

REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme

MASTER

FILIERE : Hydraulique

Option : Hydraulique urbaine

THEME

CARACTERISATION STATISTIQUE DE LA
QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE
PLAINE HODNA

Dirigé par :
Mr. AHMED FERHATI

Présenté par :
TITRAOUI ISMAIL
LAMANI OKBA

Promotion : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ
وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ الْمَوَدَّعَةَ

Remerciements

*Au terme de cette étude, Nous louons d'abord Dieu, qui a réussi à faire ce travail. D'abord remercier notre encadreur monsieur **Farhati Ahmed** pour ses précieux conseils, et ses orientations tout le long d'année.*

*Ensuite, nous tenons à remercier aussi nos Professeurs et nos enseignants Particulier monsieur **Benkadja Rachid** Que Dieu ait pitié de lui, pour l'intérêt qu'ils nous ont accordé.*

Enfin, nos reconnaissances iront aussi à toute personne qui nous a aidés de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.

Lamani & Titraoui

Dédicace

Nous dédions ce mémoire A` nos très chers parents Qui peuvent être fier et trouvent ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour nous aider à avancer dans la vie. Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer leur juste valeur, la gratitude et l'amour qu'ils nous les portent. Chaque ligne de ce mémoire, chaque mot et chaque lettre vous expriment la reconnaissance, le respect et l'estime. Dieu merci, qu'ils soient nos parents.

A` nos sœurs et frères ; `A ceux qui ont toujours été à nos côtés ; A` nos chères amis, avec qui nous avons partagé les moments les plus agréables. `A tous les étudiantes et les étudiants de ma promotion, que chacun trouve à travers ces lignes nos sincère amitié.

Lamani & Titraoui

Sommaire

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

CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude

<i>I.1. Introduction</i>	4
<i>I.2. Position géographique (superficie, limites)</i>	4
<i>I.3. Population</i>	5
<i>I.4. Relief</i>	5
<i>I.5. Climatologie</i>	6
<i>I.6. La pluviométrie</i>	6
<i>I.7. La température</i>	6
<i>I.8. Les positions des forages dans la région d'étude</i>	7
<i>I.9. Conclusion</i>	8

Chapitre II : Géologie et hydrogéologie de plein Hodna

<i>II.1. Introduction</i>	10
<i>II.2. Géologie de plein Hodna</i>	10
<i>II.2.1. contexte géologique</i>	10
<i>II.2.2 Litho stratigraphie</i>	10
A) <i>Le secondaire</i>	10
B) <i>Le tertiaire</i>	12
C) <i>Le quaternaire</i>	12
<i>II.3. hydrogéologie de la région</i>	13
<i>II.3.1. caractéristique physique de la nappe profonde</i>	14
<i>II.3.2. Carte géologique de M'sila</i>	15
<i>II.3.3. les coupes géologiques de quelques forages de la région d'étude</i>	16
<i>II.4. Conclusion</i>	17

Chapitre III : Qualité des eaux souterraines

<i>III.1. Introduction</i>	19
<i>III.2. Paramètre de la qualité</i>	19
<i>III.2.1. définition</i>	19
<i>III.2.2. Principaux paramètre de la potabilité</i>	19
1. <i>Le pH</i>	20

2. La Conductivité à 20 °C -----	21
3. La Température °C-----	21
4. Les MES à 105°C -----	21
5. Oxygène dissous -----	21
6. La salinité-----	22
7. La turbidité-----	22
8. La résidu sec à 105°C -----	22
9. L'ammonium (NH_4^+) -----	22
10. Le Nitrite (NO_2^-) -----	22
11. Le Nitrate (NO_3^-) -----	23
12. Le Phosphate (PO_4^{3-}) -----	23
13. Les Sulfates d'hydrogène (H_2S) -----	23
14. Le calcium (Ca^{2+}) -----	23
15. Le Magnésium (Mg^{2+}) -----	24
16. Le chlorure (Cl^-) -----	24
17. Le Sulfate (SO_4^{2-}) -----	24
18. Le Bicarbonate (HCO_3^-) -----	25
19. La Dureté totale (TH) -----	25
20. Le Titre alcaline complète (TAC)-----	26
<i>III.3. Les normes de qualité des eaux potables</i> -----	26
<i>III.3.1. Paramètre physico-chimique en relation avec la structure naturelle de l'eau</i> -	26
<i>III.3.2. Paramètre concernant les substances indésirables</i> -----	28
<i>III.3.3. Paramètre microbiologiques</i> -----	29
III.3.3.1.Escherichia -----	29
III.3.3.2.Salmonella -----	30
III.3.3.3.Vibrio-----	30
III.3.3.4.Clostridium-----	30
III.3.3.5.Streptococcus -----	30
<i>III.3.4. Paramètre concernant les substances toxiques</i> -----	30
III.4.Conclusion -----	31

Chapitre IV : Etudes hydrogéochimiques

<i>IV.1. Introduction</i> -----	33
<i>IV.2. Présentation des logiciels utilisés</i> -----	33
IV.2.1. présentation sur le diagramme de piper-----	33
IV.2.2. présentation sur Les diagaphies -----	34

IV.2.3. présentation sur <i>XLSTAT</i> -----	35
IV.3. Diagramme de piper pour les valeurs moyennes annuelles -----	35
IV.3.1. Classification de Piper -----	35
IV.3.2. Classification de Schoeller et berkloff-----	40
IV.3.3. Description de la répartition des caractéristiques physico-chimiques moyennes des eaux de la région d'étude -----	45
La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2014 -----	45
La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2015 -----	46
La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2016 -----	47
La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2017 -----	47
La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2018 -----	48
IV.3.4. Origine des éléments chimiques -----	49
IV.3.4.1. Origine de <i>calcium</i> (Ca^{2+})-----	49
IV.3.4.2. Origine de sulfate (SO_4^{2-}) -----	49
IV.4. Analyses statistiques des paramètres physico-chimiques -----	49
IV.4.1. L'Analyse en composantes principales (ACP) -----	50
IV.4.2. Principe de l'ACP -----	51
IV.4.3. Application de L'ACP sur des données chimiques de la région d'étude-----	51
A. Matrice de corrélation -----	57
Tableau IV.6. Coefficient de corrélation linéaire selon Bravais- Pearson -----	57
B. Etudes des valeurs propres variables des individus (observation) -----	69
IV.5 Conclusion -----	70
 <i>Conclusion générale -----</i>	 <i>72</i>

Liste des figures

<i>Figure N°01. La carte géographique de bassin versant Hodna-----</i>	<i>5</i>
<i>Figure N°02. Histogramme des variations des pluies de plein Hodna -----</i>	<i>6</i>
<i>Figure N°03. Histogramme des variations de la température dans plein Hodna -----</i>	<i>7</i>
<i>Figure N°04. Carte géologique de M'sila-----</i>	<i>15</i>
<i>Figure N°05. Coupe schématique du bassin du CHOTT el HODNA-----</i>	<i>16</i>
<i>Figure N°06 : Diagramme de Piper 2014-----</i>	<i>36</i>
<i>Figure N°07 : Diagramme de Piper 2015-----</i>	<i>37</i>
<i>Figure N°08 : Diagramme de Piper 2016-----</i>	<i>38</i>
<i>Figure N°09 : Diagramme de Piper 2017-----</i>	<i>39</i>
<i>Figure N°10. Diagramme de Piper 2018-----</i>	<i>40</i>
<i>Figure N°11. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2014-----</i>	<i>41</i>
<i>Figure N°12. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2015-----</i>	<i>42</i>
<i>Figure N°13. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2016-----</i>	<i>43</i>
<i>Figure N°14. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2017-----</i>	<i>44</i>
<i>Figure N°15. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2018-----</i>	<i>45</i>

Liste des tableaux

Tableau I.1. Les variations des pluies de plein Hodna	6
<i>Tableau I.2. La variation de La température dans plein Hodna</i>	<i>6</i>
<i>Tableau I.3. Les positions des forages dans plein Hodna</i>	<i>7</i>
Tableau III.1. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable	27
<i>Tableau III.2. Norme des substances indésirables d'une eau potable</i>	<i>29</i>
<i>Tableau III.3. Norme des substances toxiques d'une eau potable</i>	<i>31</i>
<i>Tableau IV.1. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2014</i>	<i>52</i>
<i>Tableau IV.2. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2015</i>	<i>53</i>
<i>Tableau IV.3. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2016</i>	<i>54</i>
<i>Tableau IV.4. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2017</i>	<i>55</i>
<i>Tableau IV.5. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2018</i>	<i>56</i>
<i>Tableau IV.6. Coefficient de corrélation linéaire selon Bravais- Pearson</i>	<i>57</i>
<i>Tableau IV.7. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2014</i>	<i>58</i>
<i>Tableau IV.8. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2015</i>	<i>59</i>
<i>Tableau IV.9. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2016</i>	<i>60</i>
<i>Tableau IV.10. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2017</i>	<i>61</i>
<i>Tableau IV.11. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2018</i>	<i>62</i>
<i>Tableau IV.12. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2014</i>	<i>63</i>
<i>Tableau IV.13. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2015</i>	<i>64</i>
<i>Tableau IV.14. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2016</i>	<i>65</i>
<i>Tableau IV.15. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2017</i>	<i>66</i>
<i>Tableau IV.16. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2018</i>	<i>67</i>
<i>Tableau IV.17. Pourcentage de variance exprimée l'année 2014</i>	<i>69</i>
<i>Tableau IV.18. Pourcentage de variance exprimée l'année 2015</i>	<i>69</i>
<i>Tableau IV.19. Pourcentage de variance exprimée l'année 2016</i>	<i>69</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau IV.20. Pourcentage de variance exprimée l'année 2017</i>	-----70
<i>Tableau IV.21. Pourcentage de variance exprimée l'année 2018</i>	-----70

ملخص

تعتبر المياه الجوفية مورد اساسي وهام وقد عرفت خلال الفترة الاخيرة تطورا هام وملحوظ كونها المورد الاساسي وخصوصا في شط الحضنة. خلال هذه الدراسة سوف يتم تناول ودراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية خلال الخمس سنوات الاخيرة باستعمال برنامج محاكاة يدعى diagraphie. من خلال النتائج المتحصل عليها سوف نتمكن من مراقبة تطور نوعية المياه الجوفية ومدى التغيرات التي تحدث عليها خلال المدة الزمنية وملاحظة التراكم التي تتكون منها المياه الجوفية ومحاولة الوصول الى النتائج المثلى خلال فترة الدراسة.

Résumé

Les eaux souterraines sont considérées comme une ressource fondamentale et importante, et elles ont connu au cours de la période récente un développement significatif et notable car c'est la ressource principale, en particulier sur la côte de Hodna. Au cours de cette étude, les propriétés physiques et chimiques des eaux souterraines au cours des cinq dernières années seront couvertes et étudiées à l'aide d'un programme de simulation appelé diagraphie.

Grâce aux résultats obtenus, nous serons en mesure de suivre l'évolution de la qualité des eaux souterraines et l'ampleur des changements qui s'y produisent au cours de la période, de noter les concentrations qui composent les eaux souterraines et d'essayer d'atteindre les résultats optimaux pendant la période d'étude.

Abstract

Groundwater is considered to be a fundamental and important resource, and it has experienced significant and notable development in recent times, as it is the main resource, especially on the Hodna coast. During this study, the physical and chemical properties of groundwater over the past five years will be covered and investigated using a simulation program called logging.

Thanks to the results obtained, we will be able to follow the evolution of the quality of the groundwater and the extent of the changes that occur in it during the period, to note the concentrations that make up the groundwater and to test achieve optimal results during the study period.



*Introduction
générale*

Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle vitale pour la survie de l'humanité et de toutes les espèces sur terre. En tant que bien de la création, l'eau est destinée à tous les êtres humains et à leurs communautés.

La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ^[1] En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigué et l'industrie. La gestion des ressources en eau, en quantité et en qualité, reste au centre des préoccupations du pays compte tenu de l'insuffisance des ressources qui est souvent aggravée par la sécheresse. Le degré de qualité exigible des eaux dépend évidemment de ces usages, et on est particulièrement attentif à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, elle-même dépendante de celle des ressources en eau disponibles.

Dans ce modeste travail on va tenter de faire une étude de qualité des eaux souterraine sur une période d'observation de 5 ans et de montrer le lien entre l'hydrochimie et la géologie de la région de Hodna dans la wilaya de Msila.

Le but de ce travail est :

De faire une analyse statistique des éléments chimiques et physico-chimiques de la qualité des eaux souterraine pendant la période d'observation 2014 – 2018 en utilisant le logiciel **diagraphie** et en utilisant Aussi le logiciel de **XLstat** pour faire les calcule statistique dans la période d'observation.

Le travail actuel est structuré en 04 quatre chapitres :

- le premier chapitre donne une idée générale sur la zone étudiée comme la répartition de la population et le changement climatologique (climat, pluviométrie et la température). Description la situation géographique de notre zone d'étude avec l'emplacement des forages de notre zone.
- le deuxième chapitre présent une étude géologique et hydrogéologique de la zone d'étude.
- le troisième chapitre traiter la qualité des eaux souterraine, contient les paramètres de

la qualité, les principaux paramètres de potabilité, avec son définition de chaque paramétré.

- le quatrième chapitre veut traiter le résultat qui son obtenu par les logicielle utilise et donner le schéma de diagramme de piper qui sont traité par le logicielle de diagraphie pour les dernier cinq ans et les matrice de corrélation qui sont traité par XLstat et donne le résultat optimal.



CHAPITRE I :
présentation de la
région d'étude

CHAPITRE I :

Présentation de la région d'étude

I.1. Introduction

De tous temps, la configuration du relief a été l'alliée des populations du HODNA en ce sens que le territoire a été habité depuis des temps immémoriaux comme en témoigne la multiplicité des sites de peintures rupestres, le nombre de cités romaines et la succession de berceaux de royaumes.

Cette nature si particulière des lieux, a été ,en quelque sorte, le ferment qui a permis l'éclosion d'hommes et de femmes d'état , comme ce fut le cas pour la reine JUSTINIANA , dont le royaume ,avec pour capitale BECHILGA (à la sortie Sud-Est de l'actuelle ville de M'sila) jouissait d'une relative autonomie vis-à-vis de ROME, ou des HAMMADITES avec BICHARA – située sur la chaîne de montagnes la plus septentrionale de la Wilaya –la première capitale du royaume qui a rayonné sur les deux rives de la Méditerranée et dont le minaret de la KALLAA , en dépit des vicissitudes et des aléas dus, à la fois à des données historiques et géologiques (forte sismicité de la région) défie le temps et les hommes et reste un symbole de fierté , de grandeur et de majesté.^[2]

I.2. Position géographique (superficie, limites)

La Wilaya de M'sila, dans ses limites actuelles, occupe une position privilégiée dans la partie centrale de l'Algérie du nord Dans son ensemble, elle fait partie de la région des Hauts Plateaux du Centre et s'étend sur une superficie de 18.175 km².

Elle est limitée :

Au Nord Est : les wilayat de Bordj Bou-Arredj et Sétif

Au Nord-Ouest : les wilayat de Médéa et Bouira

A l'est : la wilaya de Batna

A l'ouest : la wilaya de Djelfa

Au Sud Est : la wilaya de Biskra

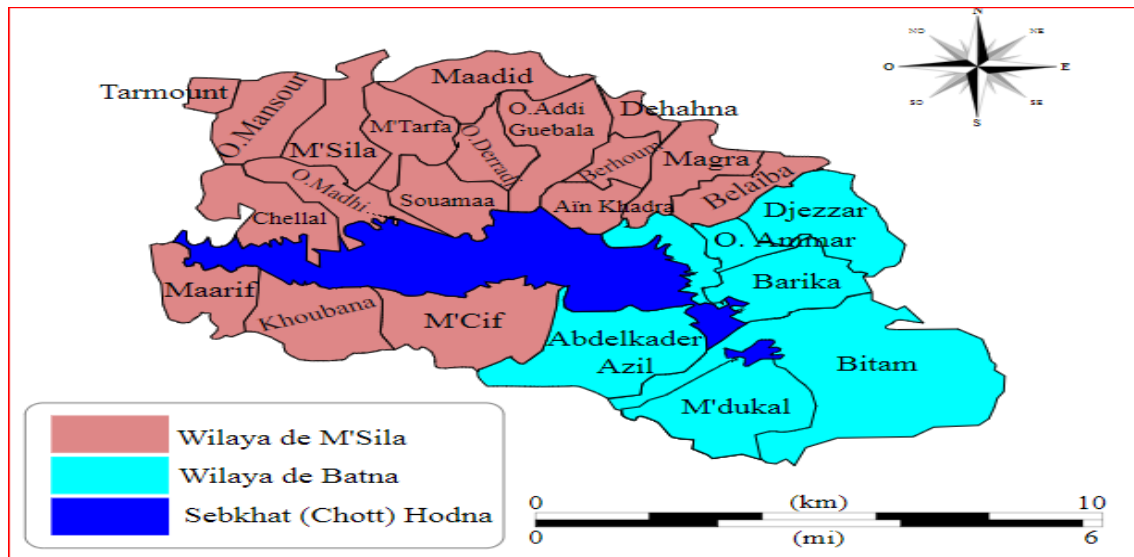


Figure N°01. La carte géographique de bassin versant Hodna.^[3]

I.3. Population

La population totale de la wilaya est estimée au 31/12/2017 à 1 281 870 habitant contre 983 513 habitants en 31/12/2008, soit une augmentation absolue d'environ 298 357 hab, la densité est de 71 hab/km².

La structure par âge de la population révèle d'une manière générale une population jeune, la population âgée de moins de 25 ans représente plus de la moitié de la population totale, soit 64.64% alors que la population âgée de plus de 60 ans ne représente que 5.47 %.^[4]

I.4. Relief

Le territoire de la Wilaya constitue une zone charnière et de transition entre les deux grandes chaînes de montagnes que sont l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien.

La configuration géographique y est comme suit :

- Une zone de montagnes de part et d'autre du Chott El Hodna.
- Une zone centrale constituée essentiellement de plaines et de hautes plaines.
- Une zone de chotts et de dépression avec le Chott El Hodna au Centre Est et le Zahrez Chergui au Centre Ouest.
- Une zone de dunes de sable éolien.

1.5. Climatologie

Le climat de la Wilaya est de type continental soumis en partie aux influences sahariennes. L'été y est sec et très chaud, alors que l'hiver y est très froid.

Sur le plan pluviométrique, la zone la plus arrosée est située au nord ; elle reçoit plus de 480 mm Par an (Djebel Ech Chouk - Chott de Ouenougha) ; quant au reste du territoire, la zone la plus sèche est située à l'extrême sud de la Wilaya et reçoit moins de 200 mm/an.

