

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Institut de Technologie



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محمد أولحاج
- البويرة -
معهد التكنولوجيا

Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Hydraulique

Thème :

**Contribution à l'étude physico-chimique
des eaux souterraines du
bassin versant Sahel.**

Réalisé par :

SLIMANI Kenza

Encadré par :

M^{me} REZIG Amina

Maitre Assistant (IT Bouira)

Corrigé par :

Examinateur 1 : M^{me}. SIFOUN Naima

Maitre Assistant (IT Bouira)

Examinateur 2 : M^{me}. LATRECHE Sadjia

Maitre Assistant (IT Bouira)

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicaces

A chaque fois qu'on achève une étape importante dans notre vie, on fait une pose pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes qui ont partagé avec nous tous les bons moments de notre existence. Ces personnes qui nous ont aidés, soutenus sans réserve, aimé sans compter, ces personnes à qui notre bonheur devient directement le leur.

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à :

A MES CHERS PARENTS

Aucun mot, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération, et mon amour pour les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être. Quisse Dieu, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A MA GRANDE MERE CHERIE

Qui m'a accompagné par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les deux vies

A MES CHERS ET ADORABLE FRERES ET SOEURS

En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A MES CHERS NEVEUX ET NIECES

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur. Quisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.

A TOUS MES AMIS QUE J'AIME TANT.

A MES COLLEGUES DE MA PROMOTION (2020)

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Je tiens à présenter mes remerciements les plus sincères à mon Promotrice Madame REGGY Amina pour sa générosité et ses précieuses conseils

Pour l'établissement de ce travail.

Je remercie également les membres de jury pour avoir accepté de jurer mon travail.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les professeurs de l'institut de technologie qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, pour leurs soutiens moraux ou matériels, dans la réalisation de ce projet.

Liste des abréviations

- **ADE** : Algérienne Des Eaux .
- **A.N.R.H**: Agence Nationale de la recherche hydraulique.
- **C**: Conductivité.
- **°C**: degré Celsius.
- **DBO**: Demande Biochimique en Oxygène.
- **DCO** : Demande Chimique en Oxygène.
- **°F**: degré Français.
- **EDTA** : Éthylène diamine tétra -acétique .
- **Hcl** : Acide Chlorhydrique .
- **IC**: Indice de contamination.
- **Ig**: indice de pente globale.
- **ISO**: Organisation internationale de normalization.
- **KG** : Indice de Gravelius.
- **MES** :Matières en suspension.
- **MO**: Matière Organiques.
- **NaOH**: L'hydroxyde de sodium .
- **NF**: Norme Française.
- **NPA**: Norme de potabilité Algérienne.
- **NTU** :Unité Néphélométrique de turbidité.
- **P** : Précipitation.
- **TDS** : Teneur en sel dissous.
- **TA** : Titre Alcalimétrique.
- **TAC** : Titre Alcalimétrique Complet.
- **TH** : Titre hydrométrique (Dureté Totale).
- **µs** : Micro Siemens.
- **µs/cm** / : Micro siemens par centimètre.
- **mg/l** :Milligramme par litre.
- **%** : Pourcentage.

Liste des figures

Chapitre I

<i>Figure I.1: Siege de l'ADE unité de Bouira.</i>	4
<i>Figure I.2 : organigramme de l'ADE unité de Bouira.</i>	5

Chapitre II

<i>Figure II.1 : Cycle de l'eau dans la nature</i>	8
<i>Figure II.2 : Nappe libre.</i>	10
<i>Figure II.3: Nappe captive</i>	10
<i>Figure II.4: Nappe alluviale</i>	11
<i>Figure II.2 : Thermomètre électronique.</i>	12
<i>Figure II.3 : Conductimètre électronique.</i>	13
<i>Figure II.4 : pH mètre.</i>	14

Chapitre III

<i>Figure III.1 : Situation géographique des trois sous bassins.</i>	20
<i>Figure III.2: Carte géologique des trois sous bassin versant</i>	22
<i>Figure III.3: Carte des précipitations moyennes mensuelle de l'année 2016.</i>	23
<i>Figure III.4: Courbe de la variabilité moyenne mensuelle des précipitations pour la l'année 2016</i>	23
<i>Figure III.5 : Carte des sols du bassin versant de sahel</i>	25
<i>Figure III.6 : Carte de couvert végétale du bassin versant de sahel</i>	26
<i>Figure III.5 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants</i>	27
<i>Figure III.8 : Carte de relief des trois sous bassins</i>	32
<i>Figure III.6: Carte des pentes moyennes des trois sous bassins</i>	35

Chapitre IV

<i>Figure IV.1 : Situation de forages dans le bassin versant de Sahel</i>	40
<i>Figure IV.1 : Interface de logiciel Diagrammes</i>	41
<i>Figure IV.2 : Diagramme de piper</i>	42
<i>Figure IV.3 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff</i>	43
<i>Figure IV. 4: Interface de logiciel Origin Pro 8</i>	44

Figure IV.5 : Interface de logiciel ArcGis 10.3	45
--	----

Chapitre V

Figure V.1: Histogramme représentatif des variations de la température des forages étudiés	47
Figure V.2: Histogramme représentatif des variations de pH des forages étudiés	48
Figure V.3: Histogramme représentatif des variations de conductivité des forages étudiés	49
Figure V.4 : Histogramme représentatif des variations de TH des forages étudiés	51
Figure V.5 : Histogramme représentatif des variations de calcium des forages étudiés	53
Figure V.6 : Histogramme représentatif des variations de chlorure des forages étudié	54
Figure V.7 : Histogramme représentatif des variations de magnésium des forages étudié	55
Figure V.8 : Histogramme représentatif des variations de bicarbonate des forages étudiés ..	57
Figure V.9 : Histogramme représentatif des variations des sulfates des forages étudiés	58
Figure V.10: Histogramme représentatif des variations de nitrate des forages étudiés	59
Figure V.11 : Histogramme représentatif des variations de sodium des forages étudiés	61
Figure V.12 : Histogramme représentatif des variations de potassium des forages étudiés ..	62
Figure V.13 : Histogramme représentatif des variations de TAC des forages étudiés	63
Figure V.14 : Classification des Forages (1-30) sur diagramme de PIPER	64
Figure V.15 : Classification des Forages (31-37) sur diagramme de PIPER	65
Figure V.16 : Représentation des résultats d'analyses (F1-F14) selon le diagramme SchoellerBerkaloff	65
Figure V.17 : Représentation des résultats d'analyses (F15-F18) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff	66
Figure V.18 : Représentation des résultats d'analyses (F29-F37) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff	66

Liste des tableaux

Chapitre III

<i>Tableau III. 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du réseau hydrographique</i>	28
<i>Tableau III.2 : Tableau récapitulatif des paramètres de forme des sous bassins</i>	32
<i>Tableau III. 3 : Tableau récapitulatif des altitudes caractéristiques et les indices du pente des sous bassins</i>	35
<i>Tableau III.4 : classification du relief d'après O.R.S.T.O .M.00</i>	36

Chapitre IV

<i>Tableau IV.1 : Les points de prélèvements</i>	38
--	----

Chapitre V

<i>Tableau V.1 : Résultats des mesures de température</i>	46
<i>Tableau V.2 : Résultats des mesures de pH</i>	47
<i>Tableau V. 3 : Résultats des mesures de Conductivité</i>	48
<i>Tableau V.4: Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité</i>	50
<i>Tableau V. 5 : Résultats des mesures de titre hydrométrique</i>	50
<i>Tableau V.6 : Qualité de l'eau en fonction du TH</i>	51
<i>Tableau V. 7 : Résultats des mesures de calcium</i>	52
<i>Tableau V. 8 : Résultats des mesures de chlorure</i>	54
<i>Tableau V. 9 : Résultats des mesures de magnésium</i>	55
<i>Tableau V. 10 : Résultats des mesures de bicarbonate</i>	56
<i>Tableau V. 11 : Résultats des mesures des sulfates</i>	58
<i>Tableau V. 12: Résultats des mesures de nitrate</i>	59
<i>Tableau V. 13: Résultats des mesures de sodium</i>	60
<i>Tableau V. 14 : Résultats des mesures de potassium</i>	61
<i>Tableau V. 15 : Résultats des mesures de TAC</i>	63
<i>Tableau V.16 : Classes en fonction des concentrations des inions majeurs</i>	67
<i>Tableau V.17 : L'IC et la vulnérabilité à la pollution des eaux des forages</i>	68

Table des matières

Citation	
Dédicaces	
Remerciements	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction Générale	1

Chapitre I : Présentation de l'organisme d'accueil.

I.1. Introduction.....	3
I.2. L'historique de l'ADE.....	3
I.3. Objectifs et missions de l'ADE	3
I.4. Présentation de l'unité de Bouir	3
I.5. Organigramme de l'ADE.....	5
I.6. Fiche technique de l'unité de Bouira.....	5
I.7. Présentation du laboratoire centrale.....	6
I.8. Conclusion.....	7

Chapitre II : Les paramètres physico chimiques des eaux souterraines

II.1. Introduction.....	8
II.2. Le cycle de l'eau	8
II.3. Les eaux souterraines	9
II.3.1 Les types des nappes.....	9
II.3.1. 1. Nappe libre (nappe phréatique)	9
II.3.1. 2. Nappe captive	10
II.3.1.3. Nappe alluviale	11
II.4. Les indicateurs de la qualité de l'eau	11
II.4.1. Les paramètres physiques.....	11
II.4.1.1. La Température.....	11
II.4.1.2. La Salinité	12
II.4.1.3. La Conductivité électrique	12
II.4.1.5. Le pH.....	13

II.4.2. Les Paramètres Chimiques.....	14
II.4.2.1.La dureté	14
II.4.2.2. L'oxygène dissous (OD).....	14
II.4.2.3. Charge en matières organiques.....	15
II.4.2.4. Les Sulfates.....	15
II.4.2.5. Les composés azotés.....	16
II.4.2.6. Eléments en solution.....	16
II.4.3. Paramètres de pollution	17
II.4.3.1. Les Nitrites.....	17
II.4.3.2. Ammonium.....	17
II.4.3.3. Les Phosphates.....	18
II.5. Normes de qualité des eaux.....	18
II.6. La pollution des eaux souterraines.....	18
II.6.1. La contamination de source naturelle.....	18
II.6.2. La contamination de source anthropique.....	19
II.7. Conclusion	19

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

III.1. Introduction	20
III.2. Contexte géographique	20
III.3. Hydrogéologie.....	21
III.4. Le cadre géologique	21
III.5. Le climat	22
III.6. Condition du sol	24
III.7. La végétation.....	25
III.8. Le réseau hydrographique	26
III.8.1. La densité de drainage	27
III.8.2. La densité hydrographique	28
III.8.3. Temps de concentration	28
III.9. Caractéristiques physiographiques.....	29
III.9.1.paramètres géométriques.....	29
III.9.1.1. Le périmètre	29
III.9.1.2.La surface	29

III.9.2. Paramètres de forme.....	29
III.9.2.1. L'indice de compacité de Gravelius (KG)	30
III.9.2.2 Le Rectangle équivalent	30
III.9.3. Paramètres du relief.....	32
III.9.3.1. La courbe hypsométrique	32
III.9.3.2. Les altitudes caractéristiques	33
a . Altitudes minimale et maximale	33
b. Altitude moyenne	33
c. Altitude médiane.....	33
III.9.3.3. Les indices de pente.....	34
a. Indice de pente moyenne (Imoy)	34
b . Indice de pente globale (Ig).....	34
III.10.Conclusion.....	36

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

IV.1. Introduction	38
IV.2. Choix les points de prélèvement	38
IV.3. L'échantillonnage.....	40
IV.4. Faciès hydro chimiques	41
IV.4.1. Le diagramme de piper.....	42
IV.4.2. Le diagramme de schoeller-berkaloff.....	42
IV.5. Présentation de logiciel origin pro 8.....	43
IV.6. Présentation d'arc gis 10.3	44
IV.7. Conclusion.....	45

Chapitre V : Résultats et Discussion

V.1. Introduction.....	46
V.2. Présentation des résultats.....	46
V.2.1.La température.....	46
V.2.2. Le pH.....	47
V.2.3. La conductivité.....	48
V.2.4. Le titre hydrométrique	50

V.2.5. Le calcium (Ca^{2+}).....	52
V.2.6. Les chlorures (Cl^-).....	53
V.2.7. Le magnésium (Mg^{2+}).....	54
V.2.8. Les Bicarbonates (HCO_3^-).....	56
V.2.9. Les sulfates (SO_4^{2-}).....	57
V.2.10. Les Nitrate (NO_3^-).....	59
V.2.11. Le sodium (Na^+).....	60
V.2.12. Le potassium (K^+).....	61
V.2.13. Le titre alcalimétrique complet TAC.....	62
V.3. Les principaux facies chimiques.....	64
V.3.1. Diagramme de piper.....	64
V.3.2. Diagramme de schoeller-berkaloff.....	65
V.4. Calcul de l'indice de contamination.....	67
V.5. Conclusion.....	68
Conclusion générale	70
Recommandations	71
Résumé	72
Abstract.....	72
ملخص.....	72
Références Bibliographiques	
Annexes	

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

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.

Le traitement d'une eau souterraine contaminée peut s'avérer long et coûteux, voire impossible dans certains cas. Voilà pourquoi il est impérieux de la protéger adéquatement afin de minimiser les risques de contamination qui la menacent.

Les Agences de l'eau et le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ont souhaité harmoniser, moderniser et enrichir le système d'évaluation de la qualité des cours d'eau et mettre en place pareillement, un système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines qui puisse rendre compte de leur spécificité tout en restant cohérent avec le système mis au point pour les eaux et ainsi que certaines activités reliées au transport et à l'industrie ont contribuées à la contamination des eaux souterraines notamment par les produits pétroliers et l'utilisation massive d'engrais et de pesticides à des fins d'embellissement de propriétés privées et publiques est également un risque potentiel de contamination pour la nappe phréatique.

A cet effet le présent travail s'intéresse à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines du bassin Sahel la région de Bouira et ceci dans le but d'évaluer la qualité ainsi qu'à la détermination des principaux faciès chimiques et le calcul de l'indice de contamination des eaux de ces forages. Cette l'étude a été effectué pour 37 forages durant l'année 2016 au niveau de laboratoire central de l'ADE de Bouira.

Notre étude se déroule en cinq chapitres :

- Le premier pour la présentation de l'organisme d'accueil qui est l'ADE de Bouira.
- Le deuxième purement théorique, rassemblant des généralités sur les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines.
- Le troisième chapitre est consacré à la description de zone d'étude qui est le bassin Sahel.

- Le quatrième chapitre est réservé pour la présentation de matériels et méthodes utilisés.
- Le dernier chapitre qui concerne le traitement et l'exploitation des données avec l'interprétation des différents résultats.

A la fin, le travail est clôturé par une conclusion générale, et recommandations.

CHAPITRE I

Présentation de l'organisme d'accueil

I.1. Introduction

. Ce chapitre sera consacré à la présentation de l'Algérienne Des Eaux unité de Bouira, qui m'accueille pendant ma période de stage.

I.2. L'historique de l'ADE

L'Algérienne Des Eaux (ADE) est une entreprise publique chargée de la distribution d'eau potable aux citoyens résidants en Algérie, et un établissement public national à caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-101 du 27 Moharem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'établissement est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau, et son siège social est fixé à Alger. L'ADE compte 15 zones et 44 unités, chaque zone gère deux à quatre unités (MRE, 2019).

I.3. Objectifs et missions de l'ADE

L'établissement est principalement chargé :

- D'assurer sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable à travers la prise en charge des activités de gestion et de la maintenance des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eaux potable et industrielle.
- De renouvellement, de développement de la modernisation des infrastructures s'y rapportant.
- De procéder la normalisation et de la surveillance de la qualité de l'eau distribuée.
- De la lutte contre le gaspillage en développant des actions d'information, de formation, d'éducation et de sensibilisation en direction des usagers dans le but de l'économie de l'eau (MRE, 2019).

I.4. Présentation de l'unité de Bouira

L'unité de Bouira dépend de la zone de Tizi-Ouzou qui est liée directement à l'agence régionale d'ALGER. Elle est structurée en six centres : Bouira centre (figure I.1), Lakhdaria, Bordj khris, Sour El Ghozlane, Ain Bessem et M'chadallah. Elle gère un ensemble de 44

communes. Cette unité est composée de 3 services responsables du bon déroulement de l'entreprise:

- **Centre de gestion:** il a plusieurs missions comme les études des projets et sa gestion, le contrôle des différentes stations hydrauliques, et la réparation des pannes.
- **Equipe technique:** une équipe de techniciens qui travail en collaboration avec le centre de gestion et de laboratoire.
- **Laboratoire:** qui a le rôle de contrôler la qualité des eaux destinées au consommateur qui sont basées beaucoup plus sur les forages, à cause de la disponibilité des eaux sous terraines dans la wilaya de Bouira, pour la couverture des besoins de la population (ADE,Bouira).



Figure I.1: Siege de l'ADE unité de Bouira

I.5. Organigramme de l'ADE

La figure I.2 présente l'organigramme de l'ADE unité de Bouira.

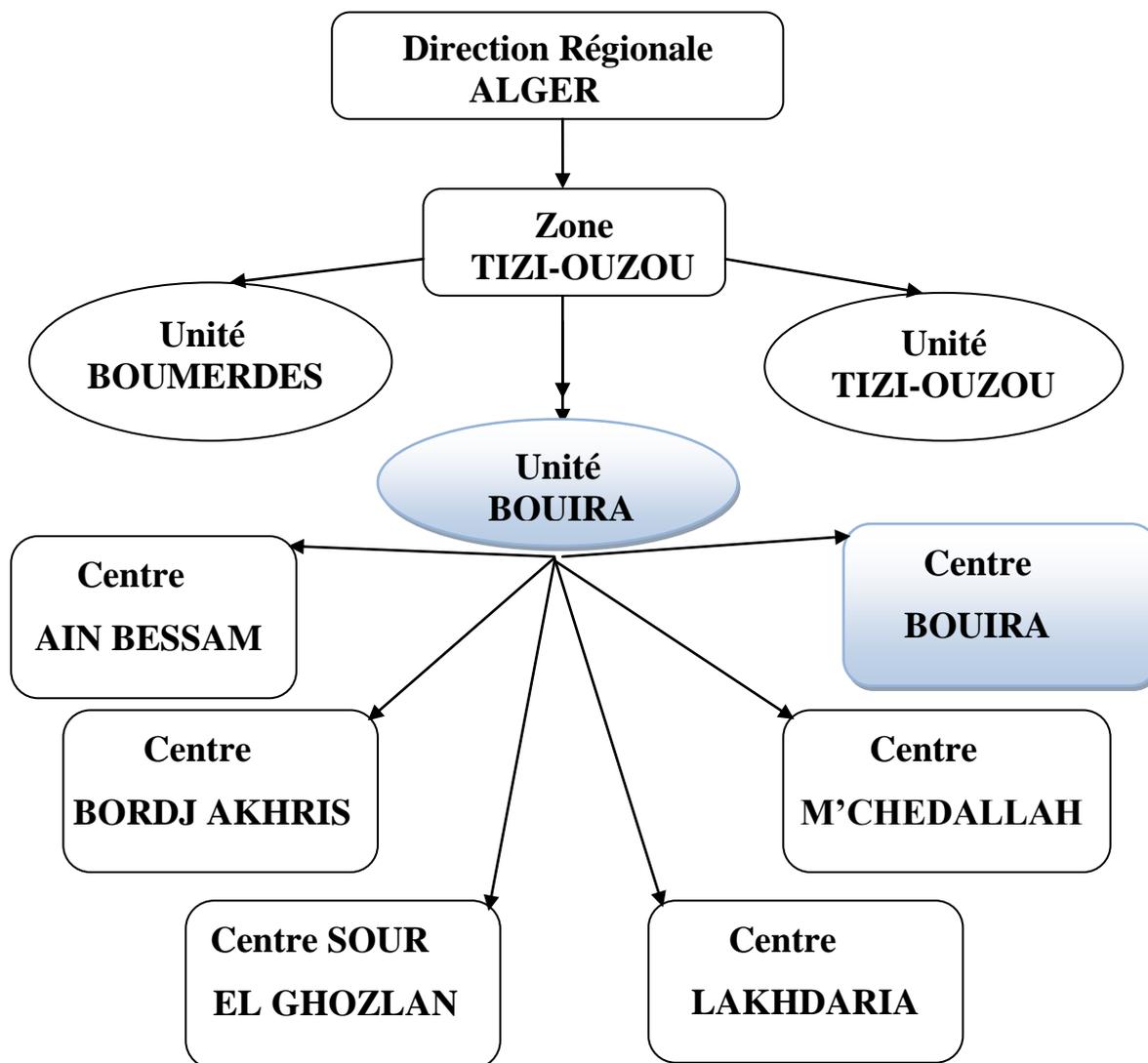


Figure I.2 : Organigramme de l'ADE unité de Bouira.

I.6. Fiche technique de l'unité de Bouira

- Réseau de distribution : 256 km
- Abonnés : 32 500
- Réservoir : 38 / 4 à l'arrêt
- Forage : 33 forages / 12 à l'arrêt
- Station de traitement : 1 station de Tilesdit (71 000 m³)
- Station de reprise : 10 stations / 1 à l'arrêt

Chapitre I

- Nombre de commune appartenant au centre de Bouira : (Bouira , Haizer, Taghzout, Oued el berdi , Ain turk , Ait laaziz)
- Le volume de l'eau stocké par chaque commune :
 - Bouira : 15 830 m³
 - Haizer : 975 m³
 - Taghzout : 2 500 m³
 - Oued el berdi : 500 m³
 - Ain turk : 1 900 m³
 - Ait laaziz : 1600 m³
- Le total du volume stocké pour le centre de Bouira : 23 400 m³
- Station de pompage existant : 10
- Nombre de forage dans chaque commune :
 - Bouira : 30
 - Haizer : 2
 - Taghzout : 7
 - Oued el berdi : 1
 - Ain turk : 2
 - Ait laaziz :3 (ADE,Bouira)

I.7. Présentation du laboratoire central

Le laboratoire central de l'ADE de Bouira est situé à DRAA-EL-BORDJ. Son rôle consiste à contrôler la qualité des eaux destinées au consommateur au niveau de la wilaya.

Les échantillons de l'eau sont prélevés chaque matin dans les différentes stations (forage, Château d'eau, robinet de consommateur...) pour effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques . Le prélèvement doit mettre en œuvre des méthodes assurant l'absence de contamination.

Le laboratoire de l'ADE comprend deux salles d'analyses :

- ✓ Salle des analyses physico-chimiques.
- ✓ Salle des analyses bactériologiques.

On trouve aussi la salle de lavage, salle de préparation et pesée de réactifs et la salle de stockage ; ainsi que 4 bureaux :

- Bureau du directeur de laboratoire.
- Bureau du chef de service physico-chimique.
- Bureau du chef de service bactériologique.
- Bureau du chef de service qualité.

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés notre organisme d'accueil l'Algériennes des eaux et plus précisément l'unité de Bouira et son laboratoire centrale. Ainsi qu'on a pu voir les différentes missions et objectifs de cette entreprise.

CHAPITRE II

Les paramètres physico chimiques des eaux souterraines

II.1. 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 le but de ce chapitre est de faire une synthèse bibliographique sur la qualité des eaux souterraines en générale.

II.2. Le cycle de l'eau

L'eau est partout présente autour de nous et constitue un des éléments fondamentaux de notre planète. Toute cette eau se transforme et circule en permanence dans l'atmosphère, la surface et dans le sous-sol de notre terre, c'est le cycle de l'eau.

L'hydrosphère chauffée par l'énergie solaire, s'évapore et conduit à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, à la suite d'un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se trouve précipitée sous forme de pluie, neige ou grêle sur lithosphère à la surface de laquelle approximativement $\frac{1}{4}$ pénètre, $\frac{1}{4}$ ruisselle, quant au $\frac{1}{4}$ restants, il s'évapore à son tour (VLAGINES, 2003).

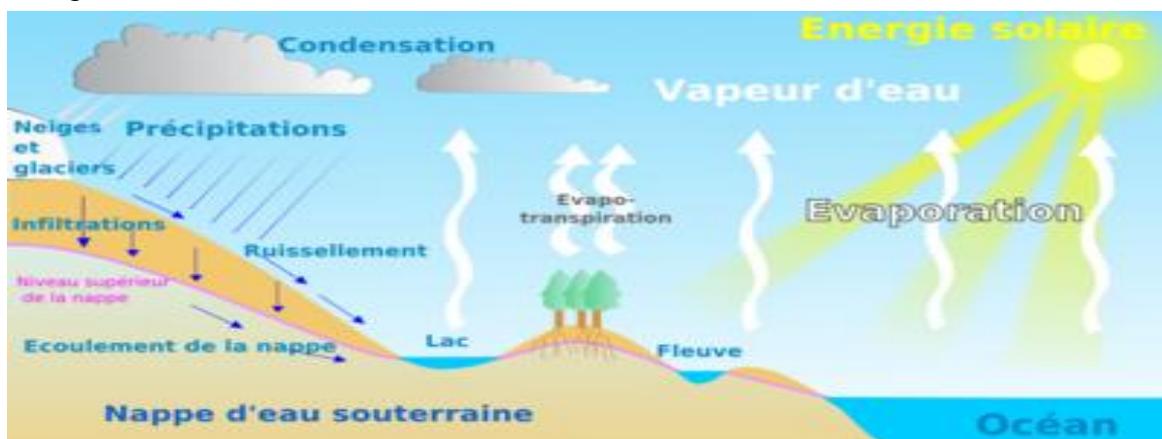


Figure II.1 : Cycle de l'eau dans la nature (VLAGINES, 2003)

II.3. Les eaux souterraines

D'habitude, quand les personnes pensent à propos des sources d'eau, ils pensent à des rivières et des cours d'eau; en d'autres mots, eaux de surface. Mais, de toute l'eau douce utilisable dans le monde, approximativement 97 % est de l'eau souterraine (MYRAND, 2008).

