majorité des forages ont une minéralité moyenne, à l'exception de (F1, F5, F7, F8, F11, F12, F13, F19, F34, F39, F43), qui ont une minéralité

moyennement élevé, par contre les forages (F10, F24) possèdent une faible minéralité cela due à la présence élevée ou moyenne des minéraux dans ces forages, la conversion de la conductivité à (20C°) montre que tous les forages sont conformes à la norme Algérienne qui est à l'ordre de 2800 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

III.5.4. Selon les normes européennes :

La classification des eaux selon les normes européennes tient compte de la teneur des constituants ioniques (calcium $[\text{Ca}^{2+}]$, magnésium $[\text{Mg}^{2+}]$, chlorure $[\text{Cl}^-]$, sulfate $[\text{SO}_4^{2-}]$...) Le tableau ci-dessous représente la classification des eaux selon les normes européennes :

Tableau III.40 : Classification des eaux.

Caractéristique	Teneur (mg/l)
Faiblement minéralisée	$\text{TDS} \leq 500$
Très faiblement minéralisée	$\text{TDS} \leq 50$
Riche en sels minéraux	$\text{TDS} > 1500$
Bicarbonatée	$[\text{HCO}_3^-] > 600$
Sulfatée	$[\text{SO}_4^{2-}] > 200$
Chlorurée	$[\text{Cl}^-] > 200$
Calcique	$[\text{Ca}^{2+}] > 150$
Magnésienne	$[\text{Mg}^{2+}] > 50$
Fluorée ou contient du fluore	$[\text{F}^-] > 1$
Ferrugineuse ou contient du fer	$[\text{Fe bivalent}] > 1$
Acidulée	$[\text{CO}_2 \text{ libre}] > 250$
Sodique	$[\text{Na}^+] > 200$
Convient pour régime pauvre en sodium	$[\text{Na}^+] < 20$
Ne convient pas pour l'alimentation des bébés et la consommation régulière des jeunes enfants [réglementation Algérienne : Arrêté interministériel du 23 Février 2008]	$[\text{F}^-] > 1,5$
Selon cette réglementation ; TDS : teneur en sels minéraux, calculée comme résidu fixe	

Les résultats obtenus d'année 2020 révèlent que :

- Les eaux des forages de la région de Boumerdès ont un caractère moyennement minéralisé.
- 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.
- On a trouvé que deux forages (F22, F36) leur eau est sulfatée.
- Toutes les valeurs de $[\text{Cl}^-]$ ne dépassent pas 200 mg/l, on conclut que toutes les eaux de forages étudiées ne sont pas chlorurées.
- Les forages (F1, F2, F5, F33) caractérisés d'une eau calcique.

-Les forages (F1, F3, F10, F22, F36, F39) ont une eau magnésienne.

- Les eaux de Boumerdès sont moyennement sodiques.

Les résultats obtenus d'année 2021 révèlent que :

- Les eaux de ces forages (F10, F24) ont un caractère faiblement minéralisé.

- Il y a que trois forages (F19 ; 689 mg/l), (F34 ; 616 mg/l), (F39 ; 610 mg/l) qui ont une eau bicarbonatées.

- Il y a un forage (F39 ; 312mg/L) qui a une eau sulfatée.

- Il y a un forage (F13 ; 212mg/L) qui a une eau chlorurée.

-Les eaux de Boumerdès sont moyennement calciques.

-Les forages (F8, F11, F12, F13, F19, F19, F31, F32, F34, F39) ont une eau magnésienne.

- Les eaux de Boumerdès sont moyennement sodiques.

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 résidus secs (A. Hazzab 2012) :

Tableau III.41 : 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 d'année(2020) (voir la figure) :

On constate que tous les forages se caractérisent par une eau modérément minéralisée.

D'après les résultats obtenus d'année(2021) (voir la figure) :

On constate que tous les forages se caractérisent par une eau modérément minéralisée à l'exception de forage (F10) qui est une eau oligo-minérale.

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 (Bouziani, 2000).

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

Tableau III.42 : 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) :

C'est un paramètre physique mesuré in situ. La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique (solubilité des sels et des gaz), l'activité bactérienne, la quantité d'oxygène dissous (plus la température est élevée, plus la quantité d'oxygène dissous est faible).

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). La température joue un rôle notable lorsque l'on fait des mélanges entre des eaux de composition différentes. (BENAMOUR.M, 2007).

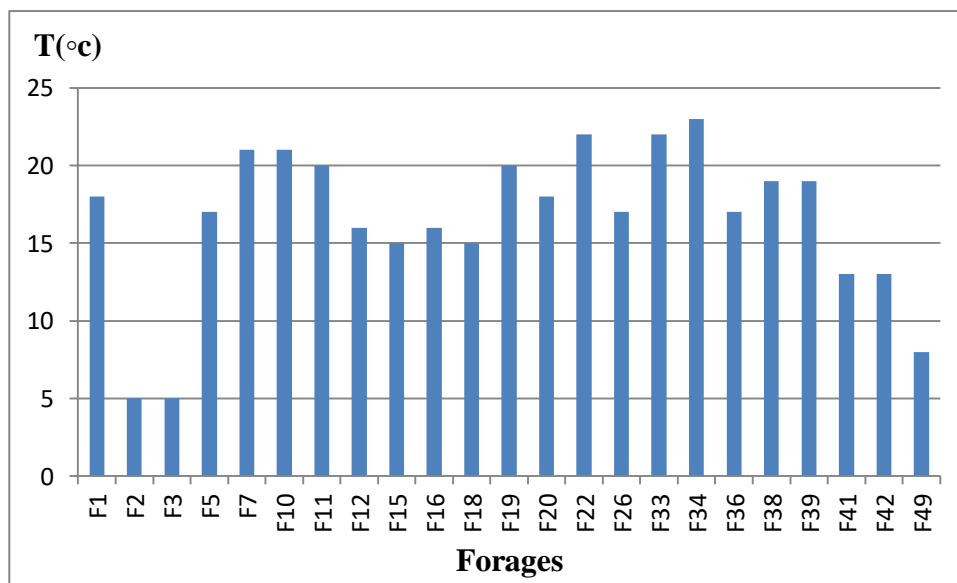


Figure III.29 : Variation de la température dans les eaux de forages étudiés(Année2020)

Dans la région d'étude, les résultats obtenus montrent que les degrés de la température varient entre 5°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).

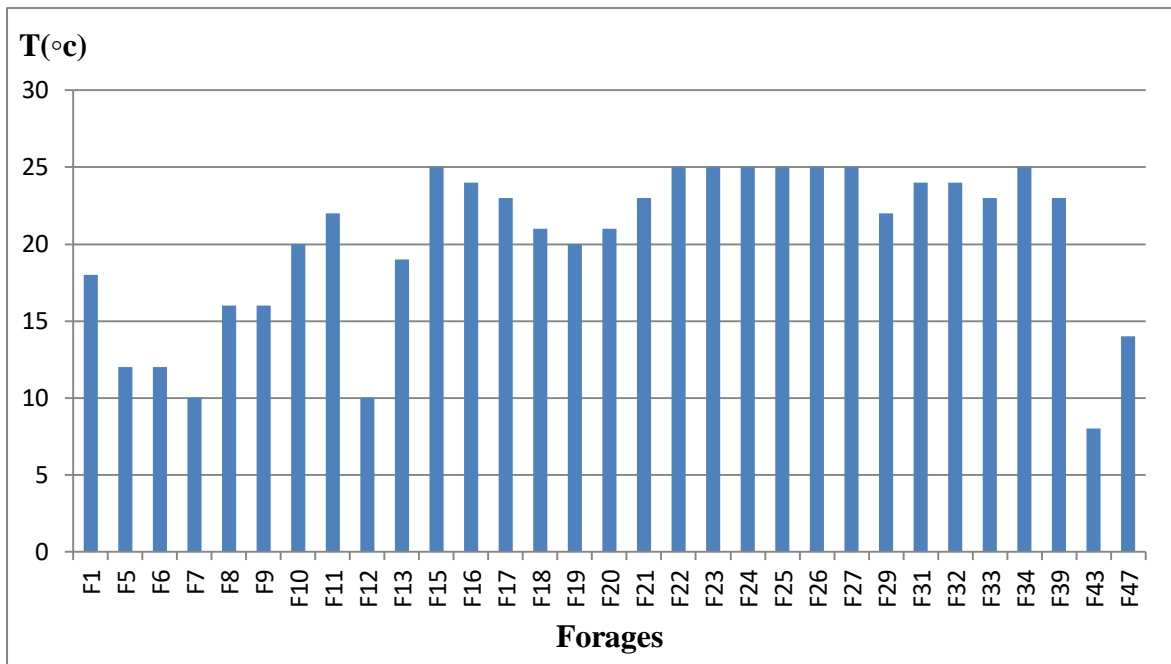


Figure III.30 : Variation de la température dans les eaux de forages étudiés(Année2021)

La température des eaux de la nappe varie entre 8°C et 25°C. Et ça sur l'ensemble des forages étudiés ; donc ils sont conformes à la norme de potabilité algérienne qui est fixée à 25°C (JORADP 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.

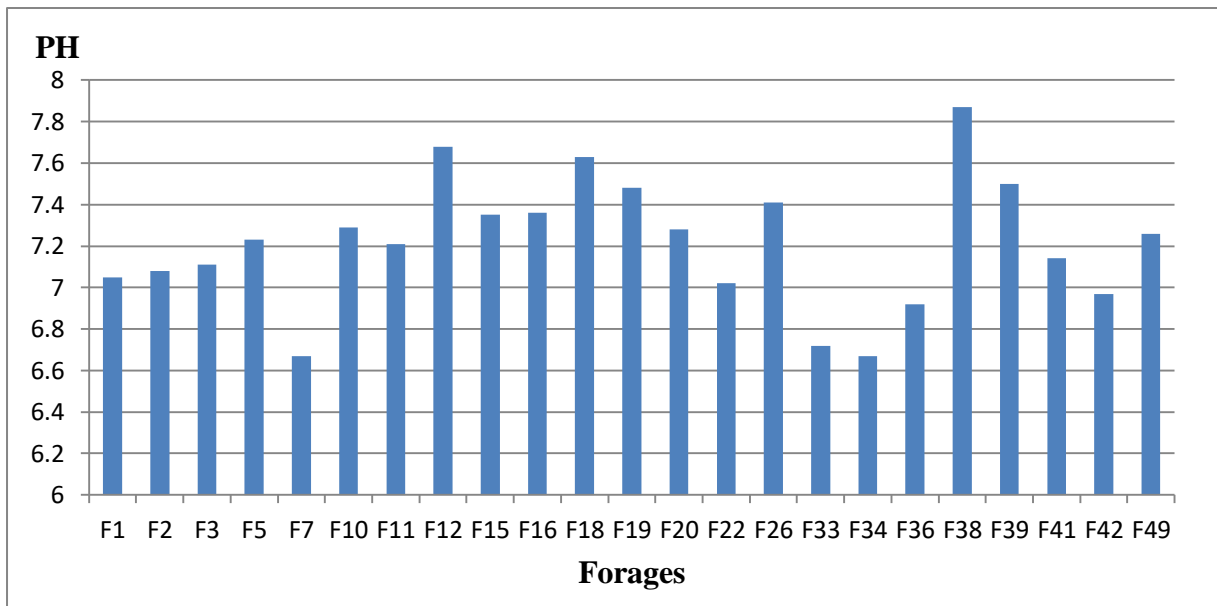


Figure III.31 : Variation de pH des eaux des forages étudiés (Année 2020).

Dans notre secteur d'étude, les valeurs du pH enregistrées varient entre la valeur minimale 6.67 et la valeur maximale 7.87, 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.

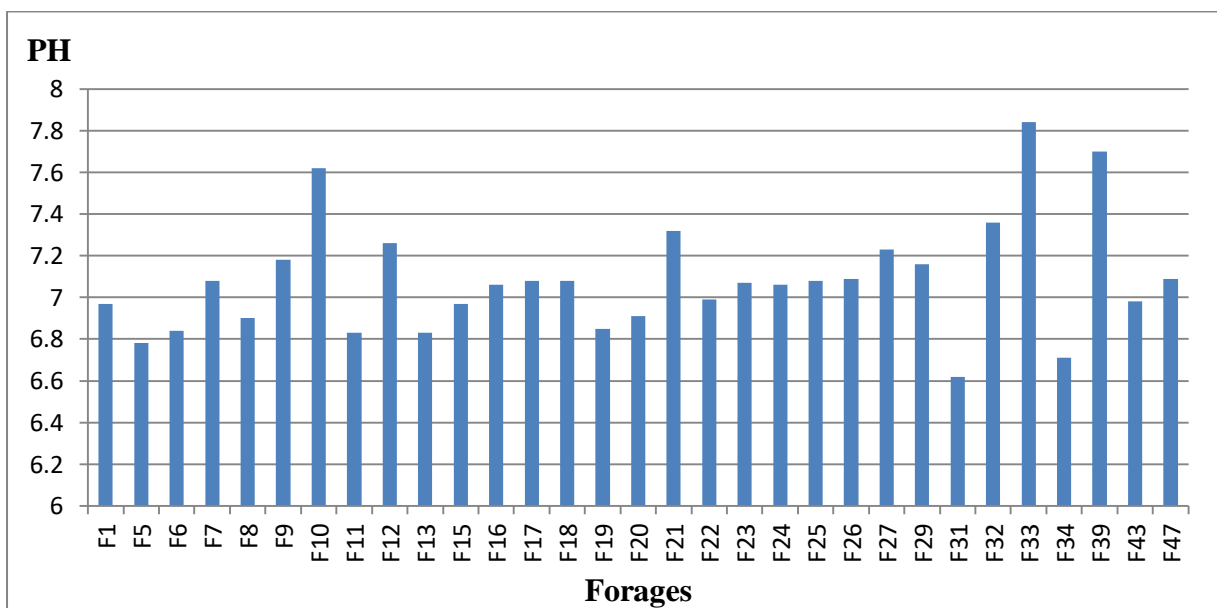


Figure III.32 : Variation de pH des eaux des forages étudiés (Année 2021).

