

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté des Sciences biologiques et des sciences agronomiques
Département des sciences agronomiques



Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de master en sciences
agronomiques

Spécialité : **Eau et environnement**

Thème

**Synthèse bibliographique sur les modèles de
classification des eaux naturelles : cas des eaux de
Bejaia, Ghardaïa et Tizi-Ouzou**

Présenté par : BELAIZA Lila et LACHI Ouezna

Soutenu le 20/09/2022 devant le jury :

M ^r METAHRI M.S.	M.C.A	UMMTO	Président
M ^r BERRADJ O.	M.C.A	UMMTO	Encadreur
M ^{me} BERROUANE N.	M .A.B	UMMTO	Examinatrice

Session 2021 / 2022

Remerciements

Ce travail de mémoire de Master a été réalisé sous la direction de M. BERRADJ Omar, maître de conférences classe A. Qu'il nous soit permis de lui exprimer notre gratitude et notre profonde reconnaissance pour son aide précieuse ses conseils multiples, et grande disponibilité qui nous a aidé à mener à bien ce travail.

Nous remercions Monsieur METAHRI Mohamed Said, maître de conférences classe A, pour avoir accepté de présider ce jury et madame BERROUANE Naoual, maître assistante classe B, pour avoir mobilisé son temps et sa compétence pour examiner et juger ce travail.

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

Dédicace

Nos dédions ce modeste travail à nos chers parents, pour leur sacrifice, leur amour et leur soutien.

A mes chers frères Hakim, Khaled, Walid et à toute ma grande famille,

Lila

A mes chers sœurs Sarah, Ilhem, Imen et mon petit frère Mohamed Amin,

Ouezna.

Sans oublier toutes nos amies et leurs soutien et encouragements, et tout ce qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Abréviation

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

MES : Matière En Suspension

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

CE : Conductivité électrique

TAC : Titre Alcalimétrique complet

TA : Titre Alcalimétrique

AEP : Alimentation en Eau Potable

Rs : Résidu sec

ACP : Analyse en Composante Principale

TH : Titre Hydrométrique

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

DBO : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

pH : potentiel hydrogène

ppm : partie par million

Figure I.1. Structure de la molécule de l'eau	3
Figure I.2. Répartition de l'eau à l'échelle de globe	3
Figure I.3. Schéma de cycle de l'eau	5
Figure III.1. Graphiques triangulaires	28
Figure III.2. Elaboration du diagramme	29
Figure III.3. Diagramme de Piper	31
Figure III.4. Diagramme de Durov	32
Figure III.5. Diagramme de Schoeller-Bercaloff	33
Figure IV.1. Diagramme de Piper des eaux du Sénonien de la région Guerrara	37
Figure IV.2. Diagrammes de Schoeller des eaux du Sénonien de la région Guerrara	38
Figure IV.3. Faciès chimiques selon le diagramme de Piper	41
Figure IV.4. Diagramme de SCHOLER BERKALOFF des Oueds Djemaa et Zitouna	42
Figure IV.5. Diagramme de Piper de la nappe alluviale du Sébaou	44
Figure IV.6. Diagramme de Schoeller-Bercaloff pour la nappe alluviale du Sébaou	46

Liste des Tableaux

Tableau I.1 : Différence entre les eaux de surface et les eaux souterraines	6
Tableau II.1 : Principales maladies d'origine hydrique liées à des bactéries	12
Tableau II.2 : Principales maladies parasitaires d'origine hydrique et plus courantes et leurs agents responsables	12
Tableau II.3 : Classification des eaux selon leurs pH	15
Tableau II.4 : Classes de turbidité de l'eau	15
Tableau II.5 : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée	16
Tableau II.6 : Relation entre la dureté de l'eau et la concentration équivalente en CaCO ₃	16
Tableau III.1 : Caractéristiques des quatre types d'eau	27
Tableau IV.1 : Valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés pour les 19 forages de la nappe Sénonien	36
Tableau IV.2 : Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques	40
Tableau IV.3 : Résultats d'analyse des paramètres organoleptiques.....	40
Tableau IV.4 : Valeurs des paramètres chimiques obtenus	42
Tableau IV.5 : Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de bassin versant du Sébaou.....	45
Tableau IV.6 : Valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux de surfaces	46

SOMMAIRE

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I.1. Eau naturelle et molécule d'eau	2
I.2. Répartition de l'eau sur la terre.....	3
I.3. Cycle de l'eau	4
I.4. Ressources hydriques.....	5
I.4.1. Ressources conventionnelles	5
I.4.1.1. Eaux souterraines	5
I.4.1.2. Eaux de surface	6
I.4.1.3. Eaux de source	6
I.4.1.4. Différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines	6
I.4.2. Ressources non conventionnelles	7
I.4.2.1. Eaux de mer	7
I.4.2.2. Eaux usées.....	8

Chapitre II : Pollution des eaux et normes de potabilité

II.1. Pollution des eaux.....	9
II.2. Origines de la pollution des eaux	9
II.3. Contamination des eaux souterraines	10
II.4. Impact de la pollution des eaux sur la santé humaine	10
II.4.1. Différentes maladies relatives à l'eau	11
II.4.1.1. Maladies d'origine bactérienne	11

II.4.1.2. Maladies d'origine parasitaire	12
II.4.1.3. Maladies d'origine virale	12
II.5. Paramètres de potabilité des eaux	13
II.5.1. Paramètres organoleptiques	13
II.5.2. Paramètres physico-chimiques	14
II.5.3. Paramètres indésirables	19
II.5.4. Paramètres de toxicité	20
II.5.5. Paramètres bactériologiques	21

Chapitre III : Classification des eaux souterraines

III.1. Caractéristiques des eaux souterraines	22
III.2. Influence de la nature géologique sur la composition des eaux souterraines	22
III.3. Paramètres chimiques et classification des eaux souterraines	23
III.3.1. Eléments majeures	23
III.3.2. Eléments mineures	24
III.4. Modèles de classification des eaux	24
III.4.1. Classification de PALMER	24
III.4.2. Classification de TORRE	25
III.4.3. Classifications de SOULINE	26
III.4.4. Classification de DUROV	27
III.5. Représentation des analyses hydrochimiques	27
III.5.1. Principe de la représentation graphique des résultats d'analyses	27
III.5.2. Elaboration du diagramme	28
III.5.3. Diagramme de Piper	30

III.5.4. Diagramme de Durov	31
III.5.5. Diagramme de Schoeller-Bercaloff.....	32

Chapitre IV : Classification des eaux de quelques zones étudiées

IV. Classification des eaux de quelques zones étudiées	34
IV.1. Nappe de Sénonien dans la région de Guerrara de la wilaya de Ghardaïa	34
IV.1.1. Situation géographique de la zone d'étude	34
IV.1.2. Nappe du Sénonien	35
IV.1.3. Méthode d'analyse et d'interprétation	35
IV.1.4. Résultats d'analyse.....	36
IV.1.5. Faciès chimiques	36
IV.1.5.1. Selon Piper	37
IV.1.5.2. Selon Schoeller-Bercaloff	38
IV.1.6. Qualité des eaux de la nappe de Sénonien	38
IV.2. Oueds Djemaa-Zitouna (Bejaia)	39
IV.2.1. Situation géographique	39
IV.2.2. Paramètres physico-chimiques.....	40
IV.2.2.1. Analyse des paramètres physico-chimiques.....	40
IV.2.2.2. Paramètres organoleptiques	40
IV.2.2.3. Paramètres chimiques	40
IV.2.3. Faciès chimiques	42
IV.2.3.1. Selon le diagramme du Piper	42
IV.2.3.2. Selon le diagramme de Schoeller-Bercaloff	42
IV.2.4. Qualité des eaux des Oueds-Djemaa et Zitouna	42

IV.3. Les eaux superficielles et souterraines du bassin versant du Sébaou, wilaya Tizi-Ouzou .	43
IV.3.1. Présentation de bassin versant du Sébaou	43
IV.3.2. Eaux souterraines	44
IV.3.2.1. Méthodes d'analyses et d'interprétation	44
IV.3.2.2. Résultats d'analyses	45
IV.3.2.3. Faciès chimiques	46
IV.3.2.3.1. Selon Piper	46
IV.3.2.3.2. Selon Schoeller-Bercaloff	47
IV.3.2.4. Classification des eaux pour l'irrigation	48
IV.3.2.5. Qualité des eaux souterraines.....	48
IV.3.3. Eaux de surface	48
IV.3.3.1. Paramètres physico-chimiques.....	49
IV.3.3.2. Paramètres bactériologiques.....	49
IV.3.3.3. Paramètres de pollution.....	49
a) Matière en suspension	49
b) Demande biochimique en oxygène (DBO)	50
c) Demande chimique en oxygène (DCO)	50
IV.3.3.3. Paramètres de pollution azotée	50
a) L'ammonium (NH_4^+).....	50
b) Les nitrates (NO_3^-).....	50
c) Les nitrites (NO_2^-)	50
IV.3.3.4. Autres paramètres. (Matière organique, oxygène dessous)	50
IV.3.4. Qualité des eaux de surface.....	50
IV.4. Etude comparative.....	50
IIV. Conclusion	52

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale nécessaire au fonctionnement biologique des êtres vivants, un élément de stabilité sociale, sanitaire et économique quand elle est bien gérée. Mais elle peut devenir un élément d'insécurité et d'instabilité si cette ressource tend à se raréfier et si sa qualité tend à se détériorer (**Metahri M.S., 2012**).

Les eaux souterraines sont formées par la percolation de l'eau de pluie, l'eau de surface et de ruissellement à travers les sols et les roches. Elles constituent 20 % des réserves d'eaux sur terre soit environ 1000 millions de m³. Une eau de source est une eau d'origine souterraine, microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution (**Cardot C.,1999**).

Le chimisme des eaux est influencé par les différents terrains traversés et par la dissolution des roches présentent. La représentation graphique des résultats de l'analyse chimique des eaux souterraines est une opération indispensable qui permet une meilleure compréhension des phénomènes qui interviennent dans les nappes.

On peut classer les eaux en partant de leur origine et de leur milieu de circulation et chercher les caractères géochimiques de chacun des cas, ou bien inversement on peut partir de caractères géochimiques et définir les origines (**Monition L., 1966**).

L'objectif de la présente étude consiste à faire une synthèse bibliographique des travaux réalisés sur la classification des eaux et montrer comment qu'ils ont fait ressortir leurs concentrations principales et déduire leurs origines géologique (origine de la minéralisation) et apprécier leurs qualités.

Ce travail comprend quatre chapitres dont le premier sera consacré aux quelques généralités sur l'eau. Dans le second chapitre, nous traiterons la pollution des eaux et les normes de potabilité. Le troisième chapitre abordera les différentes classifications des eaux souterraines et le quatrième sera sur la classification des eaux de quelques zones étudiées. On achèvera cette étude par une conclusion générale.

Chapitre I

Généralités sur l'eau

I.1. Eau naturelle et molécule d'eau

Il n'y a pas de substance plus extraordinaire que l'eau, qui n'est pas un corps simple mais un composé aux propriétés multiples. La molécule de l'eau H_2O se compose de 2 atomes d'hydrogène accrochés à un atome d'oxygène (**Jean-Claude R., 1995**).