1.6. La pluviométrie

Tableau I.1. Les variations des pluies de plein Hodna.^[3]

JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
72	1	2	6	13	18	4	1	1	13	8	3

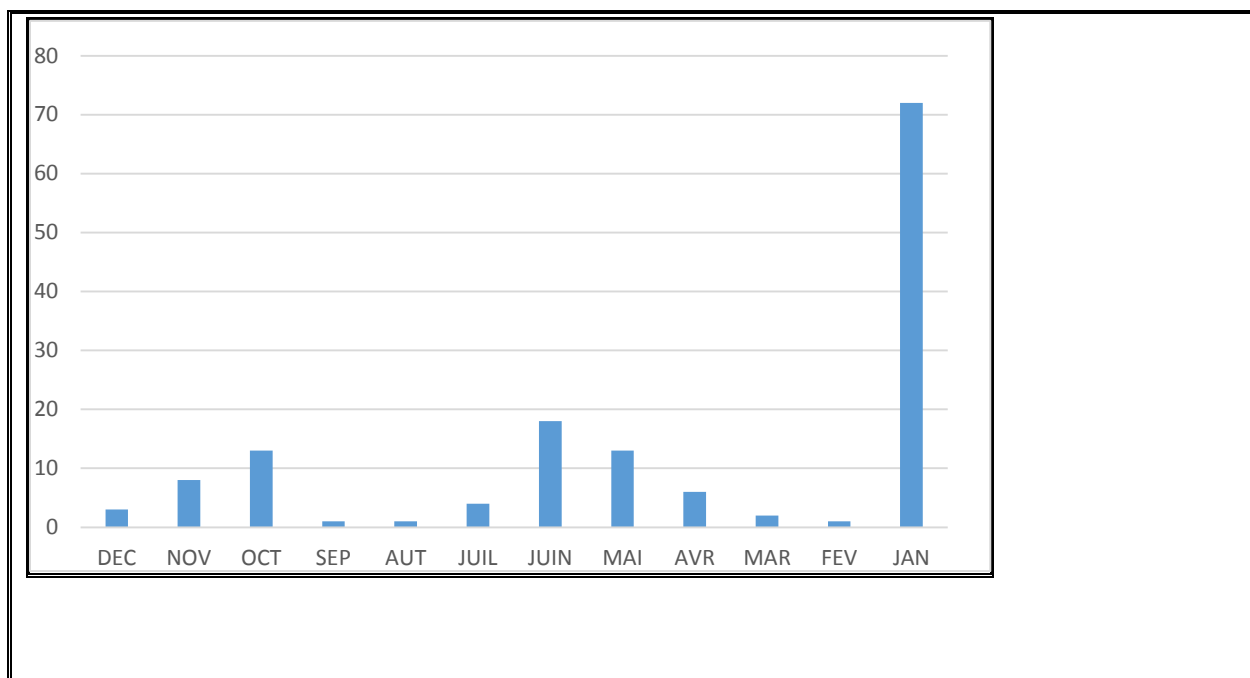


Figure N°02. Histogramme des variations des pluies de plein Hodna.

1.7. La température

Tableau I.2. La variation de *La température* dans plein Hodna.^[3]

JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AUT	SEP	OCT	NOV	DEC
7,6	12,1	15,1	18,7	25,5	29,5	32,5	32,8	25,6	19,5	12,6	8,8

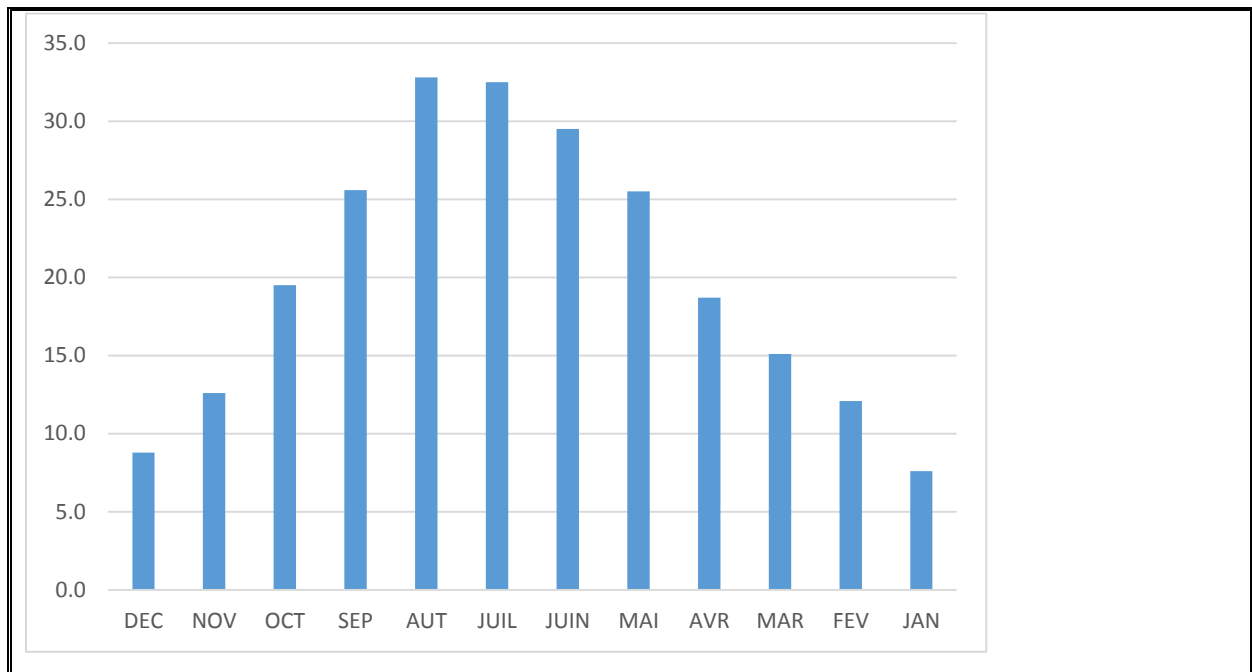


Figure N°03. Histogramme des variations de la température dans plein Hodna.

I.8. Les positions des forages dans la région d'étude

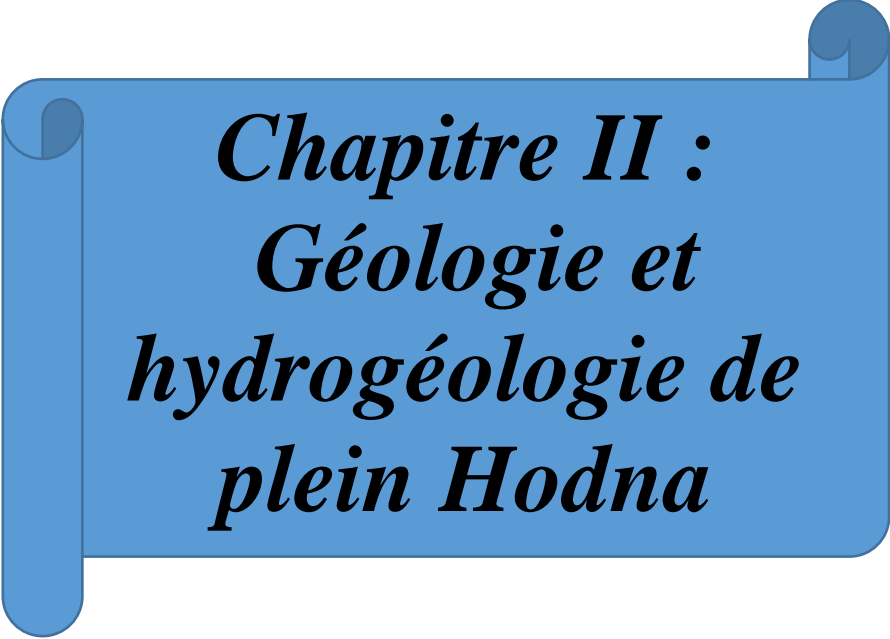
Tableau I.3. Les positions des forages dans plein Hodna.^[5]

NOMES DES FORAGES	X(m)	Y(m)	Z(m)
FORAGE F310	673,2	264,3	446
FORAGE F250	668,075	260,8	437
FORAGE 11 KHABAB	672	260	428
FORAGE MEZRIR I "F 284"	665,1	261,6	436
FORAGE GHOZEL	686,6	259	453
FORAGE NOUVEAU MEZRIR I	664,75	260,9	431
FORAGE M II MEZRIR II	661,7	262,65	440
FORAGE 283 MEZRIR II	661,05	263,3	440

FORAGE GUERFALLA III	674	259	423
FORAGE "MEZRIRE OUEST"	664,7	262,01	442
FORAGE 215 MEZRIR	679	256,5	420
FORAGE 260 GUERFALA	669	266,1	464

I.9. Conclusion

En étudiant la situation géographique de la zone étudiée et en surveillant la quantité de précipitations annuelles, qui est considérée comme très faible, quelles sont ces dernières conduisant à des difficultés à fournir la quantité nécessaire de besoins et d'exigences en eau potable dans la zone.

A blue scroll graphic with a white background, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends. The text is centered on the white background.

***Chapitre II :
Géologie et
hydrogéologie de
plein Hodna***

Chapitre II : Géologie et hydrogéologie de plein Hodna

II.1. Introduction

L'hydrogéologie est une branche de la géologie appliquée à l'étude, exploitation et planification des ressources en eau. Pour cela, la géologie est importante pour le domaine de l'hydraulique

II.2. Géologie de plein Hodna

II.2.1. contexte géologique

La région du M'sila est une zone qui contient une très grande variation de faciès et une tectonique complexe.

Les terrains qui forment la région sont essentiellement Mésozoïques (Secondaire). Le Paléozoïque (Primaire) est absent, le Trias et le Jurassique n'occupent que des surfaces réduites, alors que le Crétacé forme la majorité des affleurements en relief.^[6]

II.2.2 Litho stratigraphie

A) Le secondaire

- **Le Trias** : Dans la région de M'sila, les affleurements Triasiques sont assez nombreux. Ils sont composés de marnes, d'argiles, de gypses et de dolomies.

- **Le Jurassique** : Avec le Jurassique apparaissent les séries stratigraphiques normales les plus anciennes de la région, il est essentiellement carbonaté et son épaisseur est de l'ordre de trois cent cinquante mètre (350m). On remarque que pendant le Lias inférieur et moyen, le caractère marin de la sédimentation s'accroît, alors que la présence d'Oolithes, de Crinoïdes et d'une argile calcaireuse traduit un milieu épicontinental.

Des changements interviennent au Lias supérieur, ils sont marqués par l'apparition de marnes.

- **Le Crétacé** : Le Crétacé affleure largement dans la région et on note la présence d'un Crétacé inférieur et d'un Crétacé supérieur.

1) Le Crétacé inférieur : Il est essentiellement carbonaté terrigène mais on note le développement de formations gréseuses avec d'importantes variations de faciès. Il n'affleure qu'aux noyaux et sur les flancs des anticlinaux au Nord et au Sud des Monts du Hodna.

- **Le Néocomien :** Il englobe

- a) **Le Berriasien :** Qui débute par une formation marneuse, avec une intercalation de grès et de calcaire gréseux, puis se termine par une alternance argilo-gréseuse.

- b) **Le Valanginien :** Correspond à une succession de marnes grises et rouges, des grès à ripples et des calcaires grossiers gréseux.

- c) **L'Hauterivien :** Formé par des grès blanc, sur lesquels repose une barre de calcaire dolomitique de quatre-vingt mètre (80 m) d'épaisseur, puis vient une alternance de calcaire. De calcaire gréseux, de marnes et de grès. L'épaisseur de cet ensemble est de deux cent mètre (200m).

- **Le Barrémien et Aptien :** Représenté par des marnes grises avec une mince intercalation calcaire. L'Aptien inférieur est représenté par une grosse barre de calcaire dolomitique, alors que L'Aptien supérieur est constitué par une alternance de calcaire à Rudistes, de grès blanc à ripples marks, de calcaire à huitres et de marnes rouges. L'épaisseur de cet ensemble est de deux cent cinquante mètre (250m).

- **L'Albien :** L'Albien inférieur est constitué par des formations argilo-gréseuses et de dolomies alors que l'Albien supérieur se termine par une série calcaire-dolomitique.

En conclusion, on peut dire que le Crétacé inférieur est caractérisé par de nombreuses oscillations de la mer. On y observe des sédiments continentaux (grès et argiles gréseuses) et marins (calcaires et dolomies). Du début du Crétacé inférieur (Berriasien) jusqu'à l'Aptien, les dépôts gréseux se sont généralisés et ont envahi toute la zone.

2) Le Crétacé supérieur : Les formations du Crétacé supérieur correspondent à un milieu néritique, tous les étages sont représentés et l'épaisseur des formations est importante.

- a) **Le Cénomaniens :** Transgressif, surtout dans la partie orientale des Monts du Hodna. Il est représenté par des marnes noirâtres et verdâtres, ayant deux à trois cent mètre (200 à 300m) d'épaisseur avec de minces lits de calcaire surmontés soit par une barre de calcaire, soit par des marno-calcaires, d'une dizaine de mètres d'épaisseur.

b) Le Turonien : Représenté par des masses de calcaires compactes avec de rares Intercalations marneuses. L'épaisseur est estimée à quatre cent mètre (400m).

c) Le Sénonien : Dans la région le Coniacien et Santonien sont formés à la base par de marnes vertes, puis par une alternance irrégulière de marnes et de calcaires argileux, de trois cent soixante-dix mètre (370m) d'épaisseur. Le Campanien est constitué de marnes verte gypseuses avec de très rares intercalations de calcaires argileux et de nombreuses lumachelle. Son épaisseur est de six cent mètre (600m). Le Maestrichtien est marneux à la base, puis calcaire à nette tendance récifale avec rudistes et polypiers. Il se termine par des marnes Verdâtres gypseuses. L'épaisseur totale du Sénonien est de mille trois cent quatre-vingt mètre (1380m). Ainsi, pendant le Crétacé supérieur, la sédimentation marine persiste encore partout, dans la région du Hodna. Elle correspond, dans l'ensemble, à des calcaires, des marnocalcaires et des marnes.

B) Le tertiaire ^[7]

a- Eocène : Les formations de l'Eocène varient suivant les zones, l'Eocène débute par des calcaires blancs à intercalations de marnes se terminant par un ensemble conglomératique. L'Eocène est représenté par des grès rouges, des argiles variées viennent ensuite des calcaires et des conglomérats. Ils constituent les contreforts méridionaux des Monts du Hodna.

b- Miocène : Les séries continentales sont constituées d'une alternance d'argile sableuse, de grès, de sables, de graviers et de conglomérats.

C) Le quaternaire

1) Le Quaternaire ancien : Ce niveau comporte des conglomérats à gros blocs, des horizons à galets et feuillets d'encroûtement calcaires rouge orange.

2) Le Quaternaire moyen : Il est représenté par de gros bancs de calcaires, de galets emballés dans une matrice de croûte calcaire gréseuse, des conglomérats et d'argiles à débris prismatique.

3) Le Quaternaire récent : Au niveau du Chatte el Hodna, il est constitué par des limons, de couleur grise, avec des cristaux de gypse. Par contre, dans les dunes on trouve des sables fins, des argiles et du gypse. Les galets sont localisés au pied des reliefs.

II.3. hydrogéologie de la région

La zone d'étude se situe au-dessus de la nappe du Hodna, mais notre zone d'étude est spécifique par des aquifères superficiels et profonds et la majorité des forages de la région touchent les deux aquifères (forages mixtes).

L'aquifère superficiel est constitué principalement par la formation du quaternaire, par contre l'aquifère profond est formé majoritairement par la mio-pliocène.

La nappe superficielle est constituée par un niveau à galets mal consolidés attribués au soltanien mais qui pourraient correspondre à un ancien cône de déjection de l'oued M'sila.

L'épaisseur du niveau est de 10 à 20 m selon les régions. Ces galets supportent des sables argileux d'une dizaine de mètres d'épaisseur puis quelques mètres de limon Rharbiens. Ces formations au toit de la nappe superficielle, contribuent à mettre cette nappe très légèrement en charge dans la partie centrale du cône de déjection. Au sud, vers le chott, la nappe superficielle circule dans des formations quaternaires plus fines (limoneuses) et plus argileuses intercalées de niveaux de sable et de gravier discontinus. Cette zone constitue l'exutoire du système aquifère.

La nappe profonde en charge a la même extension géographique que la nappe superficielle. Elle est limitée, au Nord par les affleurements du troisième cycle miocène, à l'Est par la structure anticlinale du chott el Hammam qui s'ennoie vers le Sud-ouest.

La définition du matériel géologique qui contient la nappe, décrit à partir d'observation de surface et des coupes de forage. La seule formation continue susceptible de contenir la nappe profonde correspond au niveau du troisième cycle miocène qu'on trouve dans certains forages effectués, Les grès et les conglomérats du troisième cycle miocène forment une gouttière synclinale qui plonge progressivement vers le sud-ouest. Les conglomérats semblent plus épais aux extrémités nord-est et sud-ouest de l'axe anticlinal. Leur épaisseur augmente également du nord vers le sud puis tend à diminuer à nouveau. A l'aplomb de l'axe synclinal miocène, ces grès et conglomérats, ont une épaisseur de 250 m environs.

Au-dessus du miocène repose une série détritique, épaisse de 50 à 150 m, attribuée au Plio- Quaternaire. Cette série est très hétérogène. Elle est constituée par des argiles intercalées de lentilles de galets et de sable plus ou moins argileux. Bien que ces conglomérats aient toujours été considérés comme l'aquifère profond le plus important. Ces observations

permettent de définir l'aquifère profond comme un système multicouche comprenant un faisceau de nappes liées à des horizons ayant de meilleures caractéristiques hydrodynamiques. Le mode d'alimentation de ces nappes va être régi par des phénomènes de drainance à travers des épontes semi-perméables.

Dans la zone à différence de charges positives entre les aquifères profondes et superficielles, cette drainance va avoir lieu à travers le mur des horizons privilégiés.

Des observations piézométriques et hydrochimiques ^[8] suggèrent de faire de cette zone du sud de M'sila, une nappe libre bien individualisée, caractérisée par le fait qu'elle est en relation avec le réseau hydrographique.

II.3.1. caractéristique physique de la nappe profonde

Les données d'observation sur l'aquifère mixte sont peu nombreuses. Quelques isopièzes ont cependant été tracés sur la base de niveau piézométrique mesuré dans certains forages. On observe un écoulement de la nappe selon le sens Nord-sud pour la zone occidentale de la plaine El Hodna.