Dans notre secteur d'étude, les valeurs du pH enregistrées varient entre la valeur minimale 6.62 et la valeur maximale 7.84, 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. Conductivité :

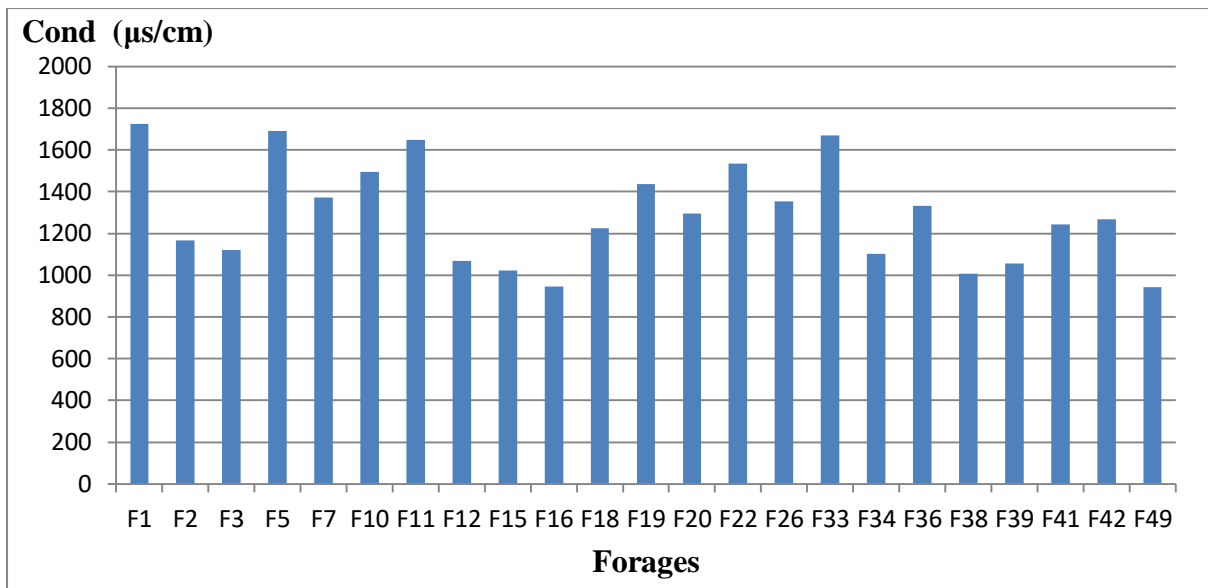


Figure III.33 : Variation de la Conductivité des eaux de forages étudiés (Année 2020).

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 947 µS/cm et la valeur maximale 1726 µS/cm, les eaux de forages étudiés ont une conductivité conforme à la norme Algérienne de potabilité fixée à 2800 µS/cm.

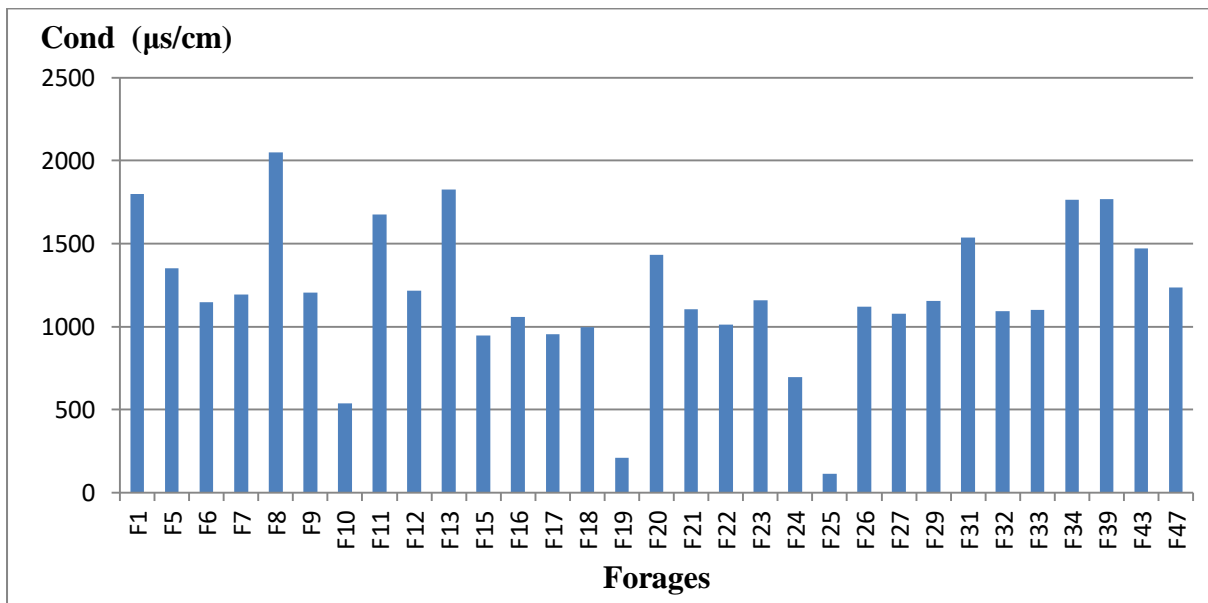


Figure III.34 : Variation de la Conductivité des eaux de forages étudiés (Année 2021).

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 114 µS/cm et la valeur maximale 2050 µS/cm, les eaux de forages étudiés ont une conductivité conforme à la norme Algérienne de potabilité fixée à 2800 µS/cm.

III.6.4. 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.

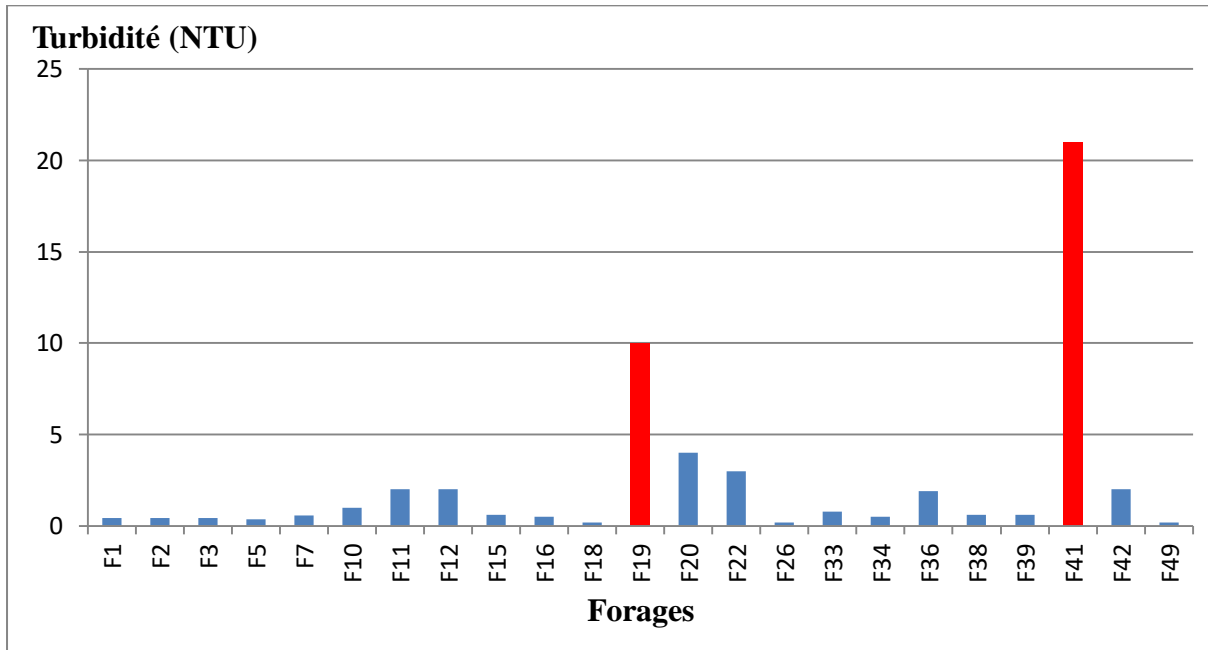


Figure III.35 : Variation de la turbidité des eaux de forages étudiés (Année 2020).

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 0.2 NTU et la valeur maximale 21 NTU, les eaux de forages étudiés ont une turbidité conforme à la norme Algérienne à l'exception de ces forages (F19 ; 10 NTU) et (F41 ; 21 NTU).

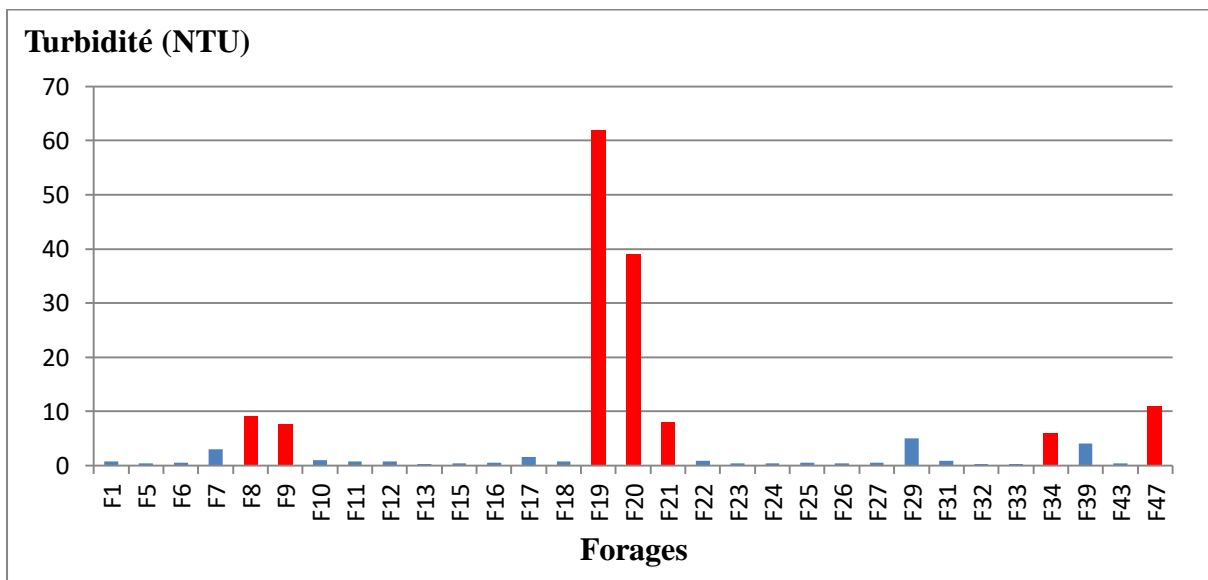


Figure III.36 : Variation de la turbidité des eaux de forages étudiés (Année 2021).

Les résultats obtenus varient entre la valeur minimale 0.3 NTU et la valeur maximale 62 NTU, les eaux de forages étudiés ont une turbidité conforme à la norme Algérienne à l'exception de ces forages (F8 ; 9 NTU), (F9 ; 7.66 NTU), (F19 ; 62 NTU), (F20 ; 39 NTU), (F21 ; 8 NTU), (F34 ; 6 NTU) et (F19 ; 11 NTU)

III.6.5. Calcium (Ca²⁺) :

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 (CaSO₄, 2H₂O).