L'eau souterraine fait partie du cycle naturel de l'eau, elle constitue une ressource renouvelable en raison des précipitations qui l'alimentent. Cette ressource se retrouve au-dessous de la surface du sol au sein d'une multitude de pores, fractures et autres interstices des formations géologiques (RENE, 1999). Elle est d'une importance capitale dans la plupart des régions du monde. Toutefois, cette eau qui était jadis de bonne qualité, se trouve actuellement menacée par diverses sources de contamination ponctuelles et diffuse (EBLIN & SOMBO, 2014).

II.3.1 Les types des nappes

Les nappes de l'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des rivières souterraines, il s'agit de chemine en sous-sol sur la couche imperméable (l'eau contenue dans les interstices ou fissures du sous-sol saturée par les eaux de pluie qui se sont infiltrée en suivant les pentes), parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau (CASTANY, 2008).

Il existe différentes sortes de nappes d'eau souterraines, qui diffèrent : par leur taille, par leur profondeur et par leur fonctionnement, et pour cela étant dit, il n'existe pas des classifications précises et uniques des différents types d'aquifères, mais en général il sort 3 grand types suivants :

II.3.1.1 Nappe libre (nappe phréatique)

Que l'on rencontre entre approximativement 0 et 30m de profondeur, Et elles sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte. Il y'a pas de couvercle imperméable au toit du réservoir et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface (BOUNIN, 1982).

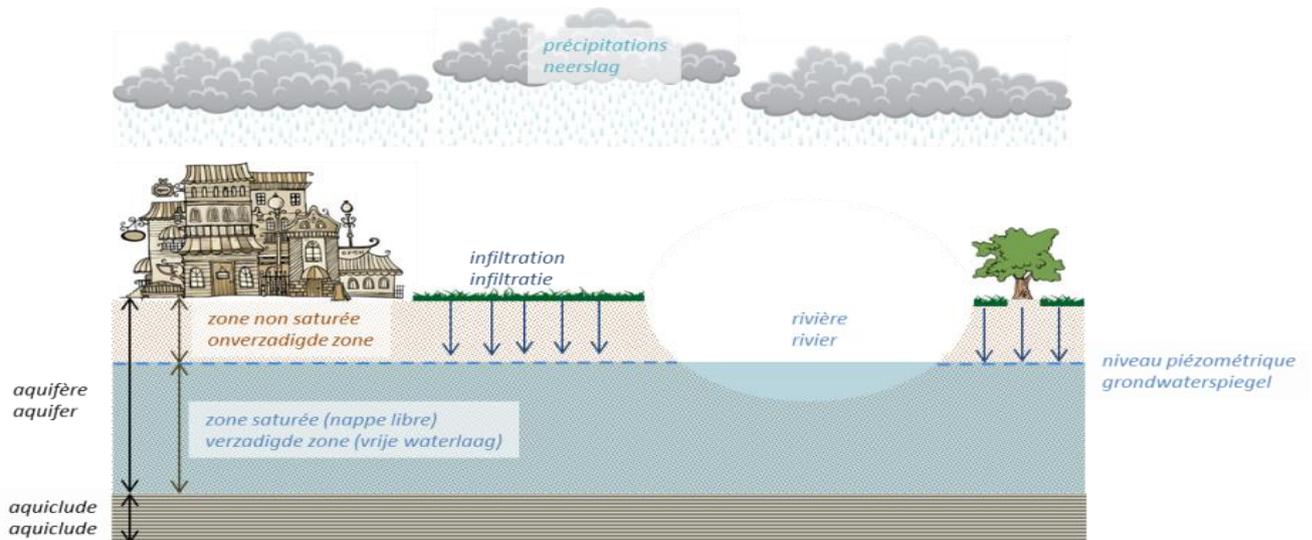


Figure II.2 : Nappe libre [Anonyme 1].

II.3.1.2 Nappe captive

Que l'on rencontre très profondément 1000 m et plus, et elles sont constituées généralement des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau (BOUNIN, 1982).

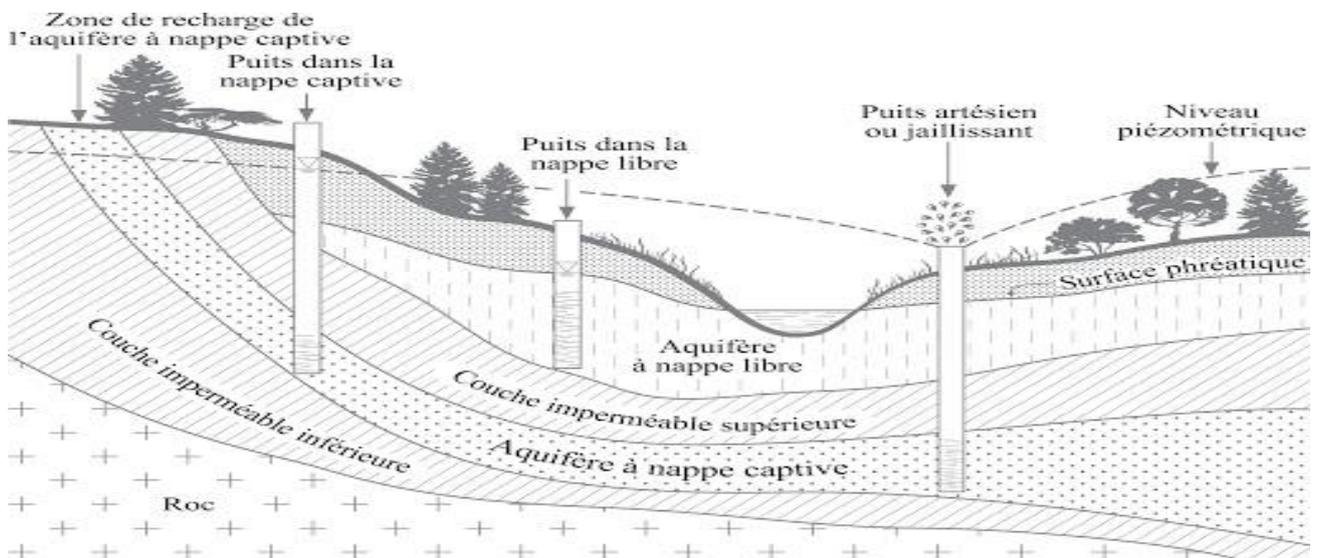


Figure II.3: Nappe captive [Anonyme 2].

II.3.1.3. Nappe alluviale

Que l'on rencontre de faible profondeur. Sont constituées un type particulier de nappe, formées par les grandes épandages de sables et gravier des fleuves et des rivières. Ces nappes fournissent 60% des eaux souterraines grâce à leur facilité d'accès et leur bon débit (CASTANY, 2008).

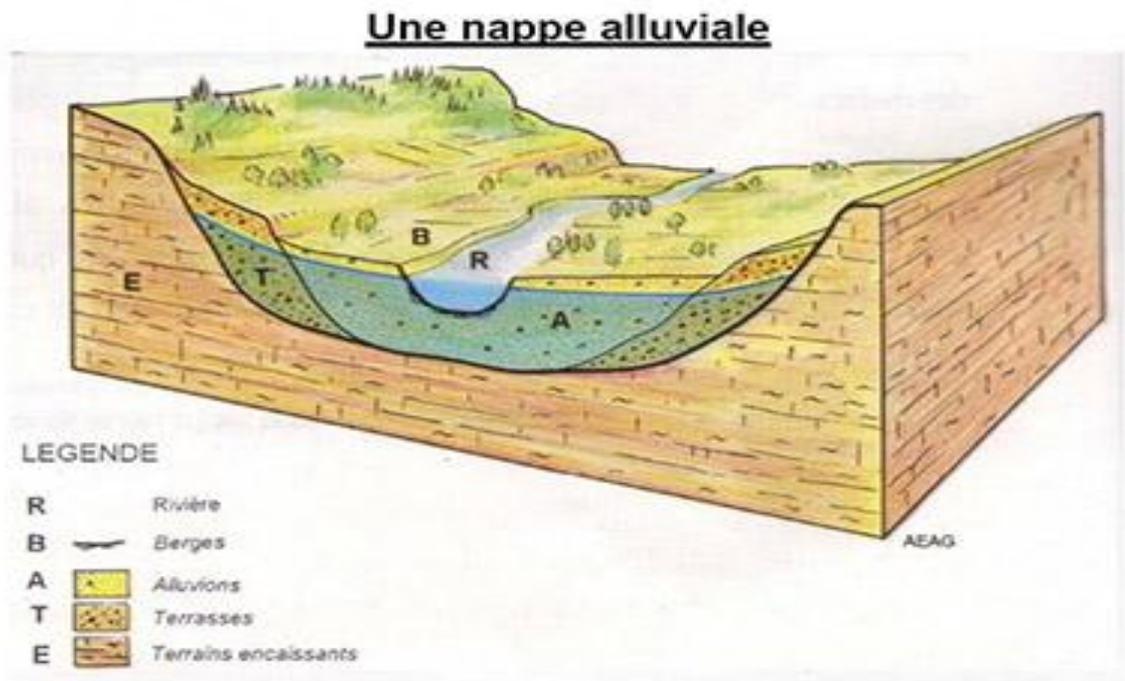


Figure II.4: Nappe alluviale [Anonyme 3].

II.4. Les indicateurs de la qualité de l'eau

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physiques et chimiques.

II.4.1. Les paramètres physiques

II.4.1.1. La Température

C'est un facteur physique fondamentale dans les milieux aquatiques superficiels et terrestres, elle constitue comme un indicateur des conditions de recharge thermique dans l'aquifère, et aussi elle influence sur des phénomènes physico-chimiques (la solubilité, les odeurs, le pH, la conductivité...) ainsi que les réactions chimiques (SCHURCH, 2018). Il est

important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. La mesure de ce paramètre se fait directement en utilisant un thermomètre ou d'autres appareils de multi-mesure (température, conductivité et autres), et elle est présentée en °C.

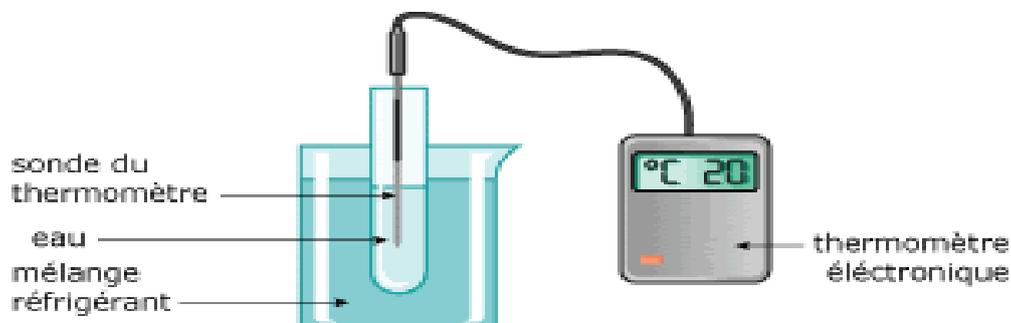


Figure II.5 : Thermomètre électronique [Anonyme 4].

II.4.1.2. La Salinité

La salinité est un facteur écologique majeur, une salinisation du milieu entraîne une modification importante de la biocénose, sans qu'il s'agisse forcément d'un appauvrissement, donc d'une pollution.

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. En fin, certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau, et elle est mesurée en parties pour mille (PPM) ou en unité de pourcentage % (conductivité, pression osmotique) (ABERKANE, 2011).

II.4.1.3. La Conductivité électrique

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration.

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, et elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (PESCOD, 1985) et elle constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau. La valeur d'une conductivité donne une idée sur la minéralisation

d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de l'Origine d'une eau (HCEFLCD, 2006). La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain à l'aide d'un conductimètre. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau (X à 25°C), elle s'exprime en (mS/m).

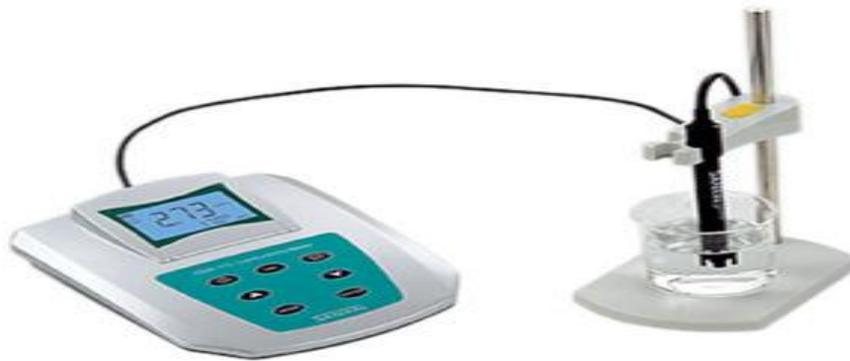


Figure II.6 : Conductimètre électronique [Anonyme 5].

II.4.1.5. Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, avec 7 est le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples.

Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6,5 et 8,5 dans les eaux naturelles (CHAPMAN.D, 1996).

Pour mesurer le pH il existe plusieurs méthodes comme : la méthode des papiers indicateurs de pH, des méthodes colorimétriques ou bien par l'appareil de pH mètre, cette dernière est la plus utilisable et la plus précise.



Figure II.7 : pH mètre [Anonyme 6].

II.4.2. Les Paramètres Chimiques

II.4.2.1. La dureté

La dureté traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium et permet une évaluation de la qualité des eaux. Elle peut modifier l'état des canalisations et des appareils de chauffage et empêcher la formation de la mousse lors du lavage de linges (MADI, 2010). La dureté totale est exprimée par la somme des duretés calciques et magnésiennes :

$$TH = TH \text{ calcique} + TH \text{ magnésienne}$$

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

Les ions calcium et les ions magnésium sont positifs, donc dans l'eau, ils peuvent se lier à d'autres ions négatifs ; de ce fait, on peut diviser la dureté en deux catégories :

- La dureté carbonatée ou temporaire qui est éliminable par ébullition de l'eau, là, les ions calcium et magnésium sont liés aux bicarbonates HCO_3^- .
- Dans le cas de la dureté permanente les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont liés généralement aux ions Cl^- et SO_4^{2-} (BACHA, 2010).

La dureté s'exprime en °F (degré français) ou en (mmol/l ou mg/l). 1 °F correspond à 10 mg/l .

II.4.2.2. L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous (OD) est considéré comme l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau dans les ruisseaux, les rivières et les lacs. Il s'agit d'un test clé de la pollution de l'eau. Plus la concentration d'oxygène dissous est élevée, meilleure est la qualité de l'eau.

L'oxygène est légèrement soluble dans l'eau et très sensible à la température. Par exemple, la concentration de saturation à 20 ° C est d'environ 9 mg / L et à 0 ° C est de 14,6 mg /l.

La quantité réelle d'oxygène dissous varie en fonction de la pression, de la température et de la salinité de l'eau. L'oxygène dissous n'a pas d'effet direct sur la santé publique, mais l'eau potable avec très peu ou pas d'oxygène a un goût désagréable pour certaines personnes (NAYLA, 2019).

On peut exprimer cette teneur soit en concentration en (mg /l), soit en pourcentage de saturation (%S).

II.4.2.3. Charge en matières organiques

Deux méthodes permettant d'évaluer la quantité en matières organiques (MO) présente dans l'eau sont généralement utilisées : la demande biochimique en oxygène (DBO₅) et la demande chimique en oxygène (DCO) (YOURASSOWSKY & VILLERS, 2005) .

❖ La demande chimique en oxygène (DBO₅) est un paramètre qui mesure tous les organiques: les substances biodégradables et non biodégradables. Il est étroitement liée à la méthode standard de laboratoire nommée méthode DICHROMATE à l'aide d'un oxydant puissant (bichromate de potassium), à chaud et en milieu acide pendant 2h (NAYLA, 2019).

❖ La demande biochimique en oxygène (DBO₅) représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour dégrader l'ensemble de MO d'un échantillon d'eau. La DBO₅ se mesure en laissant respirer les MO biodégradables par une population bactérienne aérobie, à 20 ° C à l'obscurité, pendant 5jours, dans un réacteur clos, en présence d'une quantité d'oxygène au départ.

❖ La différence entre la DCO et la DBO₅ représente la charge en MO peu ou pas biodégradable. La DCO sera toujours supérieure à la DBO₅ sauf quelques conditions particulières (NAYLA, 2019).

II.4.2.4. Les Sulfates

Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous la forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfures, sulfates et soufre élémentaire) (PECK, 1970).

La présence des sulfates dans l'eau peut être liée à la dissolution de gypse, au lessivage des terrains purifiées, à l'oxydation des sulfures (BAKALOWICZ, 1974) ou encore d'origine anthropique en relation avec une pollution industrielle ou urbaine (MISEREZ, 1973).

II.4.2.5. Les composés azotés

L'azote est l'un des éléments chimiques les plus abondants sur terre. Dans les eaux, cet élément peut être présent sous deux formes : une forme combinée dans les composés organiques (protéines, acides aminés,...) et une forme minérale plus simple (azote moléculaire, ammonium, nitrites, nitrates, ...) (AIT-BOUGHROUS, 2007).

Dans le cas où l'azote est sous forme de nitrates, une concentration excessive de ses nitrates dans l'eau potable cause une menace immédiate et grave pour la santé des nourrissons (NAYLA, 2019).

II.4.2.6. Eléments en solution

Les chlorures (Cl^-) et les sulfates (SO_4^{2-}) font généralement l'objet d'un suivi particulier. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution. D'autres ions tels que le calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), potassium (K^+), fluor (F^-) peuvent être également mesurés.

Ces éléments en solution sont exprimés en mg/l (YOURASSOWSKY & VILLERS, 2005).

En plus de ces paramètres chimiques on peut rajouter :

- **Substances organiques toxiques** : Il y a plus de 100 composés dans l'eau qui ont été répertoriés dans la littérature. On ne les trouvera pas naturellement dans l'eau; ce sont généralement des polluants d'origine humaine (les insecticides, les pesticides, les solvants...).
- **Substances inorganiques toxiques** : Une grande variété peuvent être trouvées dans l'eau en très petites quantités ou traces, ils peuvent être divisés en deux groupes : Des composés métalliques qui comprend certains métaux lourds toxiques (le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le plomb (Pb), le mercure (Hg) ...) et des composés non métalliques qui comprend les nitrates (NO_3^-) et les cyanures (CN^-)

Ces substances même en quantités infimes, elles peuvent constituer un danger pour la santé publique.

- **Substances radioactives** : Les sources potentielles de ces substances dans l'eau comprennent les déchets des centrales nucléaires, des industries ou de la recherche médicale, l'extraction de minerais d'uranium ou d'autres matières radioactives. Le radon est très préoccupant pour la santé car il se produit naturellement dans les eaux souterraines et est un gaz très volatil, qui peut être inhalé pendant le processus de douche (NAYLA, 2019).

II.4.3. Paramètres de pollution

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenue progressivement une préoccupation mondiale. La détérioration de la qualité de l'eau souterraine est appréciée par mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle quelle utilisée à d'autres fins (irrigation...) ou devra subir un traitement appropriée pour retrouver sa potabilité. L'eau des nappes n'est donc pas à l'abri de la pollution et l'autoépuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes et vis-à-vis de certaines substances (BEAUCHAMP, 2006).

II.4.3.1. Les nitrites

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action de nitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité microbiologique (RODIER., 1976).

II.4.3.2. Ammonium

L'ammonium représente la forme ionisée de l'azote ammoniacal, sa présence dans les eaux profondes résultent le plus souvent de la décomposition de la décomposition anaérobie de la matière organiques azotées. On les trouve souvent à des teneurs variant entre 0,1 et 0,2 mg/l, il n'a pas d'effet appréciable sur la santé des consommateurs, mais sa présence dans l'eau est un indicateur de pollution. L'ammonium doit être éliminé dans les eaux de consommation car c'est un aliment qui peut permettre à certaines bactéries de se proliférer dans les réseaux de distribution (TREMBLAY, 1995).

II.4.3.3. Les Phosphates

Les phosphates font parties des anions facilement fixés par le sol, leurs présences dans les eaux naturelles sont liées à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique, et il en résulte une véritable dégradation qui peut devenir irréversible.

Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues, il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les réservoirs, les canalisations de grand diamètre et les eaux des lacs où il contribue à l'eutrophisation (LADJEL, 2009).

II.5. Normes de qualité des eaux

Selon l'OMS et la NPA l'eau destinée à la consommation humaine doit respecter un certain nombre de paramètres qui définissent sa potabilité. Chaque paramètre ne doit pas dépasser une valeur limite (annexes 5 et 6).

II.6. La pollution des eaux souterraines

La nature des sols et les activités humaines sur un territoire conditionnent et modifient la qualité des eaux souterraines étant donné que l'eau est considérée comme la ressource naturelle la plus indispensable à toute forme de vie et la plus menacée.

La pollution constitue un risque majeur susceptible de dégrader les rares ressources disponibles des nappes phréatiques (KUITCHA & TAKOUNJOU, 2013). La source de contamination de cette ressource peut donc être d'origine naturelle ou anthropique.

II.6.1. La contamination de source naturelle

La contamination de source naturelle est ponctuelle puisqu'elle est liée au contexte géologique. En fonction du contexte minéralogique, on peut retrouver des problèmes 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 (RENE, 1999).

II.6.2. La contamination de source anthropique

Les activités humaines peuvent 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 des eaux de surface, particulièrement en période d'étiage (RENE, 1999)

II.7. 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 III

Présentation de la zone d'étude

Chapitre III

III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude du bassin versant de Sahel, par l'élaboration d'une synthèse actualisée des aspects géographiques, géologiques, hydrographiques, et géomorphologiques.

III.2. Contexte géographique

Nous avons tracés notre zone d'étude qui comporte trois sous bassins versants de Bouira : Oued Ed Dous à l'ouest, Oued Zaiane au centre et à l'est Oued Sahel en amont regroupée sous la dénomination de «Bassin versant du Sahel». Il est situé entre les altitudes 36°11' et 38°26' Nord et les longitudes 3°55' et 3°97'. Il appartient au grand bassin versant de la Soummam portant le numéro « 15 » selon la nomenclature adoptée par l'ANRH. Ce dernier est situé dans la partie centrale au Nord de l'Algérie et il s'étend sur 9125 Km². Cette étendue est de forme irrégulièrement allongée, ses limites approximatives sont :

- Au Nord, les monts de Djurdjura.
- Au Sud, les monts de Hodna et le plateau Setifien.
- A l'Ouest, le plateau de Bouira.
- A l'Est, la Méditerranée.

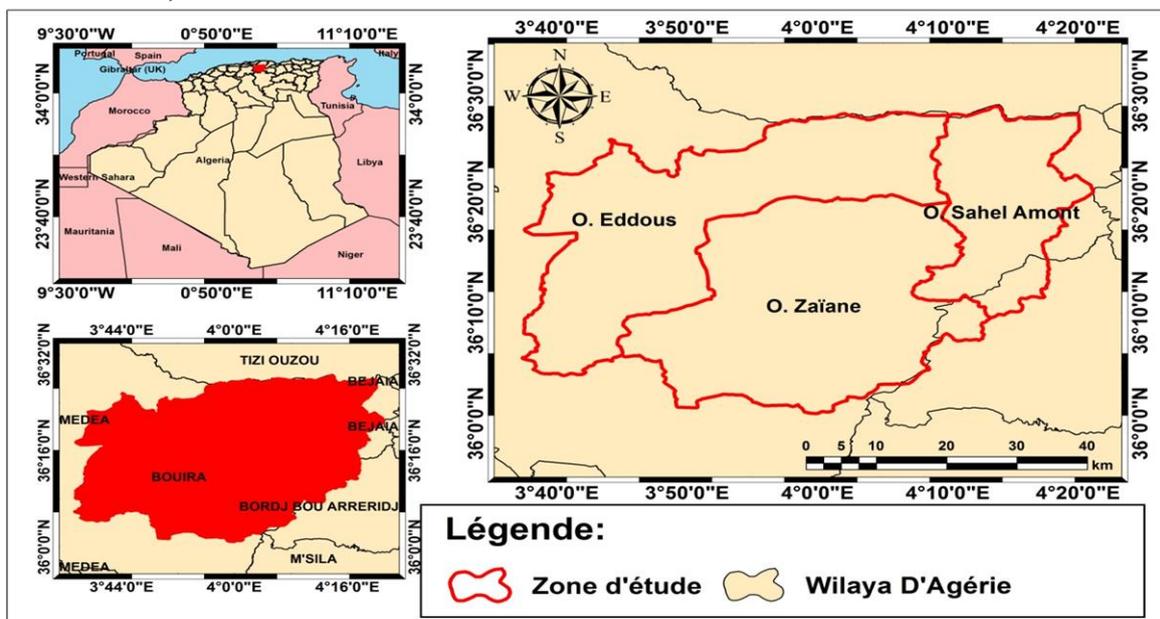


Figure III.1 : Situation géographique des trois sous bassins.

III.3. Hydrogéologie

Les principales réserves d'eaux souterraines de la région sont contenues dans la nappe alluviale des oueds et leurs affluents. Le terrain réservoir est constitué par un remplissage alluvionnaire quaternaire (sables, graviers, limons et argiles). L'aquifère de notre zone est capté par des puits paysans destinés à l'irrigation (se concentrent généralement le long des oueds). La recharge de la nappe se fait essentiellement par l'infiltration directe des pluies mais aussi par les oueds, notamment en situation de basses eaux.