Le gradient hydraulique moyen est de 0,002 pour la première zone et de 0,008 pour la deuxième. Pour la zone orientale cette différence s'explique par l'existence de la structure anticlinale du chott el Hammam. On remarque enfin que les gradients sont sensiblement les mêmes pour les nappes superficielle et profonde.

L'étude des différentes coupes de forages, montre qu'il est impossible de préciser les limites entre la nappe superficielle et la nappe profonde en charge sur la base des données géologiques. Les séries détritiques attribuées au plio- quaternaire auraient des épaisseurs variant entre 50 et 100 m et plus, dans les régions méridionales (selon les données de la géophysique). Ces observations permettent de définir la nappe superficielle par les caractères suivants :

a- les domaines des nappes superficielles et profondes ne peuvent être définis qu'en tenant compte des différences de charges existant entre les nappes.

b- l'hétérogénéité des séries se traduit par des axes d'écoulement préférentiels de la nappe superficielle. Il en résulte que la plus grande part du débit de la nappe circule à travers une section restreinte.

II.3.2. Carte géologique de M'sila

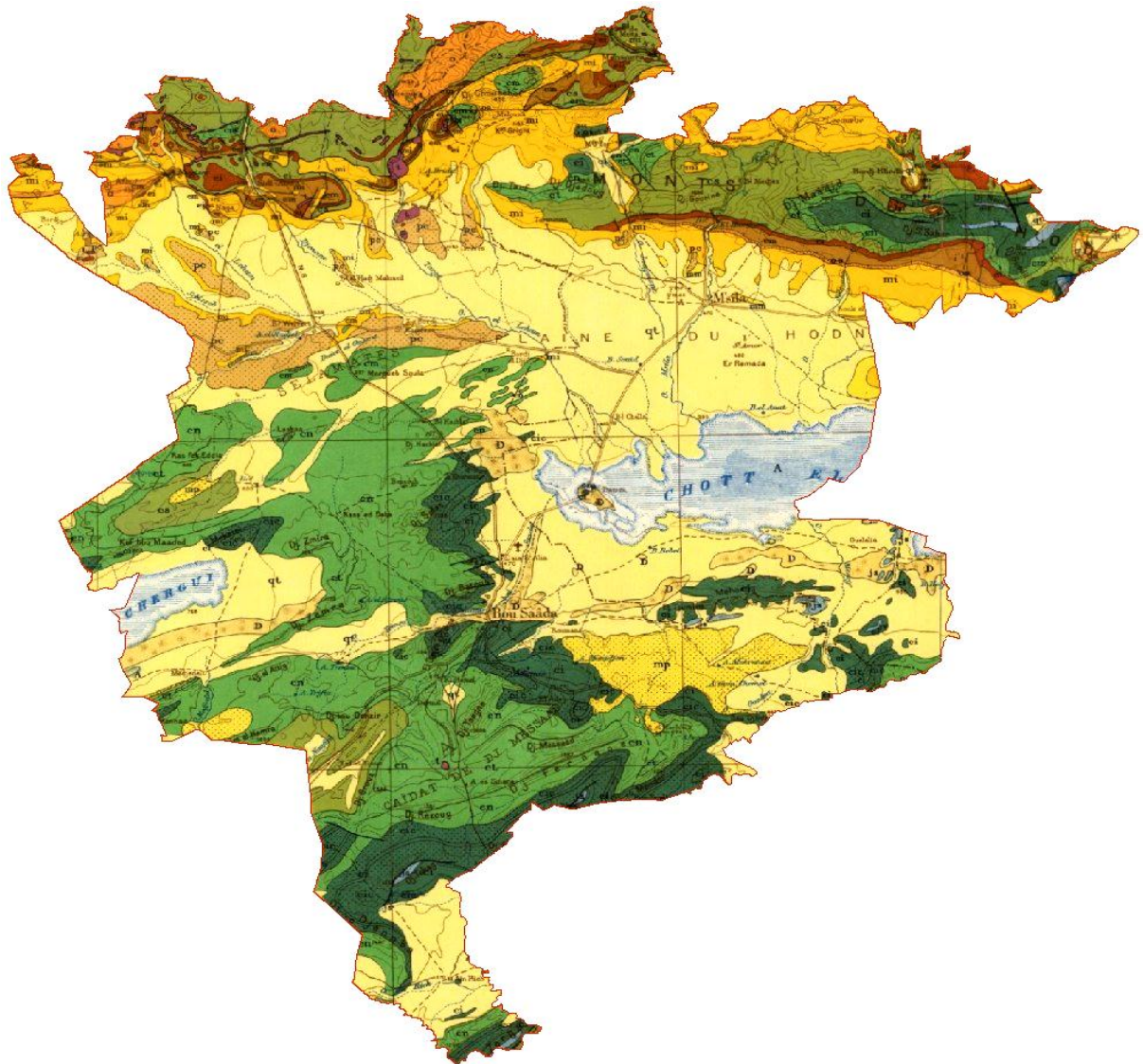


Figure N°04. Carte géologique de M'sila [3]

II.3.3. les coupes géologiques de quelques forages de la région d'étude

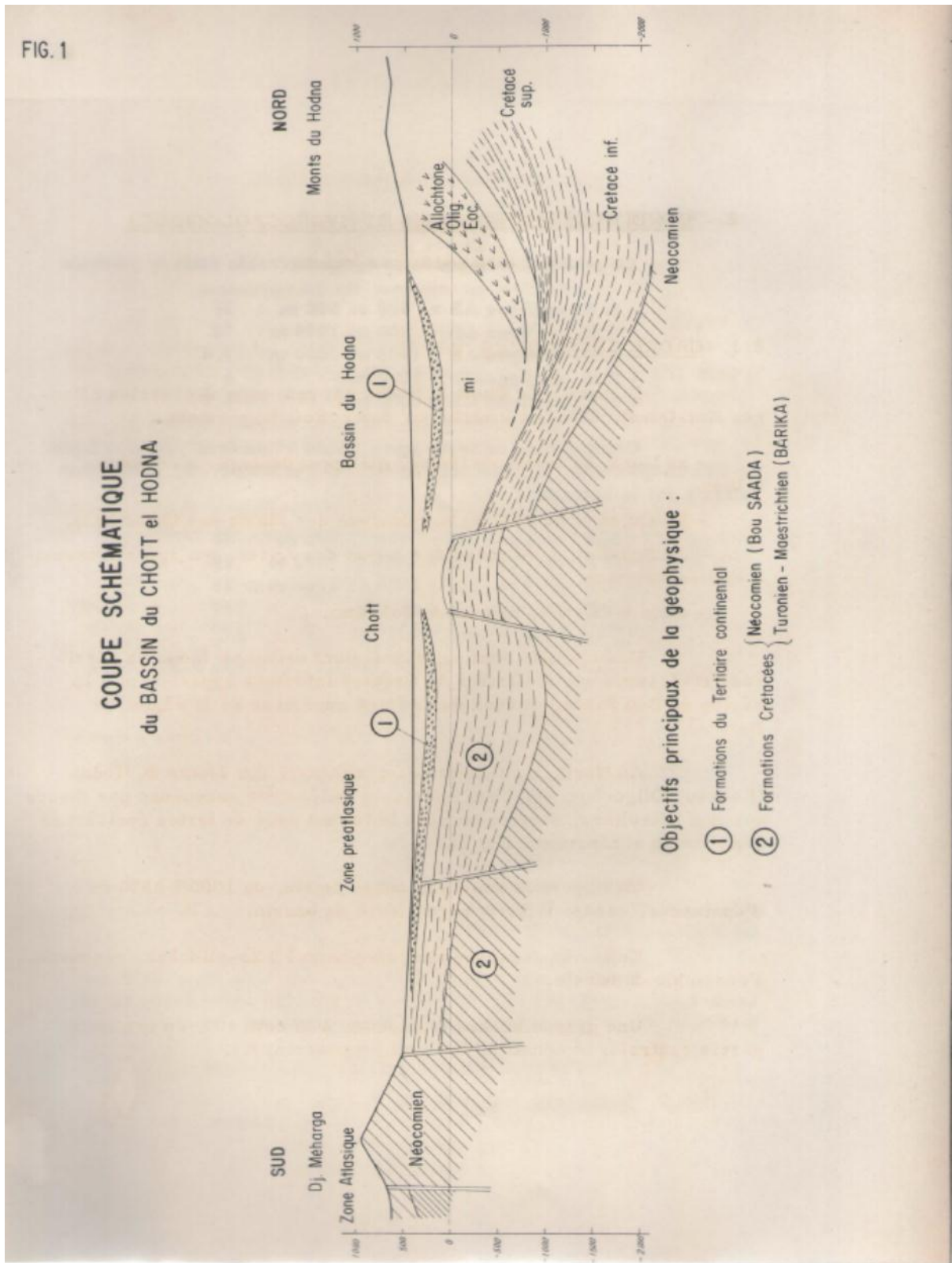


Figure N°05. Coupe schématique du bassin du CHOTT el HODNA [9]

II.4. Conclusion

Ce chapitre veut exprimer ou bien veut montrer que la nature géologique de bassin Hodna est riche et diverse ce qui influer sur les eaux souterraine et sur leur composition.



***Chapitre III :
Qualité des eaux
souterraines***

Chapitre III : Qualité des eaux souterraines

III.1. Introduction

Qu'est-ce que la qualité de l'eau souterraine ?

La qualité de l'eau souterraine est l'appréciation des concentrations des différentes substances chimiques qui la composent, vis-à-vis de concentration de référence (norme).

III.2. Paramètre de la qualité ^[10]

III.2.1. définition :

Toute eau destinée à la consommation humaine doit être « potable ». Une eau remplit cette condition de potabilité si sa consommation ne présente aucun danger pour la santé des usagers. La vérification de cette condition passe par le contrôle de diverses caractéristiques regroupant de nombreux paramètres. De manière générale celles-ci peuvent être classés comme suit :

- a) Caractéristiques physiques ou organoleptiques.
- b) Caractéristiques chimiques et physico-chimiques.
- c) Caractéristiques bactériologiques.

III.2.2. Principaux paramètre de la potabilité

La qualité des eaux souterraines est caractérisée par un certain nombre de paramètres physico-chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques seuls immédiatement perceptibles pour l'utilisateur. En Algérie comme dans la majeure partie des pays du tiers monde, la réglementation se rapportant à cette question est beaucoup moins stricte. Ceci est dû au manque d'infrastructures nécessaires qui du point de vue économique et technique solliciterait d'énormes moyens.

De manière globale les paramètres pris en compte déclassant une nappe pour l'eau potable et impliquant un traitement correcteur pour sa potabilisation sont :

- Le pH qui dépend de la teneur en ions ;
- Dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium (Ca^{2+} , Mg^{2+}) et magnésium

- Teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O_2 et CO_2)
- Turbidité, produite par des matières en suspension (argiles) dans les aquifères karstiques.
- Teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique (RS) : anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse, ammonium).
- A ces paramètres physicochimiques s'ajoutent des paramètres microbiologiques souvent déterminants dans les aquifères calcaires.

Une teneur trop élevée d'un ou plusieurs composants chimiques cause des désagréments au consommateur (saveur, risques sanitaires) et aux canalisations (corrosion, entartrage...). L'eau est alors jugée impropre à la consommation (et à sa distribution) à moins de subir au préalable un traitement approprié (cas des eaux chargées en calcaires, nitrates,...). D'autre part, une teneur élevée d'un élément chimique peut être l'indice d'une pollution.

1. Le pH

Le PH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableuses ou granitiques. Le pH est alcalin dans les calcaires. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO_2 dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée. Généralement, l'ajout de la chaux sous forme de solution permet de modifier le pH.

Le pH désigne la teneur de l'eau en ions hydrogènes. Il peut être compris entre 0 et 14 :

Si le pH se situe entre 0 et 6, l'eau est acide.

Si le pH se situe entre 8 et 14, l'eau est basique.

Si le pH se situe aux alentours de 7, le pH est neutre.

Le pH peut avoir des effets sur la dureté de l'eau. Un pH très acide a tendance à amoindrir les effets du calcaire tandis qu'un pH très basique a plutôt tendance à les amplifier (apparition de tartre).

La marge acceptable du pH de l'eau potable est comprise entre 6,5 et 9,5.

2. La Conductivité à 20 °C

La conductivité traduit la capacité d'une matière à faire passer le courant électrique. En fonction de sa concentration en sels minéraux, l'eau est plus ou moins conductrice.

3. La Température °C

La température de l'eau, est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz, dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques.

La température a une grande importance dans l'étude et la surveillance des eaux quelles que soient souterraine ou superficielle.

4. Les MES à 105°C

Les matières en suspension sont des particules solides très fines visibles à l'œil présente dans l'eau que la pratique devise en :

- Matières décantables, qui se séparent naturellement sans apport de réactif quand l'eau au repos.
- Matières colloïdales trop fines pour décanter par gravité mais éliminables par coagulation.

5. Oxygène dissous

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau, il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique.

La DBO (demande biochimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données.

L'oxygène dissous est donc un paramètre utile dans le diagnostic biologique du milieu eau.

6. La salinité

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans les eaux souterrains. C'est un terme général utilisé pour décrire les niveaux de divers sels tels que le chlorure de sodium, le sulfate de magnésium, le sulfate de calcium et divers sels de bicarbonate.

Il ne faut pas confondre la salinité avec la dureté de l'eau qui est relative à son dosage en calcium et magnésium.

7. La turbidité

La turbidité peut être importante dans les aquifères karstique que les aquifères fissurés et poreux. Elle occasionne des désagréments dans l'aspect de l'eau et sa saveur (goût de teneur).

8. La résidu sec à 105°C

La teneur en matières sèches est exprimée en pourcentage par rapport au poids de l'échantillon. La méthode de mesure consiste à mettre à l'étuve à **105 °C**, jusqu'à obtention d'une masse constante, un échantillon de boue (25 à 100 ml selon la concentration de la boue).

9. L'ammonium (NH_4^+)

La vitesse de circulation de l'eau dans le réseau souterrain ne permet pas la décantation des particules argileuses déposées dans les vides et les interstices. Ce qui augmente la charge des matières en suspension que l'on retrouve après pompage.

10. Le Nitrite (NO_2^-)

Le nitrite fait partie de la composition naturelle des sols, des eaux et des végétaux. Cependant, sa concentration y est très faible. Dans le corps humain, le nitrite résulte notamment de la transformation du nitrate dans l'estomac.

Dans l'eau de distribution, une quantité de nitrite supérieure à la norme légale maximale de 0,10 mg/l peut s'avérer nocive pour la santé.

11. Le Nitrate (NO_3^-)

Le nitrate existe dans notre alimentation quotidienne (par exemple, dans certains fruits et légumes). Il est également présent dans les engrais utilisés pour l'agriculture. L'épandage excessif d'engrais sur les sols agricoles engendre le risque d'une concentration trop élevée de nitrate dans l'eau. C'est pourquoi l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a fixé la concentration maximale de nitrate dans l'eau à 50 mg/l.

Des teneurs inférieures ou égales à cette norme ne présentent aucun danger, y compris pour les femmes enceintes et pour les nourrissons.

12. Le Phosphate (PO_4^{3-})

Le phosphore est un élément naturel que l'on retrouve, entre autres, dans le sol. Il est indispensable à la croissance des végétaux. Son utilisation est très similaire à celle du nitrate : le phosphore sert principalement d'engrais chimique dans les activités agricoles et industrielles.

Essentiel au bon fonctionnement de l'organisme, le phosphore n'est soumis à aucune limite légale de quantité dans l'eau de distribution.

13. Les Sulfates d'hydrogène (H_2S)

Le sulfure d'hydrogène, ou hydrogène sulfuré appelé aussi l'acide sulfurique, est un composé chimique de formule (H_2S), constitué de soufre et d'hydrogène. C'est un gaz inflammable, incolore, à l'odeur nauséabonde d'œuf pourri, très toxique, faiblement soluble dans l'eau en donnant un acide faible, l'acide sulfhydrique.

Produit par la fermentation anaérobie (sans air) quand l'eau est trop riche en matières organiques.

14. Le calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un élément très répandu dans la nature. On le trouve dans presque toutes les eaux naturelles. Le calcium est bien connu pour son rôle majeur dans la croissance et l'entretien des os. Il est très important pour les enfants, mais aussi pour les femmes enceintes et les personnes âgées. La quantité quotidienne de calcium recommandée est de 1000 à 1200 milligrammes par jour. Des quantités élevées de calcium dans l'eau du robinet ne présentent aucun risque pour la santé. Elles peuvent néanmoins altérer le goût de l'eau et favoriser l'apparition de tartre dans les appareils électro-ménagers.

La concentration maximale légalement autorisée de calcium dans l'eau est de 270 milligrammes par litre (mg/l).

15. Le Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium existe en abondance dans la nature. Avec le calcium, il contribue à la dureté de l'eau. Le magnésium a de nombreux bienfaits pour la santé humaine, dont celui de limiter l'anxiété et l'hypersensibilité au stress. Il favorise également la transmission neuromusculaire. Les besoins en magnésium chez l'adulte sont estimés à 5 - 7 mg/kg/jour.

La concentration de l'eau en magnésium n'est soumise à aucune norme minimum légale. Cependant, elle est limitée à 50 mg/l au maximum.

16. Le chlorure (Cl^-)

La concentration de l'eau en chlorure peut être plus ou moins élevée en fonction de la géologie des sols et de leur exposition aux pollutions. Le chlorure a des bienfaits pour notre santé : notre régime alimentaire devrait nous fournir environ 600 milligrammes de chlorure par jour.

La concentration maximale légalement autorisée de chlorure dans l'eau est de 250 milligrammes par litre (mg/l).

17. Le Sulfate (SO_4^{2-})

Le sulfate contenu dans l'eau souterraine est fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7 g/l dans les conditions normales). Les nappes de l'Eocène ont des teneurs fréquentes comprises entre 25 et 10 mg/l mais qui peuvent localement dépasser 250 mg/l et même 1 g/l dans les formations à veines de

gypse, valeurs qui rendent cette eau non potable. Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l). Les nappes phréatiques (libres) en moyenne ont des teneurs en sulfates inférieures à 500 mg/l.

Le sulfate est un composé naturel qui correspond à la présence de soufre dans l'eau. S'il est consommé à trop fortes doses (plus de 1000 milligrammes par litre), le sulfate peut avoir un effet laxatif.

C'est pourquoi la teneur de l'eau de distribution en sulfate est limitée à 250 milligrammes par litre (mg/l).

18. Le Bicarbonate (HCO_3^-)

Le bicarbonate fait partie des nombreuses substances minérales (au même titre que le calcium, le magnésium ou encore le sodium) naturellement présentes dans l'eau. L'eau peut contenir des quantités plus ou moins élevées de bicarbonate en fonction des types de sols qu'elle traverse (infiltration) ou sur lesquels elle s'écoule (ruissellement).