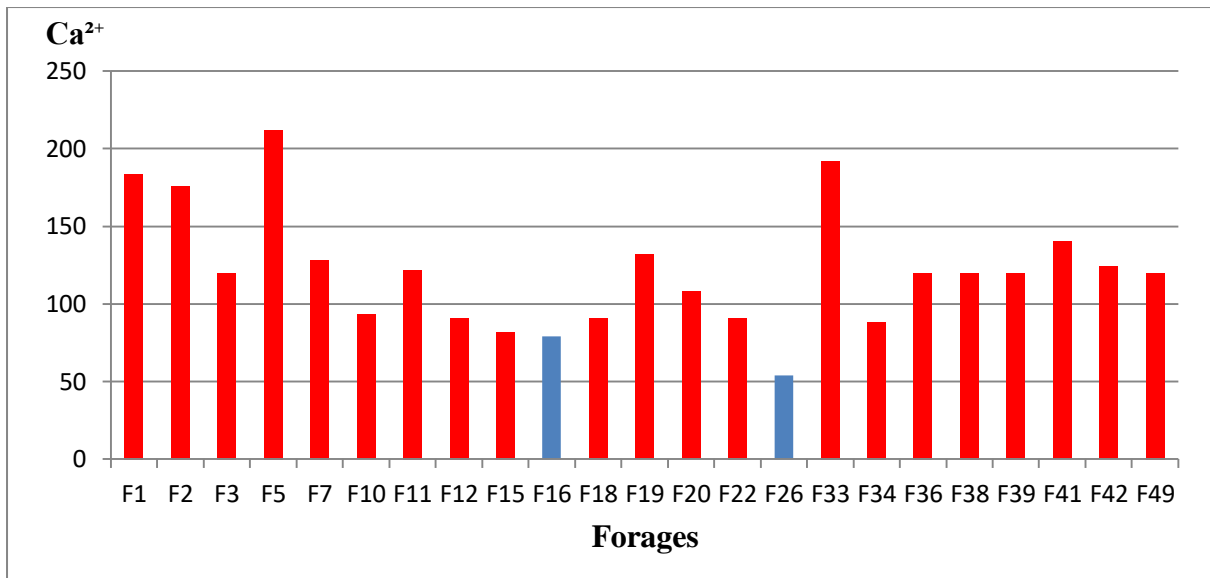


Figure III.37 : Variation de la teneur en calcium des eaux de forages étudiés (Année 2020).

La variation de la teneur en calcium dans les eaux de forages étudiées elle est entre la valeur minimale 54 mg/l, enregistrée au forage F26, et la valeur maximale 212 mg/l, enregistrée au forage F5, selon la norme Algérienne des eaux potable qui est à l'ordre de 80 mg/l il y a 2 forages (F16, F26) sont conformes à la norme le reste de forages ne sont pas conformes.

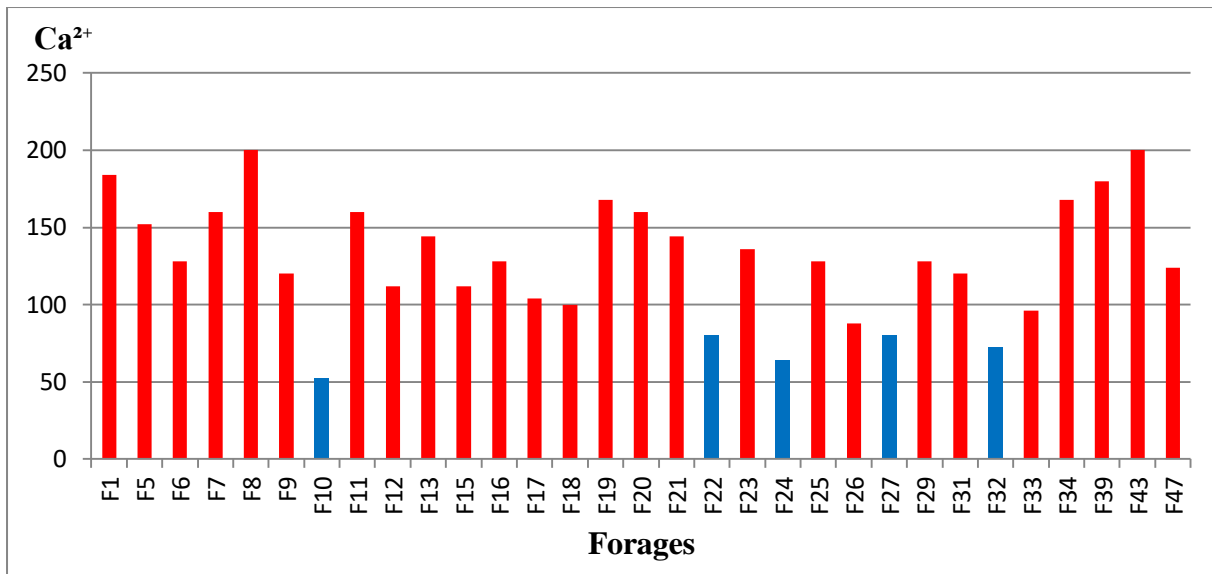


Figure III.38 : Variation de la teneur en calcium des eaux de forages étudiés (Année 2021).

La variation de la teneur en calcium dans les eaux de forages étudiées elle est entre la valeur minimale 52 mg/l, enregistrée au forage F10, et la valeur maximale 200 mg/l, enregistrée au forage F8 et F43, selon la norme Algérienne des eaux potable qui est à l'ordre de 80 mg/l il y a 5 forages (F10, F22, F24, F27, F32) sont conformes à la norme le reste de forages ne sont pas conformes.

III.6.6. Magnésium (Mg²⁺) :

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environs 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.

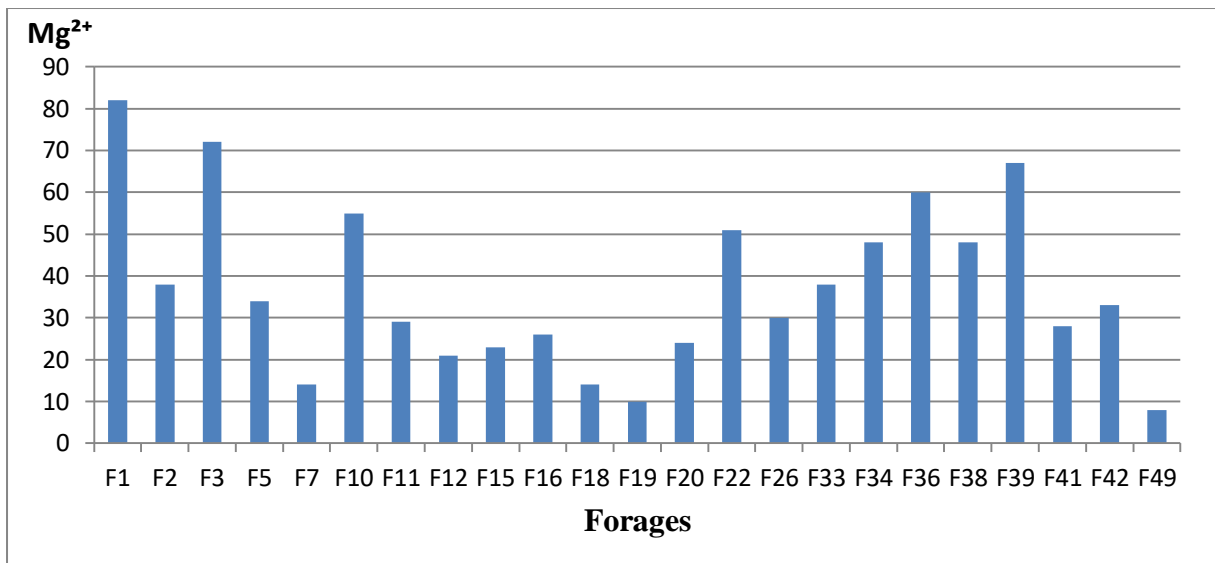


Figure III.39 : Variation de la teneur en magnésium des eaux de forages étudiés (Année 2020).

La teneur du magnésium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 8 mg/l qui est enregistrée au forage F49 et la valeur maximale 82 mg/l qui est enregistrée au forage F1. Toutes les valeurs sont conformes aux normes Algériennes (150 mg/l).

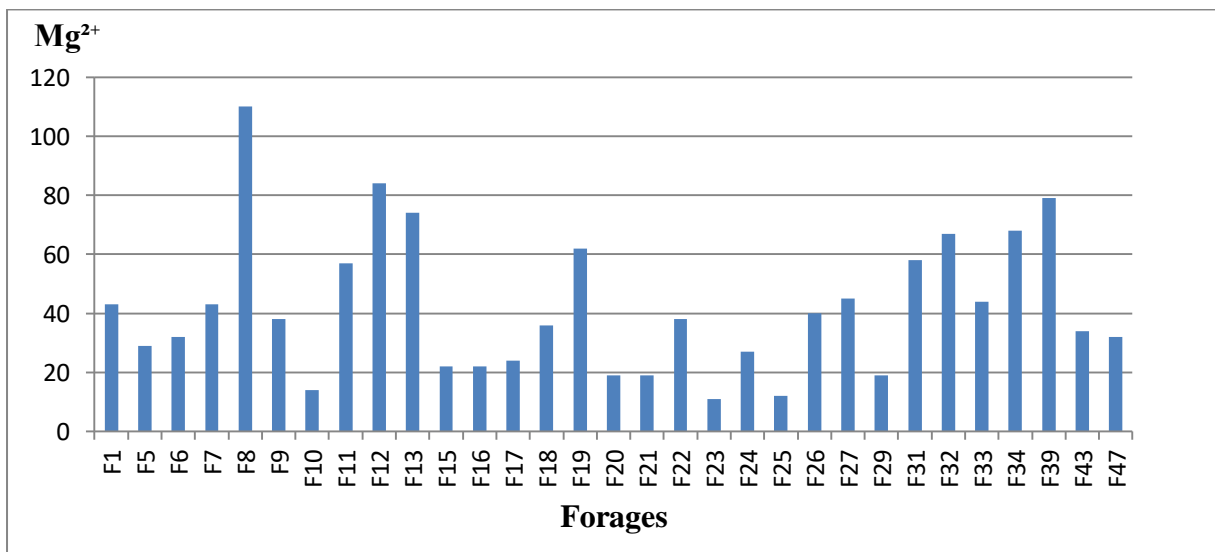


Figure III.40 : Variation de la teneur en magnésium des eaux de forages étudiés (Année 2021).

La teneur du magnésium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 11 mg/l qui est enregistrée au forage F23 et la valeur maximale 110 mg/l qui est enregistrée au forage F8. Toutes les valeurs sont conformes aux normes Algériennes (150 mg/l).

III.6.7. 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.

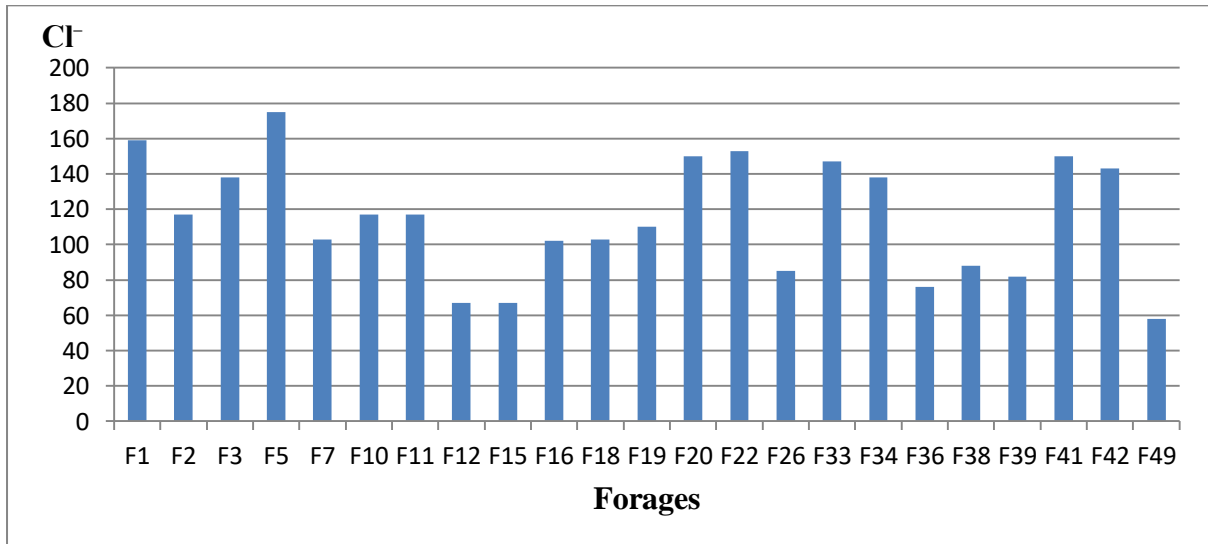


Figure III.41 : Variation de la teneur en chlorure des eaux de forages étudiés (Année 2020).

La teneur des chlorures des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 58 mg/l qui est enregistrée au forage F49 et la valeur maximale 175 mg/l qui est enregistrée au forage F5, 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.