III.4. Le cadre géologique

On distingue au niveau du bassin versant de l'Oued Sahel différentes formations géologiques, voir Figure III.2 que j'ai réalisée :

- **Le Quaternaire** : il s'agit des alluvions le long des Oued.
- **Le Pliocène Continental** : le coteau du sahel est couronné par des graviers siliceux et fluviaux. Ailleurs, il est conglomératique sinon caillouteux.
- **Le Miocène** : il s'agit essentiellement du Miocène inférieur post nappe.
- **L'Oligocène** : il est généralement argilo-gréseux.
- **L'Eocène** : il est complètement marneux, parfois calcaro-marneux. On le trouve surtout au niveau des hautes plaines.
- **Le Crétacé** : se présente, en général, sous forme de flysch. Il est étendu, continue depuis la chaîne des Bibans jusqu'aux montagnes de la petite Kabylie.
- **Le Jurassique** : il affleure surtout au niveau de la chaîne calcaire et le long de sa continuité vers l'Est. Il est principalement calcaro-dolomitique.
- **Le trias** : il est de faciès gypso-salin et apparaît le long de contacts anormaux (contact des nappes de charriage) dans le Tell méridional et est présenté par des conglomérats et des grès rougeâtres dans Tell septentrional (JACOB, 1991).

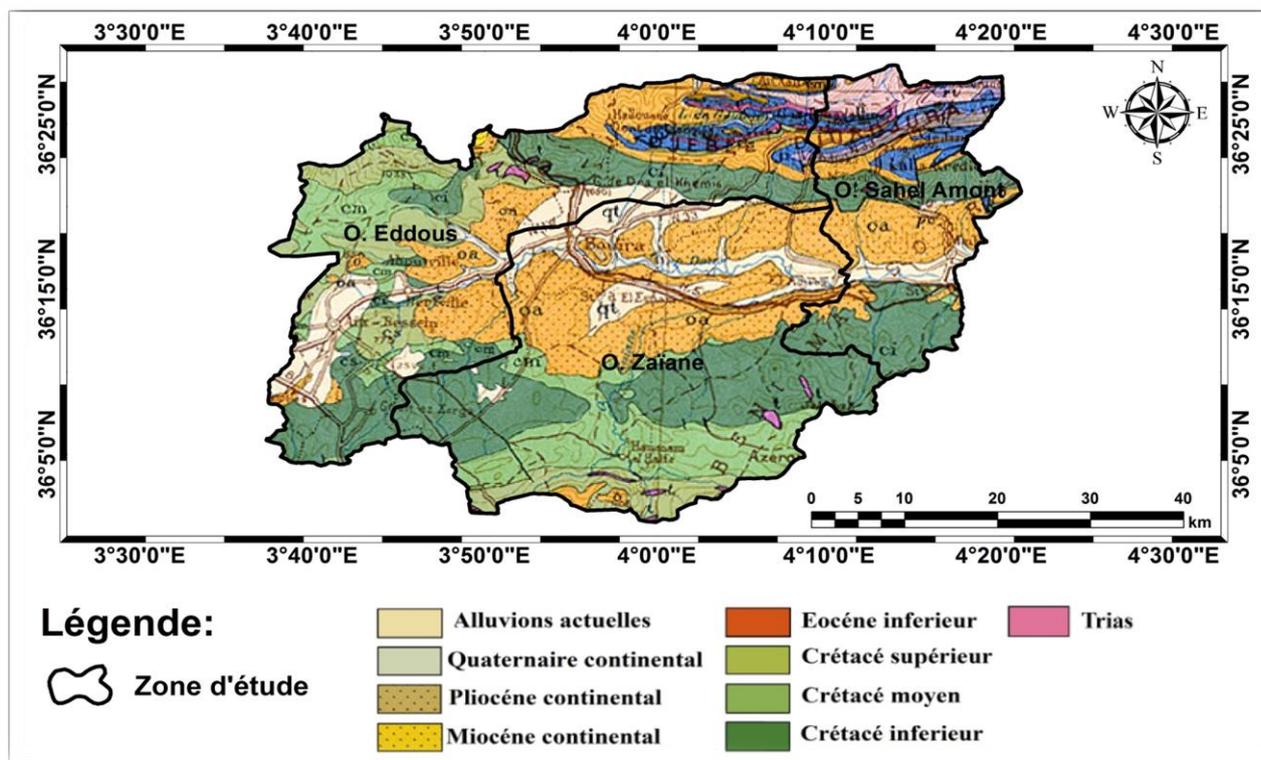


Figure III.2: Carte géologique des trois sous bassin versant.

III.5. Le climat

L'étude de la caractéristique climatologique joue un rôle primordial dans la connaissance des comportements des cours d'eaux, les variations des réserves, la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour cela l'étude climatologique est indispensable pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydrologique de surface d'une région donnée (BOUTOUGA, 2012).

Le climat de notre site d'étude est continental et sec avec des hivers froids et des étés chauds. Il est caractérisé par :

- Des températures varient entre 20 et 40 °C de mai à septembre et de 2 à 12 °C de janvier à mars.
- D'une pluviométrie moyenne mensuelle varie de 30 à 85 mm avec l'accroissement d'altitude. En général, il pleut de 50 à 100 jours par an (Figure III.3).
- Des vents prédominants sont d'Ouest en Est. Durant les trois mois : janvier, février et mars, la valeur maximal reste inférieure à 28m/s et pendant le reste de l'année elle dépasse 28m/s

- D'humidité relative est un élément climatique très important dans le cycle hydrologique qui contrôle l'évaporation du sol et le couvert végétal. Elles varient entre 54 et 253 mm au cours de l'année (CHARIFI, 2006).

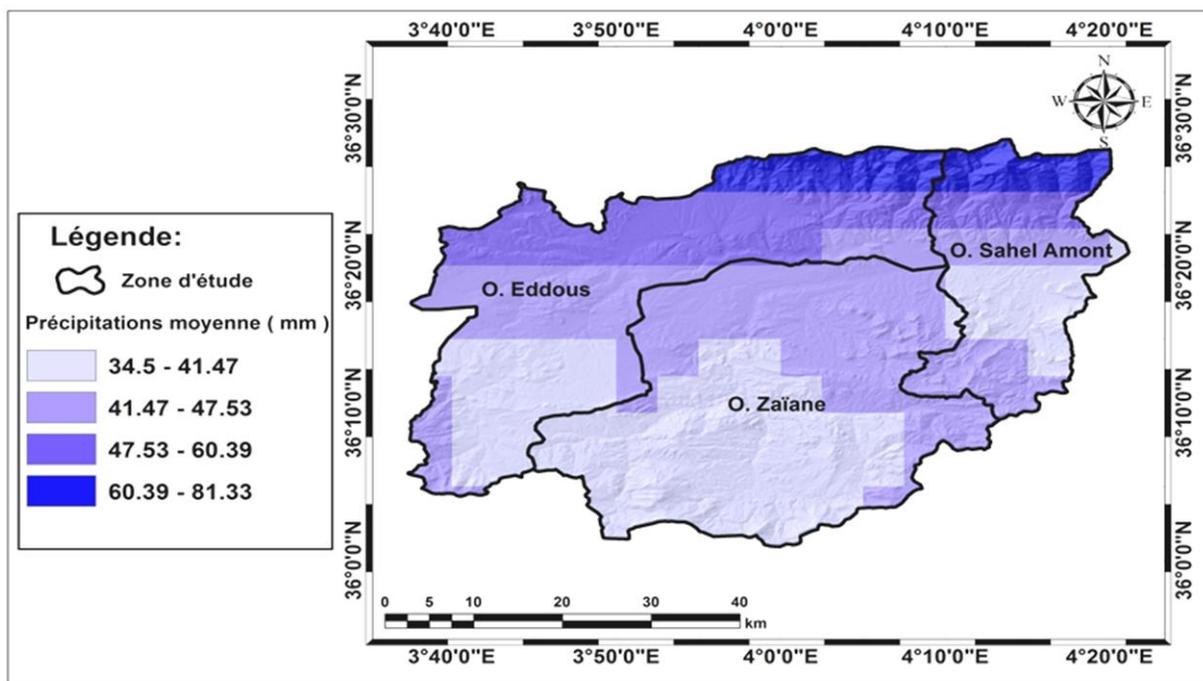


Figure III.3: Carte des précipitations moyennes mensuelle de l'année 2016.

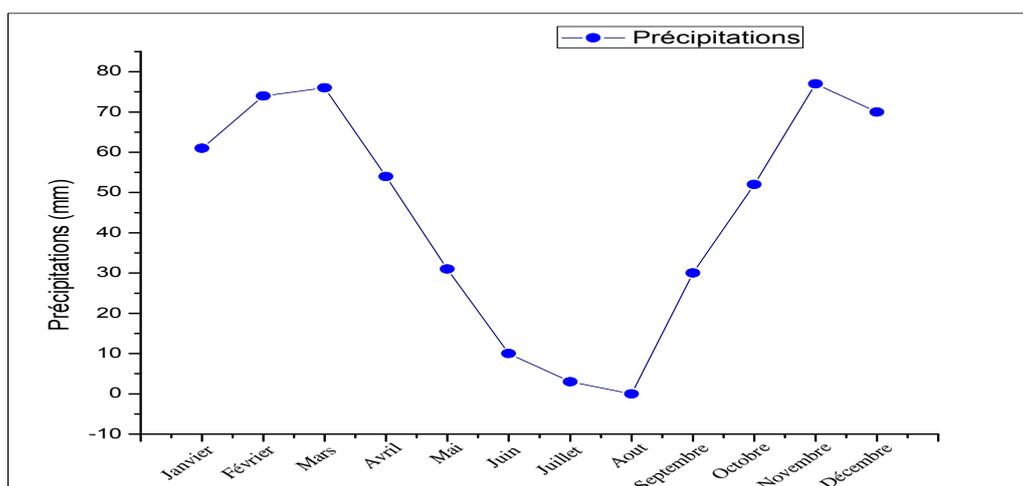


Figure III.4: Courbe de la variabilité moyenne mensuelle des précipitations pour la l'année 2016.

Par la Figure III.4, nous présente la variabilité moyenne mensuelle des précipitations et qui montre l'existence d'une saison froide et humide s'étalant de Octobre à Avril avec un

maximum de précipitations en Novembre et une saison presque sèche entre Mai et Septembre où les plus faibles précipitations sont enregistrées au mois d'Aout.

III.6. Condition du sol

Le sol agit de différentes manières sur le régime d'une rivière. Sa nature et surtout sa couleur interviennent dans le bilan thermique. Par son influence sur le développement et la nature de la végétation, il agit indirectement sur l'évapotranspiration. Ce sont surtout les propriétés mécaniques du sol qui intéressent les hydrologues.

Dans notre zone d'étude la majorité des sols sont des sols calcaires qui ont généralement une texture légère et sont donc perméables. Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur. Leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables.

Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux. En outre on rencontre, en petites quantités des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels soluble (CHARIFI, 2006).

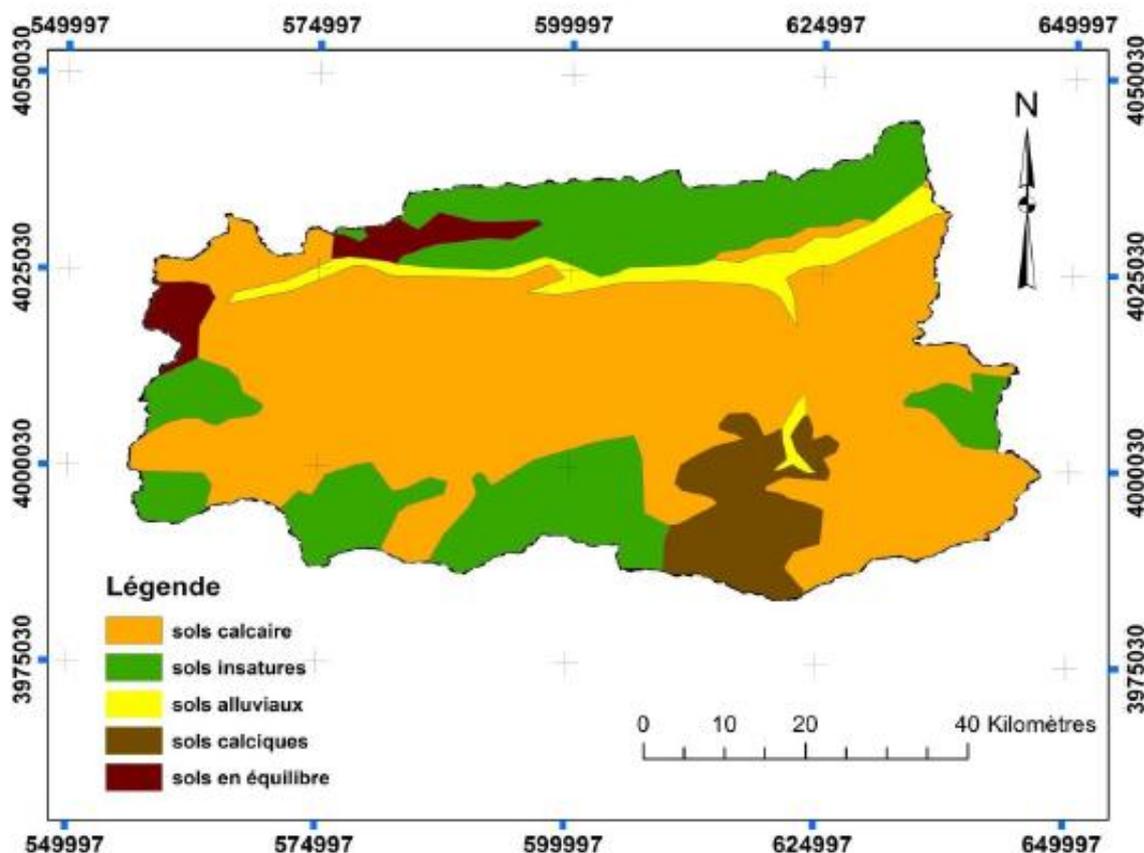


Figure III.5 : Carte des sols du l'oued sahel (CHIKHI, 2016).

III.7. La végétation

La végétation du bassin versant de sahel est de type méditerranéen et est très variée.

Les régions alluvionnaires du haut sahel sont occupées par des chênaies. La basse et moyenne sahel sont occupés par des oliveraies et des vignobles. Dans la région de la moyenne sahel, le couvert végétal est moins dense. Aussi la région est représentée par certaines plantes sauvages qui jalonnent les cours d'eau.

La vocation agricole qui caractérise la plaine du Sahel est en relation directe avec la disponibilité en eau. En effet, la culture Maraîchère est développée à proximité des points d'eau. Les zones sans points d'eau sont cultivées en céréales ou en culture fourragères.

Les forêts qui couvraient la région fournissaient le bois nécessaire à une industrie du bois florissante mais malheureusement ce capital tend à disparaître sous les feux qui ravagent

chaque année des milliers d'hectares. A cela s'ajoute l'absence d'une politique claire de reboisement et de lutte contre les incendies (BECHROUNE, 2011).

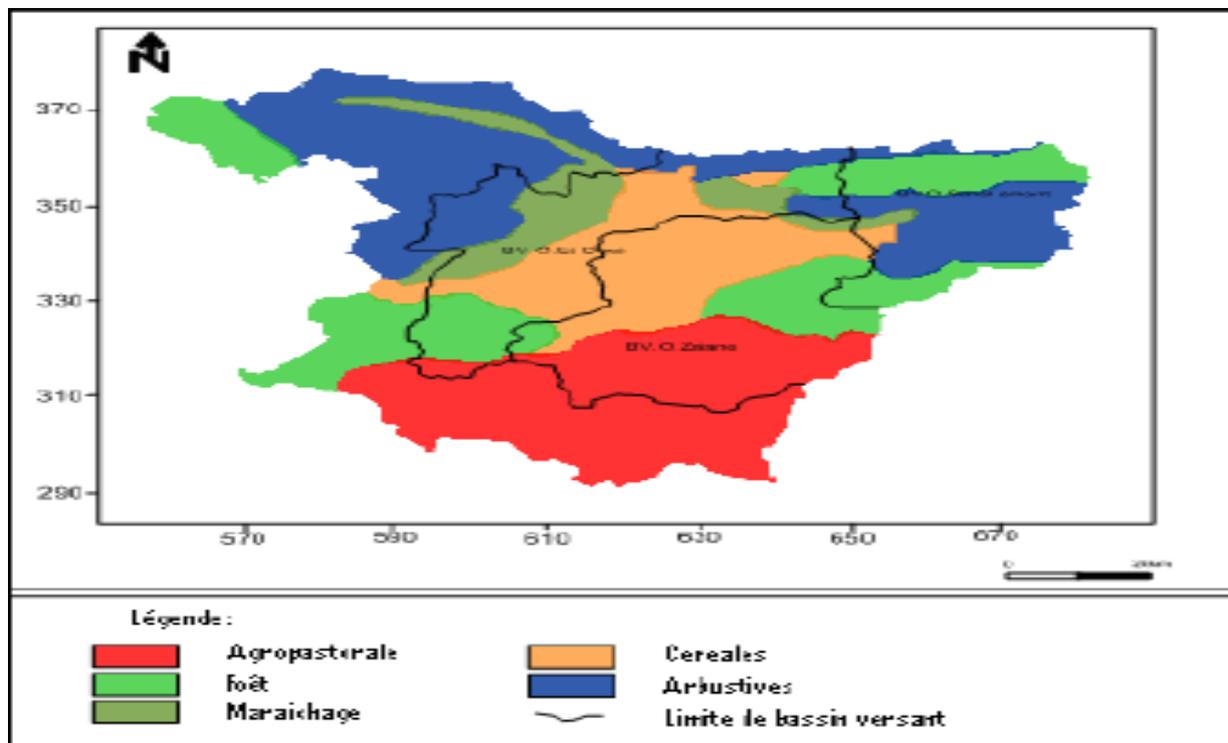


Figure III.6 : Carte de couvert végétale du bassin versant de sahel (DSA, Bouira)

III.8. Le réseau hydrographique

L'hydrographie c'est l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires qui participent à l'écoulement. Nous avons tracé notre zone d'étude (Figure III.7), qui possède un réseau hydrographique très développé. Trois oueds et leurs affluents constituent son réseau hydrographique principal : l'oued Ed Dous draine la partie ouest (plateau des Arib et ses pourtours), l'oued Zaiane reçoit les affluents qui drainent le flanc nord de la chaîne des Bibans et le sahel en amont qui situé à l'Est des deux sous bassins présidents, et qui présente le lieu de jointure de l'oued Ed Dous avec celui de Zaiane formant ainsi l'oued sahel (BOUANANI, 2004).

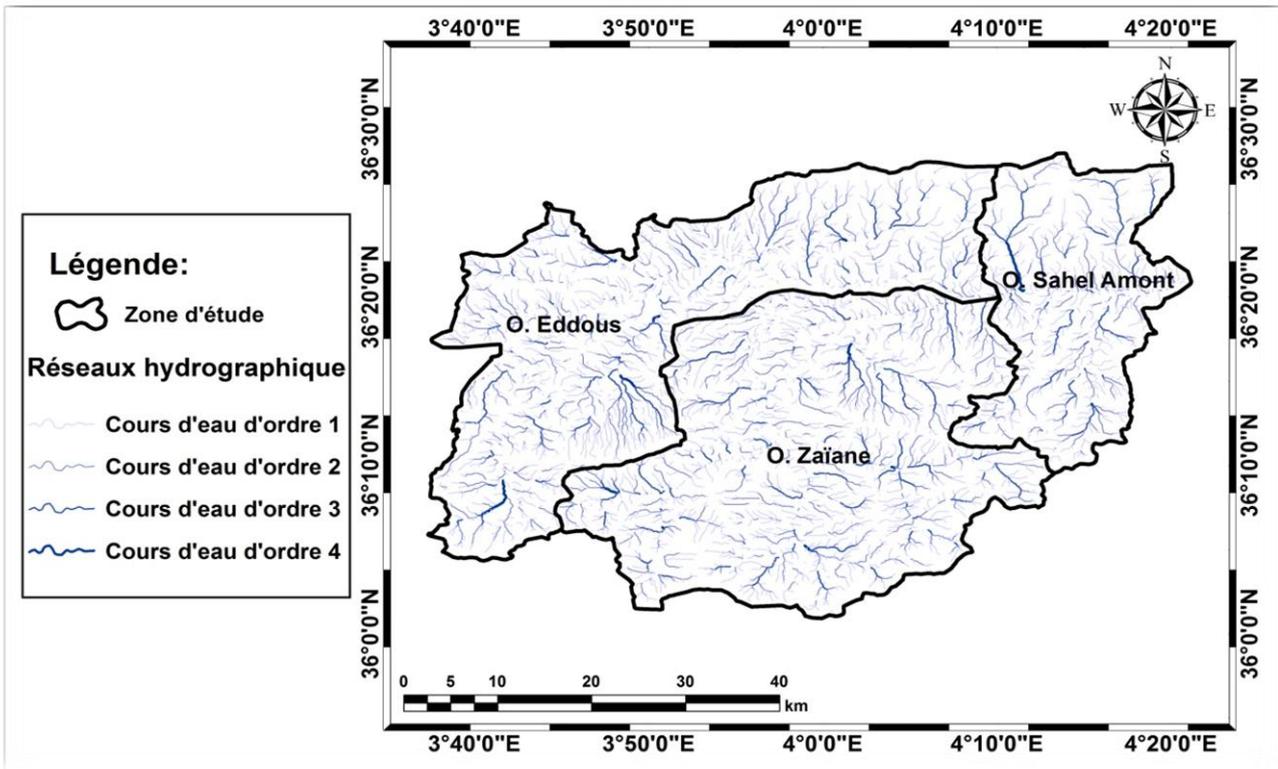


Figure III.7 : Réseau hydrographique des trois sous bassins versants.

Pour mesurer le degré de développement de notre réseau hydrographique y'a quelque paramètre à déterminer.

III.8.1. La densité de drainage

La densité de drainage est définie comme le rapport entre la longueur des canaux d'écoulement et la superficie de bassin. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Dd = \frac{\sum Li}{A}$$

Avec :

Dd : densité de drainage (km/km²).

Li : longueur des cours d'eau (km).

A : superficie du bassin versant (Km²).

III.8.2. La densité hydrographique

La densité hydrographique appelée aussi la fréquence de drainage est définie comme le nombre de drains du bassin par unité de surface, et elle est donnée par la relation suivante :

$$F = \frac{Ni}{A}$$

Avec :

F : densité hydrographique (1/Km²).

Ni : nombre de cours d'eau.

A : superficie du bassin versant (Km²).

III.8.3. Temps de concentration

C'est le temps que met une goutte de pluie la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Il est convenu particulièrement prudent par les différentes formules empiriques (formule d'Izzard Meunier, formule de Bramby Williams, Basso...). Nous utilisons la formule de Giandotti car elle donne des valeurs acceptables par rapport les autres formules (BOUANANI, 2004).

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{Hmoy - Hmin}}$$

Avec :

Tc : le temps de concentration en (h).

Hmoy : altitude moyenne du bassin versant en (m)

Hmin : altitude minimale du bassin versant en (m)

Le tableau III.1 représente les caractéristiques du réseau hydrographique du bassin sahel.

Tableau III. 1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du réseau hydrographique

Les sous bassins	Dd (Km/Km ²)	F (1/Km ²)	Tc (h)
Oued Zaiane	0.40	0.14	14
Oued Ed Dous	7.53	0.16	16
Oued sahel en amont	1.47	0.30	7

III.9. Caractéristiques physiographiques

Les paramètres physiographiques d'un bassin versant (forme, altitudes, pente, relief, etc.) ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée qu'il convient de préciser autant que possible, dès le début de toute étude.

III.9.1. Paramètres géométriques

Les bassins versants ont des propriétés géométriques variées qui dépendent du contexte géologique, géomorphologique et climatique de la région étudiée (OULDFAH, 2015).

III.9.1.1. Le périmètre

Il est exprimé en Km, peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre et n'est généralement pas utilisé directement, mais à travers des valeurs qui en dérive. Comme la longueur du rectangle équivalent « L ». Il est donné par la formule :

$$P=2 (L+l)$$

Avec :

L: longueur du rectangle équivalent.

l : largeur du rectangle équivalent.

Le périmètre du bassin versant de Sahel est de : 260Km (tableau III.2)

III.9.1.2. La surface

Elle correspond à l'air délimitée par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne de partage des eaux. Elle est mesurée à l'aide d'un planimètre, son unité est le Km². Pour le bassin versant considéré on a : $S = 2338 \text{ Km}^2$

III.9.2. Paramètres de forme

La forme du bassin versant a une influence certaine sur l'écoulement. Un bassin compact, de forme quasi- circulaire a une réponse hydrologique beaucoup plus rapide pour une même averse qu'un bassin allongé, parce que la plupart des points du bassin sont à peu

près à la même distance de l'exutoire. Les différentes grandeurs déterminantes de la forme d'un bassin versant sont les suivantes :

III.9.2.1. L'indice de compacité de Gravelius (KG)

C'est le rapport entre le périmètre du bassin versant et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin versant.

Il est établi en comparant le périmètre stylisé du bassin considéré à celui d'un cercle ayant la même surface.

L'indice de Gravelius est donné par la formule :

$$K=0,28 \frac{p}{\sqrt{A}}$$

Avec :

P= périmètre du bassin versant en (Km)

A= superficie en (Km²)

On a K= 1 pour un carré

K= 1 ,28 pour un rectangle latéral

K= 1,12 pour un rectangle dont la longueur est 5 fois supérieure à la largeur (BENNABI, 1985)

Dans notre cas, K= 1.51 Ce qui veut dire que notre bassin a une forme Allongée.