Sans effet nocif pour la santé, le bicarbonate n'est soumis à aucune norme légale.

19. La Dureté totale (TH)

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

Une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca^{2+} et Mg^{2+} ; Une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français) ; 1 °F correspond à 10mg de carbonates de Ca dans 1 litre d'eau.

Les eaux douces correspondent à des valeurs faibles du titre hydrotimétrique (compris entre 5 et 20 °F). Les eaux dures ont un titre hydrotimétrique compris entre 20 et 35 °F. Des valeurs supérieures indiquent des eaux très dures.

Généralement les eaux souterraines du bassin ont une dureté remarquable, d'ailleurs cette propriété est essentiellement remarquable sur l'état des canalisations et des appareils de

chauffage (dépôts de tartres), elle se manifeste également par une difficulté de cuisson des aliments et dans la production de mousse avec le savon.

En revanche, une eau trop douce est agressive vis-à-vis des canalisations ; elle favorise le phénomène de corrosion. La corrosion des canalisations en plomb est particulièrement dangereuse pour la santé du consommateur. Un traitement par re-minéralisation est indiqué.

20. Le Titre alcaline complète (TAC)

Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la totalité des hydroxydes et des carbonates. Le titre alcalimétrique complet correspond au volume d'acide nécessaire pour neutraliser les ions bicarbonates HCO_3^- en complément des ions carbonates CO_3^{2-} contenus dans 100 ml d'échantillon :

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

III.3. Les normes de qualité des eaux potables

Généralement, pour chaque paramètre, on recherche sa présence et l'on détermine sa quantité dans l'eau. La norme pour un paramètre dans l'eau est représentée par un chiffre, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser et une limite inférieure à respecter. Si un paramètre dépasse la concentration limite, il y a absence de conformité par rapport aux normes établis. A ce titre l'OMS, dans ses recommandations, ne fixe pas des normes strictes, mais plutôt des valeurs guides qui sont susceptibles d'être utilisées avec une certaine souplesse, dans le souci constant de protection de la santé de la population, tout en permettant de porter un jugement comparatif sur la qualité de l'eau.^[11]

III.3.1. Paramètre physico-chimique en relation avec la structure naturelle de l'eau

Les normes visent à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque pour la santé. Dans les recommandations, on propose également des objectifs esthétiques. Une eau de mauvaise qualité esthétique fait naître un doute sur sa salubrité dans l'esprit du consommateur. Une mauvaise qualité esthétique découle souvent d'une contamination chimique ou bactériologique. Les différents paramètres physico-chimiques et recommandations de ces derniers sont représentées dans le tableau.

Tableau III.1. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable^[12]

Substances	Unites	Norms OMS	Norms algériennes
Turbidity	NTU	<2,5	<5
Temperature	C°	<25	<25
TA	mg/l	<15	<5
TAC	mg/l	<15	/
Calcium	mg/l	<270	<200
Magnesium	mg/l	<50	<150
Chlorure	mg/l	<250	<500
Concentration en ions hydrogène	pH	≥ 6,5 et ≤ 9,5	≥ 6,5 et ≤ 9
Dureté	mg/l de CaCO ₃	<500	<500
Conductivity à 20°C	µS/cm	<2100	<2800
Ammonium	mg/l	<0,5	<0,5
Potassium	mg/l	<20	<12
Aluminum	mg/l	<0,2	<0,2
Cadmium	µg/l	<3	<3

Cuvier	mg/l	<2	<2
Oxygène dissous	O ₂	<6,5	Pas de valeur guide
Fluorure	mg/l	< 1,5 mg/l(jusqu'a10)	<1,5
Fer	mg/l	<0,3	<0,3
Manganèse	mg/l	<0,4	<0,05
Nitrate	mg/l	<50	<50
Nitrite	mg/l	<0,1	<0,1
Oxydabilité (O₂ en KMnO₄)	mg/l O ₂	<5	<5
Sulfate	mg/l	<400	<400
Zinc	mg/l	<3	<5
Phosphate	mg/l	<0,5	<0,5
Cyanure	mg/l	<0,07	<0,07
Résidu sec	mg/l	<1500	<2000

Degrés français (°f) : 1°f = 4 milligrammes de calcium par litre ou 2,4 milligrammes de magnésium par litre.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

III.3.2. Paramètre concernant les substances indésirables

Les substances indésirables contenues dans l'eau destinée à la consommation ne présentent aucun danger pour la santé humaine, mais dépassant un certain seuil, elles peuvent

provoquer des désagréments d'ordre esthétique ou organoleptique, tel que le fer et le manganèse (tableau).

Tableau III.2. Norme des substances indésirables d'une eau potable^{[13][14][15]}

Parameters indésirables	Unit é	Norme(OMS , 2006)	Norme (UE ,1998)	Norme (Algériennes, 2000)
Azote	mg/l	50	Non mentionnée	Au maximum 1
Fluor	mg/l	1.5	1.5	0.2 à 2
Hydrogène sulfuré	mg/l	0,05 à 1	-	Peut-être décelable organoleptiquement
Fer	mg/l	0,3	0.2	Au maximum 0.3
Manganèse	mg/l	0.5	0.05	Au maximum 0.5
Cuivre	mg/l	2	2.0	Au maximum 1.5
Zinc	mg/l	3	Non mentionnée	Au maximum 5
Argent	mg/l	Pas de valeur guide	-	Au maximum 0.05

III.3.3. Paramètre microbiologiques

III.3.3.1. Escherichia

Escherichia coli, également appelé colibacille ou E. coli, est une bactérie intestinale des mammifères très commune chez l'humain. La recherche de Escherichia coli dans l'eau d'alimentation est faite pour apprécier sa potabilité, et sa présence dans l'eau est le témoin d'une contamination fécale récente et la rend impropre à la consommation, elle se développe en 24 heures à 37°C sur les milieux gélosés, en donnant de colonies rondes, lisses, à bord régulier de 2 à 3 mm de diamètre.

III.3.3.2.Salmonella

C'est une entérobactérie responsable de gastro-entérite, toxi-infection alimentaire et des fièvres typhoïde et paratyphoïde (*S. typhi* et *S. paratyphi*). La transmission de ces deux derniers se fait surtout par l'eau potable lors des épidémies étendues. Mais le contact direct ou les aliments peuvent également être en cause dans la propagation. Le contrôle bactériologique strict des eaux de consommation ainsi que la surveillance du réservoir de germes (porteurs) expliquent la diminution spectaculaire des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes dans les pays à hygiène développée (Brands et al. 2005).

III.3.3.3.Vibrio

Ce sont des petits bacilles, de formes fréquemment incurvées dites "en virgule", l'espèce la plus connue du genre *Vibrio* est *Vibrio cholerae* : agent responsable du choléra.

La transmission se fait par voie orale à partir du milieu extérieur (eaux ou aliments) souillé par les selles, le vibrion cholérique a une extraordinaire capacité de multiplication.^[16]

III.3.3.4.Clostridium

Ce sont des bactéries très répandues dans la nature, elles se trouvent dans les intestins des animaux, elles peuvent provoquer des maladies mortelles. La plupart des espèces de *Clostridium* sont des bactéries telluriques, mais sont également isolées dans l'intestin et les selles de l'homme et de divers animaux. Ainsi la présence de *clostridium* dans les eaux ou les aliments par exemple signe en général, une contamination fécale. ^[17]

III.3.3.5.Streptococcus

Sont des bactéries fécales trouvés dans l'eau, l'air et le sol ; Parmi les types qui provoquent des maladies on peut citer *Streptococcus pyogènes*, qui sont responsables de l'inflammation septique des amygdales, des glandes lymphatiques et des angines (Leyral, 2007).

III.3.4. Paramètre concernant les substances toxiques

Les substances toxiques présentes dans l'eau peuvent s'avérer très dangereuses pour la santé humaine si elles dépassent certaines teneurs détaillées sur le tableau.

Tableau III.3. Norme des substances toxiques d'une eau potable^{[13][14][15]}

Paramètres toxiques	Unité	Norme (OMS, 2006)	Norme (UE ,1998)	Norme (Algérienne, 2000)
Arsenic	mg/l	0.01	0.01	Au maximum 0.05
Cadmium	mg/l	0.003	0.005	Au maximum 0.01
Cyanure	mg/l	0.07	0.05	Au maximum 0.05
Chrome	mg/l	0.05	0.05	Au maximum 0.05
Mercure	mg/l	0.001	0.001	Au maximum 0.01
Plomb	mg/l	0.01	0.01	Au maximum 0.05
Sélénium	mg/l	0.01	0.01	Au maximum 0.01

III.4.Conclusion

Les composantes et la qualité des eaux souterraines dans la zone étudiée sont liées à la nature géologique de la zone à travers le type de roches à travers lesquelles les eaux souterraines s'infiltrent dans le sol.

A blue scroll graphic with a white background, featuring a dark blue border and rounded corners. The text is centered on the scroll.

*Chapitre IV :
Etudes
hydrogéochimique*

Chapitre IV : Etudes hydrogéochimiques

IV.1. Introduction

La composition des eaux souterraines évolue géochimiquement par le biais de phénomènes d'ordre hydrodynamique, qui contrôlent la circulation des eaux souterraines dans divers environnements. Plusieurs phénomènes hydrochimiques interviennent, notamment d'ordre minéralogique : dissolution des minéraux et libération d'éléments chimiques dans les eaux, précipitation de minéraux secondaires et remobilisation d'éléments à partir de la solution. [18]

Afin de suivre la variation hydrogéochimique le long du chemin d'écoulement souterrain et de déterminer le chimisme et la qualité des eaux souterraines de la région de Boussaâda, nous avons procédé à une approche portant sur :

- Caractérisation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines et leur variation spatiotemporelle ainsi que la détermination des faciès chimiques des eaux.
- Etude des principaux processus chimiques dans l'aquifère et l'évolution spatio-temporelle de la composition de l'eau en comparant les campagnes des mesures et des analyses physico-chimiques (Avril 2014 à mai 2018) par les méthodes de cartographie et l'analyse statistique, telles que l'analyse en composante principale (ACP).

Cette approche d'analyse et d'interprétation a été effectuée sur des analyses chimiques des 12 échantillons prélevés des forages de la région pendant deux périodes (Avril 2014 à mai 2018). Les analyses ont été effectuées au laboratoire de la société Algérienne Des Eaux (ADE) de la wilaya de M'sila.

IV.2. Présentation des logiciels utilisés

IV.2.1. présentation sur le diagramme de piper

Le Diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles. Il permet une représentation des cations et anions sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions. La position relative d'un résultat

analytique sur chacun de ces triangles permet de préciser en premier lieu la dominance cationique et anionique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée. Le diagramme de Piper permet également:

- ✓ d'illustrer l'évolution chimique d'une eau dans un aquifère ainsi que les mélanges d'eaux de minéralisations différentes.
- ✓ d'avoir une idée sur la lithologie à partir des analyses chimiques.
- ✓ d'avoir une relation entre le chimisme de l'eau et la nature lithologique de l'encaissant.
- ✓ la projection de plusieurs échantillons en même temps:
 - Pour suivre leurs évolutions dans le temps et dans l'espace.
 - Pour les comparer.
 - Pour avoir une idée sur la notion de mélange.
- ✓ de suivre les propriétés physico-chimiques au cours de leur évolution spatiotemporelle.

IV.2.2. présentation sur Les diagraphies

Pour pallier ces inconvénients est apparue, en 1927, la technique des enregistrements dans les forages. On parle de diagraphies ou logging.

Une diagraphie est un enregistrement continu des variations d'un paramètre donné en fonction de la profondeur.

Les diagraphies sont enregistrées lors d'un arrêt ou en fin de forage, et les paramètres mesurés ne sont accessibles qu'avec un certain retard sur l'exécution du forage d'où le nom de diagraphies différées.

Des outils, ou sondes, conçus dans ce but, sont descendus dans le trou de forage à l'extrémité d'un câble qui assure la liaison avec les instruments de surface commandant les opérations, et groupés soit dans un camion, soit dans une cabine fixe pour les forages en mer.

Pour autant que l'on sache relier les paramètres mesurés et leurs variations aux propriétés physiques et/ou chimiques des formations géologiques et des fluides contenus dans ces formations, on dispose d'un instrument sans égal pour étudier les roches et leur contenu éventuel.

Il existe des relations étroites entre les paramètres physiques enregistrés et les paramètres géologiques. On peut définir un "faciès géophysique" qui est pour un niveau donné, la somme des caractéristiques vues par les diagraphies. Le "faciès géophysique" reste inchangé pour un même niveau au cours de plusieurs enregistrements successifs avec les mêmes outils, dans le même trou.

Il en résulte que la modification d'un paramètre géologique doit se répercuter sur un ou plusieurs paramètres physiques. De même, une variation de paramètre physique aura une signification géologique.

Les diagraphies sont donc très utiles pour faire des corrélations de puits à puits et donnent des indications très précieuses sur les variations lithologiques.

IV.2.3. présentation sur XLSTAT

XLSTAT est un logiciel d'analyse de données et de statistique à la fois simple d'utilisation et très puissant. Il permet à ses utilisateurs d'analyser, de visualiser et de modéliser leurs données tout en produisant des rapports sous Microsoft Excel, exportables vers d'autres formats. Avec plus de 220 fonctionnalités statistiques allant des statistiques descriptives à la machine Learning, XLSTAT est l'outil statistique préféré des entreprises, des universités.....etc.

IV.3. Diagramme de piper pour les valeurs moyennes annuelles

IV.3.1. Classification de Piper

Le diagramme de Piper comporte un losange et deux triangles équilatéraux dont les côtés sont divisés en cent parties égales correspondantes à des pourcentages d'ions par rapport à la concentration des ions de même signe. Ce diagramme permet une classification simple des eaux.

L'examen des diagrammes de Piper (Fig6, 7, 8,9 et 10) montrent que la plus part des eaux analysées ont un faciès chimique ; *Chloruré sulfaté calcique et magnésien* pour les cinq Compagnes (Avril 2014 à mai 2018).