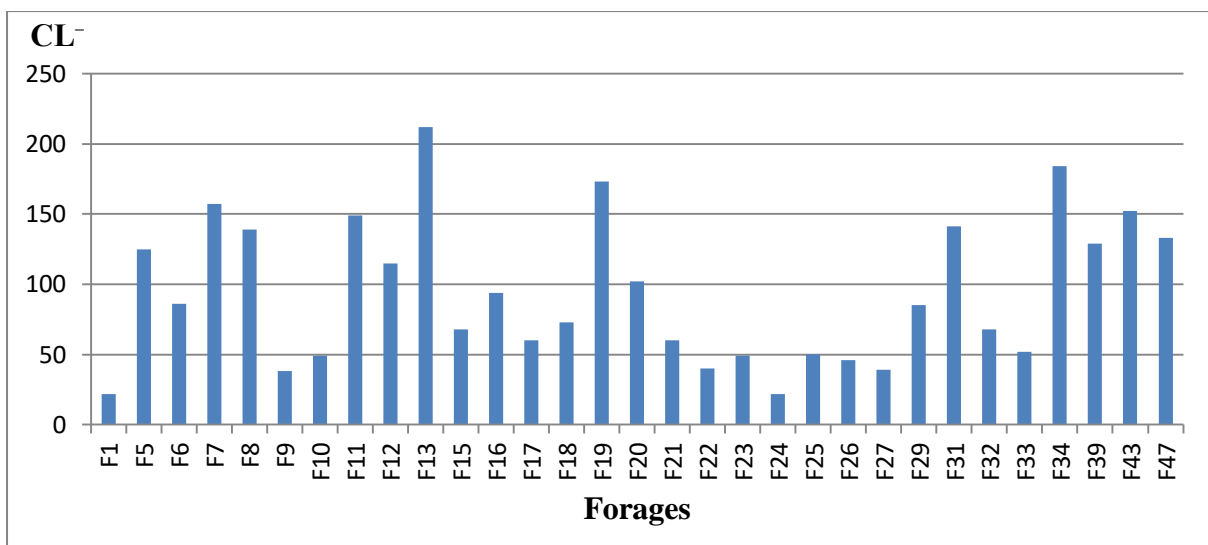


Figure III.42 : Variation de la teneur en chlorure des eaux de forages étudiés (Année 2021).

La teneur des chlorures des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 21.7 mg/l qui est enregistrée au forage F1 et la valeur maximale 212 mg/l qui est enregistrée au forage F13, 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.6.8. 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).

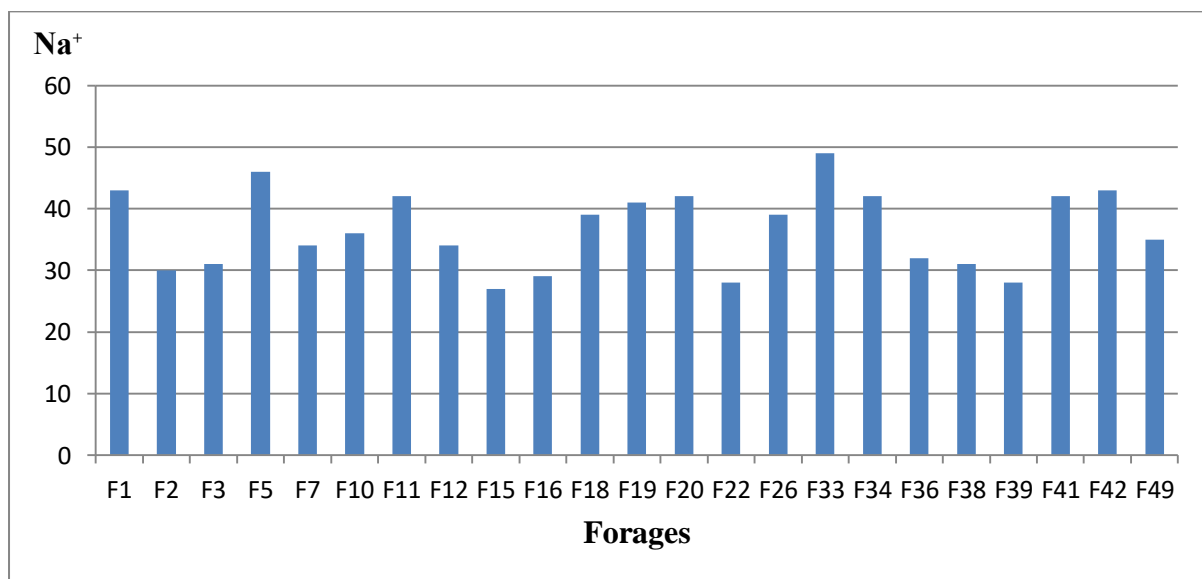


Figure III.43 : Variation de la teneur en sodium des eaux de forages étudiés (Année 2020).

La teneur de sodium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 27 mg/l qui est enregistrée au forage F15 et la valeur maximale 49 mg/l qui est enregistrée au forage F33, toutes les eaux étudiées sont conformes à la normes Algériennes qui est à l'ordre de 200 mg/l.

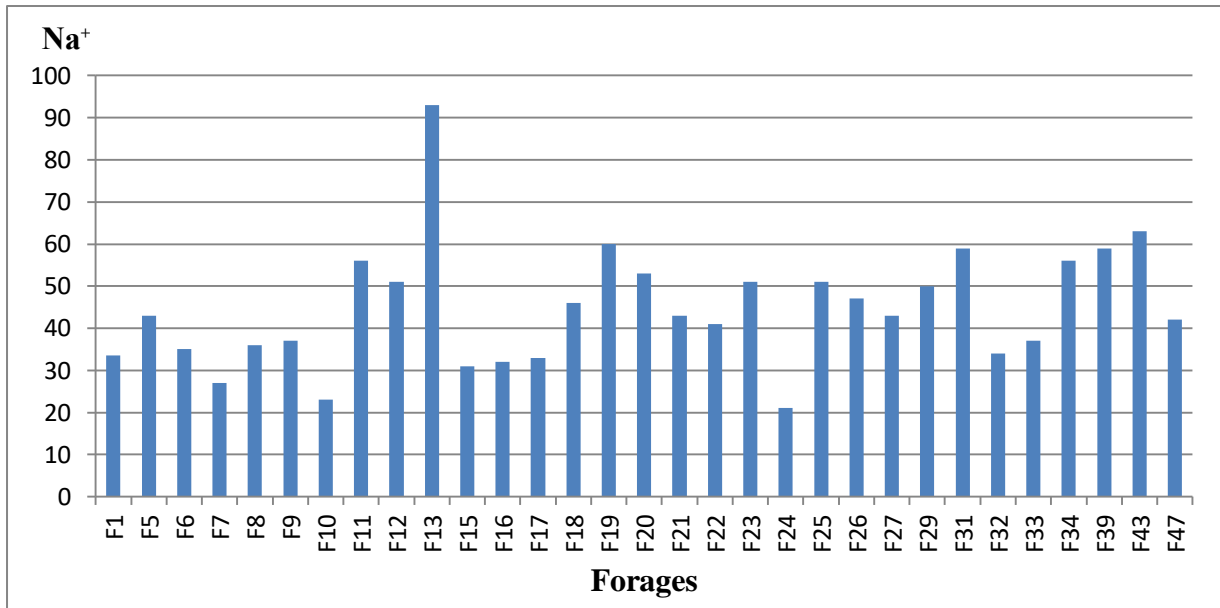


Figure III.44 : Variation de la teneur en sodium des eaux de forages étudiés (Année 2021).

La teneur de sodium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 21 mg/l qui est enregistrée au forage F24 et la valeur maximale 93 mg/l qui est enregistrée au forage F13, toutes les eaux étudiées sont conformes à la normes Algériennes qui est à l'ordre de 200 mg/l.

III.6.9. 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.

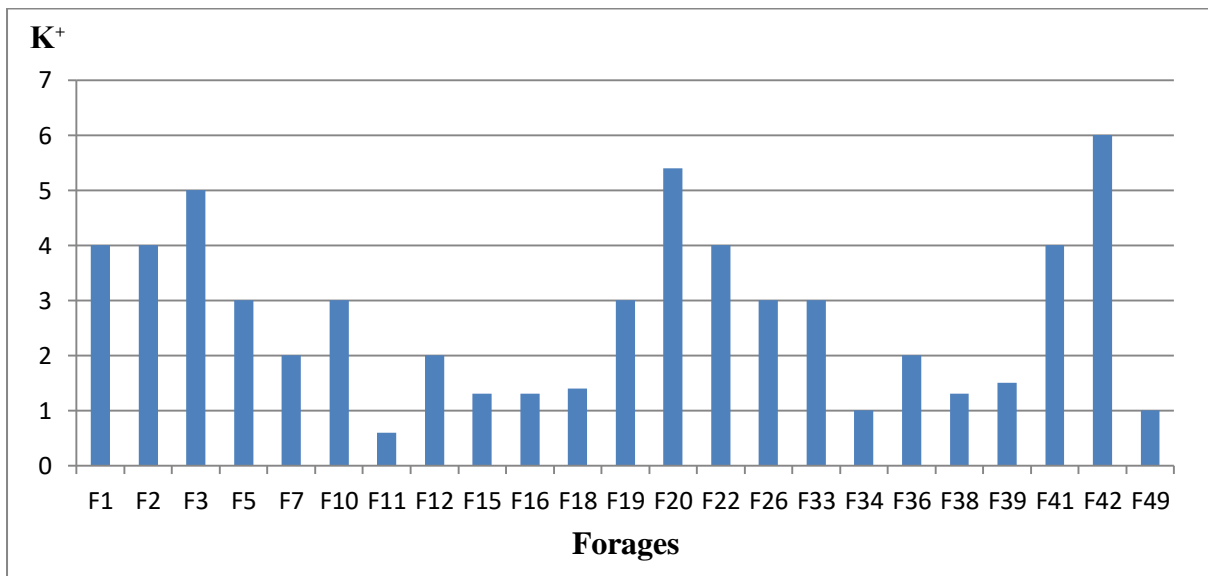


Figure III.45 : Variation de la teneur en potassium des eaux de forages étudiés (Année 2020).

La teneur de sodium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 0.6 mg/l qui est enregistrée au forage F11 et la valeur maximale 6 mg/l qui est enregistrée au forage F42. selon la norme Algérienne de l'eau potable on a trouvé les eaux de forages qu'on a étudiées sont conformes.

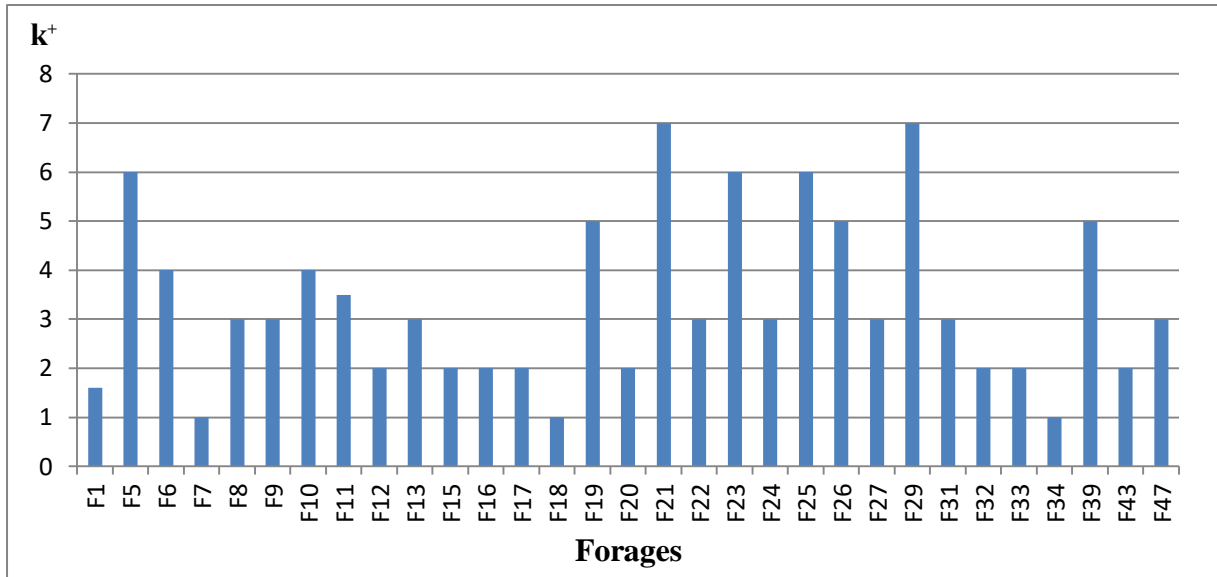


Figure III.46 : Variation de la teneur en potassium des eaux de forages étudiés (Année 2021).

La teneur de sodium des eaux de forages étudiés varie entre la valeur minimale 1 mg/l qui est enregistrée aux forages F7 et F 34 et la valeur maximale 7 mg/l qui est enregistrée aux forages F21 et F29. selon la norme Algérienne de l'eau potable on a trouvé les eaux de forages qu'on a étudiées sont conformes.

III.6.10. Sulfate (SO₄²⁻) :

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).