III.9.2.2 Le Rectangle équivalent

La notion de rectangle équivalent permet de ramener la forme quelconque d'un bassin versant à une forme rectangulaire ayant la même superficie, le même périmètre et le même indice de compacité (BECHROUNE, 2011).

Les dimensions de ce rectangle se calculent à l'aide des relations suivantes :

$$L = \frac{k\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K}\right)^2} \right]$$

$$l = \frac{k\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K}\right)^2} \right]$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent (Km).

l : largeur du rectangle équivalent (Km).

Pour notre bassin on obtient :

$$L = 108.91$$

$$l = 21.47$$

Tableau III.2 : Tableau récapitulatif des paramètres de forme des sous bassins.

Les bassins versants	La superficie A (Km ²)	Le périmètre P (Km)	L'indice de gravilus KC	La forme	L (m)	l (m)
1. Le sous bassin de l'oued Zaiane	903	204.98	1.91	Allongée	92.76	9.73
2. Le sous bassin de l'oued Ed Dous	1012	165.88	1.46	Allongée	68.1	14.86
3. Le sous bassin de l'oued Sahel en amont	430	106.88	1.44	Allongée	43.42	9.90
Le bassin de sahel (1+2+3)	2338	260	1.51	Allongée	108.91	21.47

III.9.3. Paramètres du relief

Le relief détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement, l'infiltration et l'évaporation. Le relief du sahel présente une forme assez irrégulière, et se détermine lui aussi au moyen d'indices ou de caractéristiques suivants :

III.9.3.1. La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique donne la répartition des altitudes des sous bassins en fonction des surfaces correspondantes. Elle est obtenue en portant sur l'axe des abscisses les surfaces cumulées des surfaces partielles comprises entre deux courbes de niveau successives (I_i, I_{i+1}) et les altitudes correspondantes sur l'axe des coordonnées.

La courbe hypsométrique reste un outil pratique pour comparer plusieurs bassin entre eux ou les divers sections d'un seul bassin (BECHROUNE, 2011).

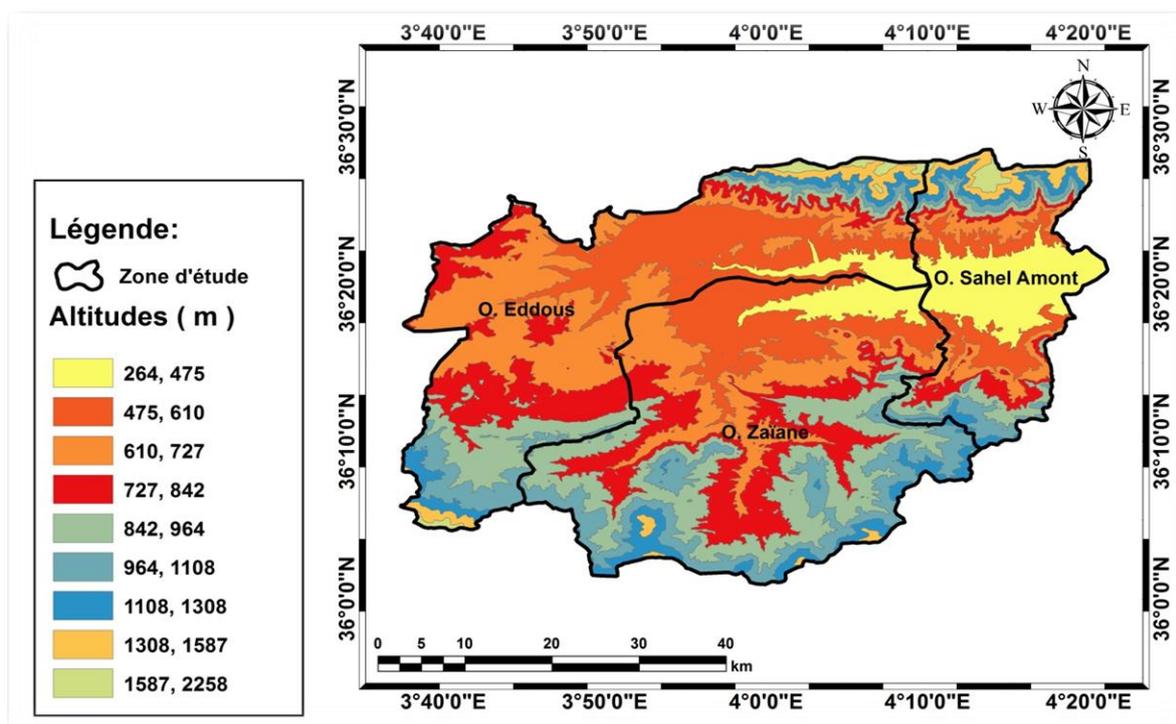


Figure III.8 : Carte de relief des trois sous bassins.

Chapitre III

III.9.3.2. Les altitudes caractéristiques

Il existe quatre types d'altitudes caractéristiques qu'on peut calculer à partir de la courbe hypsométrique .

a. Altitudes minimale et maximale

Les altitudes minimale et maximale du notre bassin sont lues directement à partir de la carte. L'altitude minimale (H_{\min}) est celle qui correspond à l'exutoire près de la mer ; tandis que l'altitude maximale (H_{\max}) représente le point le plus élevé du bassin (MUSY, 2004). Dans notre cas on obtient :

$$H_{\min} = 300 \text{ m}$$

$$H_{\max} = 2150 \text{ m}$$

b. Altitude moyenne

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

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

Tel que :

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

A_i : aire comprise entre deux courbes de niveaux.

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux.

c. Altitude médiane

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

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

$$H_{\text{med}} = H_{50\%}$$

III.9.3.3. Les indices de pente

a. Indice de pente moyenne (I_{moy})

La pente moyenne apporte des renseignements importants sur la topographie du bassin versant, sur le ruissellement et influence directement sur le débit de pointe lors d'une averse. Elle est définie comme le rapport entre le dénivelé total de rectangle équivalent et sa longueur.

$$I_{\text{moy}} = \frac{D}{L}$$

Avec :

I_{moy} : la pente moyenne en m

D : le dénivelé total ($H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$)

L : la longueur en Km

b. Indice de pente globale (I_g)

Il est d'application simple et il est donné par la relation suivante (exprimée en %) :

$$I_g = \frac{d}{L}$$

Avec :

d : dénivellée entre les altitudes en m

L : longueur du rectangle équivalent en Km

d est déterminé à partir de la courbe hypsométrique tel que :

$$d = H_{5\%} - H_{95\%}$$

$H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ sont les altitudes entre lesquelles s'inscrit 95 % de la surface du bassin versant.

La figure III.9 présente notre tracé pour la carte des pentes moyennes du bassin Sahel.

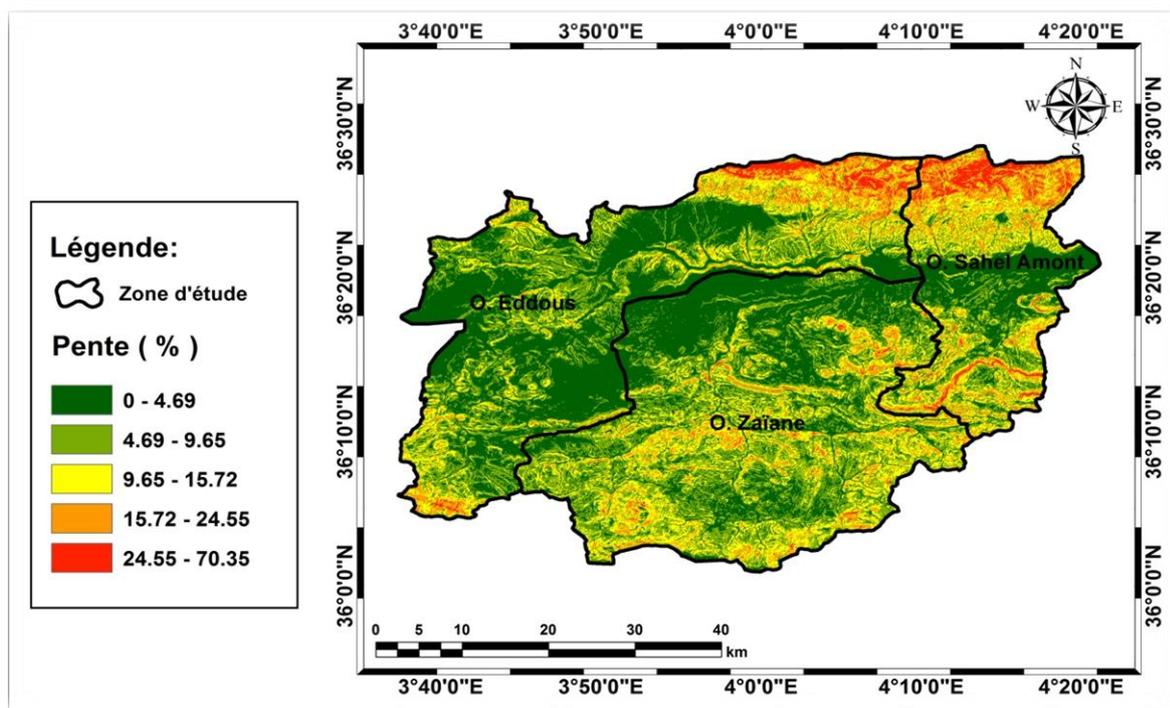


Figure III.9: Carte des pentes moyennes des trois sous bassins.

Tableau III. 3 :Tableau récapitulatif des altitudes caractéristiques et les indices du pente des sous bassins .

Sous bassins	H _{max} (m)	H _{min} (m)	H _{moy} (m)	H _{med} (m)	H5% (m)	H95% (m)	d (m)	Ig	D (m)	Imoy
Oued Zaiane	1500	400	783	850	1200	520	680	0.09	1100	0.16
Oued Ed Dous	2150	400	808	800	1550	550	1000	0.11	1750	0.19

Oued sahel en amant	2100	300	737	690	1700	400	1300	0.30	1800	0.42
---------------------	------	-----	-----	-----	------	-----	------	------	------	------

Tableau III.4 : classification du relief d'après O.R.S.T.O .M.00

Relief tres faible	$I_g < 0.002$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$I_g > 0.5$

D'après le Tableau III.4 on déduit que les 3 sous bassins se caractérisent par un relief fort.

III.10. Conclusion

Le bassin du Sahel est constitué de trois sous bassins versants, celui l'oued sahel en amont à l'Est, d'oued Zaiane au centre et d'Oued Ed Dous à l'Ouest.

Les différentes caractéristiques que nous avons déterminés, nous a donnés les synthèses suivantes :

- La région de sahel est assez homogène sur le plan climatique (le climat dans le bassin est uniforme).
- Géologiquement notre zone d'étude est une dépression rempli par des sédiments alluvionnaires d'âge miocène.
- La valeur de l'indice de compacité montre que notre bassin est de forme allongé qui influence sur le temps de concentration.

- Le bassin possède un réseau hydrographique très développé (ordre des cours d'eau est d'ordre 4). Trois Oueds et leurs affluents.
- Notre site d'étude est caractérisé par un relief fort.

CHAPITRE IV

Matériel et Méthodes

IV.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de représenter le matériel utilisé en vue d'examiner la qualité physico-chimique des eaux souterraines du bassin versant du Sahel.

IV.2. Choix des points de prélèvement

Pour étudier la qualité des eaux de la région d'étude, 37 points de prélèvements ont été choisis selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude pendant l'année 2016.

Les analyses ont été réalisées au sein du laboratoire central de l'ADE de Bouira. Pour faciliter la manipulation des données, un numéro d'échantillon a été attribué à chaque point de prélèvement (Tableau IV.1).

A l'aide des coordonnées (X,Y), j'ai réalisé la carte de la situation des forages (données par le symbole F) dans le bassin versant de Sahel (figure IV.1).

Tableau IV.1 : Les points de prélèvements.

N°d'échantillon	Points de prélèvement	X	Y
01	F21 Sidi Ziane	578552,904	4025545,228
02	F Thamer	587689,012	4020767,62
03	F Djaada	586089,985	4021122,435
04	F7 Taferka	584111,748	4028428,714
05	F12 Taferka	585161,487	4028325,576
06	Puit Ain El Beida	562178,171	4015749,89
07	puit Ouled Zidane	559817,033	4013801,458
08	F51 Mchedellah	614444,916	4022937,875
09	F Ouled Bouali	622921,74	4022837,861

10	F1 Guemgouma	585011,156	3999147,24
11	F3 Al Asnam	587637,96	4020417,753
12	F3 Bechloul	612947,351	4022819,43
13	Puit Tarfa	589578,579	3986826,914
14	F8 Harket	580352,805	4025489,833
15	F1 SidiZiane	578450,383	4024705,506
16	F16 Sidi Ziane	584605,343	4026277,142
17	F11 Ouadhia	579951,145	4024941,015
18	F1 Said Abid	575646,532	4023453,879
19	F2 Said Abid	575645,781	4023203,873
20	F5 Haizer	589061,349	4028213,939
21	F1 Haizer	590111,77	4028335,816
22	F2 Haizer	590311,407	4028210,214
23	F4 Taghzout	585964,142	4029203,222
24	F12 taghzout	584765,053	4029526,812
25	F17 taghzout	586963,048	4028820,225
26	F3 Taghzout	585659,715	4027724,061
27	F Oued El Berdi	582063,317	4012334,075
28	F Bekouche	566430,021	4001581,073
29	F3 Semmache	604874,48	4023004,15

30	F1 adjiba	603841,16	4021069,343
31	F2 Adjiba	601979,016	4021814,701
32	F1 Chorfa	619549,249	4023172,895
33	F4 Chorfa	619528,6	4025453,14
34	F3 Chorfa	616979,926	4027744,496
35	F2 Al Asnem	587539,904	4021068,085
36	F Guelta Zarga	565238,401	4007694,843
37	source El Mesdour	593921,498	3997415,917

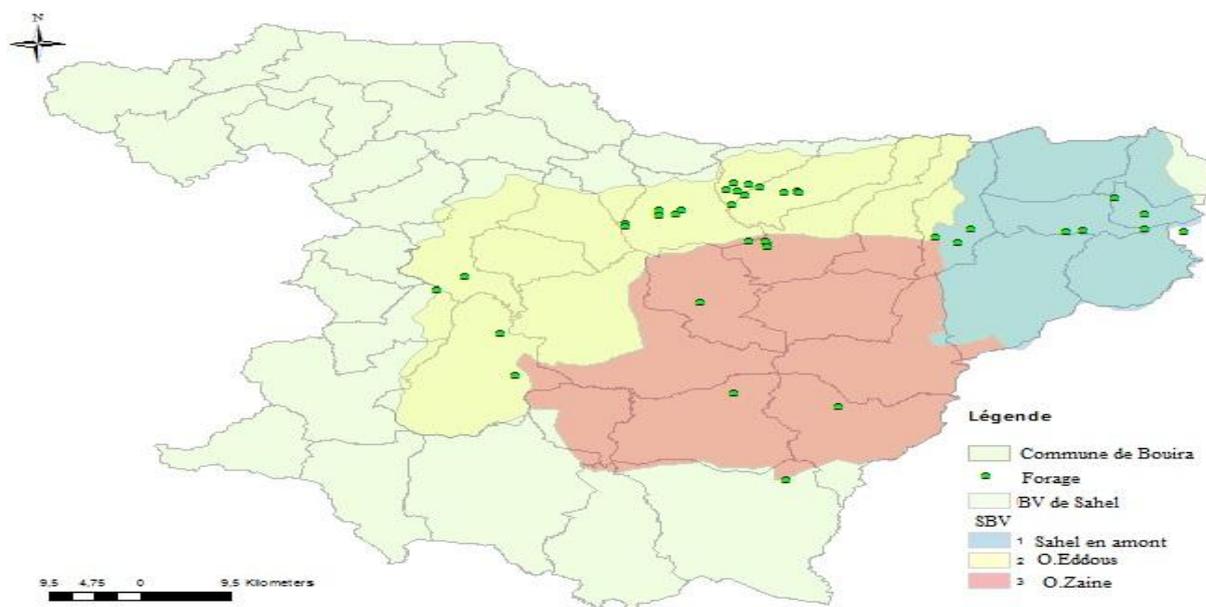


Figure IV.1 : Situation de forages dans le bassin versant de Sahel

IV.3. L'échantillonnage

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

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (Rodier, 2009). Il est donc nécessaire :

- De développer une méthodologie adaptée à chaque cas et d'utiliser le matériel convenable.
- Que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquettes soient lisibles et non détachables. Dans ces derniers, on doit noter avec précision : la date, l'heure, les conditions météorologiques et un numéro d'échantillon.
- Que les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6 °C (RODIER, 1996).

IV.4. Faciès hydro chimiques

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

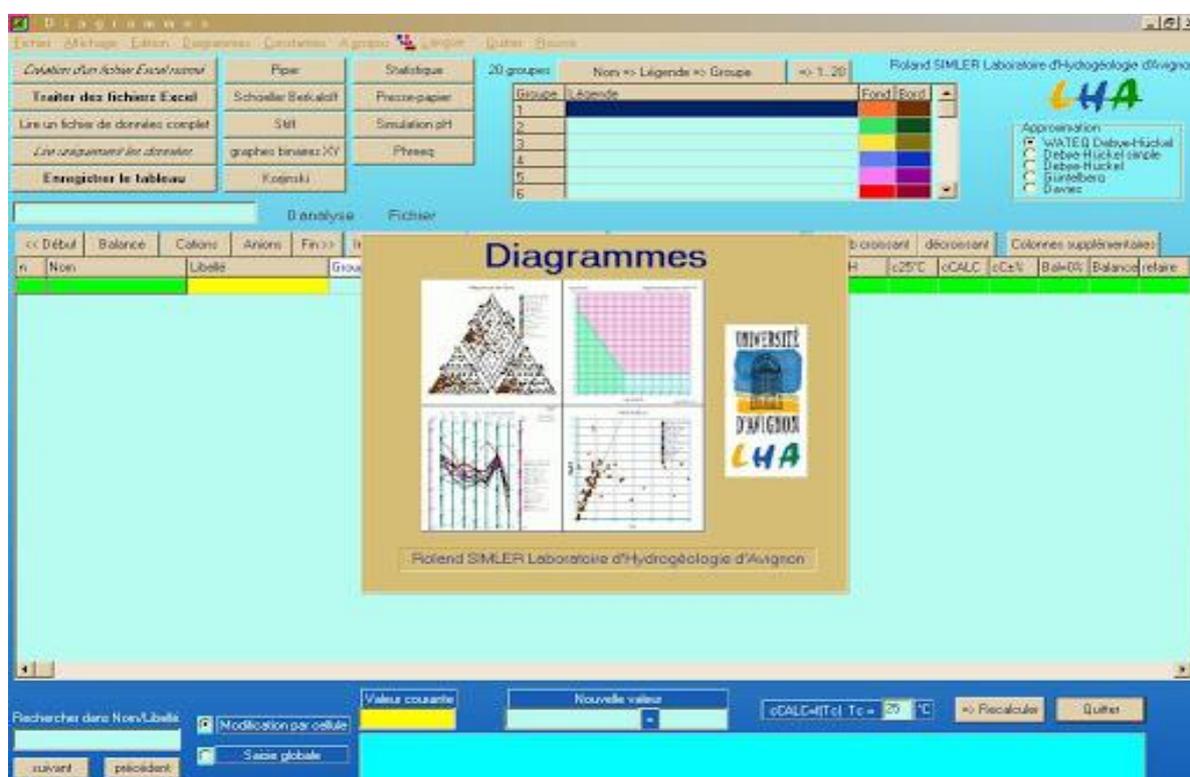


Figure IV.2 : Interface de logiciel Diagrammes.

IV.4.1. Le diagramme de PIPER

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques. Ce type de diagramme est particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente ou bien pour indiquer les types de cations et anions dominants et pour distinguer des groupes d'échantillons. Les unités de mesure utilisées dans ce diagramme sont le % et le mg/l. (ABDOULKADRI, 2015).

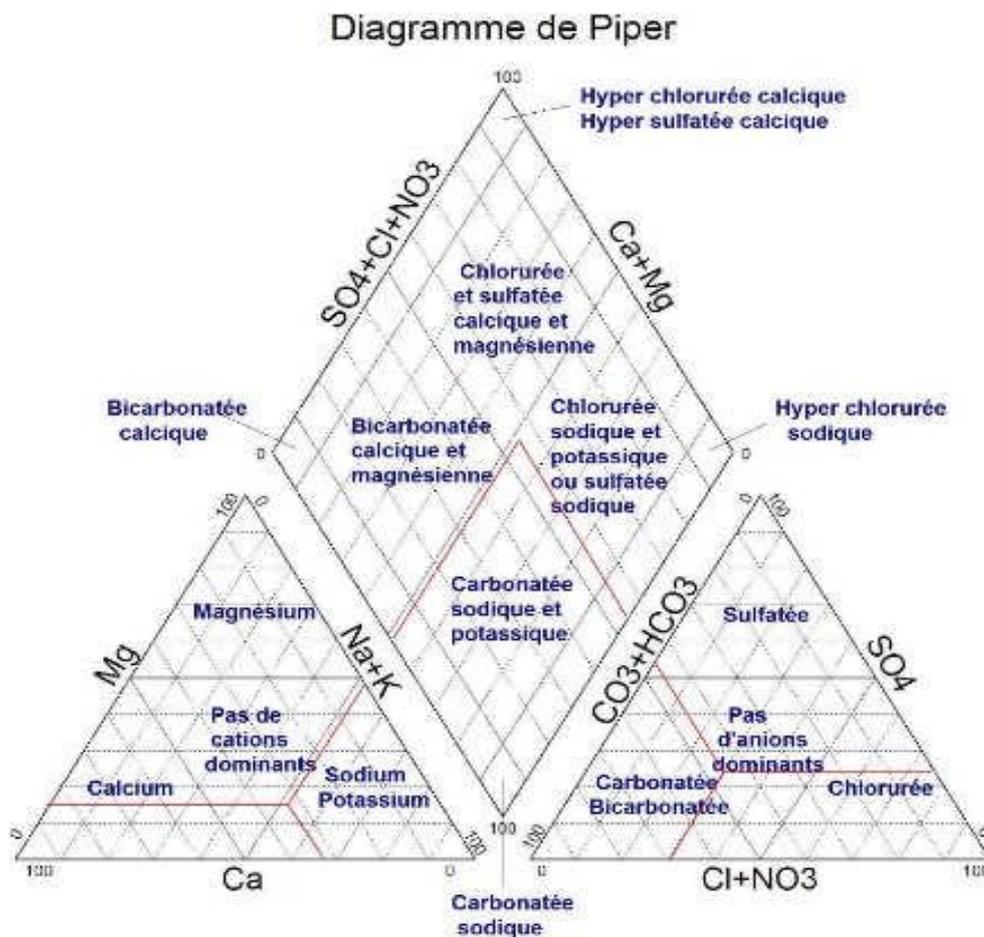


Figure IV.3 : Diagramme de piper

IV.4.2. Le diagramme de schoeller-berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation graphique semi logarithmique qui permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Sur ce diagramme, les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par des droites. L'allure graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées (AICHAOUI.Z, 2016).

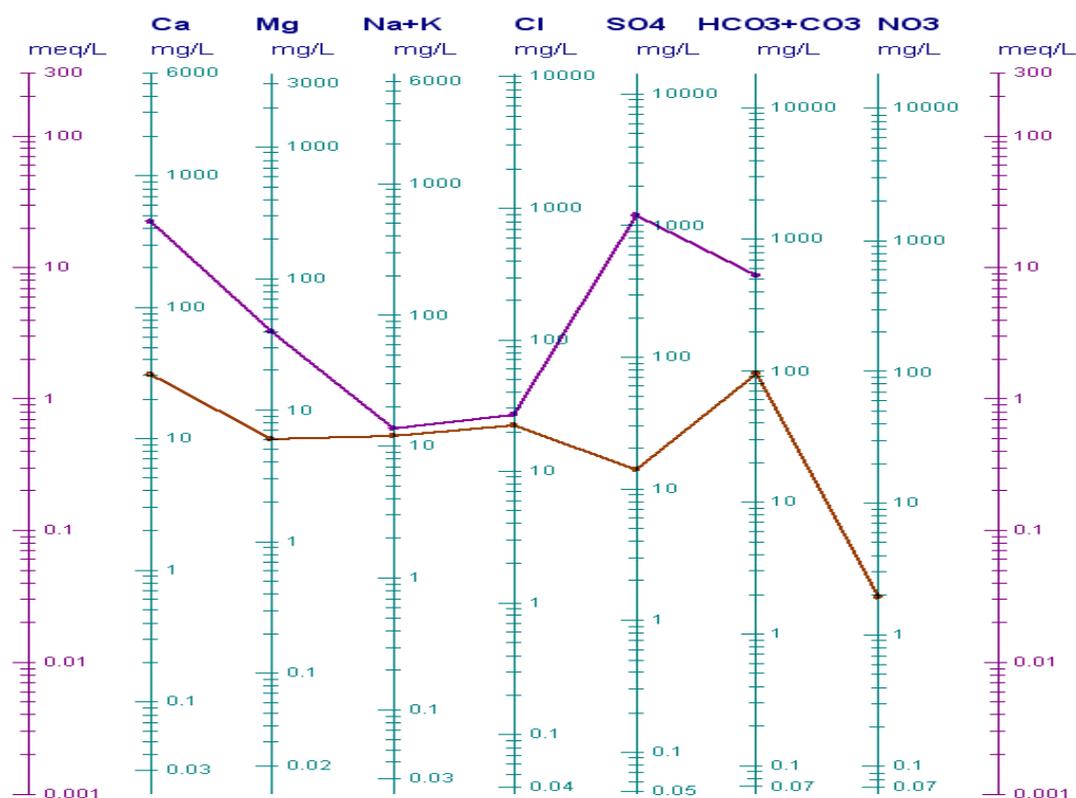


Figure IV.4 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff

IV.5. Présentation de logiciel origin pro 8

OriginPro est une version avancée de Origin. Elle permet de traiter et d'analyser des données scientifiques pour environnement Microsoft Windows développé par OriginLab. Ainsi de tracer des graphes 2D et 3D et possède des fonctions d'analyse de pics. Origin pro 8 est aussi capable d'importer des fichiers de divers formats tels que Excel, ASCII, Mathematica ou SigmaPlot, et d'exporter les graphes sous format JPEG, GIF, Tiff etc [Anonyme 7].