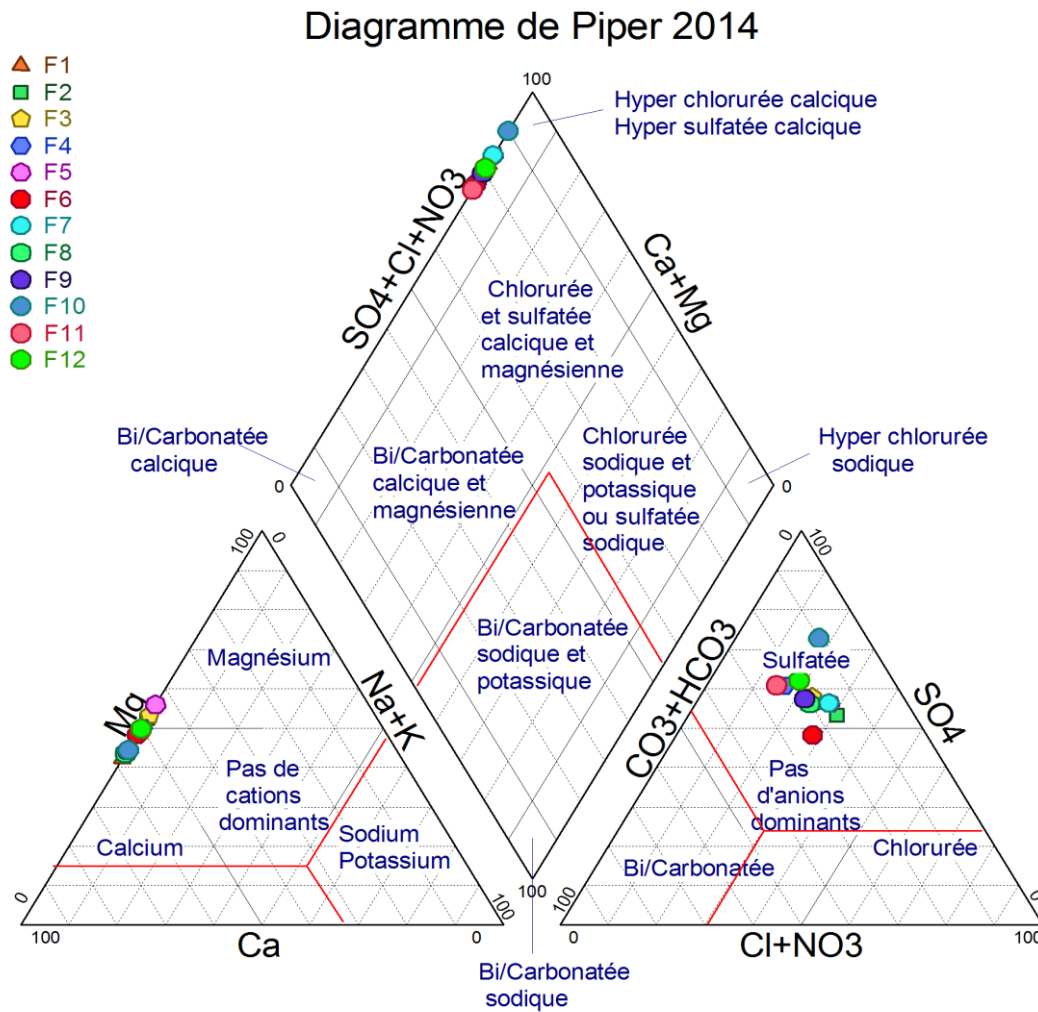


Figure N° 06 : Diagramme de Piper 2014

Diagramme de Piper 2015

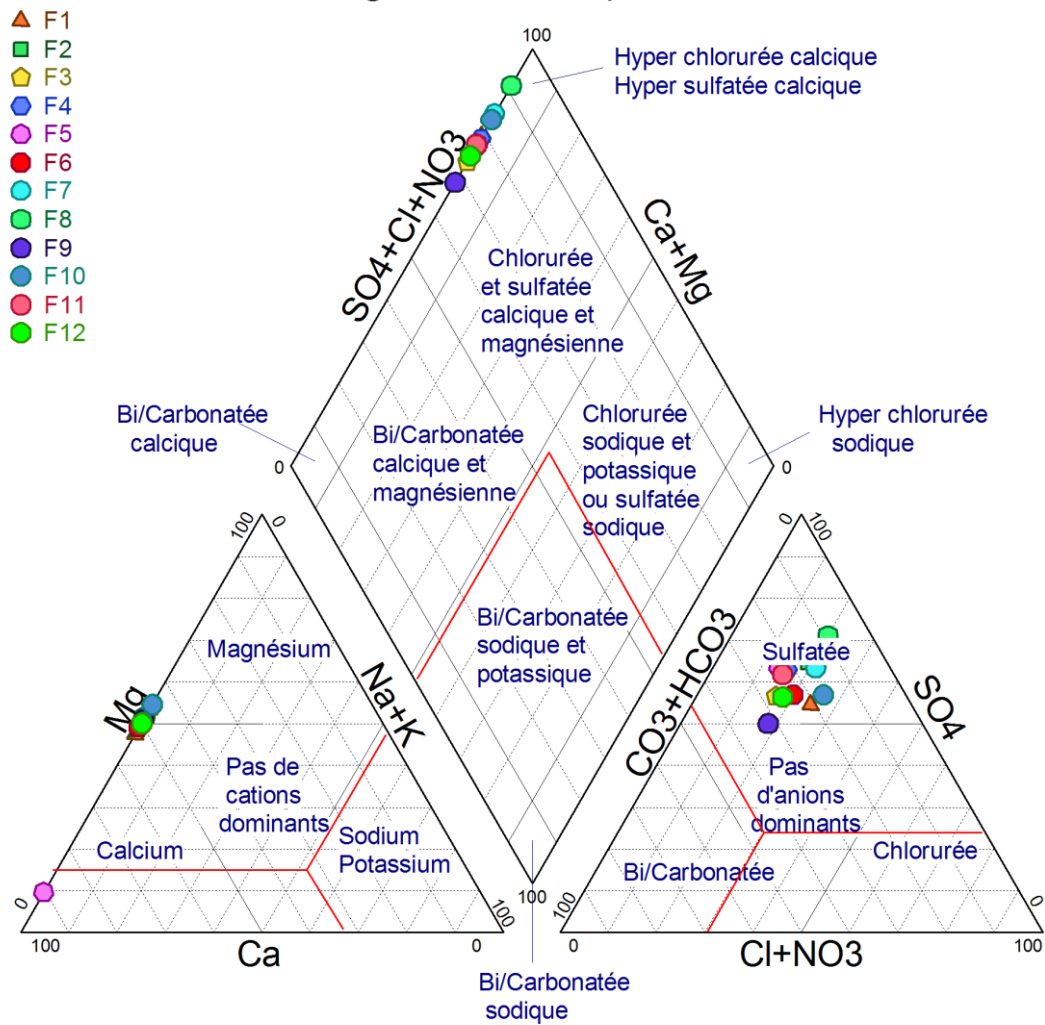


Figure N°07 : Diagramme de Piper 2015

Diagramme de Piper 2016

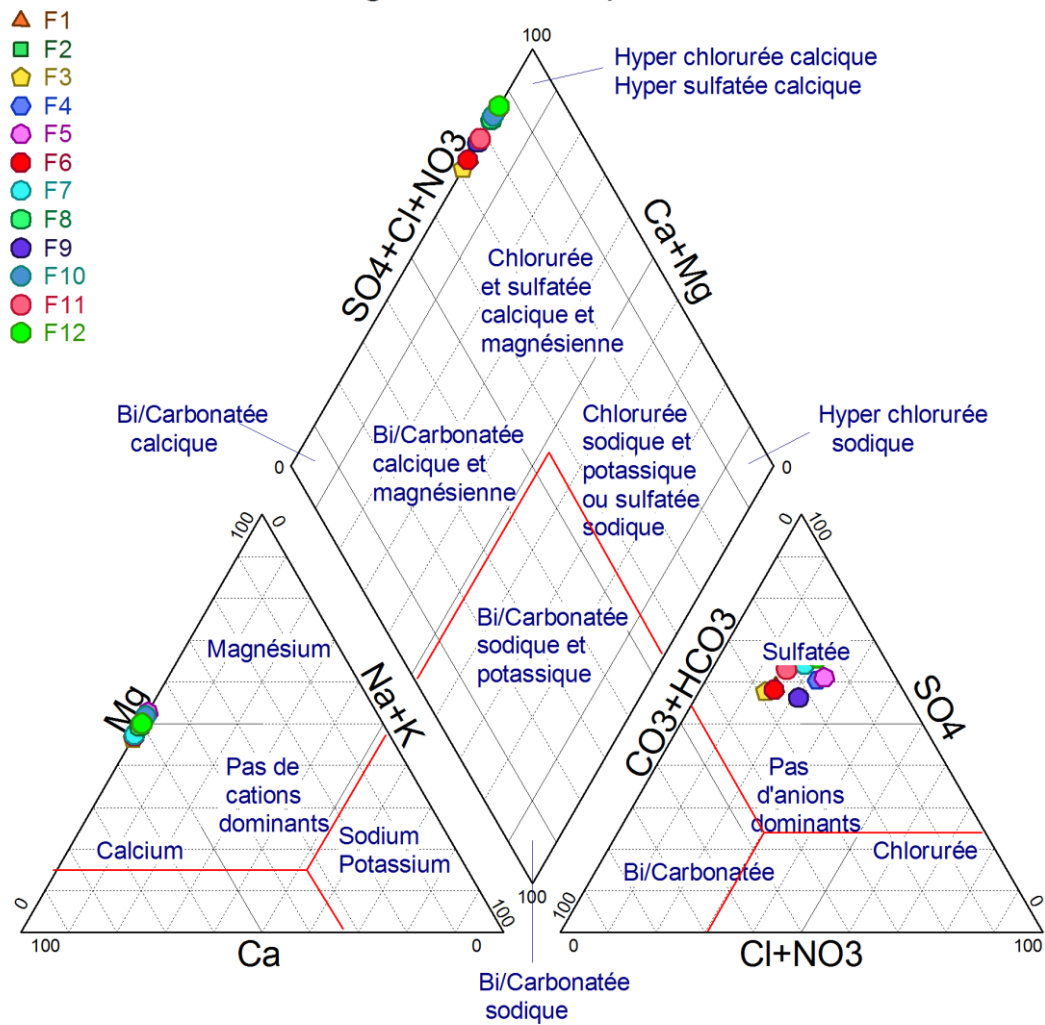


Figure N°08 : Diagramme de Piper 2016

Diagramme de Piper 2017

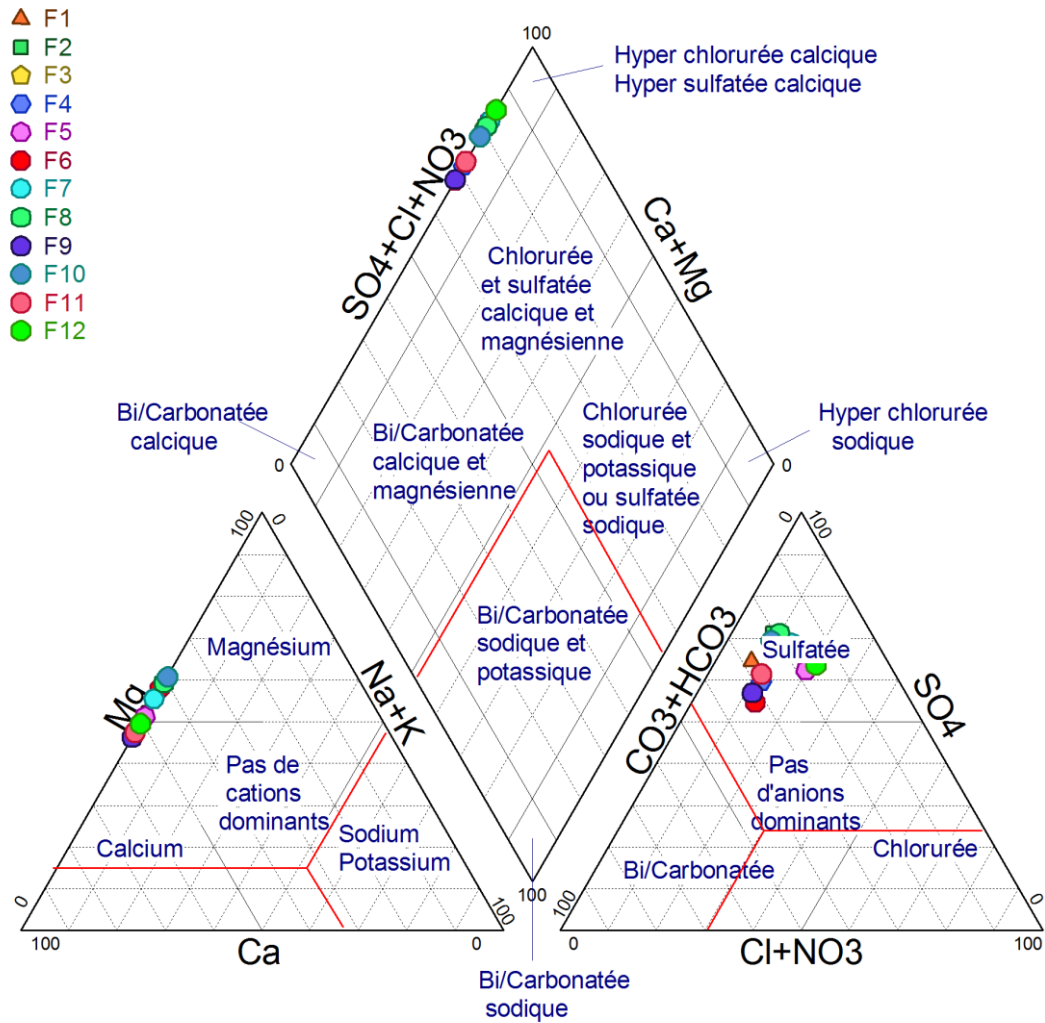


Figure N°09 : Diagramme de Piper 2017

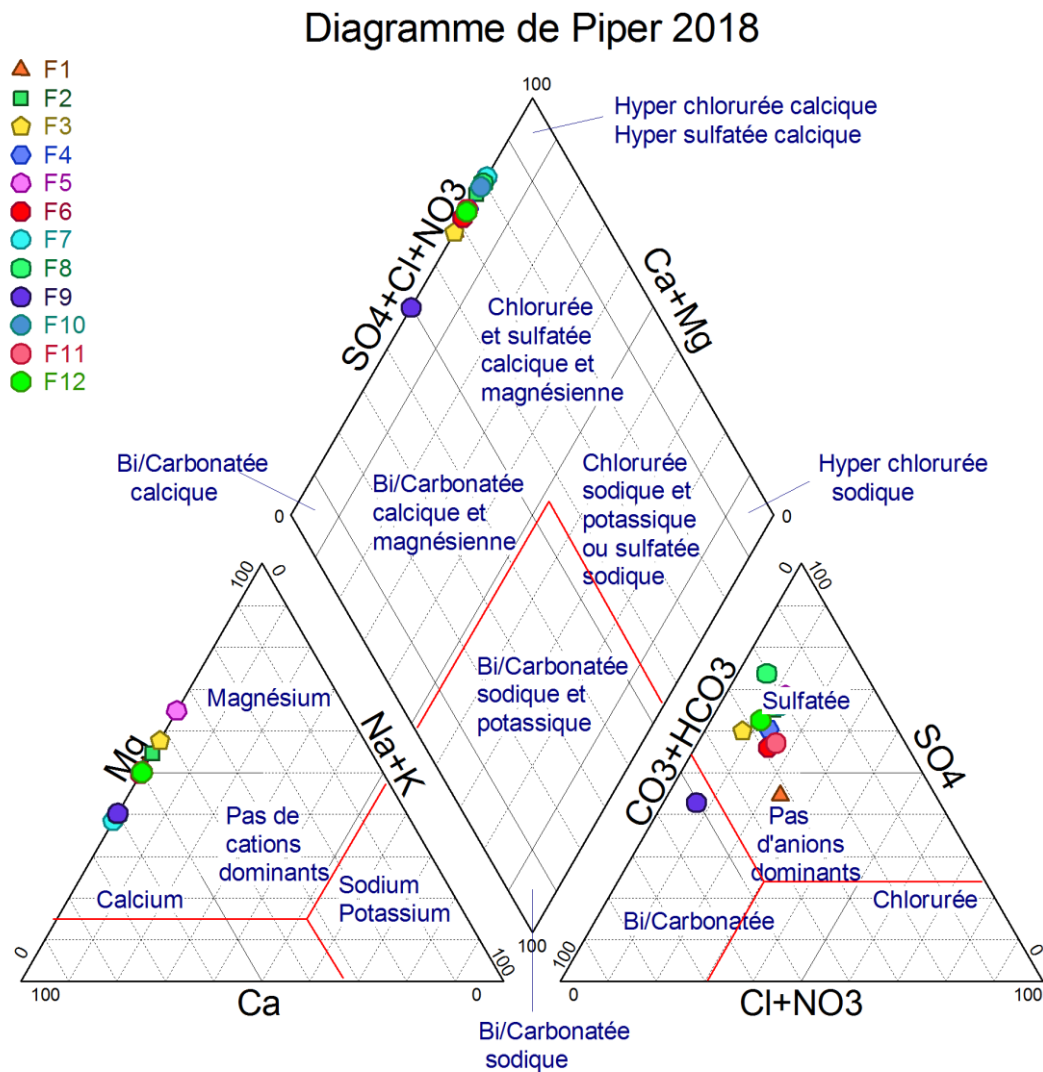


Figure N°10. Diagramme de Piper 2018

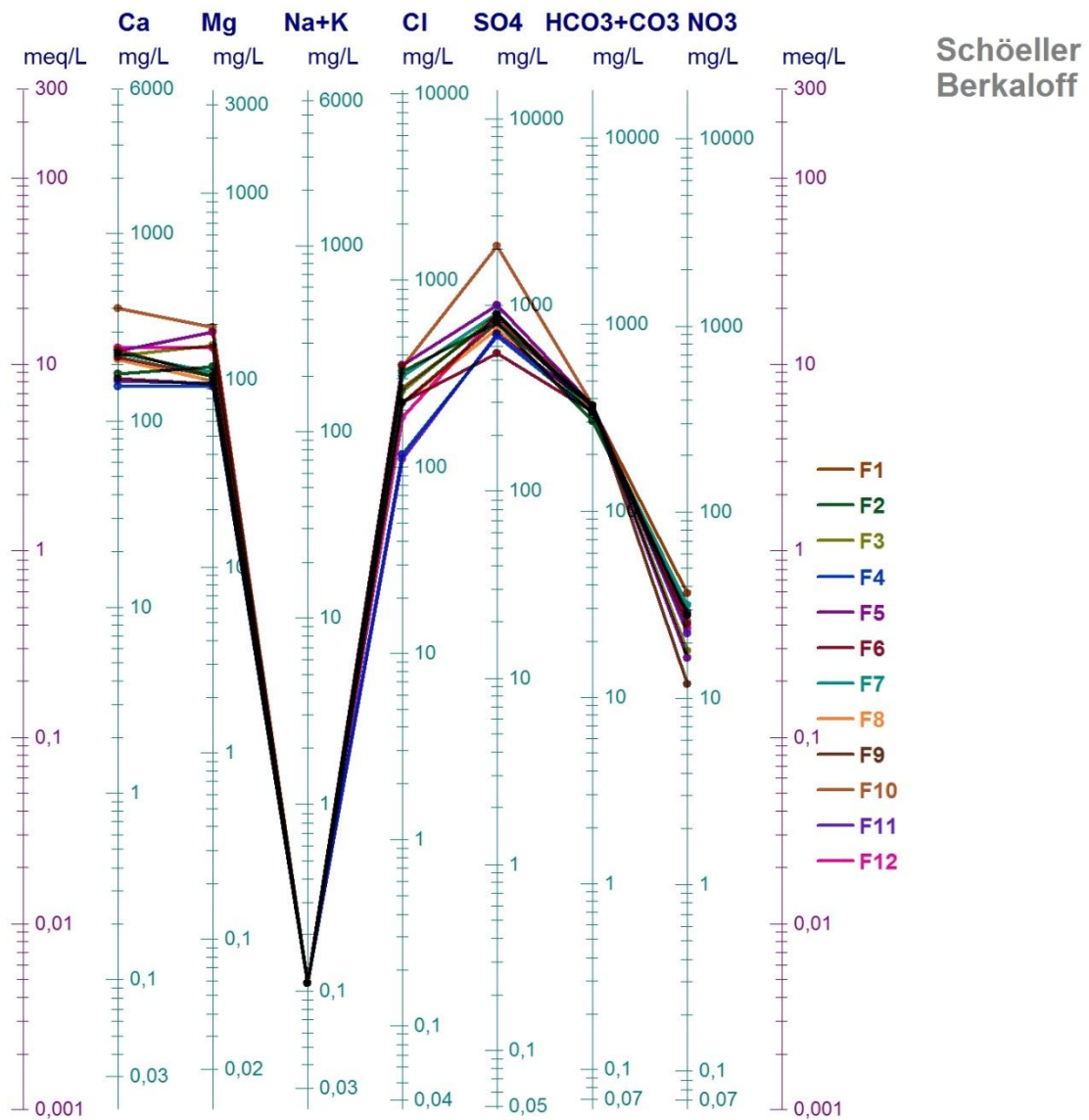
IV.3.2. Classification de Schoeller et berkloff

Les diagrammes semi-logarithmiques verticaux mis au point par E. Berkloff et Schoeller permettent de connaître les faciès hydrochimiques. Ils sont en échelles logarithmiques verticales équidistantes qui servent au rapport des valeurs représentatives de Ca, Mg, (Na+K), Cl, SO₄, (HCO₃+CO₃) et NO₃.

Chaque échelle est une grandeur en (mg/l) et (még/l). L'analyse des diagrammes de SCHOELLER –BERKALOFF (Fig11, 12, 13,14et15) montrent que la majorité des eaux de la

zone d'étude donnent un faciès chimique : Chloruré sulfaté calcique et magnésien pour les

2014



cinq Compagnes (Avril 2014 à mai 2018).