L'eau est une substance incolore, inodore, insipide, liquide à la température ordinaire. Elle constitue un élément indispensable à la vie, elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70 %).

L'eau se trouve dans l'écosphère sous trois états : solide, liquide et gazeux dépendant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides, car c'est un excellent solvant, solubilise de nombreux gaz, corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdales électro-chargés (**Gil M., 2002**).

La molécule d'eau de forme V inversé (Figure I.1) est d'un angle au sommet de $104,45^\circ$ et de moment dipolaire 1,83 debye joue un grand rôle dans la dissociation des substances ioniques comme les sels en donnant des ions, ainsi que certaines substances chimiques toxiques ou non formées de molécules polaires (**Metahri M., 2012**). Elle est caractérisée par les propriétés suivantes :

- Masse volumique : 997 kg/m^3 ;
- Point d'ébullition : $100 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Masse molaire : 18,01528 ;
- Formule : H_2O ;
- Point de fusion : $0 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Pression critique : 22,06 M Pa ;
- Capacité thermique : pression constante la plus élevée de tous les liquides ($75,711 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ soit $4,202 \text{ 6 KJ Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ à $20 \text{ }^\circ\text{C}$) ;
- Viscosité : $1,002 * 10^{-3} \text{ Pa s}$ à $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Conductivité électrique : $5,5 * 10^{-6} \text{ S m}^{-1}$ à $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Vitesse de son : 1 497 ms^{-1} à $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (**fr.m.wikipedia.org/wiki. 2014**).

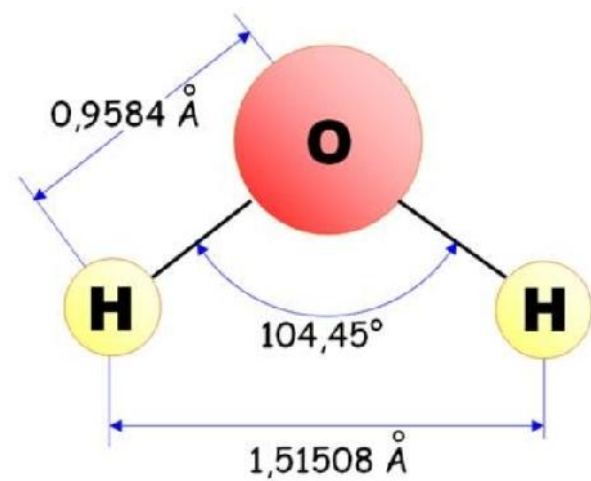


Figure I.1: Structure de la molécule de l'eau (<http://villemin.gerard.free.fr>, 2005).

I.2. Répartition de l'eau à l'échelle de globe

Les océans et les mers occupent 71 % de la surface de globe et représentent 1350 millions de km^3 d'eau salée. 29 millions de km^3 d'eau se retrouvent sous forme de glace dans les glaciers. L'eau douce à la surface de la terre et dans le sol représente 8,6 millions de km^3 . L'eau atmosphérique sous forme de vapeur d'eau est évaluée à 13000 km^3 (Viland M., Montiel A., Duchemin J., Zarrabi P., 2001). Les eaux douces continentales ne représentent que 2,5 % de la masse totale. Elles se répartissent en glaces polaires et de montagne avec 28 millions de km^3 (2 %), eaux souterraines (0,76 %), fleuves et rivières (0,01 %) (Figure I.2). La déférence est contenue dans l'atmosphère et la biosphère (Jean-Claude R., 1995).

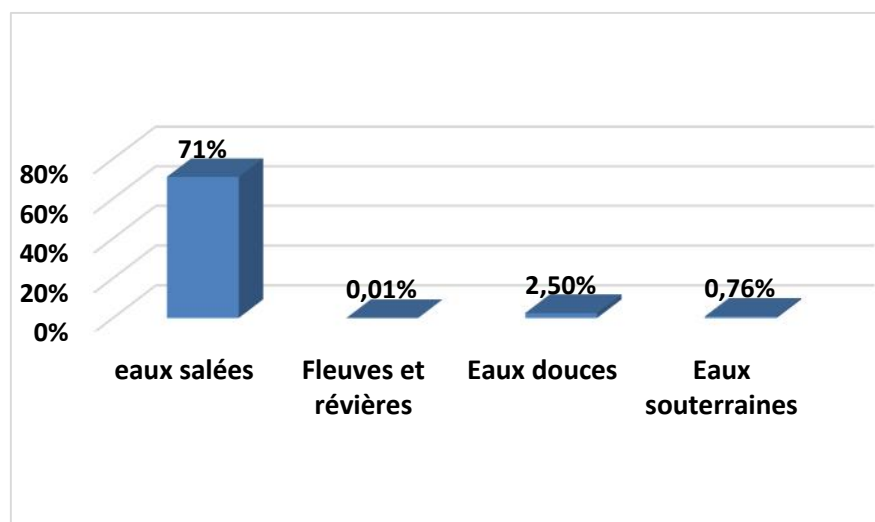


Figure 1.2: Répartition de l'eau à l'échelle de globe.

I.3. Cycle globale de l'eau

L'eau recouvre 71 % des 509 millions de km² de la surface de la surface globale. C'est ainsi qu'on surnomme la terre par la planète bleu (océan et mers). Les eaux douces qui se trouvent dans les lacs, les rivières et les eaux souterraines présentent un petit réservoir par apport aux océans, Une grande partie de l'eau douce est aussi liés sous forme de glace (calottes polaires et glaciers). L'échange de l'eau entre ces réservoirs détermine le cycle global de l'eau (**Laura S., Philippe B., Werner S., 2014**).

A l'état de vapeur, l'eau existe dans l'atmosphère suite à l'évaporation continue qui se produit à la surface des océans, des mers et des lacs. La condensation dans l'atmosphère donne naissance aux nuages qui se déversent en pluie.

Arrivée au niveau du sol, une énorme partie de l'eau s'évapore à nouveau et remonte dans l'atmosphère. Une autre partie pénètre à travers les interstices du sol et en s'accumulant dans le sous-sol fournit l'alimentation des nappes souterraines, cette eau de ruissellement forme le chevelu hydrographique par lequel les torrents deviennent des rivières, lesquelles alimentent les fleuves qui restituent l'eau à la mer où elle s'évaporera (**Henri R., 2009**).

Les sols représentent une étape importante dans ce processus car ils redirigent les flux d'eau dans trois directions :

-) Une partie de l'eau va s'écouler en surface vers les rivières, ce phénomène est appelé ruissellement ;
-) Une autre partie va s'évaporer directement ou être adsorbée par les plantes et ensuite libérée dans l'atmosphère par transpiration, le phénomène global est appelé évapotranspiration ;
-) Enfin, l'eau restante reste dans le sol et descend progressivement jusqu'aux eaux souterraines, ce phénomène est nommé infiltration (**Olivier A., 2015**).

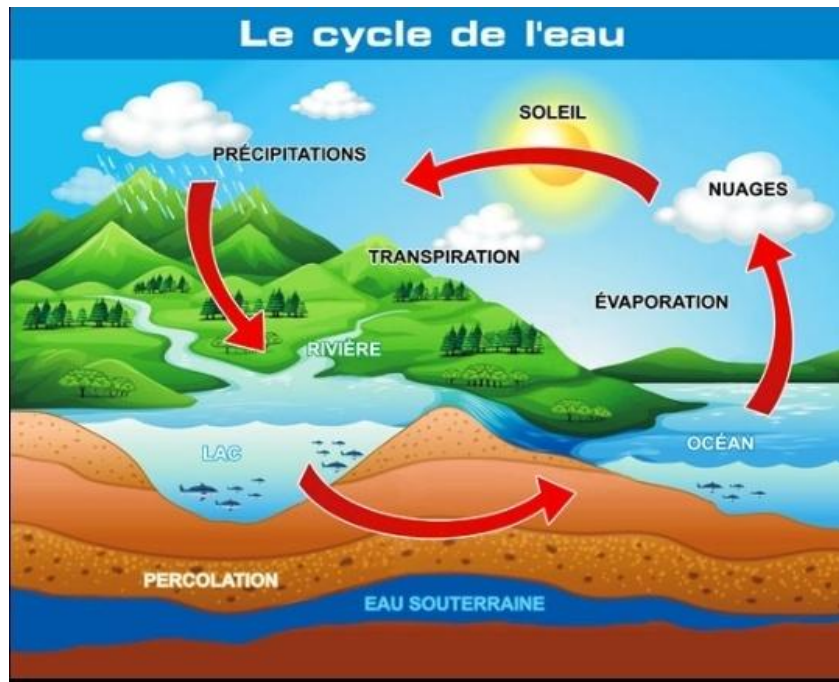


Figure I.3: Schéma de cycle de l'eau (www.cobali.org).

I.4. Ressources hydriques

L'eau, source et milieu de vie, solvant de lavage et de transport de minéraux, régulateur thermique, possède des propriétés remarquables et essentielles à tous les êtres vivants et au maintien de propriétés environnementales de la planète terre (Christian N., Alain R., 2004).

L'eau sous sa forme liquide, constitue un milieu où l'ensemble des réactions et échanges chimiques et biochimiques sont facilités. En effet, l'écosystème aquatique représente le siège principal des premières étapes évolutives du monde vivant (Khalid A., 2011).

Les ressources en eau sur terre, sont classées en deux grands groupes : les ressources conventionnelles et les ressources non conventionnelles.

I.4.1. Ressources conventionnelles

Les ressources d'eau douce exploitables sont les eaux de surface et les eaux souterraines.

I.4.1.1. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux des nappes phréatiques qui correspondent à 22% des réserves d'eaux douces, soit environ 1000 milliard de m³. Leur origine est présentée par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol. La pollution des eaux souterraines se produit lorsque :

-) Des polluants sont rejetés dans le sol et pénètrent dans les eaux souterraines ;
-) Les fuites de réservoirs d'essence ;
-) Les pertes de fosses septiques ;

) Utilisation intensive de pesticides et insecticides ...etc.

La composition chimique de cette eau dépend de la nature du terrain sous lequel se trouve.

I.4.1.2. Eaux de surface

Les eaux de surface, également appelées aussi eaux superficielles, sont constituées, par opposition aux eaux souterraines, de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère. Les eaux de surfaces ne sont pas recommandées en tant que source directe d'eau potable, il faut qu'elles soient correctement filtrées, désinfectées et surveillées. Plusieurs études montrent que l'eau de surface est la ressource de l'eau douce la plus importante pour la production de l'eau potable (**Gérard G., 1999**) (**Books.google.dz**).

I.4.1.3. Eaux de sources

Les eaux de sources sont des eaux d'origine exclusivement souterraines, apte à la consommation humaine, microbiologiquement saines et protégées contre les risques de pollution, sans traitement ni adjonction autres que ceux autorisées pour cette eau (**journal officiel de la république Algérienne N° 45 (2004)**).

L'eau de source répond aux mêmes exigences de qualité physico-chimique et radiologique que l'eau de robinet. Les seuls traitements autorisés par la réglementation (séparation des constituants naturellement présents, la désinfection de l'eau et interdite) (**OMS, 2015**).