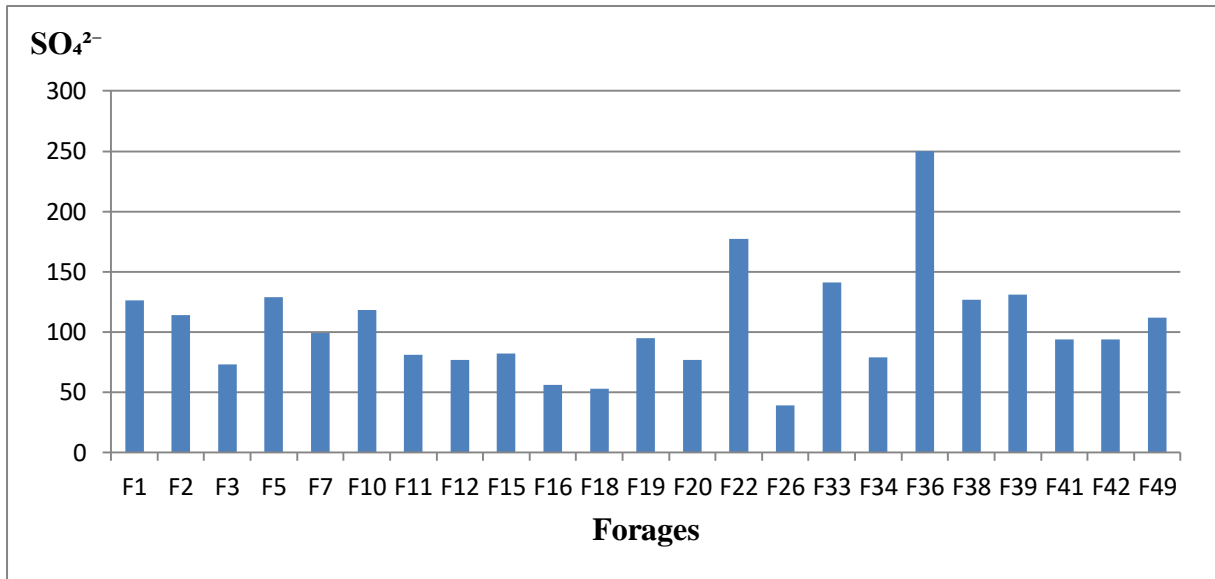


Figure III.47 : Variation de la teneur en sulfate des eaux de forages étudiés (Année 2020).

La teneur en sulfate dans les eaux de forages étudiées varie entre la minimale 39 mg/l qui est enregistrée au forage F26, et la maximale 250 mg/l qui est enregistrée au forage F36, toutes ces valeurs sont conformes à la norme algérienne recommandée qui est de 400 mg/l.

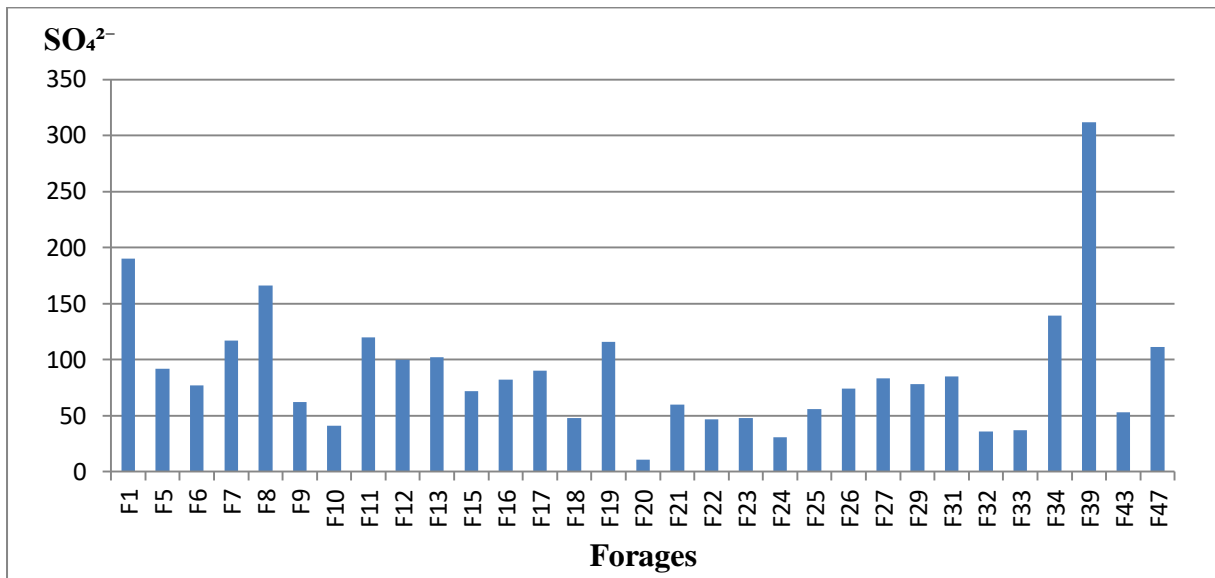


Figure III.48 : Variation de la teneur en sulfate des eaux de forages étudiés (Année 2021).

La teneur en sulfate dans les eaux de forages étudiées varie entre la minimale 11 mg/l qui est enregistrée au forage F20, et la maximale 312 mg/l qui est enregistrée au forage F39, toutes ces valeurs sont conformes à la norme algérienne recommandée qui est de 400 mg/l.

III.6.11. Bicarbonates (HCO_3^-):

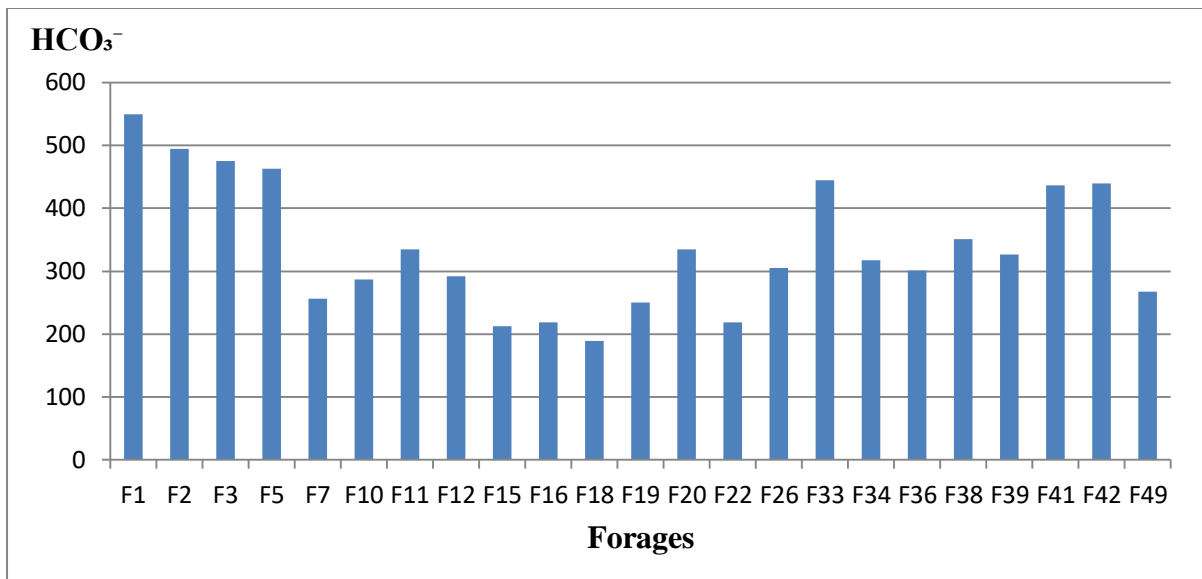


Figure III.49 : Variation de la teneur en bicarbonate des eaux de forages étudiées (Année 2020).

La teneur en bicarbonate dans les eaux de forages étudiées varie entre la valeur minimale 189 mg/l qui est enregistrée au forage F18, et la valeur maximale 549 mg/l qui est enregistrée au forage F1, toutes les valeurs sont conformes à la normes Algériennes qui est à l'ordre de 600 mg/l.

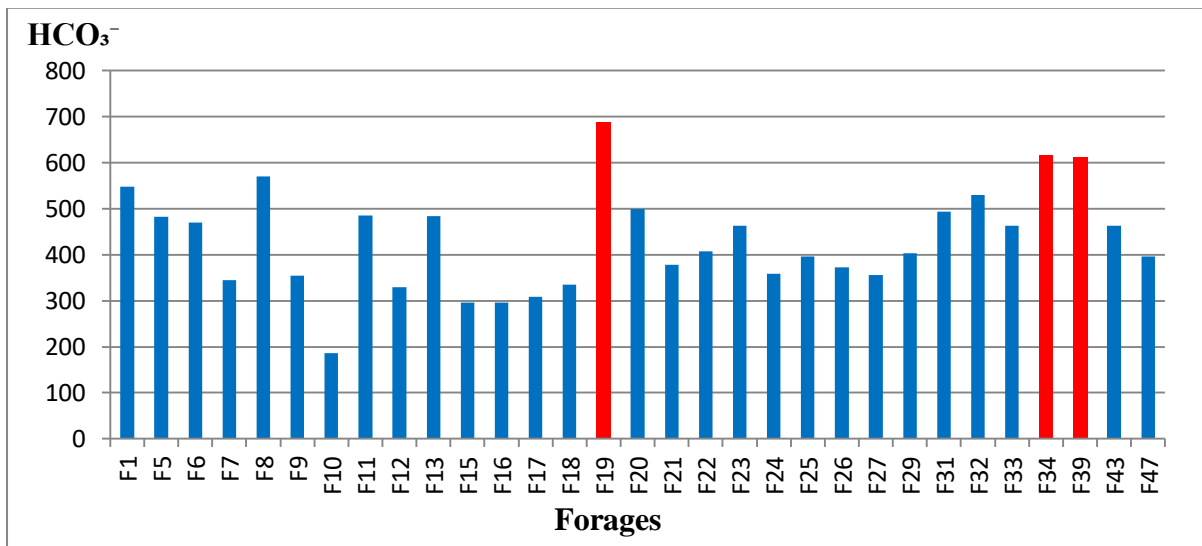


Figure III.50 : Variation de la teneur en bicarbonate des eaux de forages étudiées (Année 2021).

La teneur en bicarbonate dans les eaux de forages étudiées varie entre la valeur minimale 186 mg/l qui est enregistrée au forage F10, et la valeur maximale 689 mg/l qui est enregistrée au forage F1, toutes les valeurs sont conformes à la normes Algériennes qui est à l'ordre de 600 mg/l. A l'exception de ces forages (F19, F34, F39).

III.6.12. Nitrates (NO_3^{2-}) :

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.

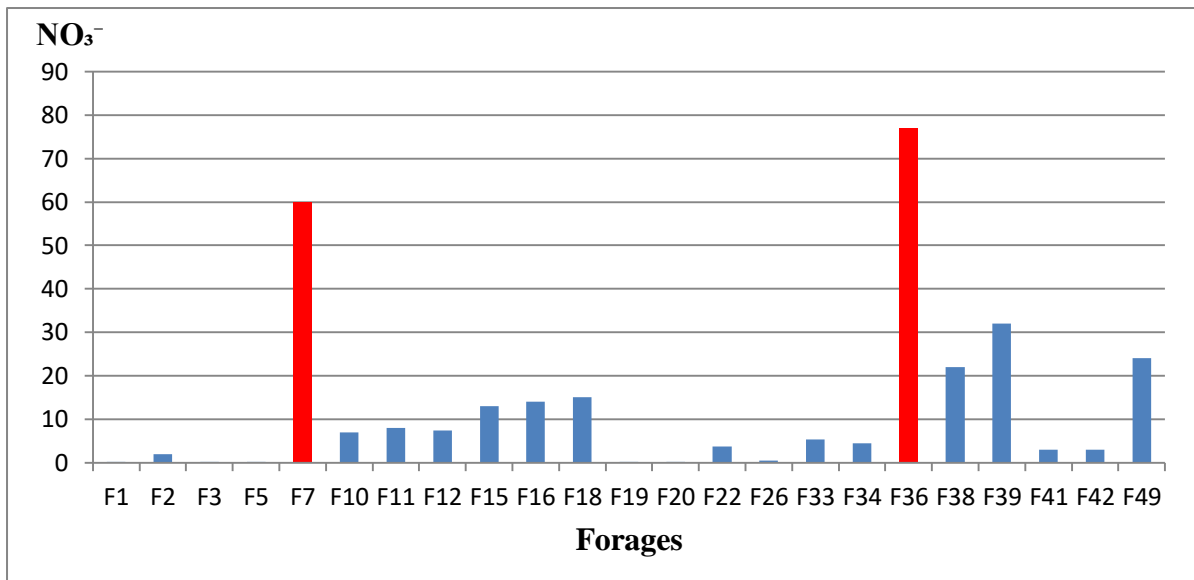


Figure III.51 : Variation de la teneur en nitrates des eaux de forages étudiés (Année 2020).

Les teneurs des nitrates obtenues varient entre la valeur minimale 0,02 mg/l enregistrée au forage F1 et la valeur maximale 77 mg/l enregistrée au forage F36, 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 (F7, F36).