Figure N°11. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2014

2015

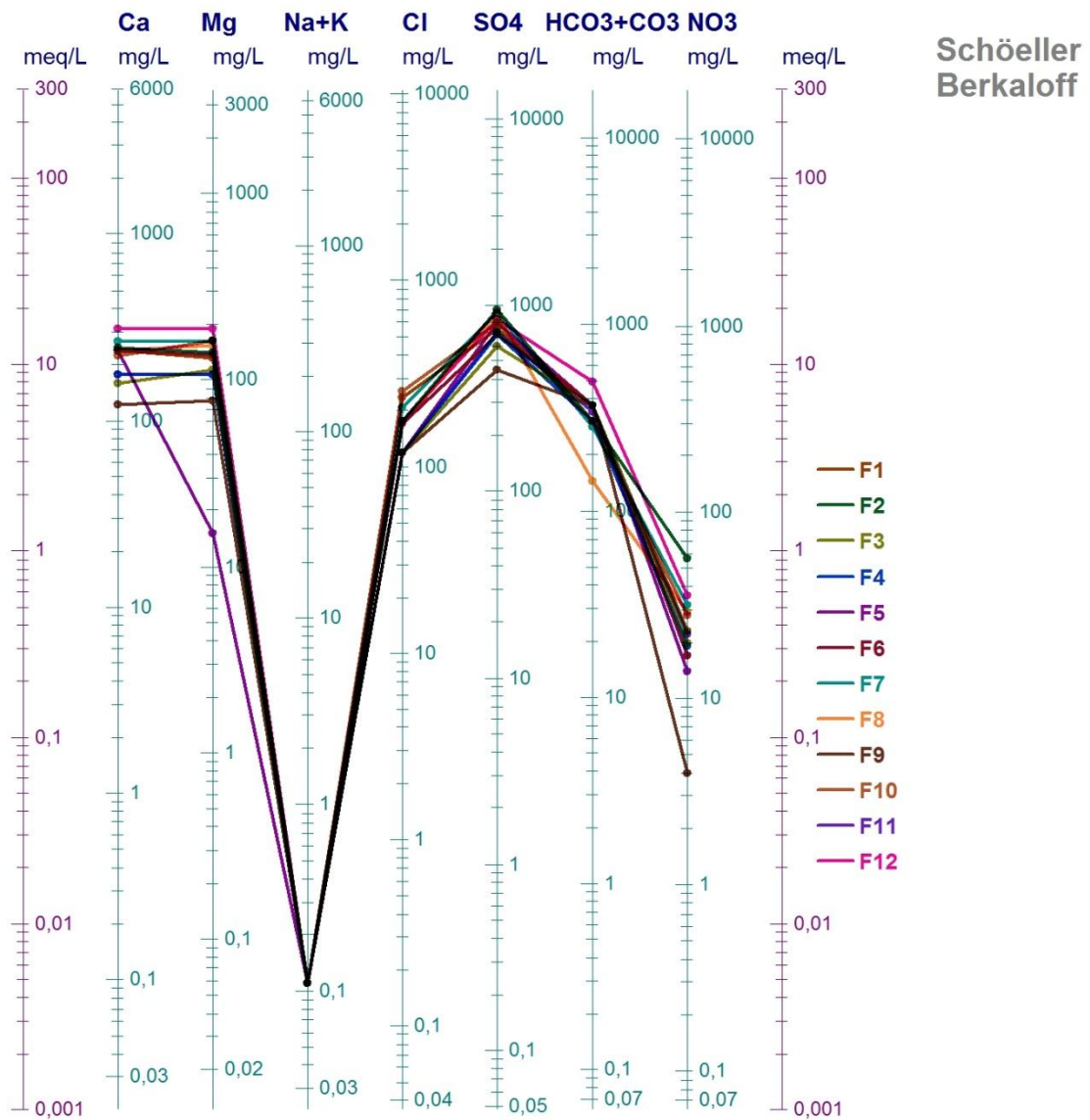


Figure N°12. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2015

2016

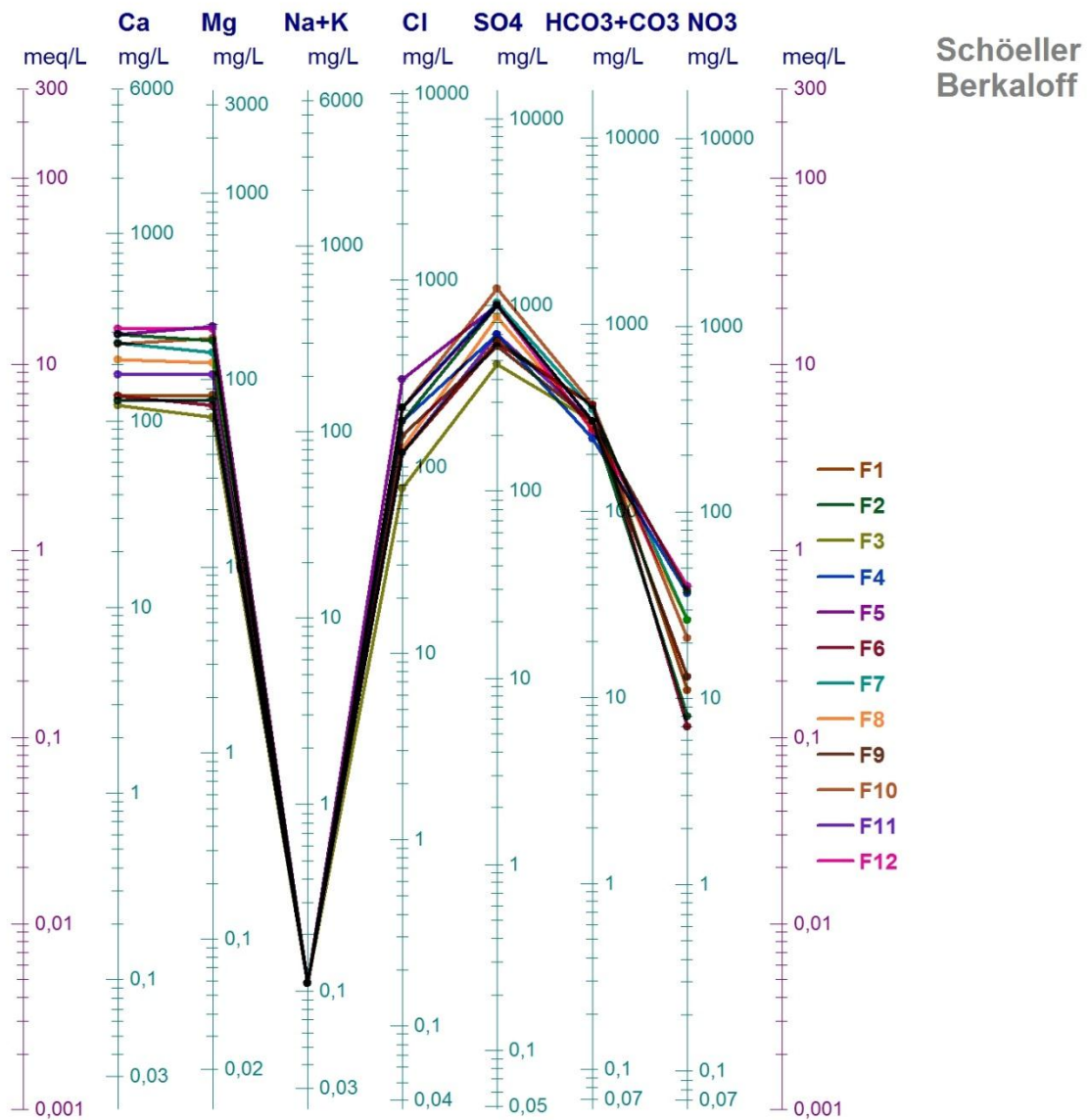


Figure N°13. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2016

2017

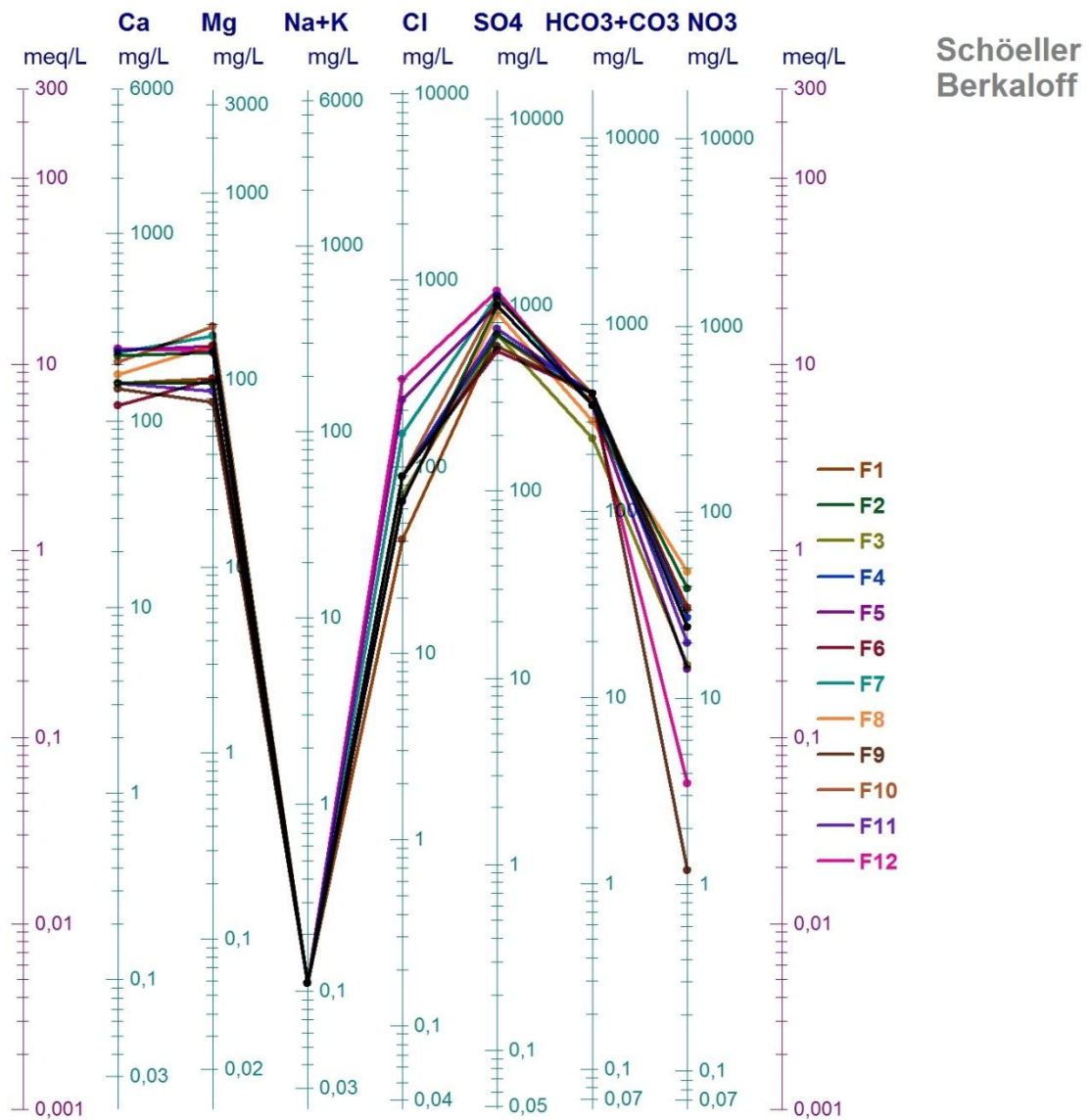


Figure N°14. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2017

2018

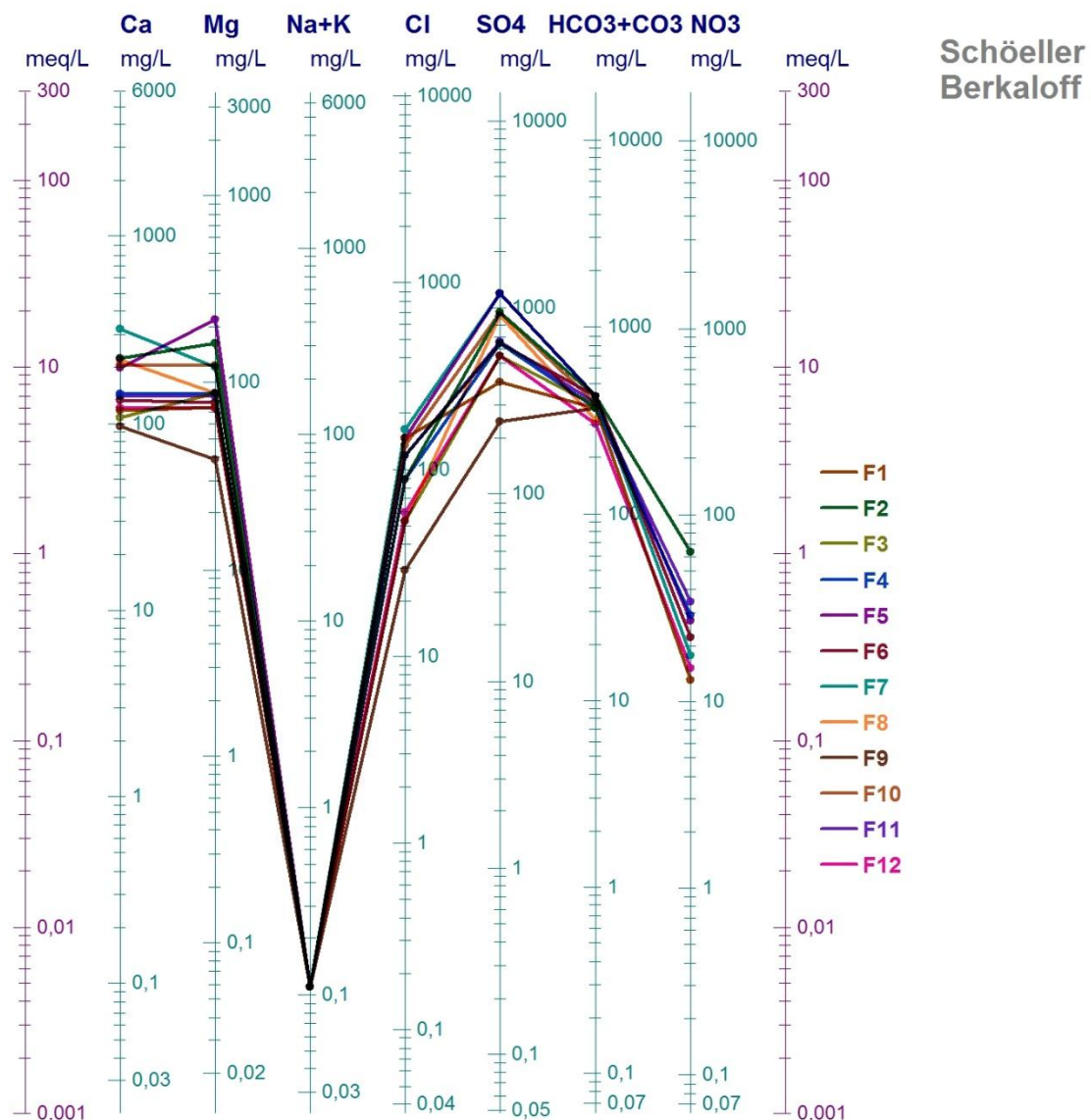


Figure N°15. Diagramme du SCHOELLER – BERKALOFF 2018

IV.3.3. Description de la répartition des caractéristiques physico-chimiques moyennes des eaux de la région d'étude

La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2014

1. Répartition de la concentration de calcium (Ca^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2014 on remarque que à une repartions de calcium plus fort ou bien plus élevée dans les forages (F3 ; F5 ; F12 ; F10 ; F12). Cette hausse est due à la localisation de puits situés dans une zone riche en calcium.

2. Répartition de la concentration de magnésium (Mg^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2014 on remarque que à une répartitions de magnésium approprié dans le forage (F3 ; F5 ; F12 ; F10 ; F12).

3. Répartition de la concentration en sulfate (SO_4^{2-}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2014 on remarque que à une forte répartition de sulfate dans les forages (F6 ; F11 ; F8 ; F9 ; F4 ; F2 ; F1) .donc on veut dire la type de répartitions est sulfatée.

4. Répartition de la concentration de chlorure (Cl^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2014 on remarque que à une forte répartition de chlorure Ceci est dû à une raison de nature géologique de la zone étudiée.

5. Répartition de la concentration de bicarbonate (HCO_3^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2014 on remarque que la répartition de bicarbonate est négligeable. Cela est dû à la nature géologique de la zone étudiée.

La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2015**1. Répartition de la concentration de calcium (Ca^{2+}) :**

D'après le diagramme de piper pour l'année 2015 on remarque que à une fort concentration de calcium dans les forages (F10 ; F12 ; F6). Sauf le forage (F5) qui a pris une valeur assez faible et cela est dû aux changements qui se produisent au niveau de la couche géologique de la terre.

2. Répartition de la concentration de magnésium (Mg^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2015 on remarque que à une répartitions de magnésium approprié dans les forages (F10 ; F12 ; F6) sauf le forage (F5) qui a pris une valeur assez fort, et cela est dû aux changements qui se produisent au niveau de la couche géologique de la terre.

3. Répartition de la concentration en sulfate (SO_4^{2-}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2015 remarque que à une forte répartition de sulfate dans les forages (F6 ; F11 ; F8 ; F9 ; F4 ; F3 ; F2 ; F1) .donc on veut dire le type de répartitions est sulfatée.

4. Répartition de la concentration de chlorure (Cl^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2015 on remarque que à une forte

répartition de chlorure Ceci est dû à une raison de nature géologique de la zone étudiée.

5. Répartition de la concentration de bicarbonate (HCO_3^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2015 on remarque que la répartition de bicarbonate est négligeable. Cela est dû à la nature géologique de la zone étudiée.

La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2016

1. Répartition de la concentration de calcium (Ca^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2016 on remarque que à une répartition de calcium plus forte ou bien plus élevée dans les forages (F3 ; F5 ; F12 ; F10 ; F12). Cette hausse est due à la localisation de puits situés dans une zone riche en calcium.

2. Répartition de la concentration de magnésium (Mg^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2016 on remarque que à une répartition de magnésium approprié dans le forage (F3 ; F5 ; F12 ; F10 ; F12).

3. Répartition de la concentration en sulfate (SO_4^{2-}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2016 on remarque que à une forte répartition de sulfate dans les forages (F6 ; F11 ; F8 ; F9 ; F4 ; F2 ; F1) .donc on veut dire la type de répartition est sulfatée.

4. Répartition de la concentration de chlorure (Cl^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2016 on remarque que à une forte répartition de chlorure Ceci est dû à une raison de nature géologique de la zone étudiée.

5. Répartition de la concentration de bicarbonate (HCO_3^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2016 on remarque que la répartition de bicarbonate est négligeable. Cela est dû à la nature géologique de la zone étudiée.

La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2017

1. Répartition de la concentration de calcium (Ca^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2017 on remarque que à une répartition de calcium plus forte ou bien plus élevée dans les forages (F3 ; F5 ; F12 ; F10 ; F12). Cette hausse est due à la localisation de puits situés dans une zone riche en calcium.

2. Répartition de la concentration de magnésium (Mg^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2017 on remarque que à une repartions de magnésium est approprié dans le forage (F3 ; F5 ; F12 ; F10 ; F12).

3. Répartition de la concentration en sulfate (SO_4^{2-}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2017 on remarque que à une forte répartition de sulfate dans les forages (F6 ; F11 ; F8 ; F9 ; F4 ; F2 ; F1) .donc on veut dire la type de répartitions est sulfatée.