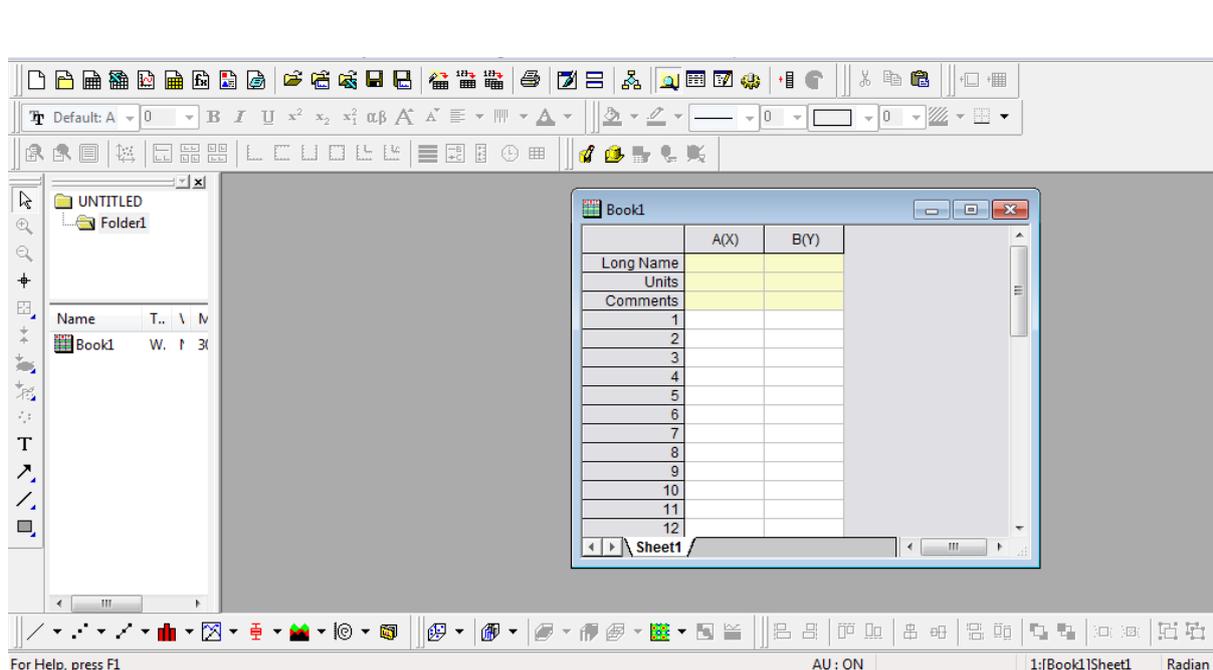


Figure IV. 5: Interface de logiciel Origin Pro 8.

IV.6. Présentation d'arc gis 10.3

ArcGIS est une c'est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine *Esri* (Environmental Systems Research Institute.). Une version avancée, arc gis 10.3 , offre quelques fonctionnalités en plus.

L'ArcGIS 10.3 permet de :

- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes.
- Rassembler les informations géographiques.
- Créer et gérer des bases de données géographiques.
- Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale.
- Créer des applications basées sur la carte.
- Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation [Anonyme 8].

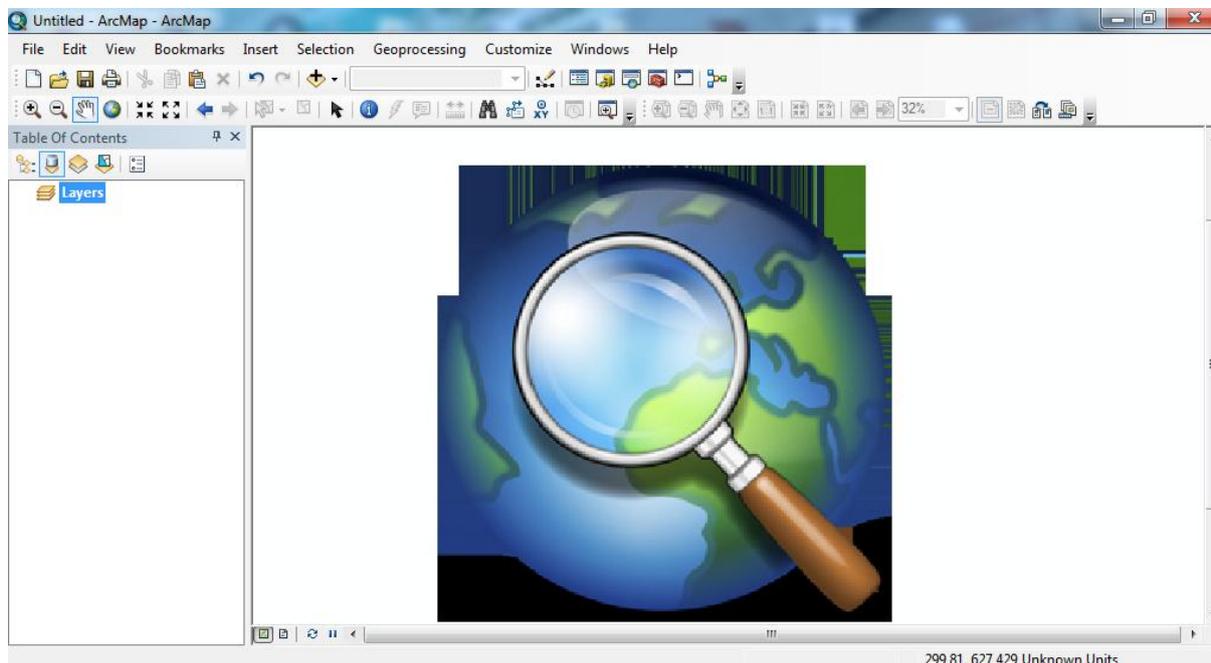


Figure IV.6 : Interface de logiciel ArcGis 10.3

IV.7. Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimiques doivent être traités par des méthodes d'analyse standard couplée aux méthodes hydro chimiques. La méthode hydro chimique nécessite l'utilisation des diagrammes de Piper et de Schöeller-Berkaloff réalisés sous le logiciel Diagrammes, ainsi que logiciel Origin Pro 8 pour le tracer des histogrammes et les courbes, et logiciel Arc gis 10.3 pour la présentation de la cartographie.

CHAPITRE V

Résultats et Discussion

V.1. Introduction

Le présent chapitre s'intéresse à la présentation et l'interprétation des analyses physico-chimique de l'année 2016 des échantillons d'eaux effectués de 37 forages étudié de bassin Sahel, afin de déterminer leurs qualité physico-chimique et leur vulnérabilité à la pollution .

V.2. Présentation des résultats

V.2.1. La température (T)

La température des eaux souterraines est en fonction soit du climat ou de la profondeur, elle devrait être inférieure en été et supérieure en hiver par rapport à la température de l'air (RODIER et all, 2009). Une température élevée peut favoriser le développement planctonique et sursaturation en gaz dissous confère à l'eau un aspect blanchâtre, alors qu'une température basse diminue l'efficacité du traitement (ADE, 2015).

Tableau V.1 : Résultats des mesures de température.

Points de prélèvement	T (°C)						
F1	20,6	F11	13.8	F20	19.1	F29	17.3
F2	15 ,6	F12	16.8	F21	18.2	F30	16.7
F3	16	F13	23.4	F22	18.7	F31	20.5
F4	21 ,2	F14	18.1	F23	20.8	F32	16.4
F5	21 ,2	F15	18.6	F24	21	F33	16.6
F6	17 .4	F16	17.5	F25	21	F34	15.8
F7	17.6	F17	19.4	F26	20.5	F35	17.1
F8	17.9	F18	21.6	F27	19.6	F36	19.9
F9	15.3	F19	21	F28	14.8	F37	23.3
F10	15.9						

Pour nos échantillons le tableau V.1 montre que la température est comprise entre 13,8 et 23,4 °C, respectivement, pour les points de prélèvement F11 et F13. D'une façon générale, toutes les températures mesurées sont dans les normes de portabilité algérienne NPA et celles données par l'OMS (25°C). Ceci est forcément dû à la profondeur relativement faible des forages. Donc ces eaux ne présentent aucun danger sur la santé pour ce paramètre.

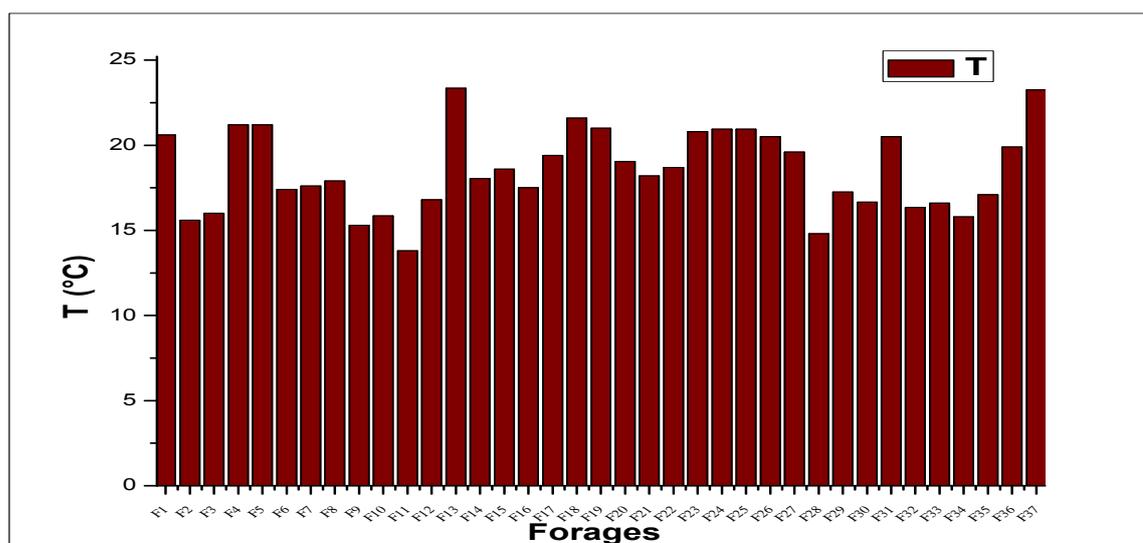


Figure V.1: Histogramme représentatif des variations de la température des forages étudiés.

V.2.2. Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau, c'est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau car connaissant les teneurs de CO₂ dissout, il permet indirectement l'évaluation de l'agressivité chimique des eaux. Le pH acide a un effet corrosif alors que le pH basique diminue l'efficacité de la désinfection (ADE, 2015).

Tableau V.2 : Résultats des mesures de pH.

Points de prélèvement	pH	Points de prélèvement	pH	Points de prélèvement	pH	Points de prélèvement	pH
F1	7.1	F11	6.8	F20	7.3	F29	7.9
F2	6.9	F12	6.9	F21	7.2	F30	7.7
F3	7.1	F13	7.2	F22	7.3	F31	7.1
F4	7.2	F14	7.1	F23	7.3	F32	7.3
F5	7.2	F15	7.1	F24	7.2	F33	7.2
F6	7.1	F16	7.09	F25	7.2	F34	7.2
F7	7.1	F17	7.1	F26	7.2	F35	7.1
F8	7.1	F18	7.2	F27	7.3	F36	7.7
F9	7.5	F19	7.3	F28	7.7	F37	7.8
F10	7.02						

Les valeurs de pH des forages étudiés varient entre 6.8 enregistré dans le Forage F11 et 7.9 enregistré dans le Forage F29. Ceci est lié à la nature des roches présentes dans la région qui sont essentiellement constituées de roches sédimentaires et calcaïques à composante carbonatée importante.

La qualité de ces eaux est acceptable vu que les valeurs de pH répondent aux normes de NPA (6.5 à 9.2) et les normes d’OMS (6.8 à 8.5). Donc on peut dire que ces eaux sont potable et ne présente aucun danger sur la santé pour ce paramètre.

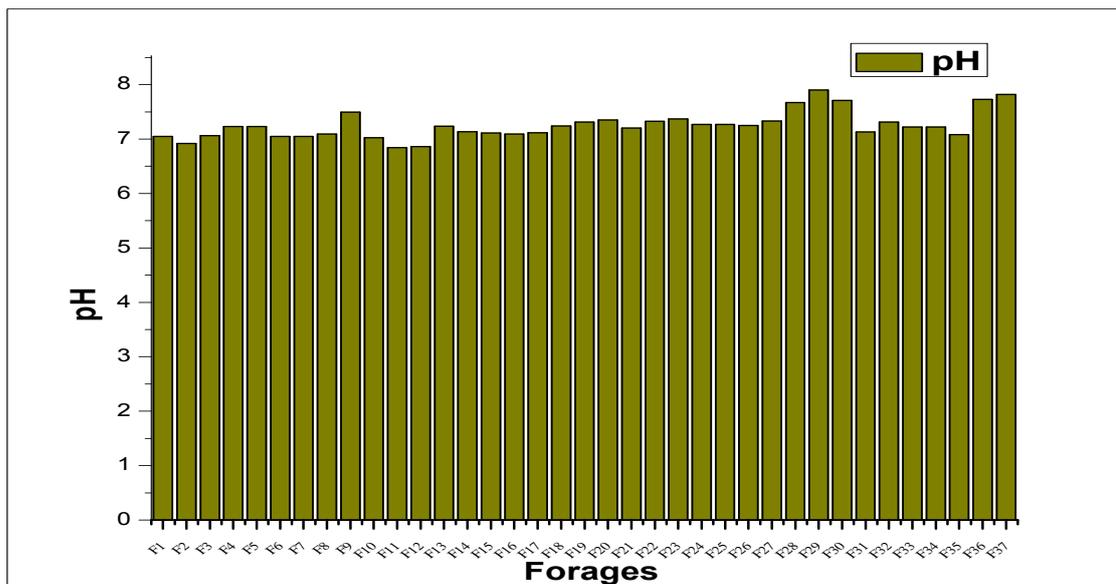


Figure V.2: Histogramme représentatif des variations de pH des forages étudiés.

V.2.3. La conductivité (C)

La conductivité est proportionnelle à la quantité de sels minéraux dissous dans l’eau. Donc la mesure de la conductivité électrique permet d’évaluer rapidement la minéralisation globale de l’eau (RODIER et all, 2009).

Tableau V. 3 : Résultats des mesures de Conductivité.

Points de prélèvement	C (us/cm)						
F1	1448	F11	1445	F20	763	F29	1028.5
F2	1491	F12	1654	F21	1055	F30	996
F3	1396	F13	2515	F22	935.5	F31	911
F4	17.6	F14	1141.5	F23	785	F32	1236.5
F5	17.6	F15	1020	F24	1404.5	F33	943.5
F6	1767	F16	1092.5	F25	1404.5	F34	917.5

F7	1288	F17	1158.5	F26	795	F35	1096
F8	1450	F18	854	F27	1219.5	F36	1111.3
F9	1636	F19	856	F28	1002	F37	684.5
F10	1173.5						

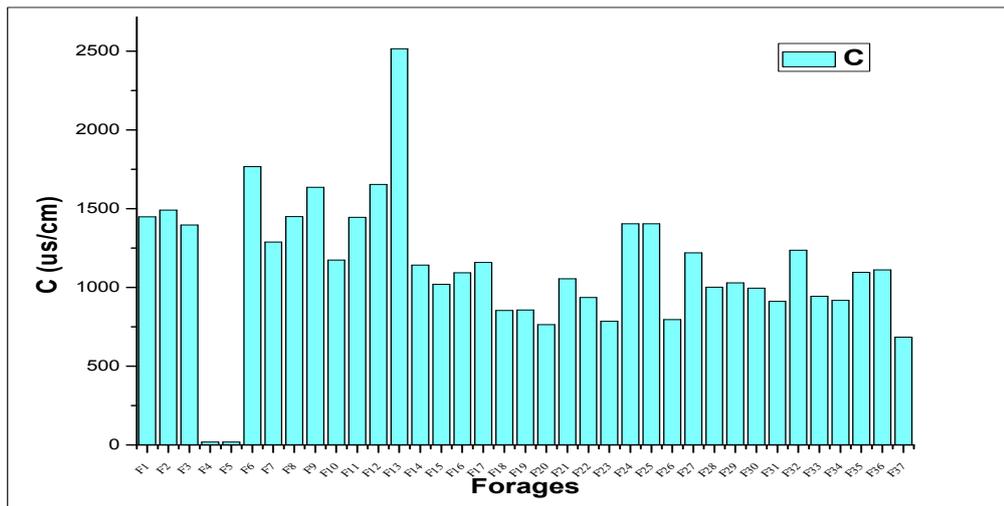


Figure V.3: Histogramme représentatif des variations de conductivité des forages étudiés.

Les valeurs de la conductivité pour les 37 forages varient entre 17.6 à 2515 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dont la minimale est enregistrée pour F4 et F5 et la maximale est enregistrée pour F13, ces valeurs restent nettement inférieures à la NPA (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Ces valeurs avec un degré de minéralisation varient entre Important et Excessive pour la majorité des forages sauf le F4 et F5 avec un degré très faible (voir le tableau V.4).

Cette augmentation progressive de la conductivité, indique que les eaux de la nappe sont en contact permanent avec l’encaissant ce qui lui permet de s’enrichir en sels dissous et confirme l’apport provenant des calcaires.

D’après le tableau ci-dessous (tableau V.4) on peut dire que la qualité de ces eaux est utilisable.

Tableau V.4: Classification des eaux de boisson (minéralisation) en fonction de la conductivité (ELIE SAURET, 2005).

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

V.2.4. Le titre hydrométrique (TH)

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

Tableau V. 5 : Résultats des mesures de titre hydrométrique.

Points de prélèvement	TH (°F)						
F1	56	F11	50.8	F20	29	F29	33.7
F2	59.8	F12	63.2	F21	43.5	F30	32.3
F3	54.2	F13	120	F22	38.3	F31	49.6
F4	52	F14	40.8	F23	30.8	F32	44.3
F5	52	F15	38.3	F24	40	F33	36.7
F6	68	F16	44.6	F25	40	F34	35.6
F7	58	F17	45.2	F26	27.6	F35	39.2
F8	58	F18	19.4	F27	46.2	F36	50.4
F9	58.6	F19	20.8	F28	45.4	F37	21.2
F10	43.9						

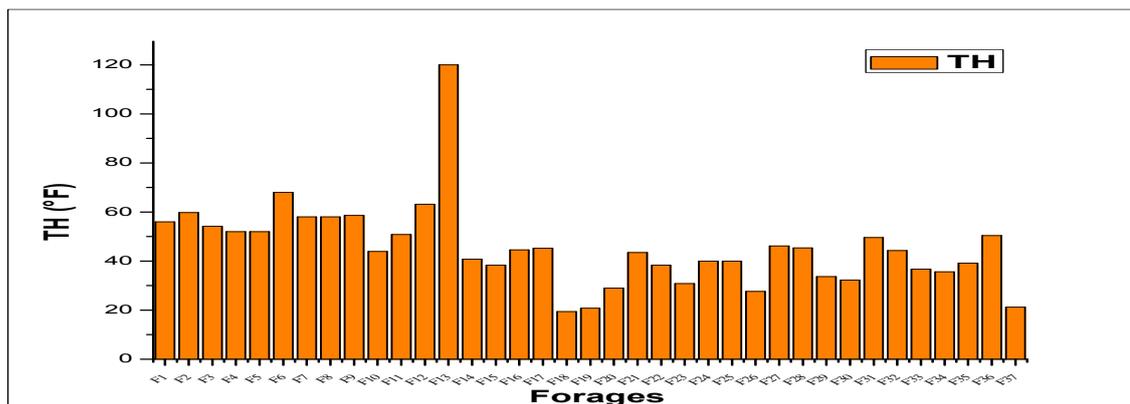


Figure V.4 : Histogramme représentatif des variations de TH des forages étudiés.

Les résultats des analyses de nos échantillons montrent que le TH qui varie entre 19.4 F° (F18) et 120 F° (F13), certains valeurs dépassent les normes d’OMS et de NPA (50 F°) (d’après le tableau V.5).

Le tableau ci-dessous indique que :

- ✓ 0% des forages qualité douce.
- ✓ 8.1% des forages de qualité modérément douce.
- ✓ 8.1% des forages de qualité assez douce.
- ✓ 59.5% des forages de qualité dure.
- ✓ 24.3% des forages de qualité très dure.

Donc ces eaux on les considérer comme des eaux dure, ceci peut être expliquée dans la plupart des cas par la nature calcique des sols. Cette dureté élevée ne porte pas d’effet direct sur la santé. Elle prévienne la corrosion grâce au dépôt d’une couche protectrice dans les canalisations, mais peuvent présenter des inconvénients en terme de confort et de durée de vie des équipements ménagers : entartrage des tuyauteries, des chaudières, des appareils ménagers.

Tableau V.6 : Qualité de l’eau en fonction du TH (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

TH(F°)	Qualité de l’eau	Les forages
0 -7	douce	/
7-22	Modérément douce	F18, F19, F37
22-32	Assez douce	F20, F26, F23

32-54	Dure	F21,F22,F24,F25,F27,F28,F29,F30,F31,F32, F33,F34,F35,F36,F17,F16,F15,F14,F11,F10,F5,F4,
>54	Très dure	F1, F2,F3,F6,F7,F8 ,F9,F12 ,F13

V. 2. 5. Le calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un métal alcalinoterreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les eaux de bonne qualité renferment de 100mg/l de Ca^{2+} (RODIER et all, 2009).

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4 (ZIANI, 2009).

Tableau V. 7 : Résultats des mesures de calcium.

Points de prélèvement	Ca^{2+} (mg/l)						
F1	172.8	F11	147.2	F20	56.4	F29	72
F2	167.2	F12	133.6	F21	75.2	F30	63.6
F3	151.2	F13	281.6	F22	70.4	F31	102.4
F4	83.2	F14	114.4	F23	50.4	F32	120.4
F5	83.2	F15	99.2	F24	84	F33	77.6
F6	225.6	F16	103.2	F25	84	F34	88.8
F7	177.6	F17	110.4	F26	47.2	F35	129.6
F8	120	F18	56.8	F27	104	F36	133.6
F9	136	F19	64.8	F28	125.6	F37	42.8
F10	121.2						

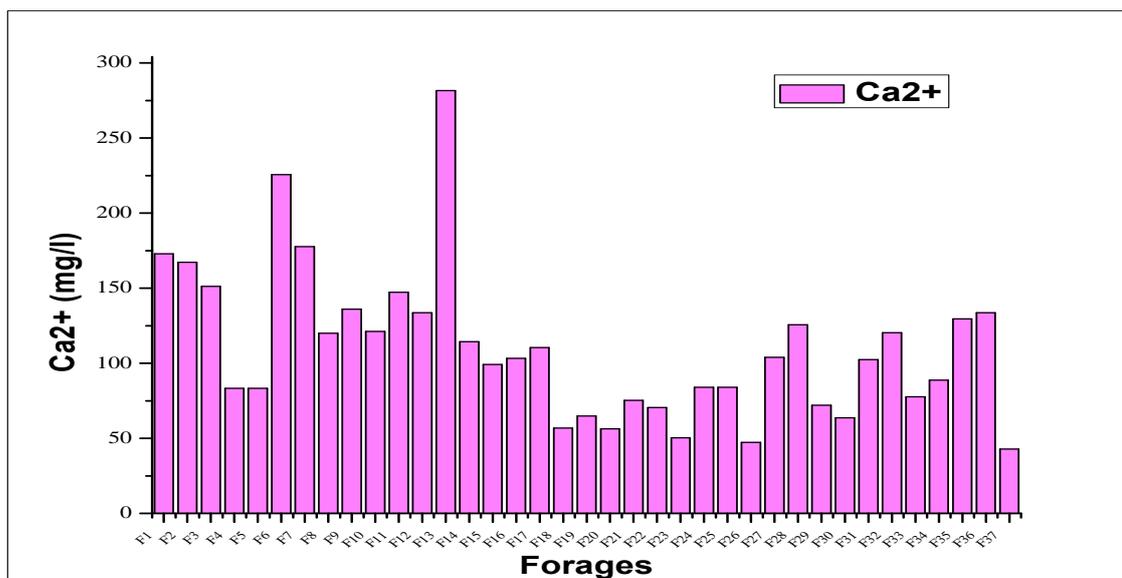


Figure V.5 : Histogramme représentatif des variations de calcium des forages étudiés.

Dans nos échantillons d'eau, les teneurs en calcium varient de 42.8 mg/l à 281.6 mg/l (Tableau V.7 et Figure V.5) dont le maximum est enregistré au niveau de forage F13 avec 281.6 mg/l et le minimum au niveau de F37 avec 42.8 mg/l. Les 37 forages étudiés ont tous une teneur en calcium inférieure à la valeur édictée par la NPA et l'OMS qui est de 200 mg/l. Sauf les deux forages F6 et F13 qui dépassent ces normes. Ceci peut être expliqué par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

V.2.6. Les chlorures (Cl⁻)

La source principale des chlorures dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites.

L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportion très variables. Leur teneur augmente avec le degré de minéralisation de l'eau. Il constitue un bon indicateur de la pollution naturelle ou anthropique (RODIER et al., 2009), et une dose forte laisse un goût désagréable et salé (ADE, 2015).