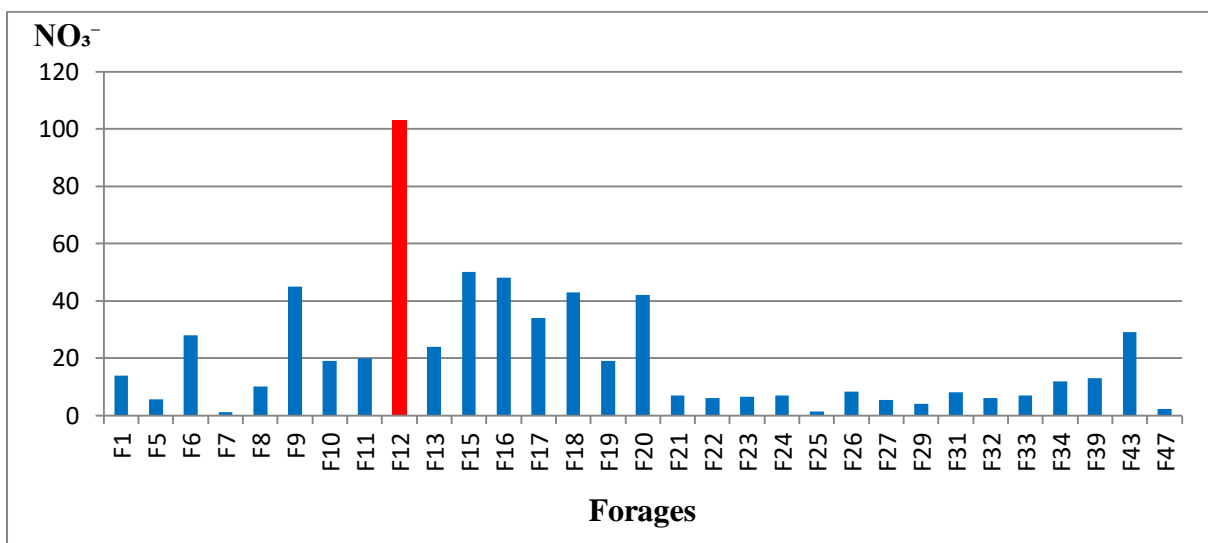


Figure III.52 : Variation de la teneur en nitrates des eaux de forages étudiés (Année 2021).

Les teneurs des nitrates obtenues varient entre la valeur minimale 1.16 mg/l enregistrée au forage F7 et la valeur maximale 103 mg/l enregistrée au forage F 12, 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 forage (F12).

III.7. 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).

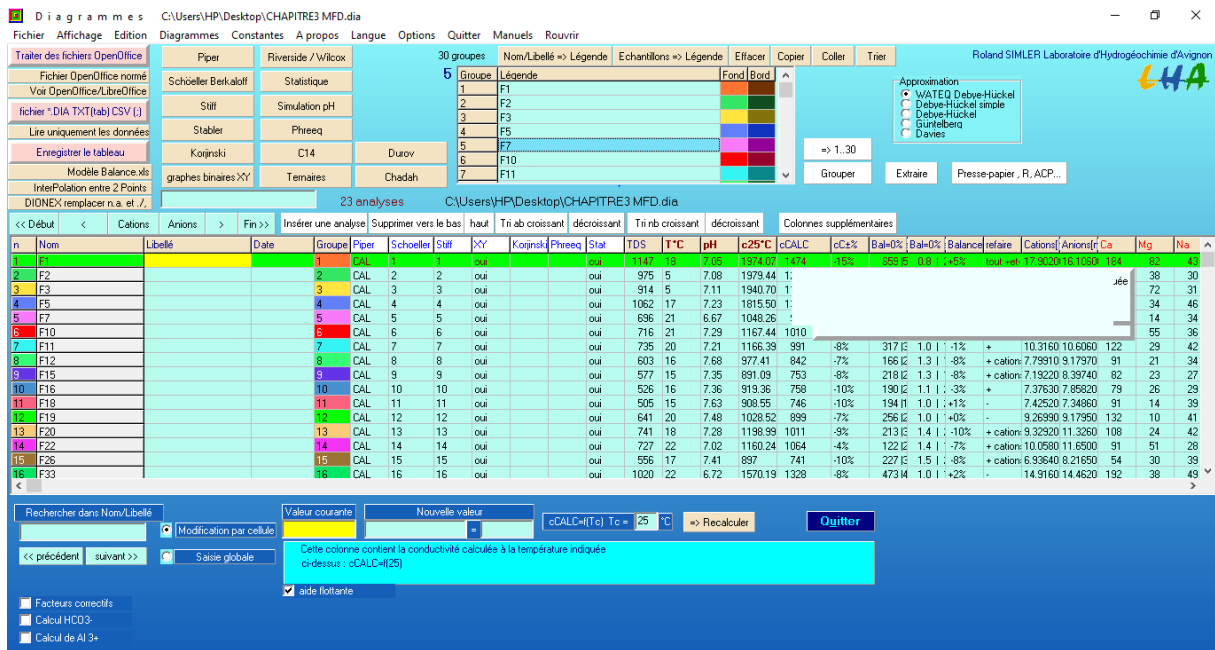


Figure III.53 : Interface de logiciel diagrammes.

III.7.1 Les principaux faciès chimiques :

Les diagrammes qu'on les présenter, vont permettre une meilleure identification des faciès et les aspects qualitatifs des eaux souterraines analysée, ainsi que leur évolution. Dans ce but, nous avons entrepris dans notre cas et choisi des démarches de représentation, tels que celui de PIPER et de Scholler-Berkalov, afin de mieux cerner les particularités des eaux étudiées.

7.1.1. Classification des eaux selon le diagramme de PIPER :

Le diagramme de piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite)

A partir du diagramme de piper présentés par les Figures III.54, III.55 on remarque une dominance calcique et magnésienne pour les cations, ainsi qu'une dominance anionique Bicarbonatée et chlorurée pour l'ensemble des échantillons des forages étudiés pour les deux années. D'après le diagramme global on peut ressortir deux faciès chimique :

- Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes.
- Bicarbonaté calcique et magnésienne.

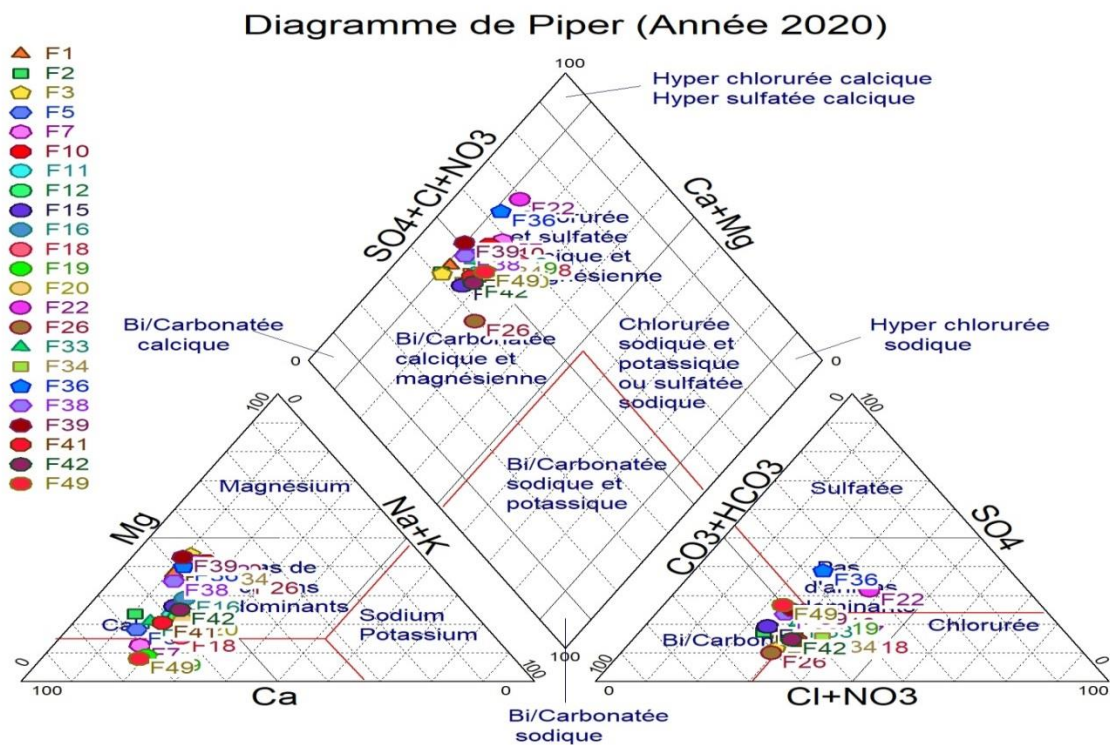


Figure III.54 : Faciès chimique des analysées d'après de diagramme de PIPER(Année 2020).

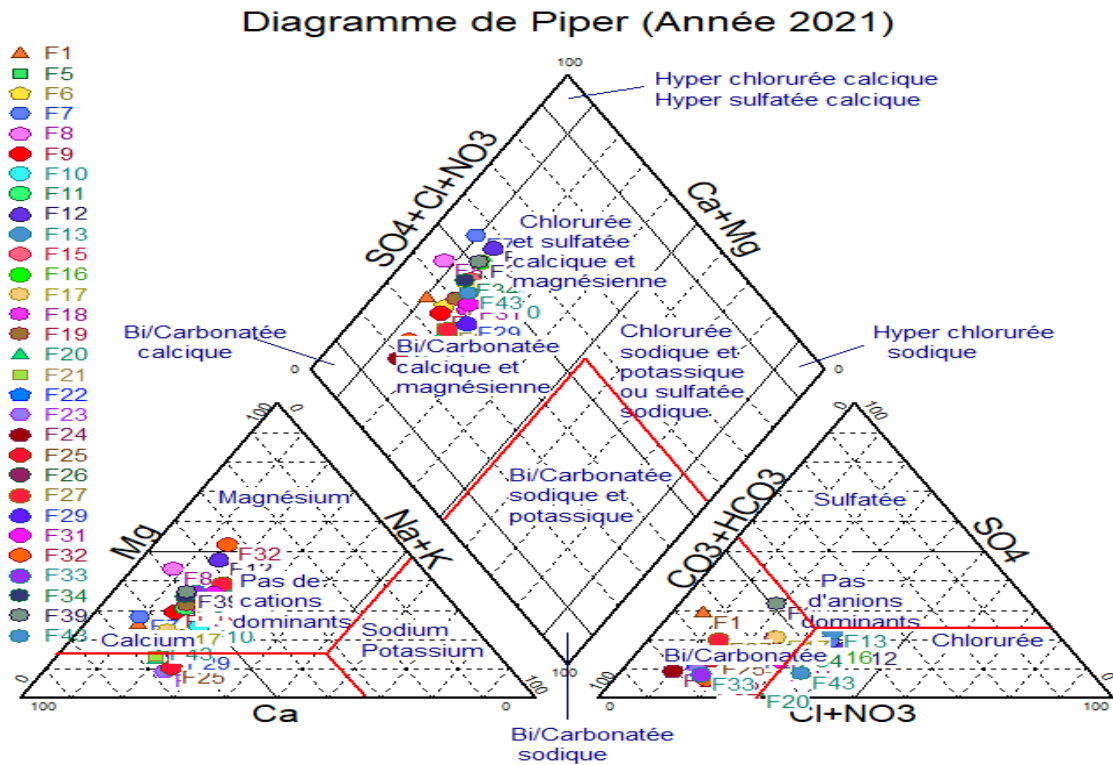


Figure III.55 : Faciès chimique des analysées d’après de diagramme de PIPER(Année 2021).

III.7.1.2 Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff ;

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff est une représentation graphique semi logarithmique. Sur l'axe des abscisses sont représentés les différents ions et sur l'axe des ordonnées la teneur réelle en mg/l. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure du graphique obtenu permet de visualiser le faciès de l'eau concernée. Le diagramme permet une lecture directe des concentrations en mg/l des différents ions majeurs. En outre, les 2 axes des ordonnées, situés à droite et à gauche du graphique, permettent une conversion directe en milliequivalent par litre. Les Figures III.56,III.57 montrent les résultats d'une telle représentation des compositions en éléments majeurs des points d'eau sur ce diagramme. Selon le diagramme Schoeller-Berkaloff les eaux sont classées comme suit: Eau à faciès Bicarbonaté Calcique magnésiennes.