4. Répartition de la concentration de chlorure (Cl^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2017 on remarque que à une forte répartition de chlorure Ceci est dû à une raison de nature géologique de la zone étudiée.

5. Répartition de la concentration de bicarbonate (HCO_3^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2017 on remarque que la répartition de bicarbonate est négligeable. Cela est dû à la nature géologique de la zone étudiée.

La répartition des caractéristiques physico-chimiques Pour l'année 2018**1. Répartition de la concentration de calcium (Ca^{2+}) :**

D'après le diagramme de piper pour l'année 2018 on remarque que la répartition de Calcium plus fort sauf les forages (F9 ; F7 :F5) Cela a connu un petit changement de concentration.

2. Répartition de la concentration de magnésium (Mg^{2+}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2018 on remarque que la répartition de magnésium est approprié sauf les forages (F9 ; F7 :F5) Cela a connu un petit changement de concentration.

3. Répartition de la concentration en sulfate (SO_4^{2-}) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2018 on remarque que une forte répartition de sulfate sauf le forage (F1) qui est connu une petit dégradation de concentration Par rapport aux années précédentes.

4. Répartition de la concentration de chlorure (Cl^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2018 on remarque que à une forte répartition de chlorure Ceci est dû à une raison de nature géologique de la zone étudiée.

5. Répartition de la concentration de bicarbonate (HCO_3^-) :

D'après le diagramme de piper pour l'année 2018 on remarque que la répartition de bicarbonate est négligeable. Cela est dû à la nature géologique de la zone étudiée.

En fin nous concluons D'après les résultats obtenus, on peut dire que la qualité des eaux souterraines de la zone étudiée est en bon état, car elle n'a pas subi de baisse de qualité au cours des cinq dernières années.

IV.3.4. Origine des éléments chimiques

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe proviennent des formations calcaires et carbonatées qui bordent la plaine et aussi de l'infiltration des eaux pluviales. Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. En se basant sur les mesures et les analyses chimiques trouvés, on va essayer de déterminer l'origine probable des ions de ces éléments.

IV.3.4.1. Origine de calcium Ca^{2+}

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse (carbonatée et évaporitique), comme il peut provenir des apports d'engrais azotés qui participent à la dissolution des carbonates. La détermination de l'origine de Calcium est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

IV.3.4.2. Origine de sulfate SO_4^{2-}

Généralement les sulfates dans les eaux naturelles, ont essentiellement deux origines : géochimique (contact avec du gypse ou d'autres minéraux communs) et anthropique (l'oxydation de H_2S et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère). [19]

IV.4. Analyses statistiques des paramètres physico-chimiques

On traite les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines des forages implantés dans région de plan Hodna par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), dont l'objectif est d'identifier les faciès

chimiques et l'interaction eau-roche afin d'expliquer l'occurrence de tel élément par rapport à un autre.

IV.4.1.L'Analyse en composantes principales (ACP)

Conçue par Karl Pearson en 1901, intégrée à la statistique mathématique^[20] par l'analyse en composantes principales (ACP) n'est vraiment utilisée que depuis la large diffusion des moyens de calcul informatique.

La technique d'analyse en composantes principales peut être présentée de divers points de vue. Pour le statisticien classique, il s'agit de la recherche des axes principaux de l'ellipsoïde d'une distribution normale multidimensionnelle, ces axes étant estimés à partir d'un échantillon. C'est la présentation initiale de Hotelling (1933), puis celle des manuels classiques d'analyse multi variée.

Pour le factorialiste classique, il s'agit d'un cas particulier de la méthode d'analyse factorielle des psychométriciens (cas de variances spécifiques nulles ou égales).

Enfin, du point de vue plus récent des analystes de données, il s'agit d'une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques, et que l'on utilise en général sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier.

Ce point de vue, fort répandu actuellement est peut-être le plus ancien. C'est celui qui avait été adopté par Pearson (1901). Bien entendu, il ne s'agissait pas de l'analyse en composantes principales telle que nous la présentons, mais les idées essentielles de la méthode étaient déjà présentées par cet auteur.

L'analyse en composantes principales présente de nombreuses variantes selon les transformations apportées au tableau de données : le nuage des points-individus peut être centré ou non, réduit ou non. Parmi ces variantes, l'analyse en composantes principales normée (nuage centré-réduit) est certainement la plus utilisée et c'est celle-ci que nous choisissons pour présenter les principes de l'analyse.

L'analyse en composantes principales, souvent notée ACP, fait partie des techniques descriptives multidimensionnelles. Elle appartient aussi au domaine du Datamining tel qu'il est mis en œuvre par exemple dans le logiciel SPAD dont nous avons dirigé le développement

jusqu'en 2004. Ces techniques d'exploration sont exécutées dans le cadre d'enchaînements de procédures complémentaires de visualisation et de synthèse utilisées pour démêler la complexité et la redondance des données brutes et faire émerger des informations cachées dans les données.

IV.4.2.Principe de l'ACP

L'opération de l'Analyse de Composantes Principales consiste à passer d'un tableau des données brutes, contenant toute l'information recueillie sur le phénomène que nous souhaitons étudier, à certaines représentations visuelles des données. Cette opération entraînera une certaine perte "d'information" que l'on essaie de minimiser. En échange, on obtient un gain en "signification", en particulier grâce aux représentations graphiques. Autrement dit, on passe du "magma" des données d'origine à des graphiques interprétables par l'utilisateur. Pour l'interprétation, il est important d'avoir un minimum de connaissances sur le fonctionnement de l'ACP et la nature des résultats qu'elle produit.^[18]

IV.4.3.Application de L'ACP sur des données chimiques de la région d'étude

L'analyse statistique en composantes principales pour les périodes (Avril 2014 à mai 2018) a été réalisée sur 12 échantillons et 20 variables à l'aide du logiciel XLSTAT 2009 version démo. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution. Les paramètres statistiques des variables (moyennes et écart types) sont consignés dans les Tableaux suivants Pour les années (2014, 2015, 2016,2017et 2018)

Tableau IV.1. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2014

Période 2014	Min	Moy	Max	Ecart-type	C V %
pH	6,50	6,75	7,16	0,20	2,96
Conductivité à 20 °C	1002	2174,90	3810,00	721,36	33,17
Température °C	19,20	22,41	25,30	1,83	8,17
MES à 105°C	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Oxygène dissous	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00
salinité	0,95	1,32	2,30	0,40	30,12
turbidité	0,22	3,67	20,00	5,72	155,92
résidu sec à 105°C	759,00	1627,83	2888,00	528,51	32,47
ammonium NH4	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Nitrite NO2	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Nitrate NO3	12,00	24,78	37,00	6,92	27,93
Phosphate PO4	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00
Sulfate d'hydrogène	0,00	0,00	0,00	0,00	-
calcium Ca	152,00	222,29	400,00	64,71	29,11
Magnésium Mg	92,25	125,04	193,00	35,50	28,39
chlorures CL	110,50	243,46	353,00	81,21	33,36
Sulfate SO4	550,00	909,27	2080,00	387,49	42,62
Bicarbonate HCO3	305,00	349,42	366,00	19,43	5,56
Dureté totale TH	79,00	106,17	179,00	28,00	26,38
Titre alcaline complète TAC	25,00	28,65	30,00	1,59	5,55

Tableau IV.2. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2015

Période 2015	Min	Moy	Max	Ecart-type	C V %
pH	6,11	6,68	7,77	0,50	7,42
Conductivité à 20 °C	1337	2347,08	3480,00	688,10	29,32
Température °C	20,80	23,41	28,50	1,89	8,07
MES à 105°C	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Oxygène dissous	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00
salinité	0,70	1,32	2,30	0,48	36,33
turbidité	0,20	3,13	12,90	4,07	130,01
résidu sec à 105°C	1000	1611,92	2344,00	450,56	27,95
ammonium NH₄	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Nitrite NO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Nitrate NO₃	4,00	25,00	56,00	12,99	51,96
Phosphate PO₄	0,50	0,50	0,50	0,00	0,00
Sulfate d'hydrogène	0,00	0,00	0,00	0,00	-
calcium Ca	122,00	219,67	312,00	52,07	23,71
Magnésium Mg	15,00	125,00	189,00	46,24	36,99
chlorures CL	118,00	165,08	254,00	48,64	29,46
Sulfate SO₄	450,00	759,17	950,00	139,96	18,44
Bicarbonate HCO₃	144,00	333,17	488,00	80,01	24,01
Dureté totale TH	62,00	109,92	156,00	25,06	22,80
Titre alcaline complète TAC	20,00	28,00	40,00	5,05	18,02

Tableau IV.3. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2016

Période 2016	Min	Moy	Max	Ecart-type	C V %
pH	6,58	6,97	7,20	0,17	2,50
Conductivité à 20 °C	1099	2249,02	3140,00	759,24	33,76
Température °C	20,63	23,48	27,00	2,08	8,86
MES à 105°C	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Oxygène dissous	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00
salinité	0,60	1,30	2,30	0,54	41,78
turbidité	0,16	2,07	12,00	3,40	164,16
résidu sec à 105°C	787,00	1618,98	2349,00	655,38	40,48
ammonium NH₄	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Nitrite NO₂	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Nitrate NO₃	7,00	21,88	40,00	12,44	56,86
Phosphate PO₄	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Sulfate d'hydrogène	0,00	0,00	0,00	0,00	-
calcium Ca	120,00	203,71	312,00	74,37	36,51
Magnésium Mg	63,00	121,90	194,00	48,07	39,44
chlorures CL	77,00	164,29	294,00	58,92	35,86
Sulfate SO₄	480,00	823,33	1227,50	227,00	27,57
Bicarbonate HCO₃	244,00	314,02	372,00	41,46	13,20
Dureté totale TH	56,00	103,33	156,00	37,59	36,38
Titre alcaline complète TAC	20,00	25,50	30,50	3,02	11,85

Tableau IV.4. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2017

Période 2017	Min	Moy	Max	Ecart-type	C V %
pH	6,53	7,13	7,66	0,46	6,48
Conductivité à 20 °C	1473	2479,94	3553,25	804,58	32,44
Température °C	22,70	25,04	27,50	1,47	5,87
MES à 105°C	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Oxygène dissous	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00
salinité	0,70	1,31	2,30	0,53	40,77
turbidité	0,20	1,55	5,58	2,19	141,75
résidu sec à 105°C	0,00	1942,42	2865,00	836,02	43,04
ammonium NH4	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Nitrite NO2	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Nitrate NO3	1,20	23,09	48,00	13,53	58,61
Phosphate PO4	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Sulfate d'hydrogène	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
calcium Ca	120,00	185,75	243,00	41,32	22,25
Magnésium Mg	76,00	126,65	194,00	38,12	30,10
chlorures CL	41,00	112,83	295,00	75,27	66,71
Sulfate SO4	570,00	860,00	1200,00	215,95	25,11
Bicarbonate HCO3	244,00	378,17	427,00	57,22	15,13
Dureté totale TH	68,00	95,56	135,75	26,50	27,73
Titre alcaline complète TAC	20,00	31,00	35,00	4,69	15,13

Tableau IV.5. Statistiques et comparaison intervalles, moyennes et écart-types des paramètres de qualité de l'eau en 2018

Période 2018	Min	Moy	Max	Ecart-type	C V %
pH	6,85	7,12	7,50	0,21	2,93
Conductivité à 20 °C	924,00	2119,50	4220,00	1052,23	49,65
Température °C	12,90	19,32	24,00	2,87	14,84
MES à 105°C	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Oxygène dissous	8,00	8,00	8,00	0,00	0,00
salinité	0,50	1,22	2,30	0,64	52,43
turbidité	0,30	1,87	5,20	1,63	87,18
résidu sec à 105°C	700,00	1607,33	3197,00	798,33	49,67
ammonium NH4	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Nitrite NO2	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Nitrate NO3	0,00	18,38	63,00	18,65	101,47
Phosphate PO4	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00
Sulfate d'hydrogène	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
calcium Ca	96,00	168,17	320,00	65,55	38,98
Magnésium Mg	39,00	103,42	220,00	48,14	46,55
chlorures CL	29,00	100,00	165,00	44,66	44,66
Sulfate SO4	245,00	740,83	1200,00	299,87	40,48
Bicarbonate HCO3	305,00	382,17	427,00	41,74	10,92
Dureté totale TH	40,00	87,33	140,00	34,14	39,09
Titre alcaline complète TAC	25,00	31,33	35,00	3,42	10,92

Les résultats consignés dans les tableaux « **Tableau IV-1, IV2, IV3, IV4 et IV5** » montrent que les valeurs minimales, maximales et moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux des points d'eau étudiés sont dans la fourchette de la norme Algérienne de potabilité, sauf pour les sulfates et les nitrates qui présentent des teneurs très élevées de la norme, tandis que pour les concentrations des calciums et des magnésiums sont légèrement tolérées.

A. Matrice de corrélation

La corrélation des éléments est distinguée par une matrice carrée caractérisée selon un coefficient de corrélation entre les variables, deux à deux (Degré d'association entre deux variables).

Les différentes corrélations entre les variables deux à deux peuvent être déterminées sur la base du coefficient de corrélation significatif (critique) tiré de la table de Bravais-Pearson en fonction du nombre d'observations et de variables mis-en jeu.^[21]

La corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche et permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. Du tableau IV.6, ce coefficient pour une erreur 5% sera égal à $r_c = 0,2050$.

Tableau IV.6. Coefficient de corrélation linéaire selon Bravais- Pearson

v / e	0.1	0.05	0.02	v / e	0.1	0.05	0.02
1	0.9877	0.9969	0.9995	17	0.3887	0.4555	0.5285
2	0.9000	0.9500	0.9800	18	0.3783	0.4438	0.5155
3	0.8054	0.8783	0.9343	19	0.3687	0.4329	0.5034
4	0.7293	0.8114	0.8822	20	0.3598	0.4227	0.4921
5	0.6694	0.7545	0.8329	25	0.3233	0.3809	0.4451
6	0.6215	0.7067	0.7887	30	0.2960	0.3494	0.4093
7	0.5822	0.6664	0.7498	35	0.2746	0.3246	0.3810
8	0.5494	0.6319	0.7155	40	0.2573	0.3044	0.3578
9	0.5214	0.6021	0.6851	415	0.2428	0.2875	0.3384
10	0.4973	0.5750	0.6581	50	0.2306	0.2732	0.3218
11	0.4762	0.5529	0.6339	60	0.2108	0.2500	0.2948
12	0.4575	0.5324	0.6120	70	0.1954	0.2319	0.2737
13	0.4409	0.5139	0.5923	80	0.1829	0.2172	0.2565
14	0.4259	0.4973	0.5742	90	0.1726	0.2050	0.2422
15	0.4124	0.4821	0.5577	100	0.1638	0.1946	0.2301
16	0.4000	0.4683	0.5425				

ν : le degré de liberté. $\nu = n-p-1$ avec n : le nombre d'observations.

p : le nombre de variables explicatives. e : le risque d'erreur.

Tableau IV.7. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2014

Variables	PH	C à 20 °C	T °C	sal	tur	TDS	NO3	Ca	Mg	CL	SO4	HCO3	TH	TAC
PH	1,000													
C à 20 °C	0,707	1,000												
T °C	-0,134	-0,184	1,000											
sal	0,806	0,829	0,056	1,000										
tur	0,504	-0,436	0,286	0,534	1,000									
TDS	0,509	0,637	0,087	0,900	0,487	1,000								
NO3	0,022	0,577	0,419	0,331	0,359	0,404	1,000							
Ca	0,316	0,733	0,494	0,431	0,319	0,350	0,635	1,000						
Mg	0,250	0,285	0,316	0,173	0,103	0,157	0,608	0,547	1,000					
CL	0,201	0,520	0,053	0,315	0,340	0,299	0,435	0,581	0,655	1,000				
SO4	0,288	0,754	0,476	0,630	0,440	0,675	0,814	0,824	0,455	0,494	1,000			
HCO3	0,181	-0,019	0,039	0,249	0,320	0,509	0,156	0,097	0,095	0,127	0,350	1,000		
TH	0,332	0,741	0,535	0,431	0,345	0,341	0,621	0,992	0,556	0,541	0,821	0,071	1,000	
TAC	0,122	0,010	0,114	0,298	0,317	0,566	0,157	0,184	0,027	0,147	0,305	0,950	0,175	1,000

Tableau IV.8. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2015

Variables	PH	C à 20 °C	T °C	sal	tur	TDS	NO3	Ca	Mg	CL	SO4	HCO3	TH	TAC
PH	1,000													
C à 20 °C	0,707													
T °C	-0,134	-0,184	1,000											
sal	0,806	0,829	0,056	1,000										
tur	-0,504	-0,436	0,286	0,534	1,000									
TDS	0,509	0,637	0,087	0,900	0,487	1,000								
NO3	0,022	0,577	0,419	0,331	0,359	0,404	1,000							
Ca	0,316	0,733	0,494	0,431	0,319	0,350	0,635	1,000						
Mg	0,250	0,285	0,316	0,173	0,103	0,157	0,608	0,547	1,000					
CL	0,201	0,520	0,053	0,315	0,340	0,299	0,435	0,581	0,655	1,000				
SO4	0,288	0,754	0,476	0,630	0,440	0,675	0,814	0,824	0,455	0,494	1,000			
HCO3	0,181	-0,019	0,039	0,249	0,320	0,509	0,156	0,097	0,095	0,127	0,350	1,000		
TH	0,332	0,741	0,535	0,431	0,345	0,341	0,621	0,992	0,556	0,541	0,821	0,071	1,000	
TAC	0,122	0,010	0,114	0,298	0,317	0,566	0,157	0,184	0,027	0,147	0,305	0,950	0,175	1,000

Tableau IV.9. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2016

Variables	PH	C à 20 °C	T °C	sal	tur	TDS	NO3	Ca	Mg	CL	SO4	HCO3	TH	TAC
PH	1,000													
C à 20 °C	0,203	1,000												
T °C	0,177	-0,055	1,000											
sal	0,252	0,965	-	1,000										
tur	0,188	-0,254	0,544	-	1,000									
TDS	0,249	0,975	-	0,946	-	1,000								
NO3	0,245	0,215	0,123	0,196	0,229	0,326	1,000							
Ca	0,138	0,963	-	0,936	-	0,949	0,145	1,000						
Mg	0,201	0,960	-	0,963	-	0,943	0,182	0,979	1,000					
CL	0,436	0,829	-	0,911	-	0,824	0,372	0,751	0,818	1,000				
SO4	0,196	0,969	-	0,911	-	0,935	0,167	0,898	0,903	0,759	1,000			
HCO3	0,033	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	0,081	0,135	1,000	
TH	0,126	0,970	-	0,953	-	0,962	0,195	0,989	0,986	0,787	0,903	-0,130	1,000	
TAC	-	0,135	-	0,108	-	0,030	0,491	0,095	0,066	-	0,279	0,880	0,016	1,000