Tableau V. 8 : Résultats des mesures de chlorure.

Points de prélèvement	Cl ⁻ (mg/l)						
F1	276.9	F11	149.8	F20	60.4	F29	96.9
F2	170.9	F12	57.5	F21	67.8	F30	102.6
F3	192.4	F13	172.9	F22	54.3	F31	157.4
F4	298.2	F14	129.9	F23	41.2	F32	123.9
F5	298.2	F15	134.5	F24	195.8	F33	83.6
F6	230	F16	145.9	F25	195.8	F34	82.3
F7	138.3	F17	191.3	F26	76.7	F35	127.1
F8	185.3	F18	32.7	F27	130.3	F36	101.9
F9	234.5	F19	39.1	F28	48.3	F37	66.7
F10	125.7						

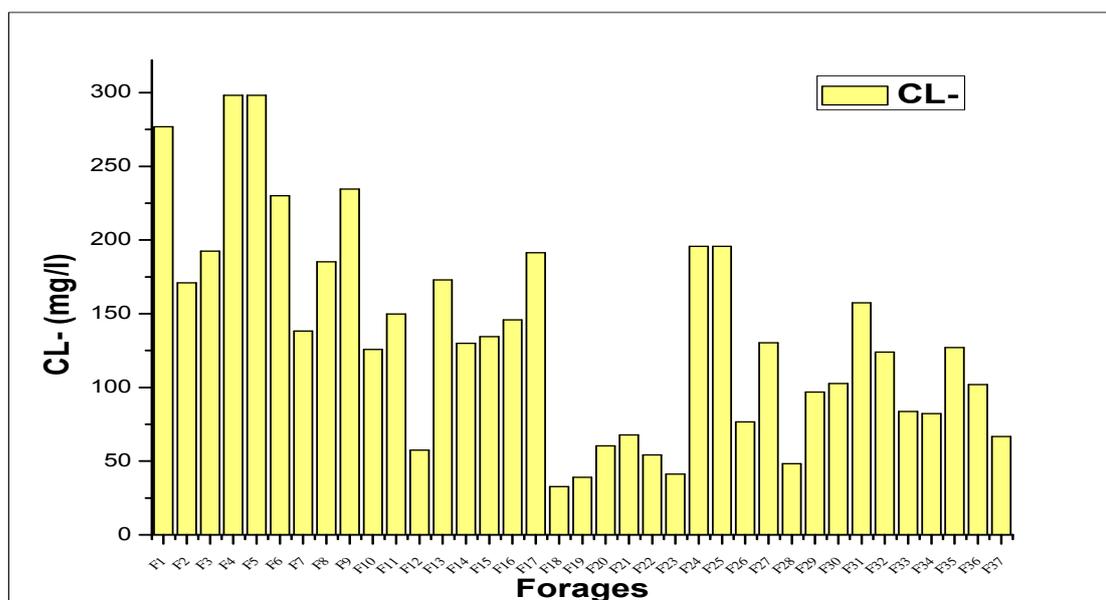


Figure V.6 : Histogramme représentatif des variations de chlorure des forages étudiés.

D'après la Figure V.6, les teneurs en chlorure varient entre 32.7 et 298.2 mg/l, dont la valeur maximale est enregistrée au niveau du F5 et la valeur minimale est enregistrée au niveau du F18 (le Tableau V.8).

V.2.7. Le magnésium (Mg²⁺)

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau (RODIER et al., 2009). Ses origines sont

comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium.

Tableau V. 9 : Résultats des mesures de magnésium.

Points de prélèvement	Mg ²⁺ (mg/l)						
F1	31.1	F11	33.6	F20	36.2	F29	37.9
F2	66	F12	44.5	F21	60.01	F30	39.7
F3	39.6	F13	119.6	F22	50.3	F31	58.3
F4	75.8	F14	29.4	F23	442	F32	39.2
F5	75.8	F15	32.5	F24	75.3	F33	56.7
F6	28.2	F16	45.04	F25	75.3	F34	32.3
F7	33.04	F17	43.4	F26	38.4	F35	16.5
F8	67.7	F18	12.6	F27	37.4	F36	41.3
F9	59.4	F19	11.2	F28	31.4	F37	25.4
F10	32.7						

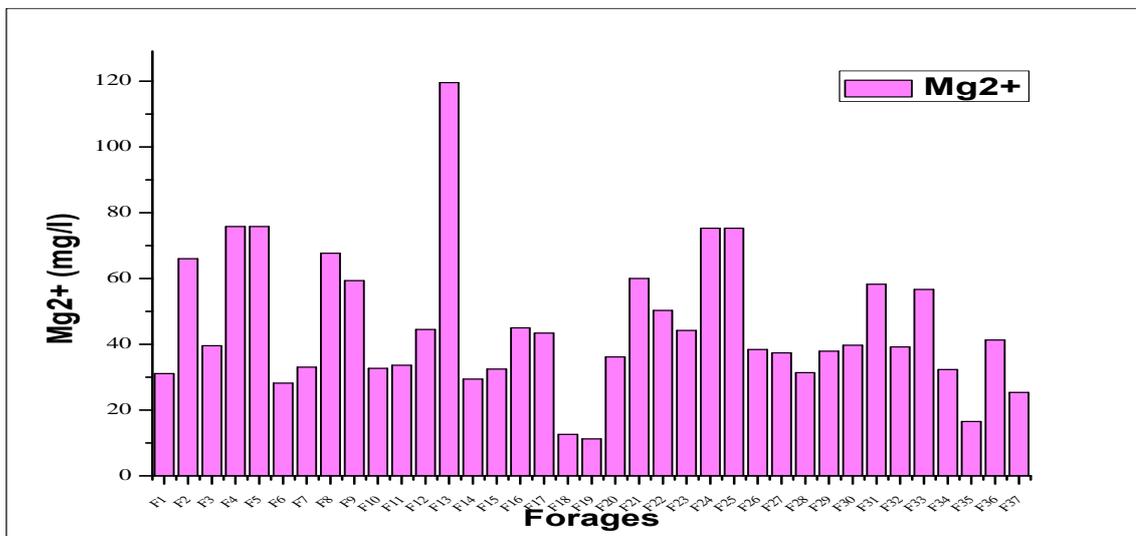


Figure V.7 : Histogramme représentatif des variations de magnésium des forages étudiés.

Les teneurs en magnésium des forges étudiés (Figure V.7) varient entre 11.2 et 119.6 mg/l, telle que la valeur maximale est enregistrée au niveau du F13 (119.6mg/l) et la valeur minimale est enregistrée au niveau du F19 (11.2 mg/l). Cette variation est causée par la composition des roches sédimentaires formées de carbonate de magnésium et de calcium. Mais ces valeurs restent nettement inférieures à la concentration maximale admissible qui est

de 150 mg/l édictée par la NPA et l'OMS. Donc les eaux de cette région répondent aux normes et ne présentent aucun danger sur la santé pour ce paramètre.

V.2.8. Les bicarbonates(HCO_3^-)

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en CO_2 dissous et la nature lithologique du sol. Le bicarbonate donne un goût agréable à l'eau et ne présente aucun risque pour la santé humaine ainsi qu'il agit sur l'acidité gastrique, et il permet de donner au sang un pH stable. Les eaux bicarbonatées sont bonnes pour les sportifs elles luttent contre l'acidité produite par le muscle lors de l'effort (RODIER et all, 2009).

Tableau V. 10 : Résultats des mesures de bicarbonate.

Points de prélèvement	HCO_3^- (mg/l)						
F1	242.8	F11	372.1	F20	261.1	F29	255.6
F2	334.3	F12	153.5	F21	346.5	F30	248.9
F3	340.4	F13	366.9	F22	319.6	F31	301.3
F4	335.5	F14	242.8	F23	264.7	F32	275.7
F5	335.5	F15	248.3	F24	314.8	F33	261.7
F6	245.2	F16	289.1	F25	314.8	F34	262.3
F7	172.02	F17	261.1	F26	272.1	F35	292.8
F8	322.1	F18	140.3	F27	223.3	F36	268.4
F9	498.9	F19	115.9	F28	279.4	F37	198.9
F10	317.8						

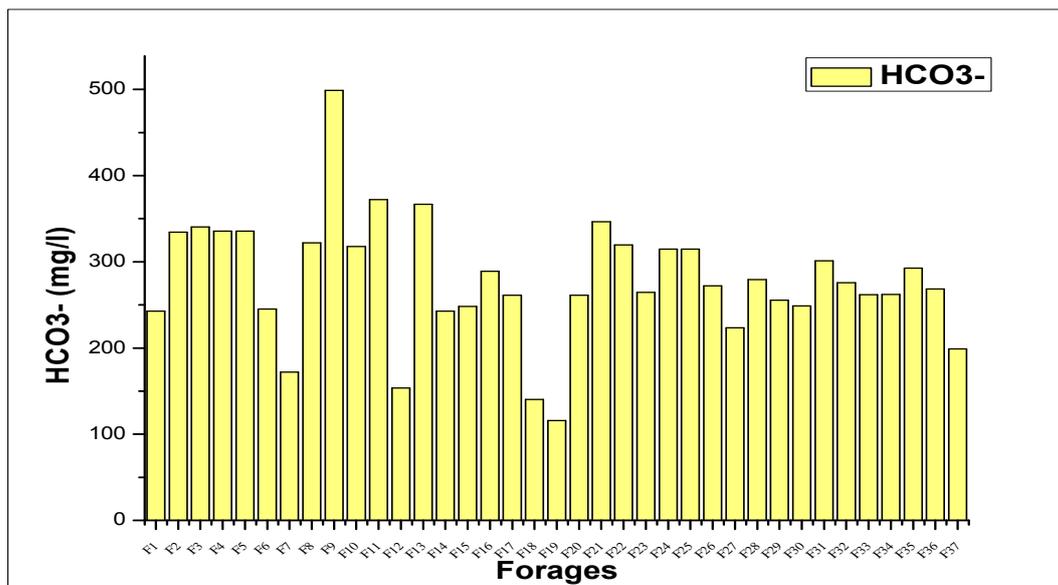


Figure V.8 : Histogramme représentatif des variations de bicarbonate des forages étudiés.

Les résultats des analyses des échantillons d'eau de notre zone d'étude sont généralement moyens car ils varient de 115.9 à 498.9 mg/l, dont le maximum est pour F9 (498.9 mg/l) et le minimum est pour F19 (115.9 mg/l). Ces valeurs sont conformes à la NPA (600mg/L). Ces eaux sont considérées non bicarbonatées car la teneur de ($\text{HCO}_3^- < 600 \text{ mg/l}$) selon CEE (CEE, 2009). La présence de cet élément dans les eaux de surface est liée à la dissolution des formations calcaires existant dans la zone d'étude.

Remarque: selon les normes OMS les bicarbonates n'ont pas de norme précise

V.2.9. Les sulfates (SO_4^{2-})

Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfures, sulfates et soufre élémentaire) (PECK, 1970). La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, provenant de l'oxydation des minerais de sulfites (sulfate de sodium, de magnésium et de calcium), de la présence de schistes, de déchets industriels et de l'utilisation d'engrais chimiques (DELISE, 1977)

Tableau V. 11 : Résultats des mesures des sulfates.

Points de prélèvement	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Points de prélèvement	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Points de prélèvement	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Points de prélèvement	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
F1	76.6	F11	71.5	F20	61.1	F29	119.2
F2	54.03	F12	59.4	F21	50.3	F30	103.7
F3	39.2	F13	1101.9	F22	43.1	F31	153.8
F4	42.1	F14	69.7	F23	38.2	F32	77.8
F5	42.1	F15	69.1	F24	42.9	F33	110
F6	236.3	F16	68.7	F25	42.9	F34	81.3
F7	162.8	F17	50.6	F26	18.1	F35	39.1
F8	207.8	F18	48.7	F27	110.7	F36	184.8
F9	248.8	F19	61.9	F28	153.6	F37	113.8
F10	41.4						

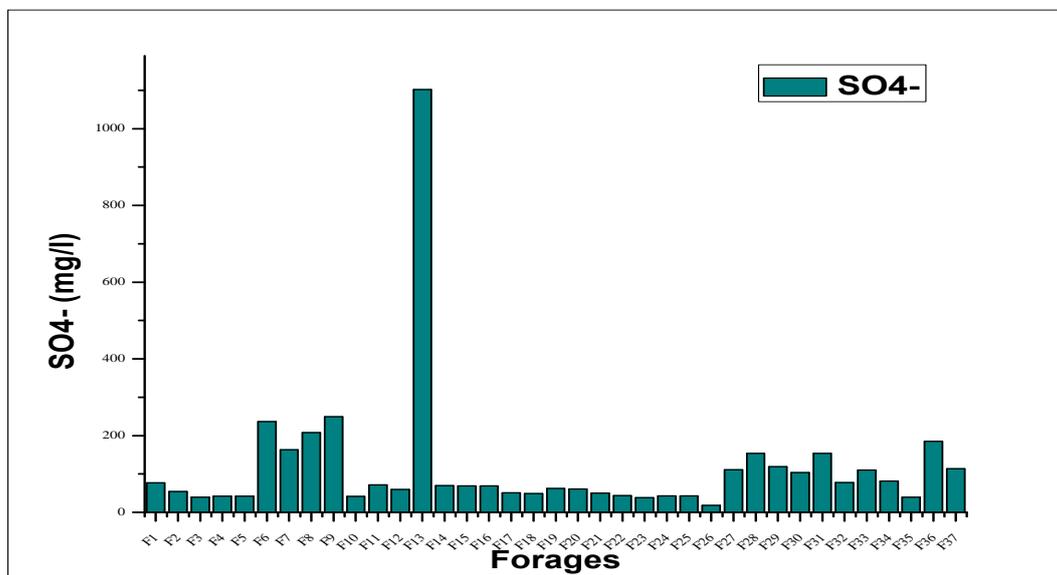


Figure V.9 : Histogramme représentatif des variations des sulfates des forages étudiés.

Les valeurs de ce paramètre pour les eaux étudiées sont très variables (voir la Figure V.9) et oscillent entre 18.1 et 1101.9mg/l (F13). Ces valeurs respectent la NPA (400mg/l) et l'OMS (250mg/l) à l'exception de (F13) qui présente un taux très élevé 1101.9 mg/l de sulfates qui donne un gout amer, un gout médical à l'eau. Cela rend désagréable la consommation de l'eau, ainsi que des importantes concentrations en sulfates peuvent être corrosives pour les tuyauteries en particulier les tuyauteries en cuivre.

Cette variation peut être due à la présence de certains minéraux comme le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse).

V.2.10. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates ont une toxicité indirecte par le fait qu'ils se transforment en nitrites (GHZALI et ZAID, 2013). Alors une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée une détérioration de la qualité de cette eau (RODIER et all, 2009).

Tableau V. 12: Résultats des mesures de nitrate.

Points de prélèvement	NO_3^- (mg/l)						
F1	39.1	F11	19.7	F20	8.5	F29	3.5
F2	50.6	F12	59.4	F21	14.7	F30	0.73
F3	52.8	F13	8.6	F22	10.01	F31	5.9
F4	2.2	F14	11.8	F23	5.9	F32	2.8
F5	2.2	F15	25.3	F24	15.6	F33	7.09
F6	110.8	F16	6	F25	15.6	F34	8.9
F7	110.8	F17	16	F26	10.8	F35	91.03
F8	14.2	F18	8.5	F27	35.3	F36	18.9
F9	8.2	F19	12.1	F28	12.8	F37	1.2
F10	66.5						

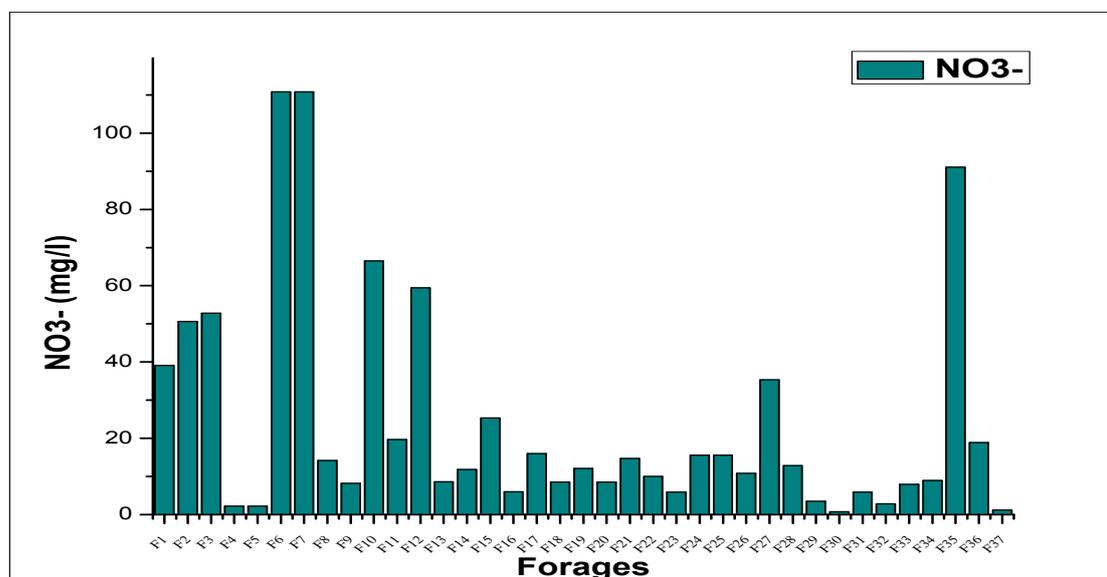


Figure V.10: Histogramme représentatif des variations de nitrate des forages étudiés.

Au niveau de la région étudiée, les teneurs en nitrates varient de 0,73 mg/l pour (F30) à 110.8 mg/l pour (F6 et F7). Dans l'ensemble, ces valeurs restent inférieures à la valeur

admissible par la norme OMS et NPA qui est de 50 mg/l à l'exception de 7 forages (F6, F7, F2, F3, F10, F12 et F35) (voir le Tableau V.10) qui dépassent la valeur maximale admissible. Ces fortes teneurs peuvent, par la modification des propriétés de l'hémoglobine du sang, empêcher un transport correct de l'oxygène par les globules rouges (la méthémoglobinémie). Chez la femme enceinte et les bébés moins de 6 mois, cette maladie, provoque des cyanoses parfois très graves.

Cette variation peut être expliquées par des rejets des eaux usées, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture.

V.2.11. Le sodium (Na⁺)

Le cation sodium (Na⁺) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite). Il est très soluble dans l'eau.

Les eaux pauvres en sodium sont conseillées en cas d'hypertension ou de rétention d'eau.

Tableau V. 13: Résultats des mesures de sodium.

Points de prélèvement	Na ⁺ (mg/l)						
F1	37.6	F11	44.4	F20	23.8	F29	38.6
F2	39	F12	/	F21	20.8	F30	56.4
F3	46	F13	120	F22	19.4	F31	56.8
F4	107.2	F14	42	F23	28.8	F32	55.4
F5	107.2	F15	37.6	F24	56.8	F33	32.6
F6	53.2	F16	44	F25	56.8	F34	26.6
F7	31.5	F17	50.8	F26	28.6	F35	44.4
F8	57.2	F18	29.2	F27	37.1	F36	40
F9	69.4	F19	23.8	F28	21.8	F37	54
F10	45.2						

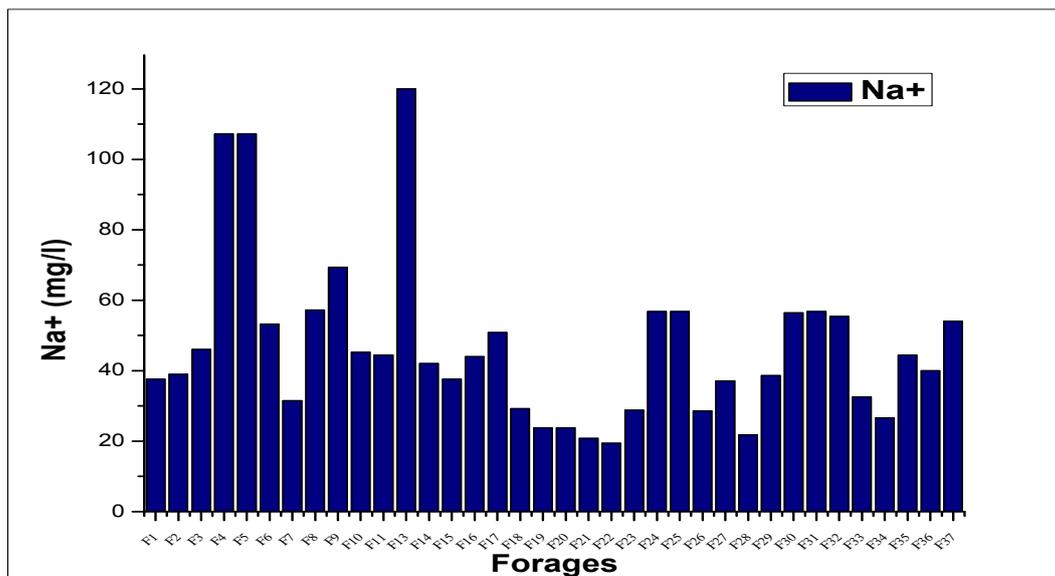


Figure V.11 : Histogramme représentatif des variations de sodium des forages étudiés.

L'analyse en ions sodium des échantillons d'eau sur l'ensemble des forages étudiés nous donne des teneurs allant de 19.4 à 120mg/l (Tableau V.13). La valeur maximale est enregistrée au niveau du F13 et la valeur minimale est enregistrée au niveau du F22. Ces valeurs restent nettement inférieures aux normes d'OMS et de la NPA (200mg/L), Donc ces eaux sont potable et ne présentent aucun danger sur la santé pour ce paramètre.

Cette variation liée au lessivage des dépôts évaporitiques et ceci par des phénomènes de lessivage et la dissolution des minéraux salifères.

V.2.12. Le potassium (K⁺)

Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante, dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l (RODIER, 1976).

Tableau V. 14 : Résultats des mesures de potassium.

Points de prélèvement	K ⁺ (mg/l)						
F1	1	F11	1.3	F20	1.4	F29	2.9
F2	0.9	F12		F21	1.5	F30	4
F3	0.9	F13	2.3	F22	1.9	F31	2.5
F4	2.3	F14	0.9	F23	1.1	F32	2.1

F5	2.3	F15	1	F24	1.7	F33	1.8
F6	0.6	F16	1.4	F25	1.7	F34	2.1
F7	1.3	F17	1	F26	1.7	F35	1.3
F8	2.3	F18	1.3	F27	1.2	F36	0.7
F9	2.6	F19	1.3	F28	0.8	F37	3.3
F10	1.3						

Les résultats des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude montrent un taux de Potassium assez faible (la figure V.12) qui varie entre 0.6 et 4mg/l, dont le maximum est enregistré au niveau de F30 avec 4mg/l et le minimum est enregistré au niveau du F6 avec 0.6 mg/l. Ces concentrations proviennent de l'altération des formations silicatées, des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques. D'après la réglementation algérienne le potassium dans l'eau ne doit pas dépasser 12 mg/l. Alors les eaux des forages étudiés sont conformes à la norme NPA, ce qui est sans danger pour la santé.

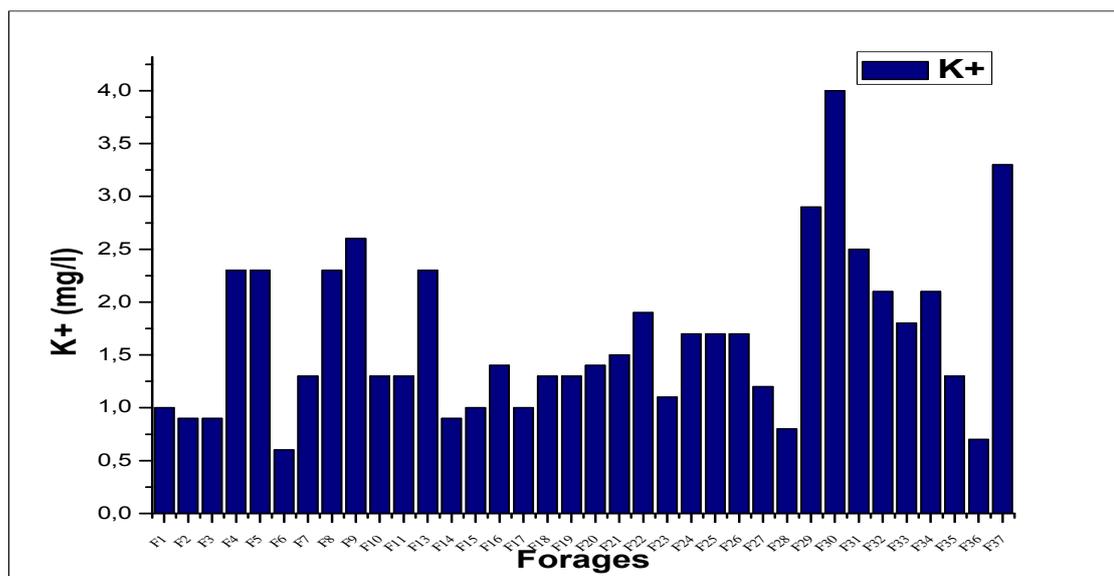


Figure V.12 : Histogramme représentatif des variations de potassium des forages étudiés.

V.2.13. Le titre alcalimétrique complet TAC

Le titre alcalimétrique complet correspond à la teneur en carbonates et hydrogéné-carbonates. Il permet de stabiliser le pH à la valeur recommandée, c'est ce que l'on appelle le pouvoir tampon.

Ce paramètre est déterminé seulement pour 13 échantillons, présentés par le tableau V.15.