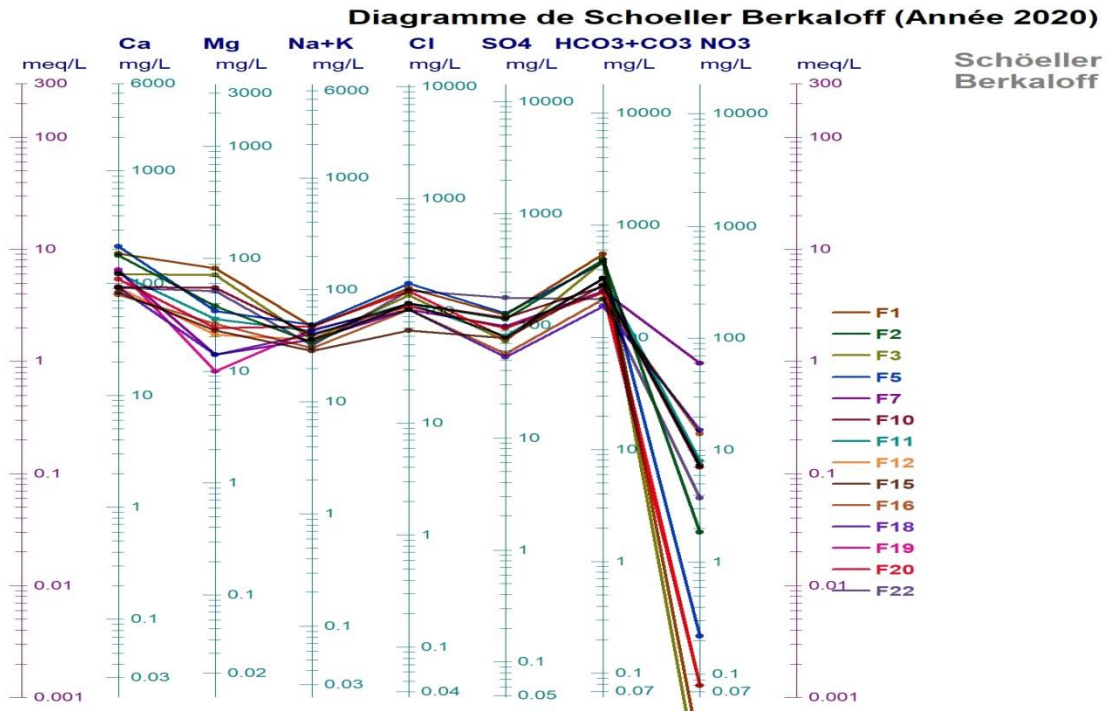


Figure III.56 : Facies chimique des analysées d'année 2020 d'après de diagramme Schoeller-Berkaloff

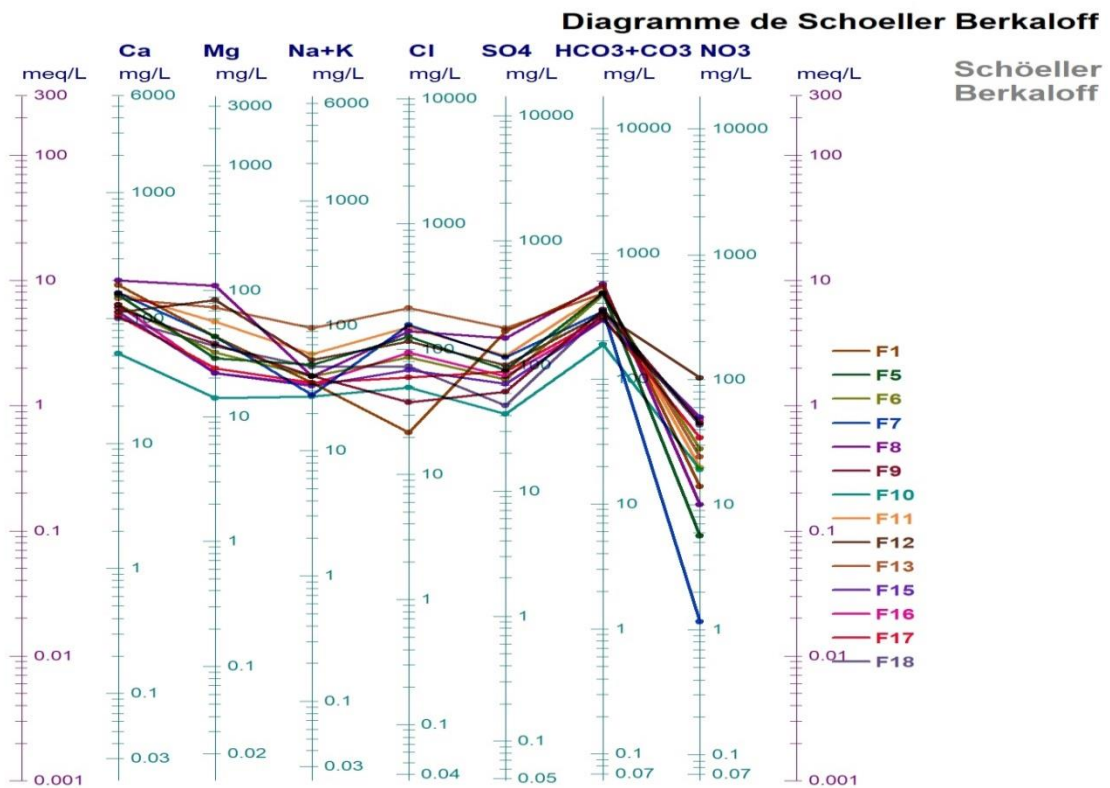


Figure III.57 : Facies chimique des analysées d'année 2021 d'après de diagramme Schoeller-Berkaloff

III.7.2 Classification des eaux selon le diagramme de Stiff & Stabler :

Les diagrammes de Stiff et de Stabler utilisent les teneurs en éléments majeurs d'une eau. Le diagramme de Stiff emploie la représentation des teneurs en éléments majeurs sous forme d'un polygone, et le diagramme de Stabler emploie la représentation des teneurs en éléments majeurs sur deux barres horizontales distinctes et adjacentes (une pour les cations et l'autre pour les anions).

A la lumière de les figures III.58, III.59, d'après le diagramme de Stiff-Stabler on constate que les eaux de la région de Boumerdés présentent dans une dureté est supérieure à l'alcalinité dans tous les forages, alors on conclut que les eaux étudiées ont une dureté carbonatée et l'eau de ces forages sont minéralisée (temps de séjour considérable).

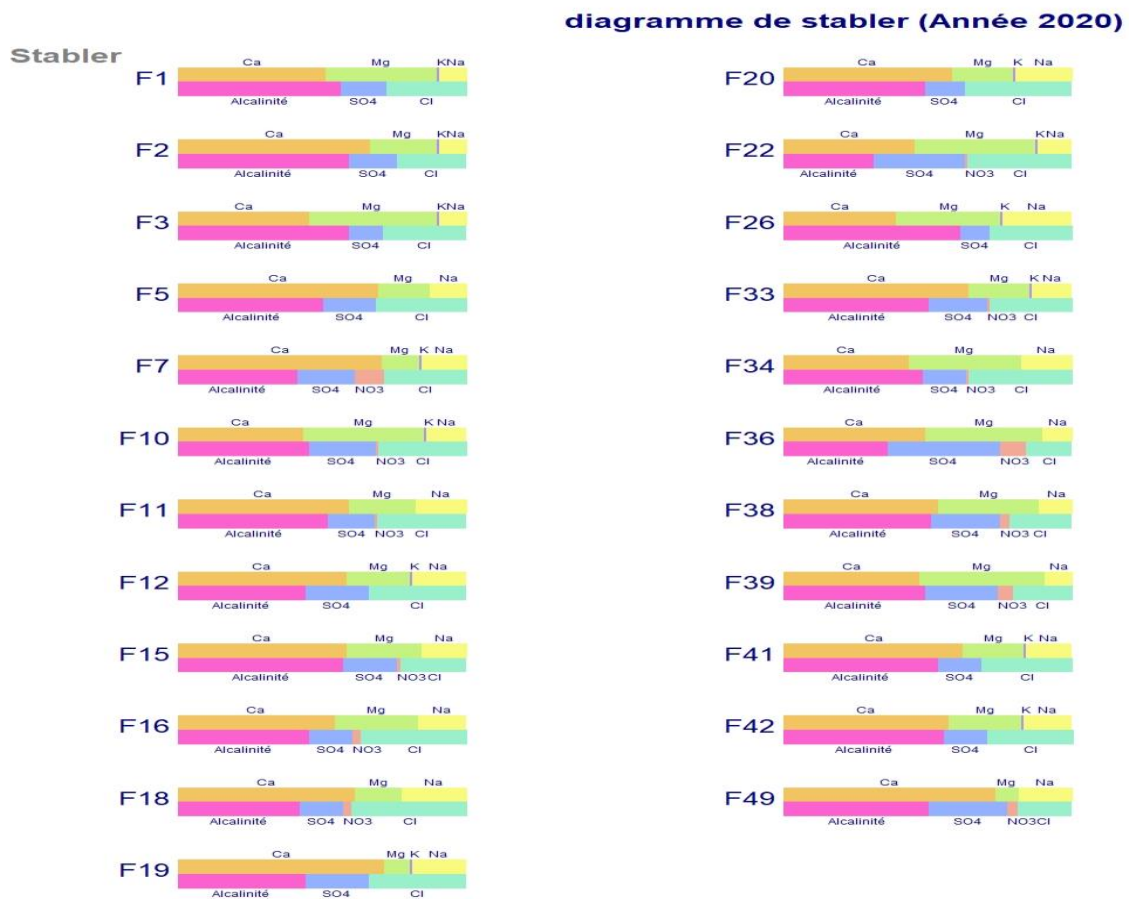


Figure III.58 : Diagramme de STABLER des eaux étudiées (année : 2020).

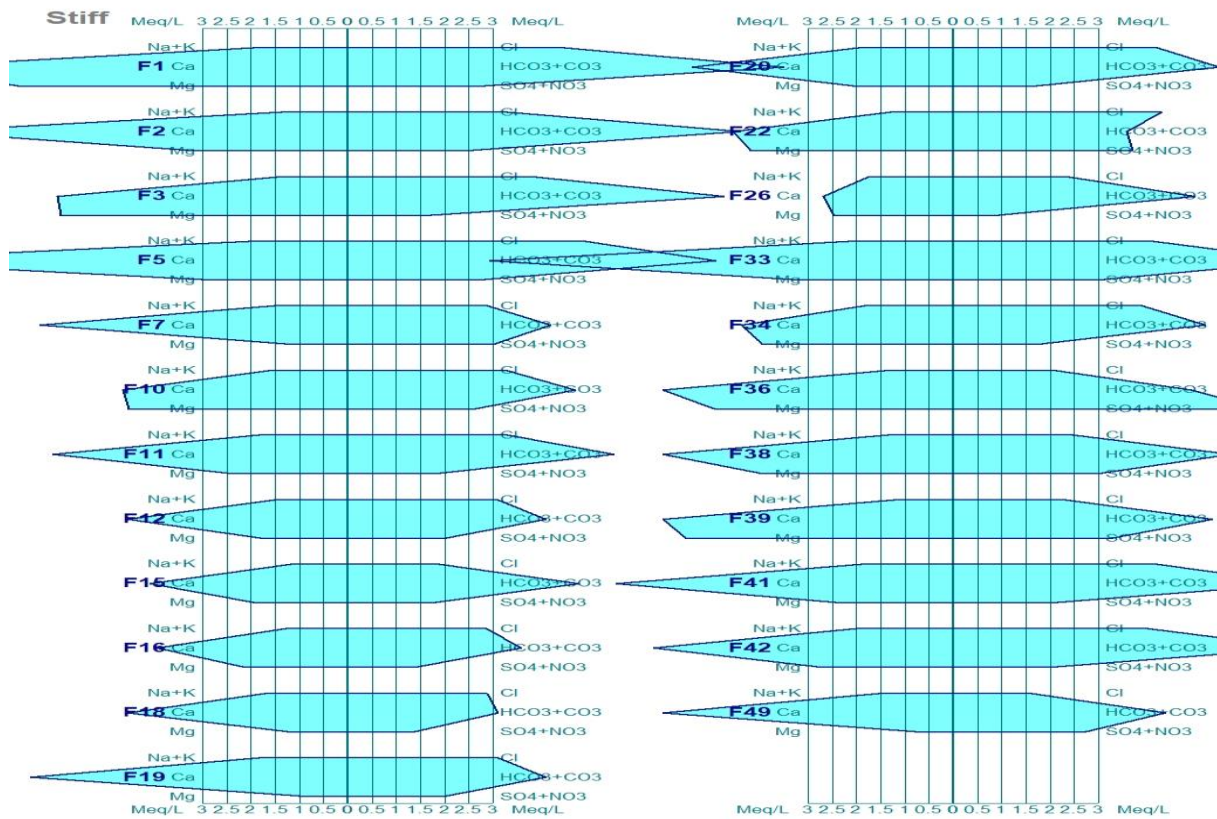


Figure III.59 : Diagramme de STIFF des eaux étudiées (année : 2020).

III.7.3 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.

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.7.3.1 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.

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 :

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

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 tous les forages d'eau à 100%,

L'eau des forges étudiés d'année 2020 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.

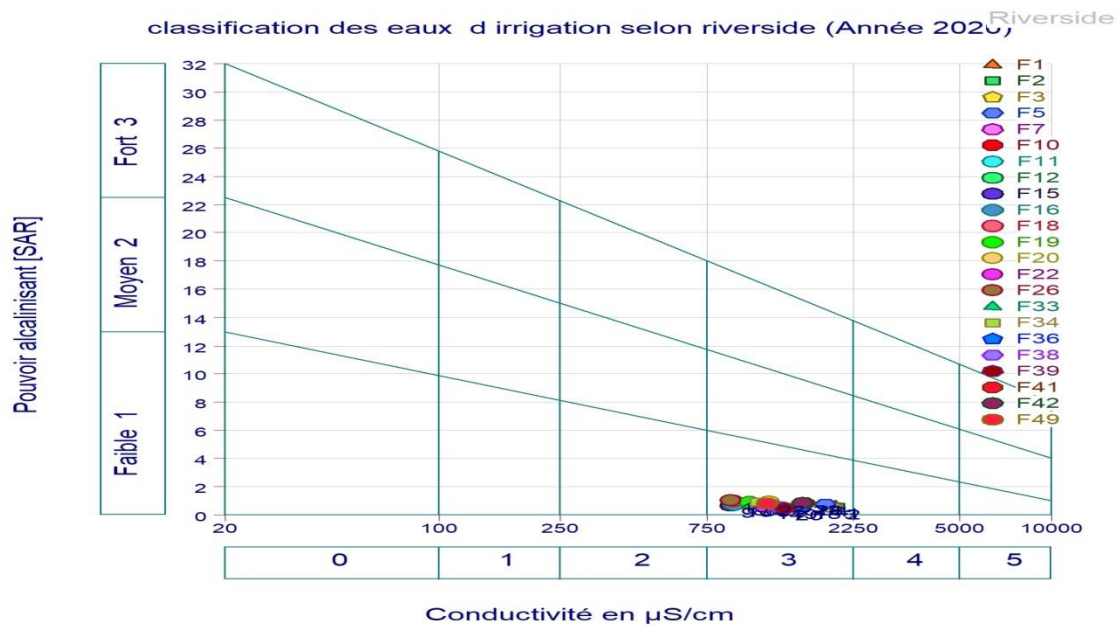


Figure III.60 : Aptitude des eaux à l'irrigation (Année 2020) (Riverside).