Pour sa consommation, l'eau de source doit être introduite au lieu de son émergence, dans des récipients de livraison au consommateur ou dans des canalisations (**Ronald V., 2003**).

I.4.1.4. Différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Chaque eau présente des caractéristiques spécifiques qui le différencient de l'autre type, on notera que les variances peuvent être physiques, chimiques et microbiologiques (Tableau I.1).

Tableau I.1: La différence entre les eaux de surface et les eaux souterraines (**Bourrier et Selmi, 2011**)

Caractéristiques	Eau de surface	Eau souterraine
Température	Variable suivant les saisons.	relativement constante.
Turbidité, MES	Variables parfois élevées.	Faibles ou nulles.
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, limon	Liée surtout aux matières en solution

	set algues).	(acide humique par exemple).
Fe et Mn divalents (à l'état dessous)	Généralement absents sauf aux profondeurs des pièces d'eau en état d'eutrophisation.	Généralement présents sensiblement.
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations et des rejets.	Constante en générale, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
CO₂ agressif	Généralement absent.	Souvent présent en grande quantité.
O₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation, absent dans le cas de l'eau très polluée.	Absent dans la plus part de temps.
H₂S(sulfate d'hydrogène)	Généralement absent.	Souvent présent.
NH₄⁺ (Ammonium)	Présent seulement dans les eaux polluées.	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne.
Nitrates	Peu abondantes en générale.	Teneur parfois élevée.
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source.	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup longtemps.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton.	Ferro bactéries fréquentes.

I.4.2. Ressources non conventionnelles

Il s'agit de ressources hydriques réutilisées ou recueillies indirectement (**Bouziari M., 2000**). Les principales ressources en eau non conventionnelles sont les eaux provenant du dessalement d'eau de mer ou saumâtres et la réutilisation d'eaux usées traitées.

I.4.2.1. Eaux de mer

Les eaux de mer sont une ressource d'eau brute qu'on utilise lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce (**Desjardins, 1997**).

La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantiques, Manche, Mer de nord pacifique) est de l'ordre de 35 g/l et c'est cette valeur qui est considérée comme salinité standard de l'eau de mer (**Alain M., 2001**).

I.4.2.2. Eaux usées

Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants et sont utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricoles, constituant donc un effluent pollué qui est rejeté dans un émissaire d'égout. Elles regroupent les eaux usées domestiques (les eaux de vannes et les eaux ménagères), les eaux de ruissellements et les effluents industrielles (eaux usées des usines) (**Boument S.,2004**).

Chapitre II

*Pollution des eaux et normes
de potabilité*

II.1. Pollution des eaux

De nombreux facteurs peuvent modifier les composants physico-chimiques des milieux aquatiques, notamment des pollutions de nature diverse. (Leynaud et Verrel, 1980) définissent la pollution comme suit : « La notion pollution ne se réfère pas à la pureté des eaux ni même à leurs aptitudes, mais aux modifications de leurs caractéristiques dues aux actions humains ».

Un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition de ces eaux est directement ou indirectement modifiée par l'action de l'homme dans une mesure telle que celle-ci se prête moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elle pourrait servir à son état naturel, ou à certaines d'entre elles (Khaled A., 2011).

II.2. Origines de la pollution des eaux

Suivant l'origine des substances polluantes, la pollution peut être domestique, industrielle, agricole ou naturelle.

1. Pollution domestique

La pollution domestique prévenant des habitations, elle est en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration.

La pollution domestique se caractérise par :

- Z Des germes fécaux ;
- Z De fortes teneurs en matières organique ;
- Z Des sels minéraux (azote, phosphore) ;
- Z Des détergents (Gaujous D., 1995).

2. Pollution industrielle

La pollution industrielle se caractérise par quelques traits spécifiques :

- Z Elle provient des sources ponctuelles des établissements industriels aisément identifiables ;
- Z D'autres parts, elle est directement liée aux aspects techniques de processus de fabrication ou des installations de traitement mis en œuvre (Villagines R., 2003).

3. Pollution agricole

Provenant des fermes ou des cultures, la pollution agricole se caractérise par :

- Z De fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant : des engrais, des purins et lisières (élevage) ;

Z La présence de produits chimiques de traitement (pesticides, herbicides...etc.) (**Gaujous D., 1995**)

L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs ou eutrophisation, notamment par les engrais azotés et phosphorés conduit à la prolifération d'algues et de végétaux et à la dégradation des caractéristiques de l'eau (acidité, odeur, goût) (**NGO C., 2004**).

4. Phénomènes naturels

Certains auteurs considèrent que divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution (par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbures, le contact avec des filons géologiques (métaux lourds, arsenic), une source thermo-minérale...) (**Gaujous D., 1995**).

II.3. Contamination des eaux souterraines

Les eaux souterraines, longtemps considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, elles sont de nos jours souvent touchées par l'infiltration de multiples polluants à hauts risques dont les plus répandus sont : les nitrates et les pesticides (**Bouziati M., 2000**).

La pollution des eaux souterraines issue des sources domestiques, agricoles, et industrielles est en augmentation, il s'agit de rejets directs (effluents) ou indirects (à partir des engrais et des pesticides) ainsi que la lixiviation provenant des déchets, les sources diffuses ont une incidence croissante (**Bordet J., 2007**).

II.4. Impact de la pollution des eaux sur la santé humaine

L'eau, symbole de pureté et source de vie est le signe actuellement d'une civilisation qui s'intoxique. La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement, car l'eau est une interface entre l'air et le sol et elle subit donc les dégradations de ces deux milieux.

Les maladies liées à l'eau sont une tragédie humaine, il s'agit de plusieurs groupes d'affections qui tuent encore des millions de personnes et empêchent des millions d'individus de mener une vie saine et productive. On remarque que les maladies liées à l'eau sont de plus en plus répandues et qu'elles présentent des variations considérables sur le plan de leur nature et de leur mode de transmission.

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les algues. On parle ainsi de pollution, bactérienne, virale, ou parasitaire. Actuellement, on remarque que les maladies liées à l'eau sont de plus en plus répondues et qu'elles présentent des variations considérables sur le plan de leur nature et de leur mode de transmission.

On peut les répartir en trois catégories :

- Les maladies à transmission hydrique causées par les micro-organismes fécaux-oraux et les substances toxiques.
- Les maladies à support hydrique dues aux organismes aquatiques (Bilharziose).
- Les maladies transmises par les nombreux vecteurs vivant dans l'eau (moustiques, mouche tsé-tsé...), dont les plus graves affections sont représentées par le Paludisme et la Fièvre jaune.

D'autres catégories de maladies liées à l'eau sont moins bien estimées, il s'agit des maladies par manque d'hygiène : les infections cutanées (dermites infectieuses, gale, trachome), des maladies de privation d'eau (les stress des pénuries d'eau) et les affections dues au portage de l'eau (**Bouziati M., 2000**).

II.4.1. Différentes maladies relatives à l'eau

II.4.1.1. Maladies d'origine bactérienne

Il est possible de distinguer les différents types d'infections et d'intoxication d'origine bactérienne pouvant être transmises par l'eau (Tableau II.1). Dans les infections, les toxines sont élaborées par les germes au niveau du foyer infectieux, elles ont une action entorotrope.

Dans les intoxications, les toxines sont préformées dans l'eau destinée à être consommée.

Dans le premier cas le microorganisme infectant doit se fixer ou pénétrer dans la muqueuse intestinale, puis se multiplier, ce qui donne lieu à la production de toxine. Les symptômes de l'infection peuvent survenir entre 12 et 21 jours après la contamination de l'eau, c'est-à-dire après une période relativement longue.

Dans le second cas, au contraire l'intoxication où la toxine est intégrée en même temps que l'eau, le temps qui sépare la consommation de l'apparition des troubles est de quelques heures seulement (**Haslay et Leclerc, 1993**).

Tableau II.1: Les principales maladies d'origine hydrique liées à des bactéries (Delarras et Trebaol, 2003).

Bactéries	Maladies
Legionel lapneumophila	Légionellose
Salmonella typhi et paratyphi A et B	Fièvre typhoïde
Shigella dysenteriae	Dysenterie bacillaire
Vibrio cholerae	Choléra

II.4.1.2. Maladies d'origine parasitaire

Dans les infections parasitaires (Tableau II.2) comme la Giardiase, les trophozoites parviennent au niveau de la muqueuse qu'ils peuvent envahir, mais le mécanisme de diarrhée n'est pas connu. La caractéristique de ces infections est la longue durée des symptômes (6 semaines environ), comparativement aux infections virales ou microbiennes (Haslay et Leclerc, 1993).

Tableau II.2: Les principales maladies parasitaires d'origine hydrique les plus courantes et leurs agents responsables : (Delarras et Trebaol, 2003).

Parasites	maladies
Entamoebahistolytica (amibe)	Amibiase
Giardia intestinalis	Giardiase

II.4.1.3. Maladies d'origine virale

Les virus sont des micro-organismes infiniment petits et très résistants dans l'eau. Ce sont des micro-organismes qui ont un métabolisme spécifique, ils ne peuvent se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule vivante.

Leur présence dans l'eau est liée à une élimination humaine, par les selles, plus rarement par les urines ou les excréments nasopharyngée.

Parmi les virus responsables de maladies hydriques, on distingue :

-) Les poliovirus sauvages : responsables de poliomyélite (une grave maladie infectieuse paralysante) ;
-) Les virus d'hépatite infectieuses (type A, E...) sont des virus fréquemment retrouvés chez l'homme, à l'état de malade ou de porteur sain, ils sont dotés d'une grande résistance ;

) Les virus responsables des gastro-entérites chez les nourrissons, en particulier :

Les entérovirus, les virus Echo, (responsables des souillures des biberons), les Coxsakies, les Rotavirus..., la plupart de ces virus entraînent des diarrhées, qui s'accompagnent fréquemment de déshydratations mortelles chez les petits enfants ;

) Les Adénovirus et l'Influenza sont des virus présents dans le mucus nasal, mais qui peuvent être transmis accidentellement par les eaux de baignade (**Bouziati M., 2000**).

II.5. Paramètres de potabilité des eaux

L'OMS définit l'eau potable comme étant une eau qui ne représente aucun danger pour la consommation humaine. Pour que l'eau soit qualifiée de potable, elle doit satisfaire à des normes relatives aux paramètres organoleptiques, physico-chimiques, microbiologiques et à des substances indésirables et toxiques, Pour chaque paramètre, des valeurs limites à ne pas dépasser sont établies. Le fait qu'une eau soit potable ne signifie pas qu'elle soit exempt d'agent pathogènes mais que leur teneur a été jugée insuffisante pour déclencher une maladie (**organisation mondiale de santé, 2015**).

Les normes de qualité d'une eau potable sont données (Voir Annexe 1 et 2) :

) Selon les normes algériennes relatives à la qualité de l'eau de consommation humaine (décret exécutif n° 11-125 JO N°18 du 23mars 2011).

) Selon les valeurs guide de l'OMS en 2006.