Tableau V. 15 : Résultats des mesures de TAC.

Points de prélèvement	TAC (mg/l)	Points de prélèvement	TAC (mg/l)
F1	19.9	F8	26.4
F2	27.4	F9	40.9
F3	27.9	F10	26.05
F4	27.5	F11	305
F5	28.5	F12	314.5
F6	20.1	F13	30.1
F7	141		

Les résultats des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude montrent un TAC qui varie entre 19.9 et 341.5 mg/l, le maximum est pour le F12 avec 314.5 mg/l et le minimum est pour le F1 avec 19.9 mg/l. Ces valeurs conformes aux normes de la NPA (500mg/l) et de l'OMS.

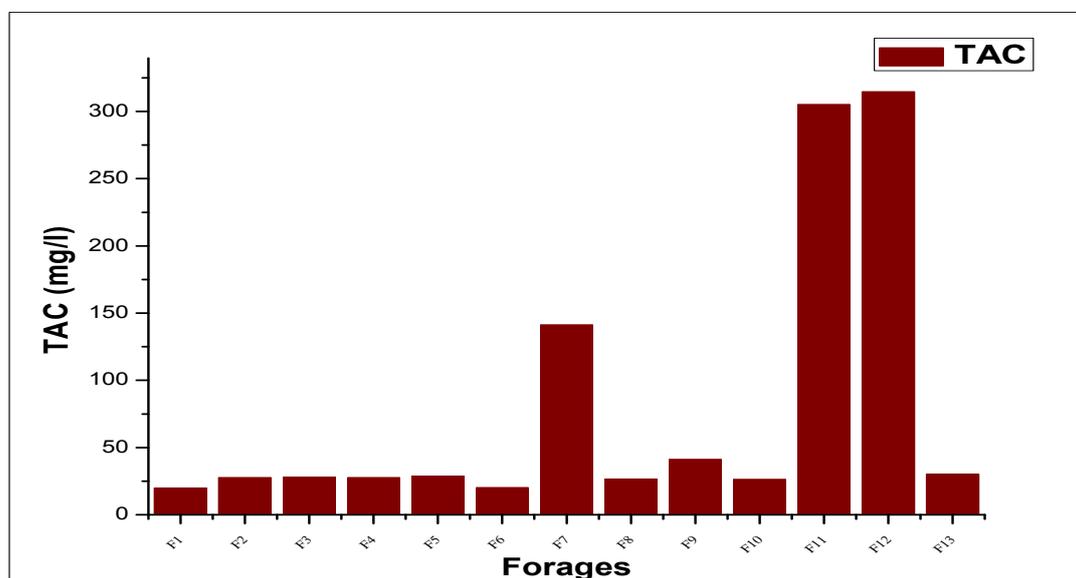


Figure V.13 : Histogramme représentatif des variations de TAC des forages étudiés.

V.3. 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-Berkalof, afin de mieux cerner les particularités des eaux étudiées.

V.3.1. Diagramme de PIPER

A partir du diagramme de piper présentés par les Figures V.14, 15, 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. D'après le diagramme global on peut ressortir deux faciès chimique :

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

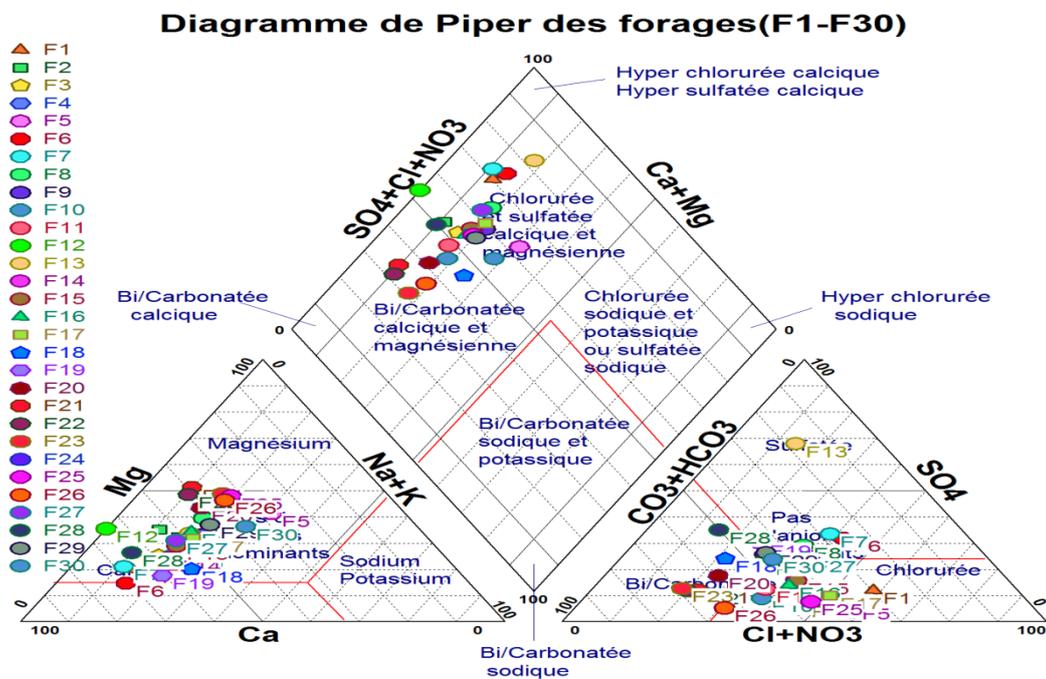


Figure V.14 : Classification des Forages (1-30) sur diagramme de PIPER

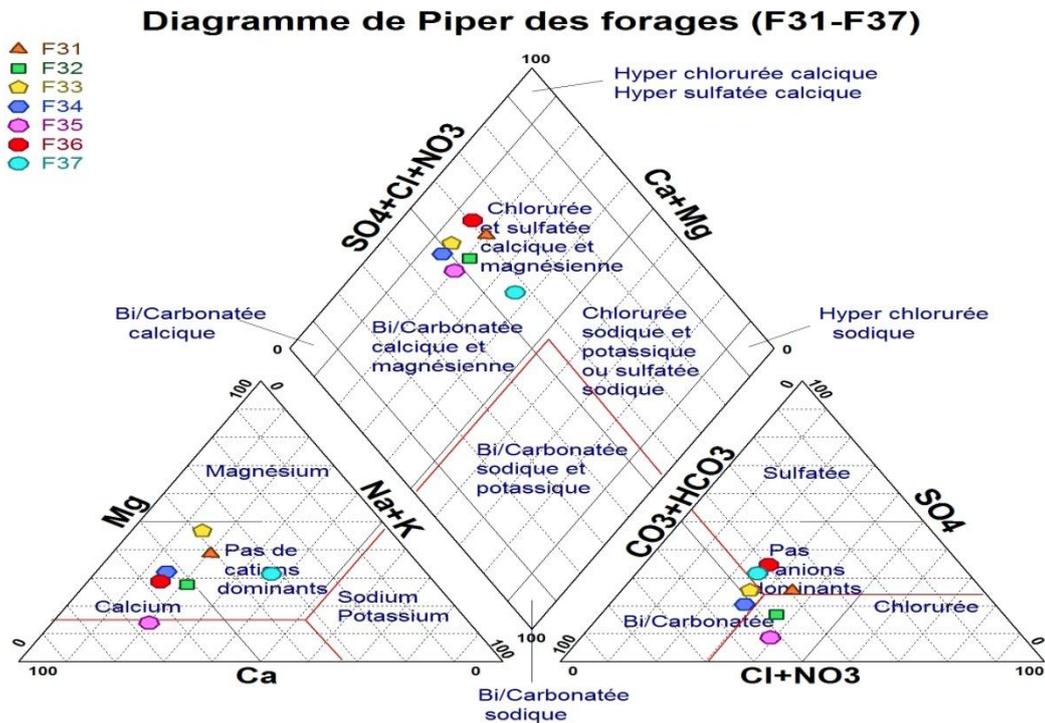


Figure V.15 : Classification des Forages (31-37) sur diagramme de PIPER

V.3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Les figures suivantes V.16, V.17 et V.18 présentent le diagramme de scholler-Berkaloff pour l'analyse des facies chimiques des eaux des 37 forages étudiés.

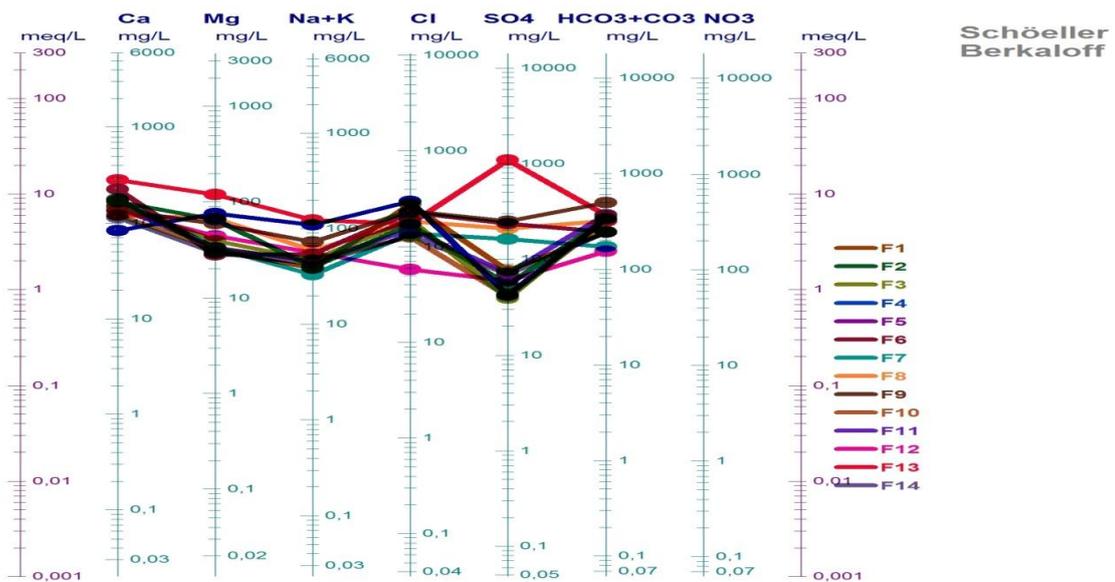


Figure V.16 : Représentation des résultats d'analyses (F1-F14) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff

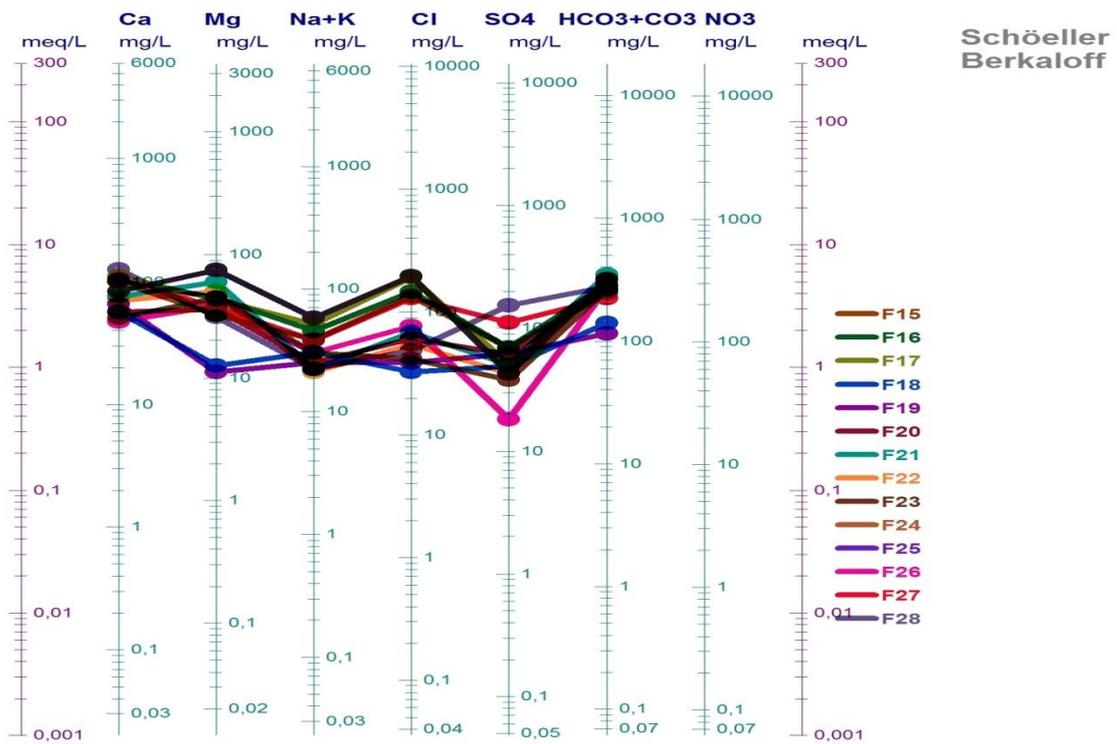


Figure V.17 : Représentation des résultats d’analyses (F15-F18) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff

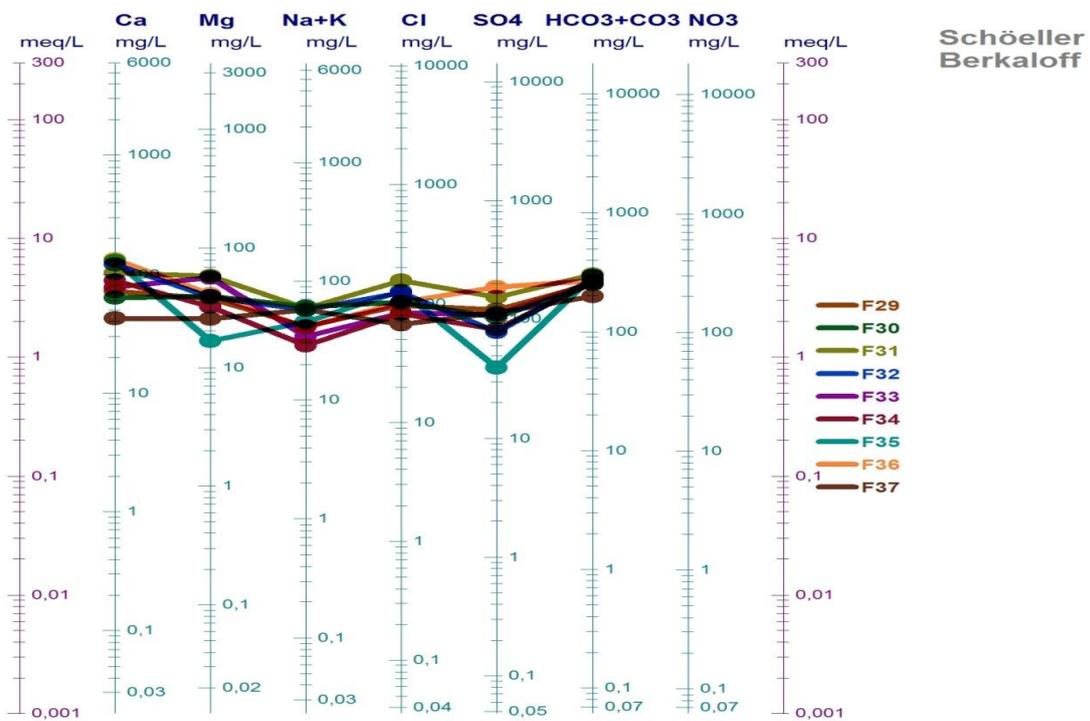


Figure V.18 : Représentation des résultats d’analyses (F29-F37) selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff

La représentation graphique des analyses des eaux selon ce diagramme semi-logarithmique nous indique que la majorité des eaux analysées présentent des maxima au niveau des pôles HCO_3 , Ca et Mg.

En premier ordre le faciès Bicarbonaté Calcique magnésiennes et présentent un grand pourcentage d'échantillons, et en deuxième ordre le faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes c'est le plus dominant.

L'analyse de diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF pour les 37 forages étudiés confirme les faciès trouvé dans le diagramme de PIPER.

V.4. Calcul de l'indice de contamination (IC)

Le calcul de l'indice de contamination des eaux souterraines basé sur la concentration des ions majeurs (K^+ ; Na^+ ; SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) qui sont considérés comme des indicateurs de pollution.

Cet indice on peut le déterminer par la relation suivante :

$$\text{IC} = \sum ci$$

Exp : IC (F1) = 5+3+3+1+1 = 13 (tableau V.16)

Tableau V.16 : Classes en fonction des concentrations des inions majeurs

Concentration des ions Classes	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Na^+	K^+
1	<13	<25	<120	<80 F1	<80 F1
2	13-18	25- 50	120- 240	80 -160	80 -160
3	18 -23	50 -100 F1	240 -400 F1	160- 200	160- 200
4	23- 30	100- 120	400 -600	200 -300	200 -300
5	>30 F1	>120	>600	>300	>300

Tableau V.17 : L'IC et la vulnérabilité à la pollution des eaux des forages

IC	IC<12	12<IC<15	IC>15
Vulnérabilité à la pollution	faiblement sensible à la pollution	moyennement sensible à la pollution	fortement sensible à la pollution
Les forages	F3, F4, F5, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19, F20, F21, F22, F23, F24, F25, F26, F28, F29, F30, F31, F32, F33, F34, F35, F36, F37.	F1, F2, F6, F7, F27.	/

D'après le tableau ci-dessus, on peut conclure que les eaux des forages étudiés sont faiblement sensible à la pollution sauf les cinq forages F1, F2, F6, F7 et F27 qui sont moyennement sensible à la pollution.

V.5. Conclusion

L'étude de la qualité des eaux des 37 forages étudiée pour la consommation humaine selon les normes d'OMS et de la NPA montre que ces eaux ont des caractéristiques physico-chimiques relativement variables ; une température allant de 13.8 à 23.4 °C et qui signifie que ces eaux sont non thermales. Un pH de 6.8 à 7.9 et qui signifie que ces eaux sont dans l'intervalle de neutralité et une conductivité électrique oscillant de 17.6.5 à 2515 µs/cm ce qui signifie que sont des eaux conductrices qui implique une forte minéralité. Et une dureté de 19.4 °F à 120 °F qui signifie que sont des eaux dure.

La majorité de ces eaux sont utiles à l'alimentation en eaux potable consommable sauf quelques-uns à cause des teneurs qui dépasse les normes de potabilité.

On peut classer ces eaux par calcique dans les Forages F6 et F13, et sulfatées dans le Forage F13 qui donne un gout amer et un gout médical à l'eau

On note aussi une forte teneur en nitrates dans les forages F2, F3, F6, F7, F10, F12, F35 ce qui résume la pollution de ses source. Cette dernière est souvent d'origine agricole et résultat des engrais azotés, dans ce cas cette contamination est dite diffuse. La pollution en nitrate produire des problèmes de santé comme la maladie méthémoglobinémie. A cet effet il faut appliquer des traitements spécifiques, tels que la dénitrification biologique (utilisation de

bactéries transformant les nitrates en azote gazeux) ou la dénitrification par échange d'ions (emploi d'une résine qui absorbe les nitrates de l'eau qui la traverse en libérant, en échange, des ions chlorures), pour éliminer les nitrates présents dans les sources.

Les représentations des analyses chimiques des eaux sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, montrent que la qualité des eaux est caractérisées par deux faciès chimiques :

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

D'après les valeurs de l'indice de contamination on remarque que l'ensemble des forages sont faiblement vulnérable à la pollution à l'exception de (F1, F2, F6, F7 et F27) qui sont moyennement sensible à la pollution.

CONCLUSION GENERALE
ET
RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

L'eau souterraine est d'une importance capitale dans la plupart des régions du monde. Mais le risque de contamination de cette ressource en eau est un problème environnemental croissant.

Notre étude a été réalisée dans le but d'évaluer la qualité Physico-chimique des eaux souterraines de la plaine du sahel située dans la wilaya de Bouira.

L'étude hydro-chimique a été effectuée à travers l'analyse des paramètres physico-chimiques appliquée sur 37 échantillons au niveau de laboratoire central d'ADE de Bouira pendant l'année 2016.

Les résultats des analyses montrent une variation des taux et des teneurs mesurées des paramètres étudiés, ainsi que ces eaux sont des eaux non thermales ($T < 25$ °C), neutre ($6.8 < \text{pH} < 7.9$), conductrices et dure.

Au terme de cette étude, les paramètres analysés sont conformes aux normes de potabilité de la NPA et d'OMS pour la majorité des forages, Une exception faites pour les 4 paramètres suivants qui dépassant légèrement ces normes :

- Le calcium pour F6 et F13.
- Les sulfates pour F13.
- Le TH pour F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F11, F12, F13 et F36.
- Les nitrates pour F6, F7, F2, F3, F10, F12 et F35.

La classification des eaux souterraines de cette région selon les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff montre l'existence de deux faciès chimiques, l'un est le Chloruré sulfaté calcique et magnésiennes et l'autre est le Bicarbonaté calcique et magnésienne.

Le calcul de l'indice de contamination (IC) indique que l'ensemble des forages sont faiblement vulnérable à la pollution à l'exception de F1, F2, F6, F7 et F27 qui sont moyennement sensible à la pollution.

Conclusion générale et recommandations

Dans l'ensemble, les eaux du Sahel sont bonnes à admissibles et peuvent alors être utilisées à la consommation humaine comme à l'irrigation.

En fin, cette étude a donné des résultats certes intéressants mais méritent d'être complétés par d'autres investigations notamment une étude des paramètres chimiques de pollution, les métaux lourds, les pesticides ainsi qu'une étude bactérienne. Ces travaux permettront de disposer d'une base de données pour un suivi de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région.

Recommandations

La préservation des eaux souterraines vient en premier lieu. Pour cela, nous préconisons :

- Le recensement de toutes les unités polluantes existantes dans le plateau de sahel afin d'apprécier l'impact des rejets sur la qualité chimique des eaux souterraines.
- Le suivi lors de l'épandage des pesticides et des fertilisants dans le plateau des zones les plus vulnérables et le respect des normes d'utilisation des engrais.
- La mise en place d'un plan d'évacuation des eaux usées d'origine urbaine et industriel.
- Le développement de l'agriculture biologique par l'intégration des microorganismes du sol, ce type d'agriculture minimise l'utilisation des engrais ammonitrates qui produisent de l'azote (origine des nitrates) et les engrais phosphopotassiques.
- Pour les eaux présentant des concentrations en nitrates dépassant régulièrement la valeur de 50 mg/l, un traitement d'élimination des nitrates (dénitratation) doit être mis en oeuvre lorsqu'il n'existe pas de solution alternative (nouvelle ressource, raccordement à un autre réseau d'adduction) permettant de remédier à la situation dans un court délai.

RESUME

Résumé

Dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique ainsi que la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine du bassin versant de Sahel (wilaya de Bouira), des analyses physico-chimiques ont été effectuées au niveau de laboratoire central de l'ADE de Bouira sur les de 37 forages d'eau durant l'année 2016. Les résultats obtenus de cette analyse montrent que les eaux de la majorité des forages sont bonnes à admissibles conformément aux recommandations des normes de potabilité de la NPA et de l'OMS, ainsi qu'ils sont caractérisés par deux faciès chimiques (Chloruré sulfaté calcique et magnésiennes et Bicarbonaté calcique et magnésienne) avec une faible vulnérabilité à la pollution à l'exception de quelques forages qui sont moyennement sensible à la pollution.

Mots clés : Qualité physico-chimique, vulnérabilité à la pollution, bassin de Sahel, Eaux souterraines, forages.

Abstract

In order to assess the physicochemical quality as well as the vulnerability to groundwater pollution of the basin Sahel (wilaya of Bouira), physicochemical analyzes were carried out at the central laboratory of the ADE in Bouira on 37 samples of water during the year 2016. The results obtained from this analysis show that the water from the majority of boreholes is good to admissible in accordance with the recommendations of the drinking water standards of the NPA and OMS, as well as characterized by two chemical facies (Chloride sulphate calcium and magnesium and Bicarbonate calcium and magnesia) with low vulnerability to pollution with the exception of some boreholes which are moderately sensitive to pollution.

Key words: Physico-chemical quality, vulnerability to pollution, Sahel basin, Groundwater, boreholes

ملخص

من اجل تقييم الجودة الفيزيو-كيميائية و كذا قابلية التعرض لتلوث المياه الجوفية في حوض الساحل (ولاية البويرة) ، تم اجراء تحاليل فيزيو- كيميائية ل37 عينة من المياه سنة 2016 في المختبر المركزي للجزائرية للمياه لولاية البويرة . تظهر النتائج التي تم الحصول عليها من هذا التحليل أن نوعية مياه غالبية الآبار الارتوازية جيدة الى مقبولة وفقاً

لمجموعة من معايير صلاحية شرب المياه الجزائرية و معايير منظمة الصحة العالمية ، وكذلك تتميز بسطحين كيميائيين (كلوريد الكالسيوم وكبريتات المغنيزيوم وبيكربونات الكالسيوم والمغنيزيوم) مع قابلية منخفضة للتلوث باستثناء بعض الابار التي تعتبر حساسة بشكل متوسط للتلوث.

الكلمات المفتاحية : الجودة الفيزيو-كيميائية ,حوض الساحل, المياه الجوفية , الابار الارتوازية.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie

A

[Anonyme 1] : <https://ritme.com/fr/logiciels/origin/>

[Anonyme 2]: <https://Esri France.com/fr/>

[Anonyme 3]: <https://french.alibaba.com/>

[Anonyme 4]: <https://www.aqua-store.fr/>

[Anonyme 5]: <https://www.pce-france.fr/>

[Anonyme 6]: <http://www.environnement.brussels/presse>

[Anonyme 7]: <http://www.grobec.org/>

[Anonyme 8]: <https://spc.pf/file/3jpg/>

[Anonyme 9]: <https://www.otf.com/fr-fr/>

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

ABERKANE, M. (2011). évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'un écosystème lacustre cas de Garaet hadj Tahar (Skikda), Université 8 Mai 1945 Guelma.