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 , on compte 28 forages.

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 (F10, F26, F24).

L'eau des forges étudiés d'année 2021 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.

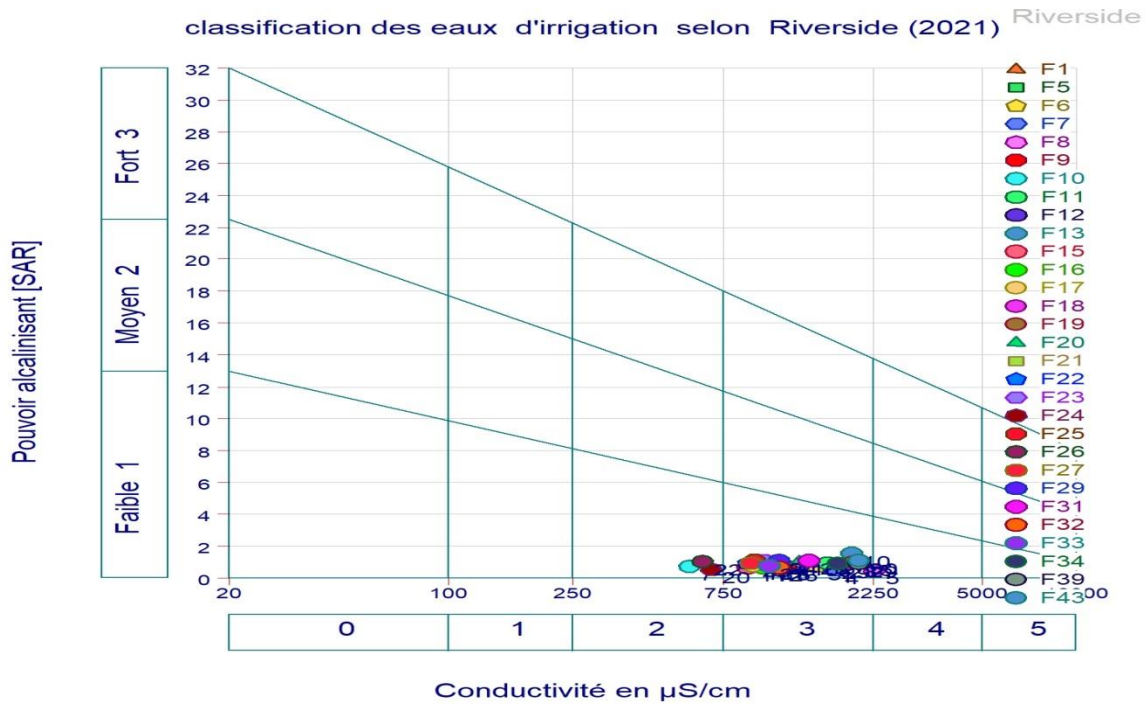


Figure III.61 : Aptitude des eaux à l'irrigation (Année 2021) (Riverside).

III.7.3.2 Classification de l'eau d'irrigation 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 :

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

Où : les éléments sont exprimés en (méq/l).

Tableau III.43 : Classification des eaux d’irrigation (Année 2020) selon Wilcox.

Classes	Forages
Excellente	/
Bonne	Tous les forages
Admissible	/
Médiocre	/

Selon Wilcox on constate que tous les forages étudiés d’année 2020 ont une eau représentée un caractère bon pour l’irrigation, par contre on a noté aucune eau de ces forages admissible ou mauvaise. On conclut que ces forages sont apte à une l’irrigation.

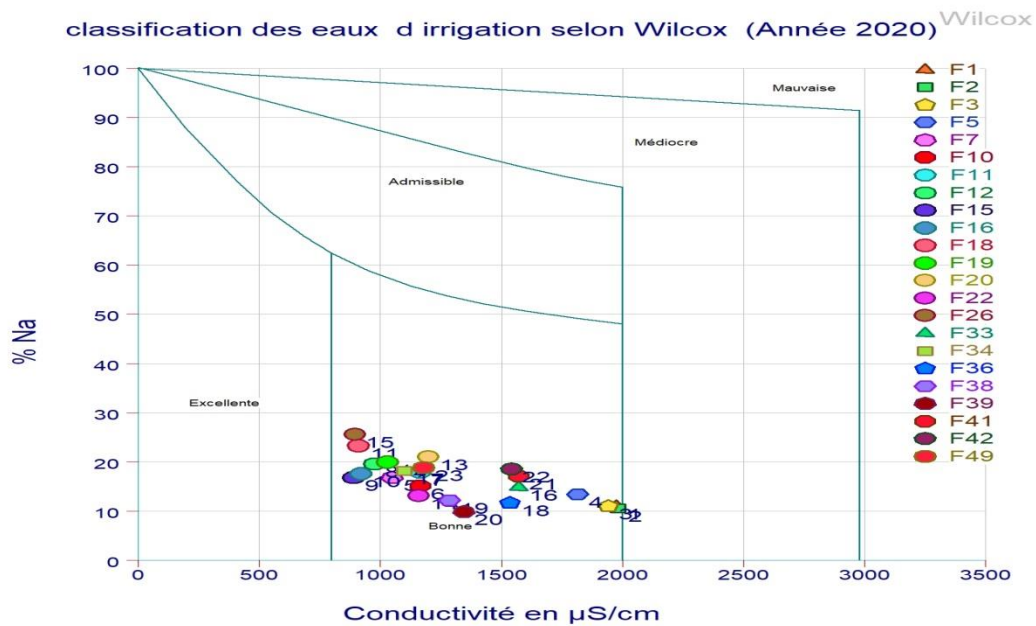


Figure III.62 : Diagramme de WILOX des eaux étudiées (Année : 2020).

Tableau III.44 : Classification des eaux d’irrigation (Année 2021) selon Wilcox.

Classes	Forages
Excellente	F10 -F24-F26
Bonne	F1-F5-F6-F7-F9-F11-F12-F13-F15-F16-F17-F18-F19-F20-F21-F22-F23-F25-F27-F29-F31-F32-F33-F34 .
Admissible	/
Médiocre	F8-F39-F43

Selon Wilcox on constate que la majorité des forages étudiés d’année 2021 ont une eau représentée un caractère bon pour l’irrigation, Ilya que trois forages indique une caractère

Excellente et trois forages indique une caractère 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.

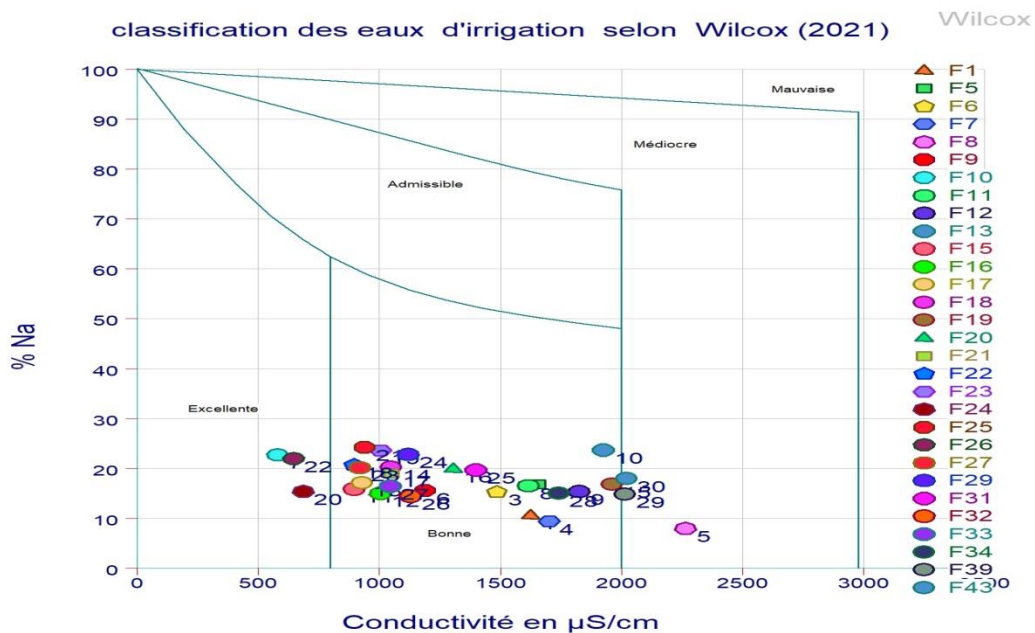


Figure III.63 : Diagramme de WILOX des eaux étudiées (Année : 2021).

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 (F8, F39, F43) doivent être contrôlés.

Conclusion :

Ce chapitre est basé sur les calculs et l'interprétation des résultats de deux années 2020 et 2021.

La partie vérification de la fiabilité des données implique l'élimination des 36 forages d'année 2020 et 21 forages d'année 2021 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 Boumerdes pour les deux années 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 que presque pour tous les forages pour les deux année 2020 et 2021, sont supérieures à zéro donc l'eau de ces forages sont incrustante sauf les forages (F7, F22, F34, F36 ,F49) et (F5, F6, F31) sont agressive, on peut dire que l'aspect générale de ces eaux sont incrustantes selon LANGELIER.

Selon l'indice RYZNAR on a trouvé que la moitié des eaux souterraines de la région de Boumerdes à l'année 2020 sont moyennement agressive et l'autre moitié leur qualité est

stable, par contre des eaux souterraines de la région de BOUMERDES d'année 2021 sont sables à l'exception de deux forages leur qualité est moyennement agressive et les forages (F33, F39) leur qualité est entartrantes. pour l'indice de LARSON les résultats révèlent que la majorité des eaux étudiés en 2020 possèdent une tendance moyenne à la corrosion à l'exception de six forages qui ont une légère tendance à la corrosion et le forage (F22) qui possède une nette tendance à la corrosion et la majorité des eaux étudiés en 2021 possèdent une tendance moyenne à la corrosion à l'exception de cinq forages qui ont une légère tendance à la corrosion et six forages qui ont une faible tendance à la corrosion et un seul forage qui possède une nette tendance à la corrosion.

La classification de l'eau montre que la majorité des eaux de forages ont une minéralisation moyenne par contre en 2021 il y a deux forages ont une faible minéralisation.

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

L'aptitude des eaux à l'irrigation montre que la majorité des eaux analysées pour les deux années sont acceptable pour l'utilisation à l'irrigation mais l'évolution de la salinité doit être contrôlée à l'exception que trois forages en 2021 indique un caractère médiocre à l'irrigation.

Conclusion général

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

La région de boumerdès est caractérisée par un climat méditerranéen (hivers froids et humides et étés chauds et secs). La pluviométrie est irrégulière et varie entre 300 et 1300 mm/an. Les amplitudes thermiques annuelles sont en général faibles dans la wilaya ; ceci étant dû à la proximité de la mer. La température moyenne est de 18° près de la cote et de 25° à l'intérieur des terres.

La wilaya de Boumerdès dispose de grandes réserves hydriques souterraines et superficielles. Les potentialités hydriques souterraines sont de l'ordre de 99,91 HM3 et sont réparties sur six nappes (Bas Sebaou, Bas Isser, Oued Boumerdes, Oued Corso, Oued Boudouaou, Mitidja orientale). Les barrages de la wilaya de Boumerdès au nombre de six (trois grands barrages et trois petits barrages) forment principalement les réserves superficielles d'une capacité totale théorique de : 183 184 000 M3.

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam est situé dans la partie centrale de l'Algérie du Nord. Il couvre une superficie de 47 431 Km² . Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Chellif-Zahrez, à l'Est par le bassin Constantinois-Seybouse-Mellègue et enfin au Sud par le bassin du Sahara, D'une superficie de 47 588 km², le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soummam englobe trois grands bassins versants à savoir :

- L'Algérois (02) : Il s'étend sur une superficie de 12 620 km².
- La Soummam (15) : s'étend sur une superficie de 9 125 km².
- Le Hodna (05) : s'étend sur une superficie de 25 843 km².

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

Les eaux souterraines de la région de Boumerdès 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 Boumerdès sont potables, car ils sont conformes aux norme Algériennes de potabilité, elles ne sont pas bicarbonatées pour année 2020, par contre en 2021 il y a que trois forages (F19 ; 689 mg/l), (F34 ; 616 mg/l), (F39 ; 610 mg/l) qui ont une eau bicarbonatées quelques forages (F22, F36) d'année 2020 et (F39) en 2021 qui sont caractérisés par une eau sulfatée, Les eaux de Boumerdès sont moyennement sodiques.

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

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 que trois forages en (2021) 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 Hydro chimique 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.

[22] **Demdoun 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.