II.5.1. Paramètres organoleptiques

➤ Couleur

La couleur d'une eau est due généralement à des substances humiques ou fulviques provenant de la décomposition de la matière végétale, des algues pouvant donner une coloration variable en fonction des pigments qu'elles contiennent ; des substances minérales particulièrement le fer et le manganèse, dont les formes précipitées sont colorées et des rejets industriels, par exemple de teinturerie, pouvant aussi colorer l'eau (**Rejsek F., 2002**).

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (**Rodier et al, 2009**).

➤ Odeur

L'odeur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles (**Rojsek F., 2002**).

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition (**Rodier J., 2005**).

➤ Gout et saveur

Le gout peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune qui est aperçu lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche.

La saveur d'une eau est due à la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels interviennent :

- Z La minéralisation de l'eau : certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau ;
- Z Les matières organiques dissoutes provenant de la décomposition de matières organiques végétales, de résidus agricoles, des rejets urbains ou industriels ;
- Z Les métabolites de certains microorganismes vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques.

Une eau potable de bonne qualité doit avoir une saveur faible et agréable (**Rojsek F., 2002**).

II.5.2. Paramètres physico-chimiques

➤ Température

Il est important de connaître la température de l'eau. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels, des gaz, la dissociation des sels dissous, la conductivité électrique et la détermination du pH. De plus, la vitesse des réactions chimiques et biochimiques varie en fonction de la température de l'eau (**Rodier et al, 2009**).

La température influe sur la densité de l'eau et joue donc un rôle primordial dans les phénomènes de stratification des lacs et des mers (thermocline) (**Gaujous D., 1995**).

➤ Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions H^+ . Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité ; à un pH 7 une eau est dite neutre, à un pH inférieur à 7 une eau dite acide, et à un pH supérieur à 7, elle est dite basique. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6. C'est d'ailleurs à l'intérieur de ces deux valeurs que se situe généralement le pH des eaux distribuées aux collectivités (**Rodier et al, 2009**).

Tableau II.3: Classification des eaux selon leur pH (C.I.E, 2005).

pH<5	Acidité forte=>présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH=7	pH neutre
7<pH<8	Neutralité approchée=>majorité des eaux de surface
5,5<pH<8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense

➤ Turbidité

La turbidité est une caractéristique optique de l'eau, à savoir sa capacité à diffuser ou adsorber la lumière incidente, elle est due à la présence dans l'eau de particules colloïdales et particules en suspension minérales que organiques dans l'eau, vivantes ou détritiques. (Villagines R., 2003).

Les normes concernant la turbidité de l'eau potables sont assez différentes et variables. L'OMS recommande comme valeur limite 5 unités NTU (Rodier et al, 2009).

Tableau II.4: Les classes de turbidité de l'eau (Rodier et al... 2009).

NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

➤ Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension contenues dans les eaux résiduaires constituent un paramètre important qui marque généralement le degré de pollution. Ce sont des matières qui ne sont ni colloïdales, ni solubilisés et elles peuvent être organiques ou minérales. La présence des matières en suspension, diminue la concentration en oxygène dissous, ce qui rend les activités des micro-organismes faibles et par conséquent une diminution du phénomène d'autoépuration (Hadeif et Hasni, 2017).

➤ Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est un phénomène physique qui consiste à laisser passer librement les charges électriques dans un corps, solide ou liquide. Une solution d'électrolytes contient des

ions mobiles qui facilitent le déplacement du courant, et donc la conductivité électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

La conductivité s'exprime en siemens par mètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par mètre (Rojsek F., 2002).

Tableau II.5 : Relation entre la minéralisation de l'eau et la conductivité mesurée (Rojsek F., 2002).

Conductivité en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Minéralisation de l'eau
<100	Très faible
Entre 100 et 200	Faible
Entre 200 et 333	Moyenne
Entre 333 et 666	Moyenne accentuée
Entre 666 et 1000	Importante
>1000	Élevée

➤ Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau, est un indicateur de la minéralisation de l'eau en cations divalents alcalino-terreux susceptibles de précipiter sous forme d'incrustations calcaires. Elle est due uniquement aux ions calcium et magnésium. Elle est exprimée en ppm (ou mg/l) de CaCO_3 .

$$\text{TH} = 10 ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$$

Avec les concentrations $[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$ en mmol/l (Rodier et al, 2009).

Tableau II.6: Relation entre la dureté de l'eau et la concentration équivalente en CaCO_3 (Hadeif et Hasni, 2017)

Dureté de l'eau	Concentration en mg/l
Eau douce	0 à 60
Eau moyennement douce	60 à 120
Eau dure	120 à 180
Eau très dure	Plus 180

➤ Alcalinité TA et TAC :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'hydrogénocarbonates (HCO_3^-), de carbonate (CO_3^{2-}), d'ion hydroxydes (OH^-) et d'une façon plus limitée, aux ions silicates (HSiO_3^{2-}), phosphates (PO_4^{3-}) ou encore aux espèces moléculaires des acides faible (Rodier et al... 2009).

Pour la détermination de l'alcalinité, on distingue deux titres :

- J) **Titre Alcalimétrique Complet (TAC)** : Correspondant à l'alcalinité totale au pH de 4,5 ce qui revient à déterminer les ions d'hydrogencarbonates (HCO_3^-), les ions de carbonates (CO_3^{2-}) et les ions d'hydroxydes (OH^-).
- J) **Titre Alcalimétrique Simple (TA)** : Elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions d'hydroxydes (OH^-) et à la moitié des ions de carbonates (CO_3^{2-}) cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3 (**Rejsek F., 2002**).

Dans les eaux naturelles, l'alcalinité, exprimée en HCO_3^- , varie de 10 à 350 mg/l. Pour une eau qui contient que des hydrogencarbonates (cas le plus fréquent) $\text{TA}=0$, $\text{TAC}=\text{HCO}_3^-$, pour une eau contenant un mélange carbonates, hydrogencarbonates, $\text{TA}=\text{CO}_3^{2-} / 2$ et

$\text{TAC} = (\text{HCO}_3^-) + 2\text{TA}$ (**Rodier et al, 2009**).

➤ Les minéraux dans l'eau

➤ Cations

1) Calcium (Ca^{2+})

Le calcium provient principalement de la dissolution des calcaires et des marnes. Il constitue un composant majeur de la dureté de l'eau, sa présence en grande quantité, peut être aussi due à la dissolution du gypse. Des concentrations en calcium de plus de 200 mg/l diminuent la possibilité d'utilisation de l'eau (formation de dépôts de calcaire) (**Collin J., 2004**).

2) Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau. À partir d'une concentration de 100mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau.

S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques, les sels de magnésium et surtout les sulfates ont un effet laxatif à partir de 400 à 500 mg/l (**Rodier et al, 2009**).

3) Potassium (K^+)

Le potassium est rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20mg/l. Il ne présente aucun inconvénient particulier bien que le K^{40} soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau (**Tardat M., 1992**).

4) Sodium (Na^+)

Le sodium est toujours présent dans les naturelles, en proportion très variables. Les eaux traitées par des résines échangeuses d'ions sous forme RZNa peuvent contenir des quantités très importantes de sodium.

Aucune norme ne limite la concentration en sodium dans les eaux potables. On peut également signaler que le sodium joue un rôle important en agriculture, pour l'irrigation, du fait de son action sur la perméabilité des sols (**Tardat M., 1992**).

➤ Anion

1) Chlorure (Cl^-)

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes exemptes de pollution ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/l, mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs exceptionnelles de 1 000 mg/L (Arc-et-Senans, Doubs) (**Rodier et al, 2009**).

2) Sulfates (SO_4^{2-})

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante en sulfates, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l; mais ce chiffre peut être plus élevé (jusqu'à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé (**Rodier et al, 2009**).

3) Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont oxydés en NO_3^- par Cl_2 , ClO_2 et O_3 . Les traitements biologiques peuvent transformer NH_4^+ en NO_2^- , si la quantité d'oxygène de l'eau n'est pas suffisante pour poursuivre l'oxydation jusqu'au stade de nitrate. Ce phénomène peut se produire la nuit sur des filtres lents à débit forcé en raison de la diminution de la photosynthèse (**Vilaginès R., 2003**).

4) Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates, dont on constate une augmentation générale de concentration dans les eaux brutes, doivent être éliminés si cette concentration est supérieure à 50 mg $\text{NO}_3^- \cdot \text{l}^{-1}$, car ils sont alors à l'origine de la méthémoglobinémie (ou cyanose) des nourrissons, voire de cancer (**Degrémont, 1940**).

II.5.3. Paramètres indésirables

➤ Manganèse

Le manganèse est très répandu dans la nature. Les concentrations dans l'écorce terrestre peuvent varier de 500 à 900 mg/kg.

Le manganèse présent dans l'eau peut s'y trouver, à des valences différentes (II, III et IV), à l'état soluble ou en suspension ou sous forme de complexes, sa solubilité dépend du pH, de l'oxygène dissous, de la présence d'agents complexant. Certaines eaux souterraines ont des teneurs de l'ordre de 1 mg/l en particulier lorsqu'il y a une attaque par l'eau de la roche support en milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries. Dans ces conditions, il est souvent associé au fer avec lequel il précipite par oxydation. Les eaux de surface en contiennent généralement que moins de 0,05 mg/l (**Rodier et al... 2005**).

➤ Fer

Le fer est un élément indispensable à e forme de vie. Il existe sous deux formes, le fer ferreux (Fe^{2+}), le fer ferrique (Fe^{3+}). On trouve souvent ce fer complexé dans les puits et les eaux de surface : il leur donne une couleur jaune ou marron. Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipité sous forme d'hydroxyde, $Fe(OH)_3$. Dans les eaux souterraines, par manque d'oxygène, le fer reste en solution (<https://oww.lanutrition.fr>).

Sous l'action de l'oxygène, le fer ferreux s'oxyde en fer ferrique et il est difficile de les doser séparément. Il est tout aussi difficile de distinguer nettement entre fer en solution, en suspension, à l'état colloïdal, sous forme de complexes minéraux ou organiques.

Dans l'eau potable, au niveau canadien, la teneur maximale acceptable est de 0,3 mg/l (**Tardât, 1992**).

➤ Aluminium

Le traitement avec les sels classiques d'aluminium ne donne pas une augmentation de la concentration en aluminium, (supérieure à 50 $\mu g/l$). En revanche, une floculation à pH supérieur à 7,5 peut donner des teneurs en aluminium très importantes, (supérieures à 100 $\mu g/L$).

L'aluminium se complexe très bien avec les acides humiques et traverse la chaîne de traitement. Une très grande attention devra donc être apportée dans le traitement d'eaux peu minéralisées et riches en acides humiques. Il faut se rappeler qu'à des concentrations supérieures à 30 $\mu g/l$ en aluminium, l'eau peut être considérée comme dangereuse lorsqu'elle est utilisée pour la dialyse rénale (**Villagines, 2003**).

➤ Cuivre

Le cuivre est plus toxique sous forme ionique que lorsqu'il est complexé avec la matière organique ou quand il se précipite sous forme de carbonate (dans les eaux dures). Teneurs naturelles jusqu'à 50µg/l dans l'eau douce (**Gaujous D., 1995**).