Tableau IV.10. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2017

Variables	PH	C à 20 °C	T °C	sal	tur	TDS	NO3	Ca	Mg	CL	SO4	HCO3	TH	TAC
PH	1,000													
C à 20 °C	0,018	1,000												
T °C	- 0,210	-0,655	1,000											
sal	0,046	0,976	0,678	1,000										
tur	0,221	-0,088	0,014	0,056	1,000									
TDS	0,381	0,735	0,726	0,717	0,104	1,000								
NO3	- 0,160	0,121	0,161	0,006	0,432	0,188	1,000							
Ca	- 0,108	0,947	0,570	0,942	0,000	0,555	0,041	1,000						
Mg	0,057	0,896	0,549	0,821	0,258	0,680	0,354	0,764	1,000					
CL	0,115	0,614	0,662	0,708	0,260	0,453	0,570	0,676	0,343	1,000				
SO4	- 0,053	0,956	0,630	0,905	0,208	0,635	0,071	0,949	0,867	0,626	1,000			
HCO3	0,629	-0,119	0,086	0,105	0,289	0,439	0,135	0,194	0,147	0,027	0,172	1,000		
TH	0,124	0,762	0,303	0,737	0,014	0,532	0,423	0,651	0,835	0,101	0,630	-0,130	1,000	
TAC	0,628	-0,120	0,085	0,105	0,289	0,439	0,135	0,194	0,148	0,028	0,172	1,000	0,130	1,000

Tableau IV.11. La matrice de corrélation des paramètres chimique l'année 2018

Variables	PH	C à 20 °C	T °C	sal	tur	TDS	NO3	Ca	Mg	CL	SO4	HCO3	TH	TAC
PH	1,000													
C à 20 °C	-	1,000												
T °C	0,734	0,046	1,000											
sal	-		-	1,000										
tur	0,106	-0,438	0,179	-	1,000									
TDS	-		-	-	-	1,000								
NO3	0,147	0,256	0,355	0,204	0,104	0,260	1,000							
Ca	-		-	-	-	-	-	1,000						
Mg	0,153	0,874	0,206	0,835	0,355	0,875	0,479	0,566	1,000					
CL	0,390	0,560	0,263	0,535	0,369	0,559	0,252	0,501	0,505	1,000				
SO4	-		-	-	-	-	-	-	-	-	1,000			
HCO3	0,167	0,537	0,231	0,509	0,459	0,539	0,495	0,405	0,579	0,620	0,488	1,000		
TH	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	
TAC	0,165	0,538	0,228	0,510	0,459	0,539	0,494	0,405	0,579	0,620	0,488	1,000	0,325	1,000

Les tableaux des matrices de corrélation « **Tableau IV.7, IV.8, IV.9, IV.10 et IV.11** » présente une corrélation remarquable entre les couples des paramètres physico-chimiques dans les tableaux Suivants :

Tableau IV.12. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2014

Couples	Coefficient de corrélation (Cr)	Corrélation du couple	Pourcentage de corrélation
CE - pH	Corrélation au seuil de 50%	0,707	70,69%
sal - pH		0,806	80,62%
sal - CE		0,829	82,88%
tur - pH		-0,504	-50,36%
tur - sal		-0,534	-53,40%
TDS - pH		0,509	50,89%
TDS - CE		0,637	63,65%
TDS - sal		0,900	90,05%
NO3 - CE		0,577	57,68%
Ca - CE		0,733	73,31%
Ca - NO3		0,635	63,46%
Mg - NO3		0,608	60,83%
Mg - Ca		0,547	54,75%
CL - CE		0,520	51,98%
CL - Ca		0,581	58,10%
CL - Mg		0,655	65,49%
SO4 - CE		0,754	75,35%
SO4 - sal		0,630	63,03%
SO4 - TDS		0,675	67,55%
SO4 - NO3		0,814	81,40%
SO4 - Ca		0,824	82,37%
HCO3 -TDS		-0,509	-50,90%
TH - CE		0,741	74,12%
TH - T		-0,535	-53,47%
TH - Ca		0,992	99,22%
TH - Mg		0,556	55,57%
TH - CL	0,541	54,12%	
TH - SO4	0,821	82,05%	

TAC - TDS		-0,566	-56,64%
TAC -HCO3		0,950	95,02%

Tableau IV.13. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2015

Couples	Coefficient de corrélation (Cr)	Corrélation du couple	Pourcentage de corrélation
CE - pH	Corrélation au seuil de 50%	0,707	70,686%
sal - pH		0,806	80,621%
sal - CE		0,829	82,882%
tur - pH		-0,504	-50,358%
tur - sal		-0,534	-53,405%
TDS - PH		0,509	50,892%
TDS - CE		0,637	63,654%
TDS - sal		0,900	90,048%
NO3 - CE		0,577	57,682%
Ca - CE		0,733	73,307%
Ca - NO3		0,635	63,463%
Mg - NO3		0,608	60,832%
Mg - Ca		0,547	54,746%
CL - CE		0,520	51,982%
CL - Ca		0,581	58,102%
CL - Mg		0,655	65,494%
SO4 - CE		0,754	75,350%
SO4 - sal		0,630	63,030%
SO4 - TDS		0,675	67,549%
SO4 - NO3		0,814	81,405%
SO4 - Ca		0,824	82,367%
HCO3 - TDS		-0,509	-50,903%
TH - CE		0,741	74,117%
TH - T		-0,535	-53,474%
TH - NO3		0,621	62,079%

TH - Ca		0,992	99,220%
TH - Mg		0,556	55,566%
TH - CL		0,541	54,121%
TH - SO4		0,821	82,050%
TAC - TDS		-0,566	-56,636%
TAC - HCO3		0,950	95,016%

Tableau IV.14. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2016

Couples	Coefficient de corrélation (Cr)	Corrélation du couple	Pourcentage de corrélation
sal - CE	Corrélation au seuil de 50%	0,965	96,511%
tur - T		0,544	54,369%
TDS - CE		0,975	97,544%
TDS - sal		0,946	94,580%
Ca - CE		0,963	96,283%
Ca - sal		0,936	93,552%
Ca - TDS		0,949	94,851%
Mg - CE		0,960	96,045%
Mg - sal		0,963	96,278%
Mg - TDS		0,943	94,311%
Mg - Ca		0,979	97,897%
CL - CE		0,829	82,871%
CL - sal		0,911	91,102%
CL - TDS		0,824	82,398%
CL - Ca		0,751	75,095%
CL - Mg		0,818	81,797%
SO4 - CE		0,969	96,931%
SO4 - sal		0,911	91,136%
SO4 - TDS		0,935	93,464%
SO4 - Ca		0,898	89,797%

SO4 - Mg		0,903	90,311%
SO4 - CL		0,759	75,915%
HCO3 - NO3		-0,581	-58,056%
TH - CE		0,970	97,040%
TH - sal		0,953	95,259%

Tableau IV.15. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2017

Couples	Coefficient de corrélation (Cr)	Corrélation du couple	Pourcentage de corrélation
T - CE	Corrélation au seuil de 50%	-0,655	-65,5%
sal - CE		0,976	97,6%
sal - T		-0,678	-67,8%
TDS - CE		0,735	73,5%
TDS - T		0,726	72,6%
TDS - sal		0,717	71,7%
Ca - CE		-0,947	-94,7%
Ca - T		0,57	57%
Ca - sal		0,942	94,2%
Ca - TDS		0,555	55,5%
Mg - CE		0,896	89,6%
Mg - T		0,549	54,9%
Mg - sal		0,821	82,1%
Mg - TDS		0,68	68%
Mg - Ca		0,764	76,4%
CL - CE		0,614	61,4%
CL - T		0,662	66,2%
CL - sal		0,708	70,8%
CL - NO3		0,57	57%
CL - Ca		0,676	67,6%
SO4 - CE	0,956	95,6%	

SO4 - T		0,63	63%
SO4 - sal		0,905	90,5%
SO4 - TDS		0,635	63,5%
SO4 - Ca		0,949	94,9%
SO4 - Mg		0,867	86,7%
SO4 - CL		0,626	62,6%
HCO3 - PH		0,629	62,9%
TH - CE		0,762	76,2%
TH - sal		0,737	73,7%
TH - TDS		0,532	53,2%
TH - Ca		0,651	65,1%
TH - Mg		0,835	83,5%
TH - SO4		0,63	63%
TAC- pH		0,628	62,8%
TAC- HCO3		1,000	100%

Tableau IV.16. Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques l'année 2018

Couples	Coefficient de corrélation (Cr)	Corrélation du couple	Pourcentage de corrélation
T - pH	Corrélation au seuil de 50%	0,734	73,40%
sal - CE		0,987	98,70%
TDS - CE		1,000	100,00%
TDS - sal		0,987	98,70%
Ca - CE		0,842	84,20%
Ca - sal		0,877	87,70%
Ca - tur		-0,501	-50,10%
Ca - TDS		0,843	84,30%
Mg - CE		0,874	87,40%
Mg - sal		0,835	83,50%

Mg - TDS		0,875	87,50%
Mg - Ca		0,566	56,60%
CL - CE		0,560	56,00%
CL - sal		0,535	53,50%
CL - TDS		0,559	55,90%
CL - Ca		0,501	50,10%
CL - Mg		0,505	50,50%
SO4 - CE		0,969	96,90%
SO4 - sal		0,976	97,60%
SO4 - TDS		0,969	96,90%
SO4 - Ca		0,885	88,50%
SO4 - Mg		0,827	82,70%
SO4 - CL		0,562	56,20%
HCO3 - CE		0,537	53,70%
HCO3 - sal		0,509	50,90%
HCO3 - TDS		0,539	53,90%
HCO3 - Mg		0,579	57,90%
HCO3 - CL		0,620	62,00%
TH - CE		0,929	92,90%
TH - sal		0,938	93,80%
TH - tur		-0,52	-0,52%
TH - TDS		0,929	0,929%
TH - Ca		0,87	87%
TH - Mg		0,78	0,78%
TH - SO4		0,946	0,946%
TAC - CE		0,538	0,538%
TAC - sal		0,51	0,51%
TAC - TDS		0,539	0,539%
TAC - Mg		0,579	0,579%
TAC - CL		0,62	0,62%

La disparité entre les corrélations de la matrice de la campagne d'Avril 2014 à mai 2018 peut-être revient à la solubilité des sels minéraux et la dilution durant la période des hautes eaux.

B. Etudes des valeurs propres variables des individus (observation)

La variance expliquée est de Valeurs propres Qui sont supérieur à 1 Selon la méthodologie globale :

Tableau IV.17. Pourcentage de variance exprimée l'année 2014

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	6,242	2,754	2,153	1,048
Variabilité (%)	44,589	19,670	15,379	7,482
% cumulé	44,589	64,259	79,639	87,121

Tableau IV.18. Pourcentage de variance exprimée l'année 2015

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	6,242	2,754	2,153	1,048
Variabilité (%)	44,589	19,670	15,379	7,482
% cumulé	44,589	64,259	79,639	87,121

Tableau IV.19. Pourcentage de variance exprimée l'année 2016

	F1	F2	F3
Valeur propre	7,645	3,035	1,235
Variabilité (%)	54,605	21,679	8,821
% cumulé	54,605	76,284	85,105

Tableau IV.20. Pourcentage de variance exprimée l'année 2017

	F1	F2	F3
Valeur propre	6,655	3,038	1,954
Variabilité (%)	47,534	21,699	13,956
% cumulé	47,534	69,234	83,189

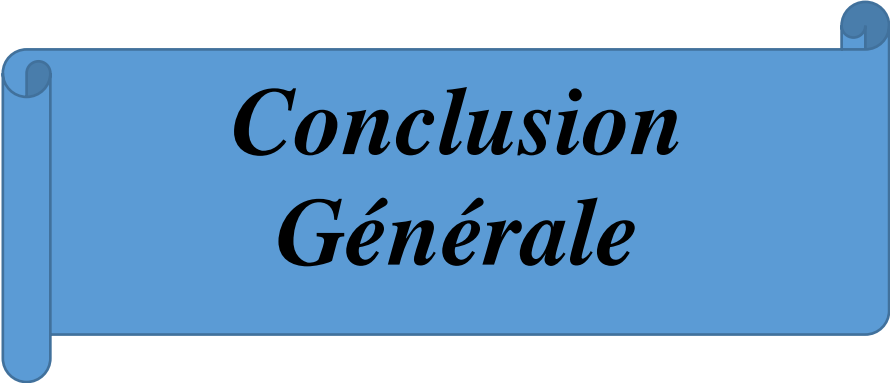
Tableau IV.21. Pourcentage de variance exprimée l'année 2018

	F1	F2	F3
Valeur propre	7,840	2,549	1,152
Variabilité (%)	55,999	18,207	8,232
% cumulé	55,999	74,206	82,437

IV.5 Conclusion

Suite aux analyses statistiques multivariées des résultats d'analyses physico-chimiques pendant les dernier cinq ans on peut conclure que :

- Le faciès chimique le plus dominé est Chloruré sulfaté calcique et magnésien pour la majorité des eaux des points d'eau prélevés de la zone d'étude pour les deux compagnes
- La qualité des eaux de notre région est influencée directement par la géologie locale et l'interaction eau-roche pendant le séjour et les écoulements souterraine présence des points de contact avec les eaux de surface.



***Conclusion
Générale***

Conclusion générale

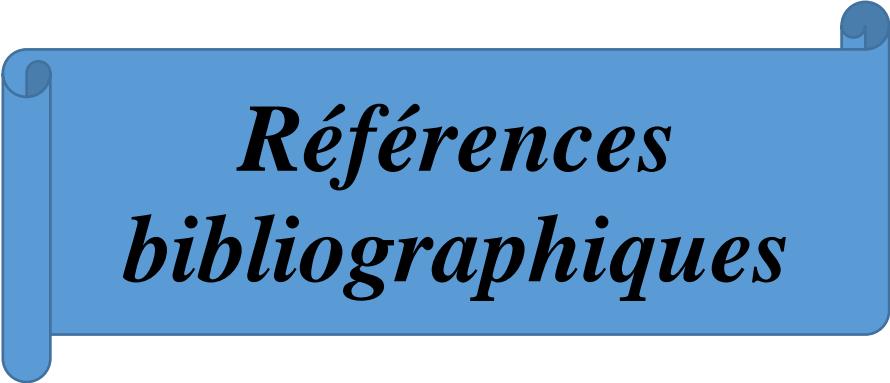
L'étude que nous avons menée dans la plain Hodna nous a permis de faire une approche à la connaissance de la qualité des eaux souterraines par différentes méthodes graphiques et statistiques. Cette étude est basée sur des données et connaissances de la région telles que :

-La géologie : La géologie de la plain Hodna présente des formations susceptibles d'être aquifère et renferme les conditions favorables pour l'accumulation des eaux souterraines, à partir des bords de la plaine ou affleurent des barres carbonatées tel que les calcaire et les dolomies.

- le système aquifère caractérisé par une alternance des argiles, sables et cailloutis calcaires, au niveau de la zone d'étude.

A travers les résultats obtenu et traité sous forme de carte hydrochimiques et sous formes de diagrammes, on est parvenu à mettre évidence ce qui suit :

- Que eaux souterraine à travers la nappe mixte sont caractérisées par les faciès hydrochimiques chlorurés sulfatés calcique magnésien montrés par le diagramme de piper.
- Les diagramme des valeurs annuelle sont présenté des concentration élevée des élément de calcium et phosphate de quelque année qui ont connu des changement des concentration de quelque forages .cette situation à cause de la nature géologique , hydrogéologique et le réseaux hydrographiques de la région qui conditionnement la concentration de divers éléments chimiques .
- Au temps actuelle, la qualité des eaux souterraine destines à la consommation à l'échelle de la zone d'étude est qualifiée acceptables. Elle varie entre moyenne et mauvaise.
- On peut dire que la qualité des eaux souterraines de la zone étudiée pendant la période d'étude prolongée au cours des cinq dernières années est qu'elle est en très bon état en raison de l'absence de diminution des concentrations de ses éléments chimiques.



*Références
bibliographiques*

Références Bibliographiques

- [1] : PNUD ,2009 ; le Rapport mondial sur le développement humain 2009, publié lundi à Bangkok par le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD).
- [2] : Monographie de la wilaya de Msila 2017- direction de la programmation et du suivi budgétaires.
- [3] : ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
- [4] : DRE : Direction des ressources en eau.
- [5] : Laboratoire d'algérienne des eaux.
- [6] : Ladghem Chicoche Fadhila « Prévention du risque mouvement de terrain par l'utilisation des paramètres géotechnique ».
- [7] : site internet :
<https://fr.scribd.com/doc/49979924/46581720-La-region-de-M-Sila>.
- [8] : Derrokoy AM « étude hydrogéologique dans le bassin du chotte el Hodna.
- [9] : FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- [10] : Dupont. A, " Hydraulique urbaine (tome1)" .
- [11] : Bouziani M, (2000), L'eau de la pénurie aux maladies, Edition IBN-KHALDOUN, Algérie.
- [12] : OMS ; organisation mondial de la santé 2003.
- [13] : JORA. (2000), Arrêté du 26 mars 2000 relatif aux spécifications des eaux de boisson préemballées et aux modalités de leur présentation, Journal Officiel de la République Algérienne N°51 du 20 Août 2000.
- [14] : OMS. (2006), Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse.
- [15] : U E. (1998), Normes de l'Union Européenne sur l'eau potable. Directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine.
- [16] : Larbi, A ; Mekkoui, F(2011) Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de ville de Djelfa. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Biologie. Université Djelfa 87P.
- [17] : Guy Leyral, Elisabeth Vierling livre de Microbiologie et toxicologie des aliments : hygiène et sécurité alimentaires.

[18] : A.Hattab. Mémoire de master en hydraulique « Etude hydrogéologique du bassin versant du bordj ghdir » université de m'sila université de m'sila. (2015).

ADE: Algérienne des eaux.

[19]: Deliste C.E.et Schmidt J.W. The effects of sulphur on water and aquatic life in Canada. Dans : Sulphur and itsinorganic derivatives in the Canadian environnement, NRCC No. 15015, comité associé sur les critères.

[20] : (Harold Hotelling en 1933).

[21] : [Références (LEFEBVRE.J, (1988).Introduction aux analyses Statistiques multidimensionnelles avec exemples d'applications, 3^{ième} édition, 273p)