ADE. (2015). Formation continue en entreprise: Norme de qualité d'une eau de boisson, N°T22, Tizi Ouzou, 75P.

ADE, Bouira. ALGÉRIENNE DES EAUX . (s.d.). Bouira, Algerie: ALGÉRIENNE DES EAUX.

AICHAOUL, Z. (2016). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la fraction d'Ouled Belgacem (commune d'Ain Sultane, W. d'Ain defla) Mémoire de Master en Hydraulique Agricole. Université Djilali Bounaama de KhemisMiliana.

AIT OUYOUB, N. E. (2001). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluviale de la basse Soummam. Mémoire d'ingénieur en Hydrogéologie USTHB, Alger.

AIT-BOUGHROUS, A. (2007). Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech, thèse doctorat, université Cadi Ayyad faculté des sciences Semlalia Marrakech.

B

- BACHA, N. (2010).** influence de paramètres réactionnels sur la stoechiométrie sulfate d'aluminium /substances aromatiques acides dans des eaux a minéralisation variable. Mémoire de Magister. Université Mohamed Khider – Biskra, 6p.
- BAKALOWICZ, M. (1974).** Géochimie des eaux aquifères karstiques. I. Relation entre minéralisation et conductivité, Ann, Spéléol., 29, 2 : 267– 282.
- BECHROUNE, A. (2011).** Elaboration d'une base de données Hydrologique du Bassin Versant de la Soummam via le modèle hydrologique HEC-HMS. Thèse de Magister.Département d'Hydraulique,Université Abderrahmane Mira de Bejaia.
- BENNABI, M. (1985).** Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel- Soummam (Algérie). Hydrologie. Universite Scientifique et Médicale de Grenoble, Français.
- BOUANANI, A. (2004).** Hydrogéologique par prospection géophysique dans la région de Bouira et dans la vallée de l'oued Sahel . DHW,Bouira.
- BOUNIN, J. (1982).** Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Edition. Eyrolles.P :23-33.
- BOUTOUGA, F. (2012).** Ressources et essai de gestion des eaux dans le Zeb Est de Biskra. Thèse de Magister en ingénierie des ressources en eau. Université Badji Mokhtar Annaba Algérie.

C

- CASTANY, G. (2008).** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod.
- CEE. (2009).** Directives /54/CE du parlement Européen et du conseil du 18 juin 2009 relative a l'exploitation et à la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles, Journal officiel de l'Union Européenne, L164/45 du 26/06/2009].
- CHAPMAN.D, K. (1996).** Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring,Chapman edition, 2nd ed. E & FN SPON; London; pp 59-126.
- CHARIFI, S. (2006).** Application du modèle hydrologique GR2M sur les bassins versants. Mémoire de Magister, ENP, Alger. 143 pages.
- CHIKHI,T. (2016).** Modélisation de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Sahel (Soummam) ; Université Mohamed Boudiaf - M'Sila.
- CSP. (1991).** Code de la Santé Publique .Les Eaux destinées à la consommation humaine, Ministère des Affaires Sociales et de la Solidarité.

D

DELISE, S. C. (1977). The effect of sulphur on water and aquatic life in Canada. Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment. NRCC, n°. 15015, Centre National des recherches du Canada, Ottawa.

E

EBLIN, S & SOMBO, A. (2014). Hydrochimie des eaux souterraines de la région D'adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire), Larhyss journal, issn 1112-3680, n°17, pp. 193-214.

ELIE SAURET, S. (2005). Caractérisation hydro chimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du mouhoun : provinces des Banwa, des Balles, du mouhoun et de la Kossi (BURKINA FASO), Mémoire de fin d'études d'ingénieur géologue.

G

GHZALI, A et ZAID, D. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de la ressource Ain-Salama-Jerri (région de Meknes-Maroc), journal Lahryss N°12, janvier 2013.

H

HCEFLCD. (2006). Haut Commissariat Aux Eaux et Forêt et la Lutte Contre la Désertification. Etude sur la pisciculture au barrage Almassira ; CR de CHAFAAI ; Cercle d'ELBROUGE ; Province de Settat ; 201p.

I

ISO. ISO (Organisation internationale de normalisation):

- ISO N° 5667, 2003.
- ISO N° 6878, 2004.

J

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

K

KUITCHA, D., & TAKOUNJOU, A. (2013). L'hydrochimie et l'isotope de l'environnement à la connaissance des ressources en eaux souterraines de Yaoundé, Cameroun Journal of Applied Biosciences 67:5194– 5208 ISSN 1997–5902.

L

- LADJEL, S. (2009).** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage T 7. Centre de formation en métiers de l'eau, Tizi Ouzou, 101 p.
- LANGBIN, W. (1947).** Topographic characteristics of drainage basins, United States, Geological Survey, Water Supply Paper 968-C.
- LOUP, J. (1974).** Les eaux terrestres. Hydrologie continentale, Editeur Masson, 175page, paris .

M

- MADI, R. (2010).** Potabilisation des eaux de consommation par photo Fenton, Mémoire d'Ingénieur, 9 p.
- Ministère de l'environnement de Quebec. (2001).** projet de connaissance des eaux souterraines du bassin de la rivière Bécancour et de la MRC de Bécancour. Récupéré sur Ministère de l'environnement du Quebec.
- MISEREZ, J. (1973).** Géochimie des eaux du karst jurassien, Thèse doctorat, Université Neuchatel, 299p.
- MUSY, A. E. (2004).** Hydrologie, une science de la nature, Coll. Gérer,l'environnement Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, ISBN2-88074-546-2, 314 pages.
- MYRAND, D. (2008).** Ing, m. sc, guide technique, captage d'eau souterraine pour des résidences isolées.

N

- NAYLA, H. (2019).** Water Quality Parameters [Online First], IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.89657.

Norme Française:

- NF T 90-003
- NF T 90-036

O

- OULDFAH, M. (2015).** Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master; Faculté de Technologie Université Mohamed Boudiaf - M'sila.

P

PECK, H. (1970). Sulphur requirements and metabolism of microorganisms. Proceedings of a symposium on sulphur in nutrition. D.H. Muth & J.E. Oldfield. Ari Publishing Co., Westport, CT.

PESCOD, M. (1985). Design; operation and maintenance of waste water stabilization ponds in treatment and use of sewage effluent for irrigation. Ed Pescod and Arar, 93-114.

R

RENE, B. (1999). consultation publique sur la gestion de l'eau au Québec, les eaux souterraines, bureau d'audiences publiques sur l'environnement.

RODIER, J. (1976). l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaires ; eaux de mer ; édition Dunod.

-RODIER, J. et al. (1976). 8ème édition ; pages (945 à 1075).

- RODIER, J. et al. (1996).

- RODIER, J. et al. (2009).

T

Tremblay, L. (1995). La production des trihalométhanes dans les systèmes de distribution d'eau potable au Québec.

V

VLAGINES, R. (2003). Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. 2ème Edition : Tec et Doc. Lavoisier. 3p.

Y

YOURASSOWSKY, C., & VILLERS, J. (2005). Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général, Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement.

Z

ZIANI, D. (2009). Impact de la pollution agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifère de Ain djasser est Algérien. Thèse de magister, Université Batna, 156 p.

ANNEXES

Annexe 01 : Le Bassin versant

Le bassin versant est la surface réceptrice des eaux précipitées qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe (Figure V.1) ; on le définit par sa morphométrie, ses caractères climatiques, sa géologie, sa végétation et ses sols.

Le bassin versant est donc un espace drainé par un cours d'eau et ses affluents, toutes les eaux dans cet espace s'écoulent vers un même point appelé l'exutoire, il est limité par la ligne de partage des eaux (LOUP, 1974).



Figure X.1 : Le bassin versant (Ministère de l'environnement de Québec, 2001).

Annexe 02 : Conservation des prélèvements

Tableau X.1 : Conservation des prélèvements (ISO, 2003)

Paramètre	Délais et la température de conservation	Paramètre	Délais et la température de conservation
Le pH	De 1 à 5C°, 6h	Les nitrates	De 1 à 5C°, 24h
La conductivité	De 1 à 5C°, 24h	Le sodium et potassium	De 1 à 5C°, 1moi
La turbidité	De 1 à 5C°, 24h	Le calcium	De 1 à 5C°, 1mois
L'ammonium	De 1 à 5C°, 21h	Le TH	De 1 à 5C°, 1mois
Le nitrite	De 1 à 5C°, 24h	Le fer total	De 1 à 5C°, 1mois
Le phosphate	De 1 à 5C°, 1mois	Le manganèse	De 1 à 5C°, 1mois
Les sulfates	De 1 à 5C°, 1mois	L'aluminium	De 1 à 5C°, 1mois

Les chlorures	De 1 à 5C°, 1mois	Les métaux lourds	De 1 à 5C°, 1mois
Le TA et TAC	De 1 à 5C°, 24h	Le résidus sec	De 1 à 5C°, 2j

Annexe 03 : Méthode d'analyse les paramètres physico-chimiques

➤ **TH** (NF T 90-003)

- Prendre 50ml d'eau à analyser.
- Ajouté 2ml de NH₄OH.
- Ajouter Eriochrome noir.
- Titrer avec l'EDTA (0.02N) jusqu'au virage bleu.

Expression de résultat : TH (F°) = V (ml) × 2

➤ **Calcium** (NF T 90-003)

- Prendre 50ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2ml de NaOH.
- Ajouter de murexide.
- Titrer avec l'EDTA (0.02N) jusqu'au virage mauve.

Expression de résultat : Ca (mg /l) = V × 8

➤ **Magnésium**

Expression de résultat : Mg (mg/l) = (V TH – V Ca) × 4.86

➤ **TAC** (NF T 90-036)

- prendre 50ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes de méthyle orange.
- Titrer avec HCL (0.1N).

Expression de résultat : TAC(F°) = V × 10

➤ **Les bicarbonates**

Expression de résultat : HCO₃(mg/l) = TAC × 1 .2

➤ **Le Chlorure** (ISO N° 9297)

- Prendre 5ml d'eau à analyser .
- Ajouter 2 gouttes de K₂CrO₄ coloration jaune.
- Titrer avec Ag NO₃ à (0.01N) jusqu'à coloration brunâtre.

Expression de résultat : Cl (mg/l) = V × 71 × F

F : facteur de correction 0.9.

➤ **Les Sulfates**

- Prendre 20ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillé.
- Ajouter 5ml de solution stabilisante .
- Ajouter 2ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1min.
- L'apparition d'un trouble indique sa présence.
- Faire la lecture à 420nm au spectrophotomètre.

➤ **Les nitrates** (ISO N° 6878)

- Prendre 5ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 gouttes de NaOH à30%.
- Ajouter 0.5 ml salicylate de Na.
- Evaporer à l'étuve 75-88 °C ; laisser refroidir.
- Reprendre le résidu avec 1ml de l'acide sulfurique concentré ; laisser repose 10min.
- Ajouter 7.5ml d'eau distillée.
- Ajouter 7.5 ml de tartrate double de sodium et potassium.
- L'apparition de la coloration jaunâtre indique sa présence.
- Faire la lecture à 415nm au spectrophotomètre.

Annexe 04

Tableau X.2 : Les résultats d'analyses.

Forages	Forages	T (°C)	pH	C (us/ cm)	TH (° F)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	TAC
F1	F21 Sidi Ziane	20,6	7,1	1448	56	172,8	31,1	37,6	1	242,8	276,9	76,6	19,9
F2	F Thamer	15,6	6,9	1491	59,8	167,2	66	39	0,9	334,3	170,9	54,03	27,4
F3	F Djaada	16	7,1	1396	54,2	151,2	39,6	46	0,9	340,4	192,4	39,2	27,9
F4	F7 Taferka	21,2	7,2	17,64	52	83,2	75,8	107,2	2,3	335,5	298,2	42,1	27,5
F5	F12 Taferka	21,2	7,2	17,64	52	83,2	75,8	107,2	2,3	335,5	298,2	42,1	28,5
F6	Puit Ain El Beida	17,4	7,1	1767	68	225,6	28,2	53,2	0,6	245,2	230	236,3	20,1
F7	puit Ouled Zidane	17,6	7,1	1288	58	177,6	33,04	31,5	1,3	172,02	138,27	162,8	141
F8	F51 Mchedallah	17,9	7,1	1450	58	120	67,7	57,2	2,3	322,1	185,31	207,8	26,4
F9	F Ouled Bouali	15,3	7,5	1636	58,6	136	59,4	69,4	2,6	498,9	234,5	248,8	40,9
F10	F1 Guemgouma	15,9	7,02	1173,5	43,9	121,2	32,7	45,2	1,3	317,8	125,7	41,4	26,05
F11	F3 Al Asnam	13,8	6,9	1445	50,8	147,2	33,6	44,4	1,3	372,1	149,8	71,5	305
F12	F3 Bechloul	16,8	6,9	1654	63,2	133,6	44,5	/	/	153,5	57,5	59,4	314,5
F13	Puit Tarfa	23,4	7,2	2515	120	281,6	119,6	120	2,3	366,9	172,9	1101,9	
F14	F8 Harket	18,1	7,1	1141,5	40,8	114,4	29,4	42	0,9	242,8	129,9	69,7	
F15	F1 SidiZiane	18,6	7,1	1020	38,3	99,2	32,5	37,6	1	248,3	134,5	69,1	
F16	F16 Sidi Ziane	17,5	7,09	1092,5	44,6	103,2	45,04	44	1,4	289,1	145,9	68,7	
F17	F11 Ouadhia	19,4	7,1	1158,5	45,2	110,4	43,4	50,8	1	261,1	191,3	50,6	
F18	F1 Said Abid	21,6	7,2	854	19,4	56,8	12,6	29,2	1,3	140,3	32,7	48,7	
F19	F2 Said Abid	21	7,3	856	20,8	64,8	11,2	23,8	1,3	115,9	39,1	61,9	
F20	F5 Haizer	19,1	7,4	763	29	56,4	36,2	23,8	1,4	261,1	60,4	61,1	
F21	F1 Haizer	18,2	7,2	1055	43,5	75,2	60,01	20,8	1,5	346,5	67,8	50,3	
F22	F2 Haizer	18,7	7,3	935,5	38,3	70,4	50,3	19,4	1,9	319,6	54,3	43,1	
F23	F4 Taghzout	20,8	7,4	785	30,8	50,4	44,2	28,8	1,1	264,7	41,2	38,2	
F24	H12 taghzout	20,9	7,3	1404,5	40	84	75,3	56,8	1,7	314,8	195,8	42,9	
F25	H17 taghzout	21	7,3	1404,5	40	84	75,3	56,8	1,7	314,8	195,8	42,9	
F26	F3 Taghzout	21	7,3	795	27,6	47,2	38,4	28,6	1,7	272,06	76,7	18,1	
F27	F Oued El Berdi	19,6	7,3	1219,5	46,2	104	37,4	37,1	1,2	223,3	130,3	110,7	
F28	F Bekouche	14,8	7,7	1002	45,4	125,6	31,4	21,8	0,8	279,4	48,3	153,6	
F29	F3 Semmache	17,3	7,9	1028,5	33,7	72	37,9	38,6	2,9	255,6	96,9	119,2	
F30	F1 adjiba	16,7	7,7	996	32,3	63,6	39,7	56,4	4	248,9	102,6	103,7	
F31	F2 Adjiba	20,5	7,1	911	49,6	102,4	58,3	56,8	2,5	301,3	157,4	153,8	
F32	F1 Chorfa	16,4	7,3	1236,5	44,3	120,4	39,2	55,4	2,1	275,7	123,9	77,8	
F33	F4 Chorfa	16,6	7,2	943,5	36,7	77,6	56,7	32,6	1,8	261,7	83,6	110	
F34	F3 Chorfa	15,8	7,2	917,5	35,6	88,8	32,3	26,6	2,1	262,3	82,3	81,3	
F35	F2 Al Asnem	17,1	7,1	1096	39,2	129,6	16,5	44,4	1,3	292,8	127,1	39,1	
F36	F Guelta Zarga	19,9	7,7	1111,3	50,4	133,6	41,3	40	0,7	268,4	101,9	184,8	
F37	source El Mesdour	23,3	7,8	684,5	21,2	42,8	25,4	54	3,3	198,9	66,7	113,8	

Annexe 05

Tableau X.3 : Exigences de qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixées par la communauté européenne (AIT OUYOUB, 2001)

Paramètres ou substance	Teneurs		
	Guide	Max	Min
Ph	6.5 à 8.5	9.5	6
Conductivité ($\mu\text{ohms/cm}$)	400	1250	
Résidu sec		1500	
Dureté totale (degré français)	35		10
Calcium Ca (mg/l)	100		
Magnésium Mg (mg/l)	30	50	
Sodium Na (mg/l)	20	150	
Potassium K (mg/l)	10	12	
Sulfates SO_4^{2-} (mg/l)	25	250	
Chlorures Cl^- (mg/l)	25	200	
Nitrates NO_3^- (mg/l)	25	50	
Nitrites NO_2 (mg/l)		0.1	
Ammoniums NH_4 (mg/l)	0.05	0.5	
Fluor F (mg/l)		0.7* 1.5**	
Aluminiums Al (mg/l)	0.05	0.2	

Substance en traces, micropolluants ($\mu\text{g/l}$)	Teneurs	
	Guide	Max
Arsenic (Ac)		50
Cadmium (Cd)		5
Cyanures (CN)		50
Chrome (Cr)		50
Cuivre (Cu)	100	3000
Mercure (Hg)		1
Plomb (Pb)		50
Zinc (Zn)	100	5000
Nickel (Ni)		50
Fer (Fe)	50	200
Manganèse (Mn)	20	50
Hydrocarbures aromatiques		0.2
Phénols		0.5
Détergent		200
Pesticides		0.5
Organismes pathogènes		0
Coliformes fécaux (par 100ml)		0

Annexe 06

*Tableau X. 4 : Normes de la qualité physico-chimiques de l'eau selon la NPA et l'OMS
(ADE, 2015)*

Paramètres	unité	NPA	OMS
Paramètres de pollution			
Ammonium	mg/l	0.5	/
Nitrites	mg/l	0.2	0.1
Nitrates	mg/l	50	50
Phosphate	mg/l	0.5	0.5
M.O	Mg O2/l	5	/
Paramètre physico-chimique			
Turbidité	NTU	5	5
Ph	/	6.5 à 9	6,5 - 9,2
Conductivité	µs/cm	2800	2100
Température	C°	25	/
Résidu sec	mg/l	1500	1500
Oxygène dissous	mg/l	5	/
Minéralisation globale			
Dureté total TH	F°	50	50
Calcium	mg/l	200	270
Sulfates	mg/l	400	500
Sodium	mg/l	200	/
Potassium	mg/l	12	20
Chlorures	mg/l	500	/
Magnésium	mg/l	150	150
Bicarbonates	mg/l	600	/
TA	F°		/
TAC	F°	50	/
Paramètres organoleptiques			
Couleur	mg/l échelle Pt /CO	15	/
Saveur	Taux de dilution	4 (à 25°C)	/
Odeur	Taux de dilution	4(à 25°C)	/

Annexe 07 : Présentation des cations anions sur le diagramme de piper

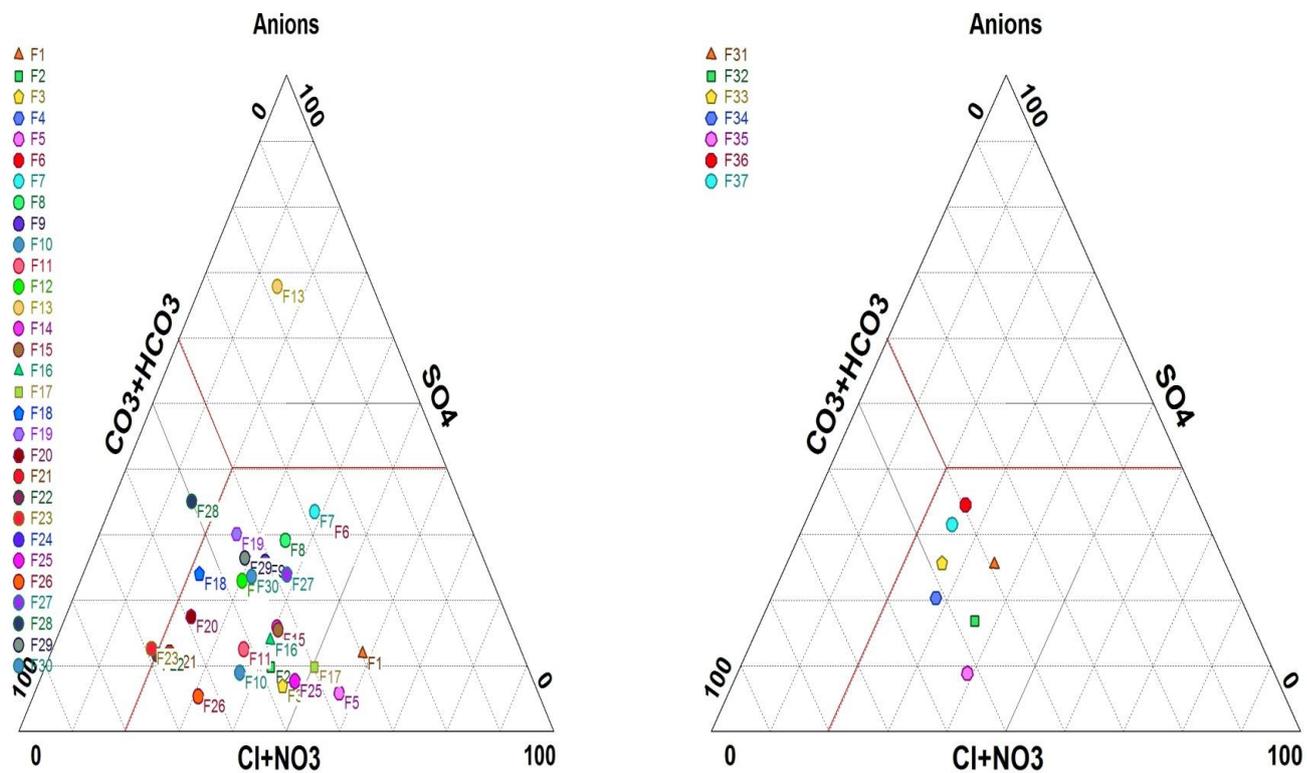


Figure X.2 : Présentation des anions sur le diagramme de piper

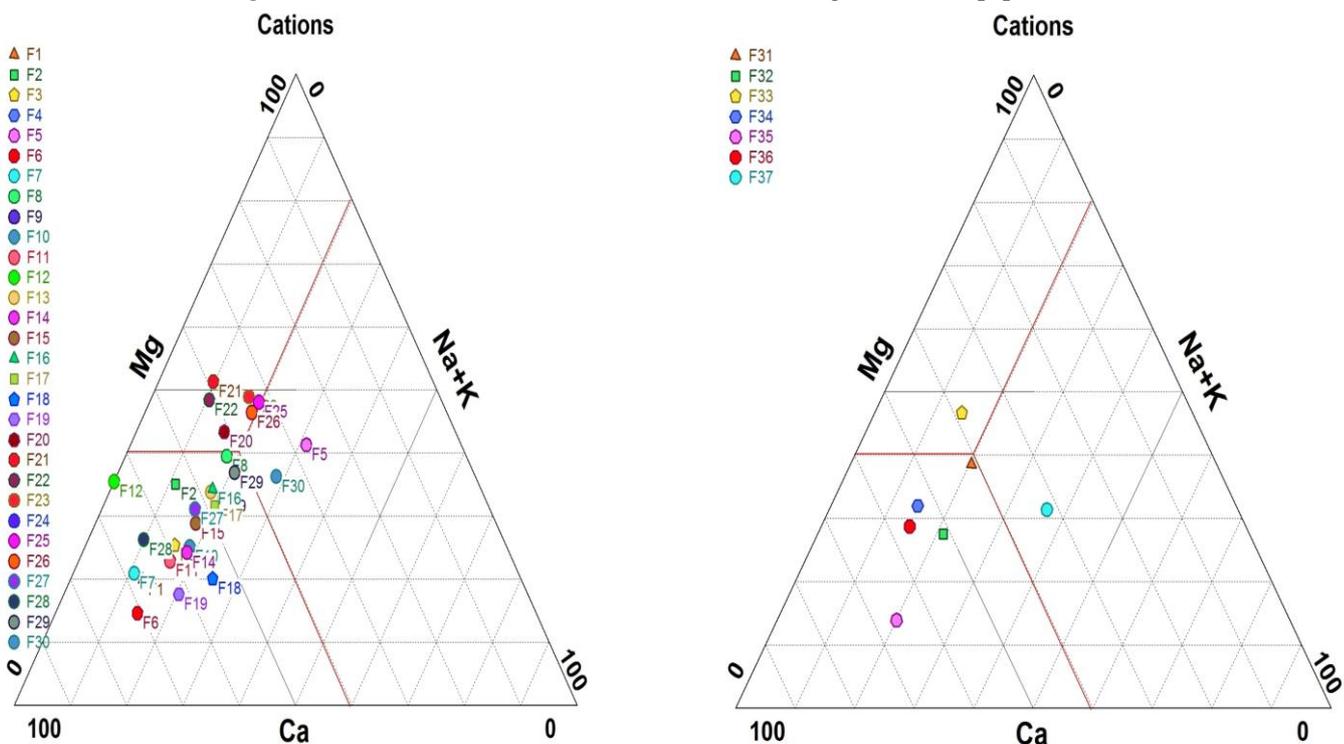


Figure X.3 : Présentation des cations sur le diagramme de piper