Dans les eaux souterraines, les teneurs normales en cuivre sont en-dessous de 0.005 mg/l (**Collin J., 2004**).

II.5.4. Paramètres de toxicité

➤ Arsenic As

L'arsenic est un élément chimique de numéro atomique 33, noté par le symbole As. Le corps simple correspondant est un solide cristallin argenté. L'arsenic a des propriétés intermédiaires entre celle des métaux et des non-métaux, comme l'antimoine dont il est proche

Naturellement présent dans certaines eaux, l'arsenic est à l'origine de cancers cutanés et peut-être d'autres formes de cancers, voire de problèmes circulatoires ; sa teneur admissible dans les eaux de consommation est en constante diminution (provisoirement : 10 µg/l) (**Degrémont. 1940**).

➤ Cadmium Cd

Est un élément chimique de numéro atomique 48, de symbole Cd. Il appartient à la famille des métaux lourds, un alliage contenant de cadmium ou un objet recouvert d'une fine couche cadmium est dit cadmié. Les eaux contiennent des concentrations maximales acceptable (CMA) de 0,005 mg/l (µg/l) est proposée à l'égard de cadmium total dans l'eau potable. Lorsque des teneurs plus élevées sont rencontrées dans les eaux superficielles ou les eaux de nappes phréatiques, l'origine du cadmium doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particulier) (**Rodier J et al, 2009**).

➤ Fluor F

Le fluor à une concentration très importante provoque des taches de l'émail des dents et la fluorose des os. Il faut la réduire par un traitement spécifique lorsqu'elle est supérieure à environ 1 mg/l (**Degrémont, 1940**).

➤ Sélénium

Le Sélénium est très répandu dans la nature. Il est toxique pour les êtres humains dont les organes cibles sont le foie, des angles et des cheveux. Le sélénium est limité dans les eaux potables à une concentration de 10µg/l par (l’OMS, UE ...) (**Degrémont, 1940**).

II.5.5. Paramètres bactériologiques

➤ Coliformes

Le terme « coliforme » regroupe un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant à la famille des enterobacteriaceae (**Rodier et al,2005**).

Ils sont présents en très grand nombre dans l'intestin et les selles de l'homme. Les coliformes sont recherchés dans l'eau comme témoins de contamination fécale. Les coliformes thermotolérants (44°C) sont considérés d'origine humaine ; certains coliformes totaux (37 °C) ont une origine fécale douteuse (**Gaujous D., 1995**).

➤ Streptocoques

Les streptocoques sont généralement pris comme indicateurs de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal (**RODIER et al. 2005**). Les streptocoques fécaux (ou streptocoques du groupe D ou entérocoques) sont des témoins de contamination fécale sensibles, spécifiques et assez résistants (y compris en milieu salé), Ils n'ont pas généralement de pouvoir pathogène important (**Gaujous D., 1995**).

➤ Salmonelles

Le genre Salmonella comprend de nombreuses espèces pathogènes. Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes touchent dans le monde environ cinq cent mille personnes et provoquent vingt-cinq mille morts par an. Les Salmonelles sont éliminées par les selles et peuvent contaminer les eaux, épidémies locales, particulièrement fréquentes dans les pays en voie développement. Elles peuvent également contaminer des bassins. Les Salmonella et les Shigella sont occasionnellement recherchées dans l'eau (en rivière, lagune, mer). Leur recherche nécessite généralement une concentration (par filtration ou sur gaze) (**Gaujous D., 1995**).

Chapitre III

Classification des eaux souterraines

III.1. Caractéristiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines proviennent de l'accumulation des infiltrations des eaux de pluie dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles sont généralement d'excellentes qualités physico-chimiques et bactériologiques (**Cardot, 1999**).

Les nappes d'eaux souterraines sont des nappes contenues dans les espaces interstitiels des particules de roches sédimentaires et dans les fissures des roches compactes. L'eau des nappes souterraines se maintient généralement à une température à peu près constante, très proche de la température moyenne de la région. Elle a une composition généralement plus stable et elle est plus riche en sels minéraux (**Bouziati M., 2000**).

Les réserves d'eaux souterraines sont constamment renouvelées par l'infiltration à travers le sol (**B.A.P.E, 1999**).

Les eaux souterraines viennent des sources ou des puits qui ont les caractéristiques suivantes (**Khettaf S., 2018**) :

- Turbidité faible parce qu'elles ont été filtrés dans les sols ;
- Pollution bactérienne et virale souvent faible ;
- Couleur faible parce qu'elles contiennent peu de matières organiques et de colloïdes.

Leur exploitation nécessite la mise en place de systèmes de captage et des équipements hydrauliques de distribution (pompe...) qui sont souvent importants. Avant leur exploitation, les eaux souterraines font l'objet d'étude hydrogéologique avec un examen de périmètre d'alimentation de la nappe (**Bouziati M., 2000**).

III.2. Influence de la nature géologique sur la composition des eaux souterraines

L'infiltration de l'eau et son écoulement dans le sol et le sous-sol sont les vecteurs du transport des solutés dans les systèmes d'eaux souterraines. Au cours de leur cheminement, les eaux souterraines sont en contact direct avec des matériaux solides tel que les sédiments, les sols et les roches. Ces interactions peuvent résulter des phénomènes de dissolution et de précipitation, mais aussi d'autres phénomènes tels l'adsorption et les réactions d'échange ionique. Par ailleurs, les solutés peuvent aussi interagir avec d'autres éléments en solution et en suspension dans l'eau, et se complexer avec ces éléments. Tous ces phénomènes concernant aussi bien des espèces chimiques minérales qu'organique (**Olivier et al, 1999**).

Dans les aquifères, l'eau est en contact avec une surface de roche importante et les vitesses de son déplacement sont lentes. Ces deux facteurs contribuent au fait que les eaux des aquifères sont souvent proche de l'équilibre thermodynamique avec les minéraux qui composent la roche.

Dans une eau au contact de la roche, il faut distinguer trois types d'ions : les ions contrôlés, les ions non contrôlés et les ions impliqués dans les équilibres acide-base. Les ions contrôlés sont des ions dont la teneur est dictée par la présence d'un minéral.

Par exemple, dans une eau à l'équilibre avec un sédiment contenant de l'albite (Na-feldspath), l'ion sodium est contrôlé par la présence du minéral. Dans ce cas, l'arrivée d'une eau plus diluée ou plus concentrée en sodium modifiera peu la teneur en sodium. Le potassium et le magnésium sont en général des éléments contrôlés (par les feldspaths et micas potassique pour K^+ et par. En effet tant que le minéral est présent, les concentrations en sodium restent les mêmes, en équilibre avec ce minérale de nombreuses phases minérales pour Mg^{2+} .

Les éléments non contrôlés ne sont pas liés à une phase minérale, il s'agit le plus souvent des ions chlorure, nitrate, sulfate en l'absence de gypse et sodium en l'absence d'albite. Les éléments participant à des équilibres acide-base vont avoir un comportement complexe, nécessitant un calcul dès que la composition de l'eau traversant le sédiment elle est modifiée.

Durant l'infiltration et l'écoulement de l'eau, se déroulent d'autres interactions. La majeure partie a transité par les sols, bien que des transferts directement sur la roche, par les berges des rivières ou depuis d'autres aquifères soient possibles (**Olivier A., 2005**). Les eaux circulant dans le sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées, celles circulant dans les sols calcaires sont bicarbonatées calciques (**Chaussade et al, 2005**).

III.3. Paramètres chimiques et classification des eaux souterraines

Les eaux naturelles contiennent toujours des sels minéraux, et une grande part de l'analyse chimique d'une eau consiste à doser les cations et les anions les plus abondants appelés éléments majeurs (**Jean-Paul B., 1992**). D'autres substances peuvent être présentes dans l'eau, mais généralement à des teneurs beaucoup plus faibles, ce sont des éléments mineurs.

III.3.1. Eléments majeurs

Les éléments majeurs sont constitués d'anions et de cations, les anions sont : Cl^- (ion chlorure), SO_4^{2-} (ion sulfate), NO_3^- (ion nitrate), PO_4^{3-} (ion phosphate), F^- (ion fluorure), HCO_3^- (ion hydrogénocarbonate ou bicarbonate), CO_3^{2-} (ion carbonate), les cations sont : Na^+ (ion sodium), K^+ (ion potassium), Ca^{2+} (ion calcium), Mg^{2+} (ion magnésium).

III.3.2. Eléments mineurs

Pour les éléments mineurs présents dans les eaux, on peut trouver des métaux (Fe : fer, Mn : manganèse, Pb : plomb), des isotopes (^{18}O , D (^2H) : deutérium, T (^3H) : tritium...), des produits Organiques (hydrocarbures (C_xH_y), autres (oxygène dissous) et des Pesticides (tout produit destiné à lutter contre des parasites animaux et végétaux des cultures).

III.4. Modèles de classification des eaux

En se basant sur la composition, on peut classer les eaux naturelles et déterminer les différents faciès hydrochimique. Le moyen le plus simple est probablement d'utiliser la représentation graphique, mais il existe également des méthodes numériques en utilisant des bases de données et des formules mathématiques.

III.4.1 Classification de PALMER

Chase PALMER, dans sa classification géochimique définit la salinité comme étant la propriété donnée par les sels d'acides forts (SO_4 , Cl, NO_3) peu hydrolysables et l'alcalinité, la propriété donnée par les sels d'acides faibles (HCO_3 , CO_3) facilement hydrolysables.

La salinité, représente l'union d'acides forts avec un même nombre d'équivalents de base, est exprimée par le double du nombre d'équivalents représentant les acides forts.

Les acides forts combinés aux ions alcalins (Na, K) définissent la salinité primaire. L'excès éventuel d'acides forts est alors combiné aux ions alcalins terreux (Ca, Mg) d'où résulte la salinité secondaire. Si, après cette combinaison, il y a encore un excès d'acides forts (eau acide), cet excès représente la salinité tertiaire (ou acidité).

Les ions sont exprimés en milliéquivalents en pourcentage de la somme des milliéquivalents de même signe.

La classification de PALMER est alors la suivante : (le symbole r précise l'expression en équivalents).

Classe I

$$r(\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% < r(\text{Na} + \text{K}) \%$$

$$2 r(\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% = \text{Salinité primaire}$$

$$2 r(\text{Na} + \text{K}) \% - 2 r(\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) = \text{Alcalinité primaire}$$

$$2 r(\text{Ca} + \text{Mg}) \% = \text{Alcalinité secondaire}$$

Classe II

$$r(\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% = r(\text{Na} + \text{K}) \%$$

$$2 r(\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% = \text{Salinité primaire}$$

$$2 r(\text{Na} + \text{K}) \% = \text{Salinité primaire}$$

$2 r (\text{Ca} + \text{Mg}) \% = \text{Alcalinité secondaire}$

Classe III

$r (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% \Psi (\text{Na} + \text{K}) \%$

$r (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% < r (\text{Na} + \text{K}) \% + r (\text{Ca} + \text{Mg}) \%$

$2 r (\text{Na} + \text{K}) \% = \text{Salinité primaire}$

$2 r (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \geq 2 r (\text{Na} + \text{K}) \% = \text{Salinité secondaire}$

$2 r (\text{Ca} + \text{Mg}) \% \geq (2 r (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% - 2 r (\text{Na} + \text{K}) \%) = \text{Alcalinité secondaire}$

Classe IV

$r (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% = r (\text{Na} + \text{K}) \% + r (\text{Ca} + \text{Mg}) \% = 100 \%$

$2 r (\text{Na} + \text{K}) \% = \text{Salinité primaire}$

$2 r (\text{Ca} + \text{Mg}) \% = \text{Salinité secondaire}$

Classe V

$r (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% \Psi r (\text{Na} + \text{K}) \% + r (\text{Ca} + \text{Mg}) \%$

$2 r (\text{Na} + \text{K}) \% = \text{Salinité primaire}$

$2 r (\text{Ca} + \text{Mg}) \% = \text{Salinité secondaire}$

$2 r (\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3) \% \geq 2 r (\text{Na} + \text{K}) \% \geq 2 r (\text{Ca} + \text{Mg}) \% = \text{Salinité tertiaire ou acidité}$

La classification de PALMER a marqué une date dans l'hydrochimie mettant, pour la première fois, en évidence des faciès chimiques d'eau souterraine. Les classifications d'eau introduites dans les diagrammes se sont toujours inspirés de PALMER, en particulier celle de HILL. Cette classification n'est pas représentable (Figure 5) dans la disposition actuelle du diagramme trinéaire qui constitue par ailleurs un moyen parlant d'interprétation de l'évolution chimique de l'eau dans les nappes (Monition L., 1966).

III.4.2 Classification de TORRE

Ainsi TORRE considère seulement le losange divisé en 6 zones qui représentent chacune des faciès plus ou moins bien différenciées (figure 6)

Zone 1 : Zone des nappes "carbonatées alcalines terreuses" nappes circulant dans des calcaires ou dolomies, ou nappes à sulfates réduits.

Zone 2 : Zone des nappes "sulfatées alcalines terreuses" nappes circulant dans des terrains gypseux ou "chlorurées alcalines terreuses" nappes circulant au contact d'argiles avec échanges de bases.

Zone 3 : Zone des nappes "chlorurées sodiques" (fréquentes) ou nappes (sulfatées sodiques) (rares).

Zone 4 : Zone des nappes "neutres" où il n'y aurait pas de prédominance nette d'un groupe d'anions ou d'un groupe de cations.

Zone 4' : Zone des nappes "neutres" différentes de la précédente par l'origine des eaux qui seraient issues des roches éruptives avant de circuler dans des roches sédimentaires.

Zone 5 : Zone des nappes "carbonatées alcalines" nappes issues des roches éruptives.
(Monition, 1966)

III.4.3 Classification de SOULINE

SOULINE distingue 4 types (Tableau III.1) d'eau dont à l'intérieur de chaque type il y a des groupes suivant l'anion prédominant, et à l'intérieur de chaque groupe des sous-groupes suivant le cation prédominant. Selon Souline, chaque type d'eau se forme dans une condition géologique et géochimique déterminée. Ainsi, les eaux du type sulfaté sodique et hydrocarbonatées sodique, c'est-à-dire les eaux à indice chlore-alcalin négatif, se formeraient dans les roches sédimentaires, là où il y a lessivage de la surface terrestre. Les eaux sulfatées sodiques prendraient naissance à la surface de la terre et dans les zones de circulation souterraine active, tandis que les eaux hydrocarbonatées existeraient aussi dans les eaux à circulation souterraine difficile.

Les eaux chlorurées magnésiennes, c'est-à-dire les eaux à indice chloro-alcalin positif faible, caractériseraient les eaux de mers et océans, ainsi que celles de la zone de circulation difficile.

Le type chloruré calcique serait celui des eaux profondes de la zone à circulation difficile n'ayant pas de relation avec la surface de la terre. Il est lié à l'augmentation de la concentration chimique, la réduction des sulfates, l'échange des bases.

Il est tout d'abord à remarquer que le premier principe de la classification de Souline est le degré d'échange de bases ou plus exactement le déséquilibre chloro- alcalin. Or ce déséquilibre peut être d'origine. Par exemple l'attaque des roches cristallines donnera le plus souvent $rNa > rCl$. Il est peut-être dû à un échange de bases se faisant tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, c'est-à-dire tantôt vers $rNa > rCl$ tantôt vers $rNa < rCl$. Ces déséquilibres dépendent donc en tout premier de la nature des roches traversées. Ils ne sont pas en relation directe avec les facilités ou difficultés de circulation de l'eau. Ils peuvent à la rigueur être modifiés par la concentration. Il faut alors qu'il puisse produire une dissolution plus rapide d'un sel que des autres. Cela peut à la rigueur se produire. Une concentration par dissolution peut diminuer rNa/rCl , car les sels de Na sont moins solubles que les chlorures alcalino-terreux. rCl / rNa ne peut être modifié par une précipitation, car il ne se précipitera aucun chlorure ou aucun sel de Na, sauf par suite d'une

évaporation intense. Mais ce sont certainement les échanges de bases qui jouent le plus grand rôle (Monition L., 1966)

Tableau III 1 : Les caractéristiques des 4 types d'eau (Souline., 1948).

Types d'eau	Caractéristiques des eaux
Sulfaté sodique	$r_{Na} > r_{Cl} > r_{SO_4}$
Hydrocarbonatée sodique	$r_{Na} > r_{Cl} > r_{SO_4}$
Chlorure magnésien	$r_{Na} < r_{Cl} < r_{Mg}$
Chlorure calcique	$r_{Na} < r_{Cl} < r_{Mg}$

III.4.4. Classification de DUROV

Durov (1948) divise les eaux en 5 classes :

CLASSE 1 : Eaux primaires résultant de l'action de l'eau atmosphérique sur la surface de la terre qui a été lessivée de ses sels solubles. SO_4 et Cl peu abondants ; r_s (résidu sec) ⁽²⁾ - 100-300 mg/l; r_{Ca} / r_{Mg} - 0,2 à 0,1.

CLASSE 2 : Eaux secondaires. Enrichissement des eaux primaires en $Na_2 SO_4$, NaCl, $MgCl_2$ qui sont présents dans les roches sédimentaires ; r_s —500-1000 mg/l ; r_{Mg}/r_{Ca} - 0,3-0,7.

CLASSE 3 : Eaux sulfatées. Elles résultent de l'enlèvement de HCO_3 des eaux secondaires. Cl peu abondant. Elles proviennent d'une transformation des bicarbonates en carbonates.

CLASSE 4 : Eaux chlorurées. Enrichissement en Cl. Perte de bicarbonate par précipitation de $CaCO_3$ et de $(CaMg) CO_3$. Perte de SO_4 par précipitation de $CaSO_4$. Résultent de l'évaporation dans des bassins fermes.

CLASSE 5 : Eaux bicarbonatées sodiques. Elles se forment par échange de bases à partir des eaux secondaires. Ces eaux sont en général privées de SO_4 (Monition L., 1966).

III.5. Représentation des analyses hydrochimiques

III.5.1. Principe de la représentation graphique des résultats d'analyses

Rappelons que dans l'eau quand les sels minéraux se dissocient, les ions sont indépendants sans connaître la combinaison chimique M^+X^- , l'évaporation subséquente de l'eau peut même conduire à la cristallisation de sels différents de ceux d'origine. Par contre, il est possible de déterminer la concentration de chaque ion et de vérifier qu'il y a autant de cations que d'anions en éq/l (Jean-Paul B., 1992).

Les systèmes trinéaire de représentations d'analyses chimiques des eaux sont basés sur le fait que les eaux souterraines peuvent être considérés comme les solutions à 3 cations et 3 anions

prédominants : calcium, magnésium, sodium, potassium et sulfate, chlorure, carbonate-bicarbonate.

La représentation tri linéaire la plus simple comprend 2 triangles, un pour les cations, un pour les anions exprimés en pourcentage, chaque sommet correspondant à 100% d'un ion particulier ou un groupe d'ions. La composition de l'eau est alors figurée par un point dans chacun des triangles (figure.III.1). Tous ces systèmes en commun donnent les résultats d'analyses en % d'équivalents (Monition L., 1966).

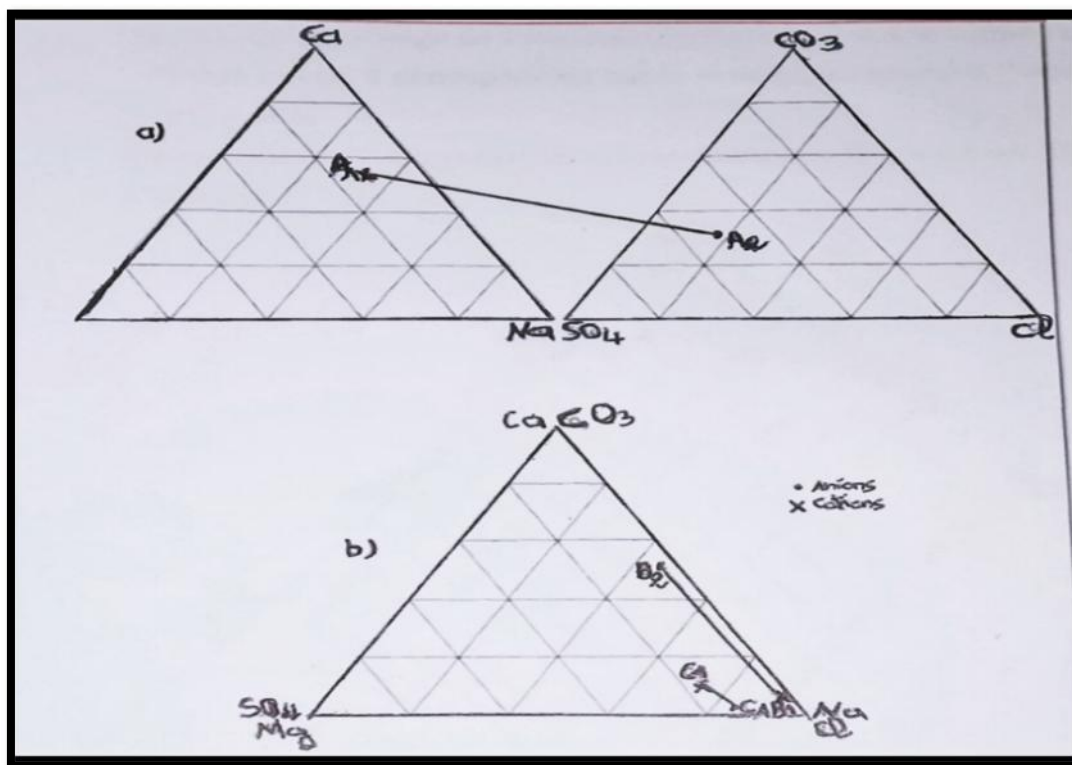


Figure.III.1. Graphiques triangulaires

III.5.2. Elaboration du diagramme

Le diagramme comprend un losange ABCD et 2 triangles équilatéraux (figure III.2) dont les côtés sont divisés en 10 parties égales correspondant à des pourcentages d'ions ou la somme des ions exprimés en milliéquivalents, par apport à la somme des ions de même signe. Le losange occupe la partie centrale du diagramme et les triangles, la partie inférieure ; la base des triangles est horizontale, leurs côtés sont parallèles à ceux du losange et les côtés extérieurs se trouvent dans le prolongement des côtés supérieurs du losange.

Le côté AB représente $SO_4 + Cl + NO_3$, BC correspond à $Ca + Mg$, CD à $CO_3 + HCO_3$ et AD à $Na + K$. Les deux derniers côtés portent les mêmes groupes d'ions que ceux des triangles qui leur sont parallèles. Le sens des valeurs croissantes de 0 à 100% est dans tous les cas est précisé par des flèches.

La position des points **I**₁ et **I**₂ est déterminée dans les triangles en calculant pour les cations et les anions, le pourcentage de l'ion considéré par rapport à la somme totale des ions de même signe. Le point unique **I** correspondant sur le losange, se trouve à l'intersection des parallèles menées depuis **I**₁ et **I**₂.

Lorsque seul le losange est pris en considération, le point **I** est défini par ses coordonnées CE et CD par (**I**) :

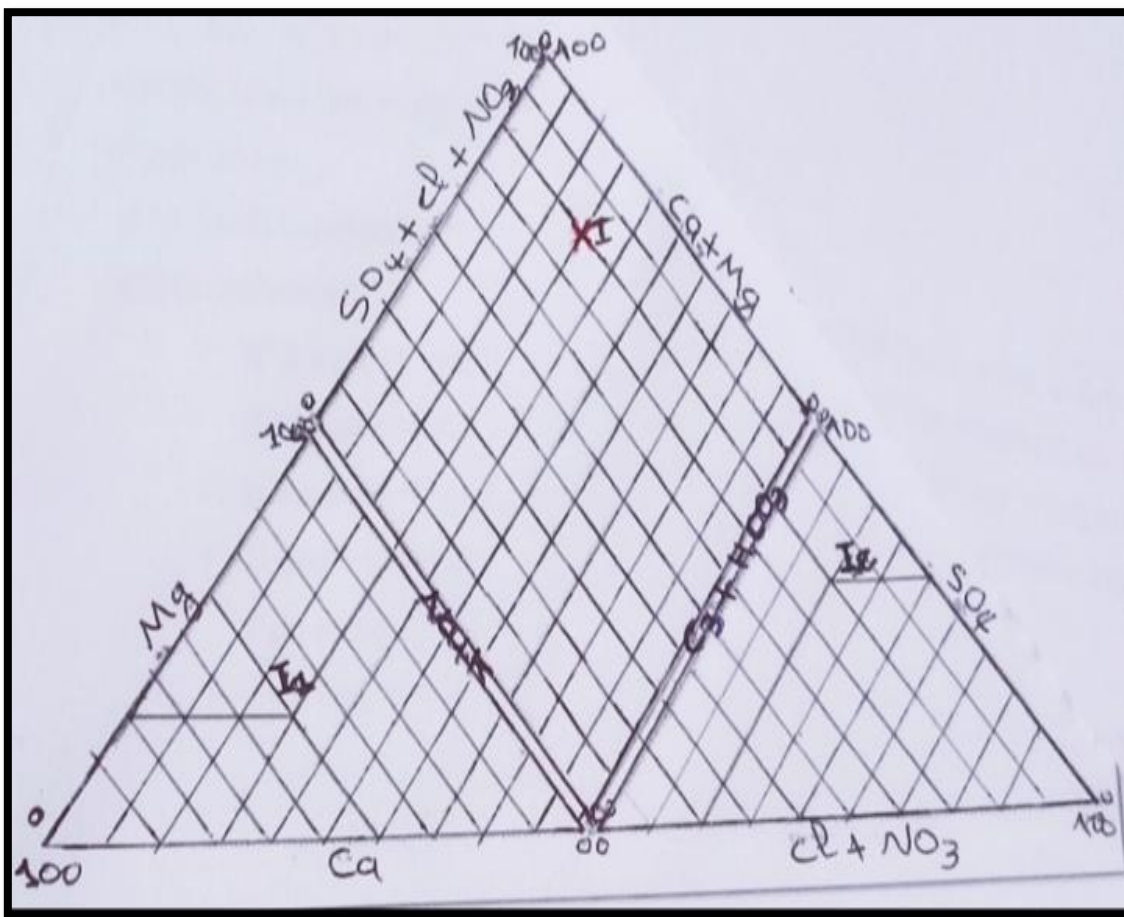


Figure.III.2. Elaboration du diagramme

III.5.3. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper est l'une des représentations les plus classiques pour comparer les compositions chimiques des eaux naturelles (Figure III.3.). 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 totale 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 (**Hajhouji Y et al., 2010**), sa position relative permet de préciser le faciès d'eau concernée.

-) Sommet du losange= faciès sulfaté/chloruré, calcique/magnésien ;
-) Base du losange= faciès carbonaté, sodique ;
-) Pointe droite du losange= faciès sulfaté/chloruré, sodique ;
-) Pointe gauche du losange= faciès bicarbonaté, calcique/magnésien.

Pour les cations, on représente en général Ca^{++} , Mg^{++} et $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ tandis pour les anions, il s'agit de Cl^{-} , SO_4^{2-} et $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-}$, Ce diagramme sert à caractériser une eau grâce à la proportion des différents éléments majeurs (**Délivrable.D4.1.**)

- ✓ Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée, le diagramme de Piper permet également (**Hajhouji Y et al., 2010**) :
- ✓ 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,

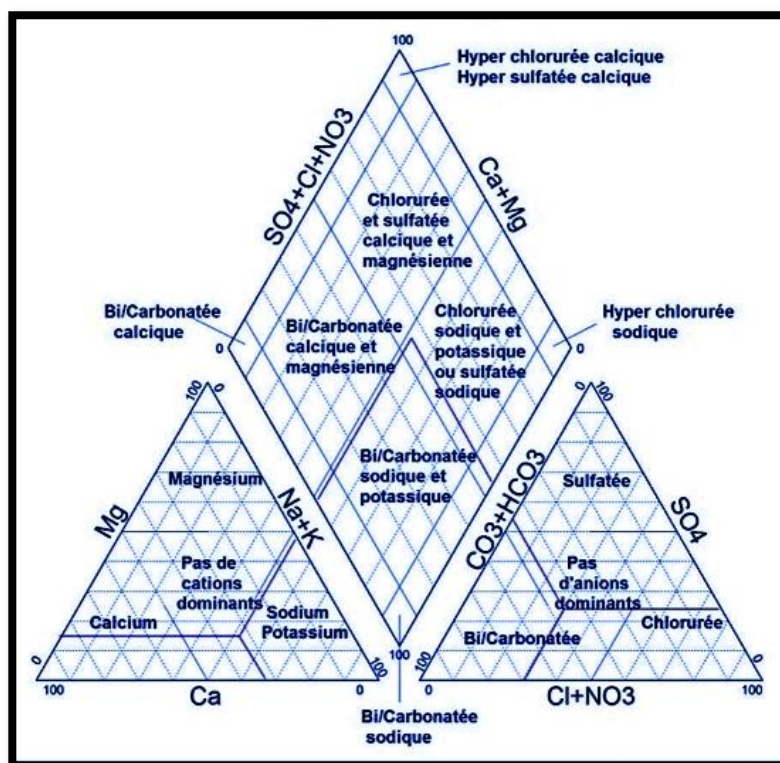


Figure III.3. Diagramme de Piper (Simler, 2014).

III.5.4. Diagramme de Durov

Plus récemment, des variations du diagramme trilingaire sont apparues dans des pays autres que les Etats-Unis. Durov (1948) suggéra un système qui, paraît être semblable à celui de Piper, le losange étant remplacé par un carré (Figure.III.4) le point représentatif étant alors défini par les coordonnées cartésiennes (Monition L., 1966).

Le diagramme de Durov est basé sur les même deux triangles utilisée par le diagramme de Piper, et il utilisées également des valeurs en $\% \text{ meq.l}^{-1}$.

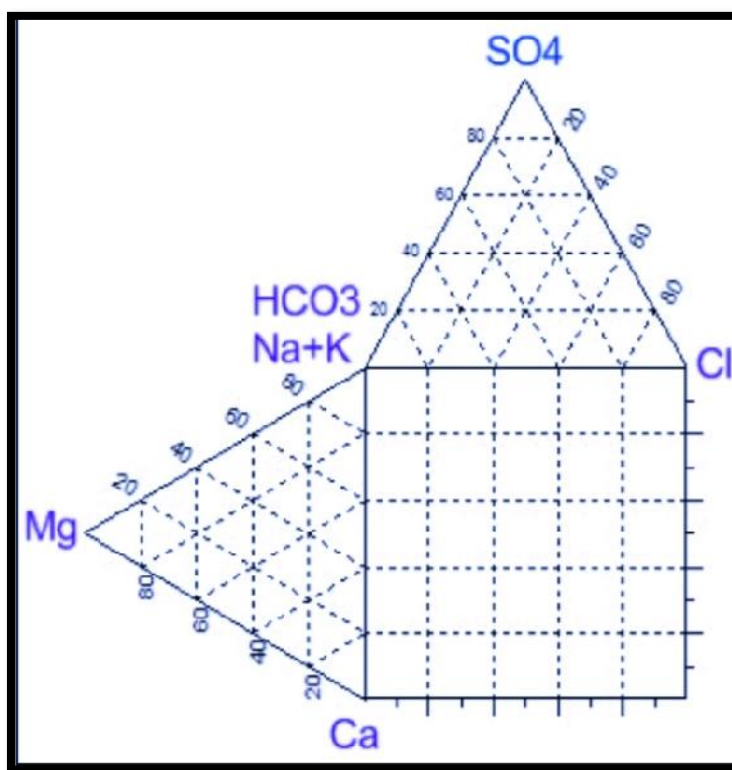


Figure III.4 : Diagramme de Durov ([http:// biblio.univ.antananarivo.mg](http://biblio.univ.antananarivo.mg), 2010).

III.5.5. Diagramme de Schoeller-Bercaloff

Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Bercaloff est une représentation graphique semi-logarithmique sur laquelle les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées. Les points obtenus sont reliés par les droites, l'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysées.

Le diagramme de Schoeller-Bercaloff indique pour chaque eau analysée la teneur moyenne (mg/l) en éléments m. C'est une représentation rapide d'une analyse d'eau qui permet de connaître le pH d'équilibre à partir duquel on peut déterminer le caractère agressif ou incrustant de l'eau. L'allure de la ligne tracée sur le diagramme permet de définir le faciès « Chimique » de l'eau analysée (Schoeller H., 1962).

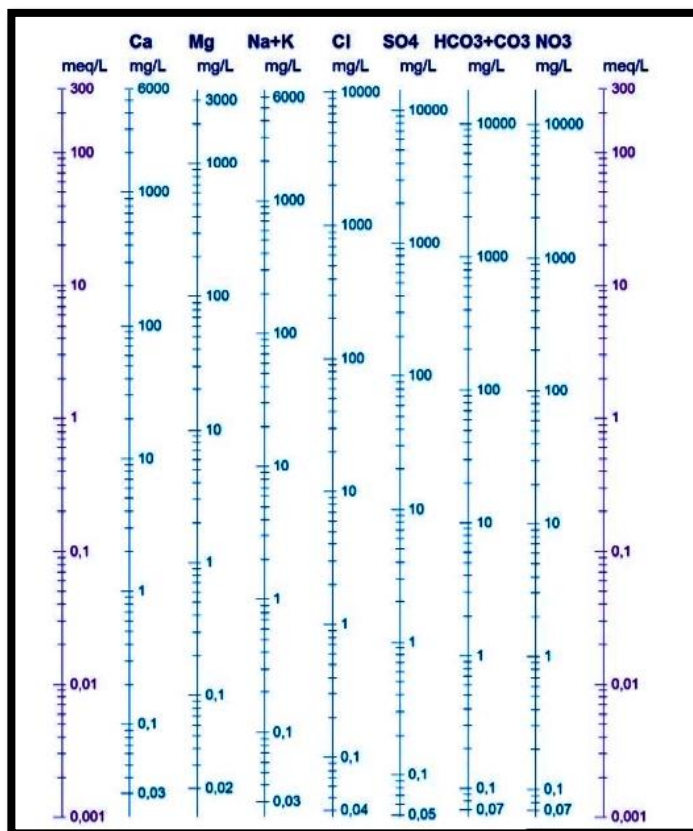


Figure III.5 : Diagramme de Schoeller-Bercaloff (Simler, 2014).

Chapitre IV

*Classification des eaux de
Quelques zones étudiées*

IV. Classification des eaux de quelques zones étudiées

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats des études hydrochimiques effectuées sur trois zones différentes et montrer comment la nature géologique des terrains influe sur la composition chimique et la nature des eaux. Ces études sont faites dont l'ordre comme suit :

-) L'étude hydrochimique de la nappe du Sénonien dans la région de Guerrara de la wilaya Ghardaïa est faite par **SAOUD Ibrahim** du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Faculté des Hydrocarbures, Energies Renouvelables et Science de la Terre et de l'Univers, Université Kasdi Merbah Ouargla. C'est un mémoire de Master en hydrogéologie, soutenu le 08/06/2014.
-) L'étude hydrochimique des Oueds Djemaa-Zitouna (Bejaia) est faite par **Mr. BOUNAB Rabia** et **Mr. TAMZAIT** du Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie, Option hydraulique urbaine, Université A. MIRA de Bejaia. C'est un mémoire de Master en hydraulique, soutenu en 2014.
-) Etude de la pollution des eaux superficielles et souterraines du bassin versant du Sébaou, mémoire fait par **Tababouchet Siham**, département aménagement et génie hydraulique, faculté aménagement et ouvrage hydrotechnique. Ecole supérieure de l'hydraulique - Arbaoui-Abdallah. Mémoire master année universitaire 2017.

IV.1. Nappe du Sénonien dans la région de Guerrara de la wilaya Ghardaïa

IV.1.1. Situation géographique de la zone d'étude

La région de Guerrara est située à près de 110 Km de Nord-Est de Ghardaïa chef-lieu de wilaya, ses coordonnées géographiques sont 32° 47' 25" Nord et 4° 29' 32" Est. Elle couvre une superficie d'environ 2600 Km² et une altitude moyenne de 303 m. C'est une zone aride qui reçoit de très faibles quantités de pluie, en moyenne une lame d'eau annuelle de 89.82mm.

Guerrara est caractérisée par un climat saharien, avec un été chaud et sec avec une température qui atteint 45°C. Un hiver plutôt doux, et une forte évaporation avec un taux annuel de l'ordre de 2630,5 mm. Les terrains autour de cette région sont fortement dénudés (1872), ils résultent d'une forte érosion fluviale qui a entaillée les plateaux du Pliocène continentale et remodelé par la suite par l'érosion éolienne. De ce fait, il y a présence de plusieurs unités géomorphologiques à savoir le Plateau, les Glacis, les Dayas, les Garas, les formations dunaires et le réseau hydrographique.

L'examen des différents logs stratigraphiques des forages implantés dans la région ainsi que la coupe établie ont permis de conclure que le sous-sol est composé de bas au haut de formations détritiques : sables, grès, argile sableuses d'âge Albien rencontrées à partir de 630m surmontées par le Cénomaniens argileux sur lequel repose des formations carbonatées d'âge Turonien, Sénonien, et Eocène.

IV.1.2. Nappe du Sénonien

Le Sénonien est formé de calcaire microcristallin au sommet et de dolomie beige à la base. Son épaisseur moyenne est de 205 m avec un niveau statique estimé à 150 m. L'aquifère est en continuité hydraulique avec les nappes du Mio-Pliocène et de l'Eocène, l'ensemble de ces trois horizons aquifères peuvent être exploités jusqu'à une profondeur de 430 m environ.

Dans la partie Ouest de la région de Guerrara les dépôts du Mio-Pliocène sont réduits et reposent directement sur le Sénonien carbonaté. De ce fait seul la nappe contenue dans les calcaires du Sénonien peut constituer un aquifère exploitable.

La nappe est captée par plus de 64 forages dont la majorité est illicite, ils sont destinés à l'alimentation et à l'irrigation.

Dans ce travail dix-neuf forages (F1 – F19) ont été utilisés pour faire une étude hydrochimique de la nappe Sénonien, ces forages atteignent une profondeur qui varie de 48 à 210 m. et différents paramètres physico-chimiques ont été mesurés : température, conductivité électrique, pH, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- et PO_4^{3-} .

Afin d'évaluer la qualité de cette nappe, Une campagne de terrain a été réalisée en mois d'avril. Dix-huit forages bien repartis sur le terrain ont été choisis et dont les coordonnées ont été déterminées à l'aide d'un GPS.

Les 18 échantillons d'eau souterraines qui ont été prélevés, sont conservés à basse température (4°C) jusqu'au moment de l'analyse qui ne doit pas dépasser 24h pour le pH, TA, TAC, et TH ; 48h pour la conductivité, les NO_2 et les PO_4 , 7 jours le SO_4 , 2 mois pour les métaux lourds et enfin plusieurs mois pour le Ca et le Mg.

IV.1.3. Méthodes d'analyse et d'interprétation

Le dosage des différents ions a été fait par plusieurs méthodes d'analyses :

- Par titrimétrie ont été dosés les chlorures (Cl^-), les bicarbonates (HCO_3^-) et le calcium (Ca^{2+}).
- Par complexométrie a été déterminée la dureté totale (TH).

- Par précipitation et pesée à l'état de sulfate de baryum, en présence de chlorure de baryum (BaCl₂), ont été dosés les ions sulfates (SO₄²⁻).
- Par spectrométrie : les nitrates (NO₃⁻), nitrites (NO₂⁻), ammonium (NH₄⁺) et ortho phosphates (PO₄³⁻).
- Par photométrie de flamme : Sodium (Na⁺) et le Potassium (K⁺).

Pour l'interprétation des analyses, ils ont fait recours aux méthodes suivantes :

- Représentation graphiques de l'évolution des paramètres chimiques au niveau des forages.
- Cartographie de l'évolution des paramètres chimiques : conductivité électrique, teneur en chlorure et teneur en nitrates par l'emploi du logiciel Surfer V 9.
- Détermination du faciès chimique de la nappe par le diagramme de Piper et de Schoeller-Bercaloff avec le logiciel Diagramme V 5.1.
- Enfin, étude de la qualité de la nappe à l'alimentation par la comparaison des résultats avec les normes de l'OMS.

IV.1.4. Résultats d'analyse

Les résultats de mesure de différents paramètres physico-chimiques effectuée sur 19 forages de la nappe Sénonien sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau IV.1 : valeurs des paramètres physico-chimiques mesurés pour les 19 forages de la nappe Sénonien

Paramètre	Valeur maximale	Valeur minimale
Température	28,2°C	24,4°C
Conductivité (CE)	7,940 µS/cm	0,408 µS/cm
Potentiel Hydrogène (pH)	7,9	6,5
Calcium (Ca ²⁺)	78,58mg/l	60mg/l
Magnésium (Mg ²⁺)	141,9 mg/l	1,944mg/l
Sodium (Na ⁺)	1200mg/l	6,43mg/l
Potassium (K ⁺)	38,33mg/l	3,33 mg/l
Chlorures (Cl ⁻)	1191,2mg/l	58,14mg/l
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	390mg/l	132mg/l
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	1733,7 mg/l	169,97 mg/l

Nitrates (NO_3^-)	18,86 mg/l	2,53 mg/l
Nitrites (NO_2^-)	0,1 mg/l	Faible
Ammonium (NH_4^+)	0,062mg/l	Faible
Phosphates (PO_4^{3-})	0,03mg/l	Faible

IV.1.5. Faciès chimiques

IV.1.5.1. Selon Piper

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper (Figure IV.1) permet de différencier les familles d'eaux.

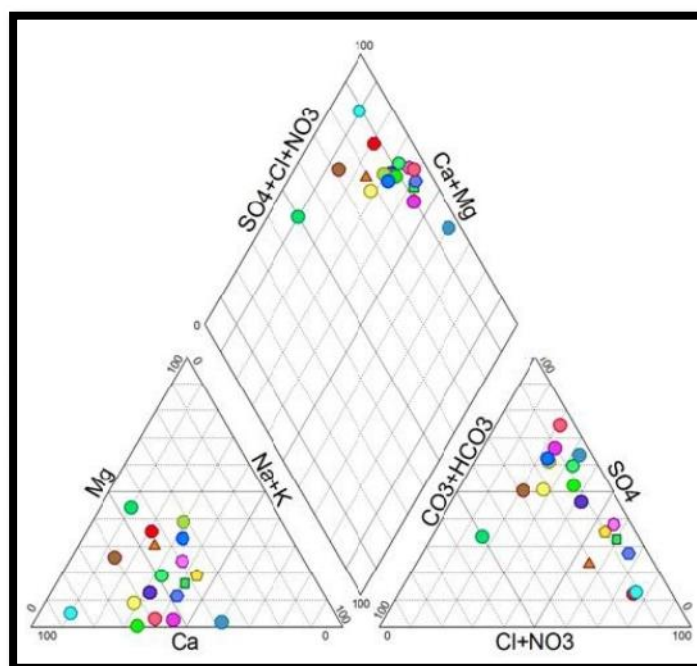


Figure IV.1: Diagramme de Piper des eaux du Sénonien de la région Guerrara

L'examen de diagramme de Piper obtenu permet de déduire les observations suivantes :

- Domination du calcium et sodium sur le magnésium dans le triangle des cations.
- Domination des chlorures et sulfates sur les bicarbonates dans le triangle des anions.

Ainsi, les résultats d'analyses des eaux du Sénonien de la région de Guerrara permettent de distinguer deux familles d'eaux :

- Familles des eaux chlorurées et sulfatées calciques pour la majorité des forages.
- Familles des eaux sulfatées sodiques pour un forage.

IV.1.5.2. Selon Schoeller-Bercaloff

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Schoeller-Bercaloff (Figure IV.2) permet de différencier les différents faciès chimiques d'eaux de plusieurs échantillons dans un seul graphe.

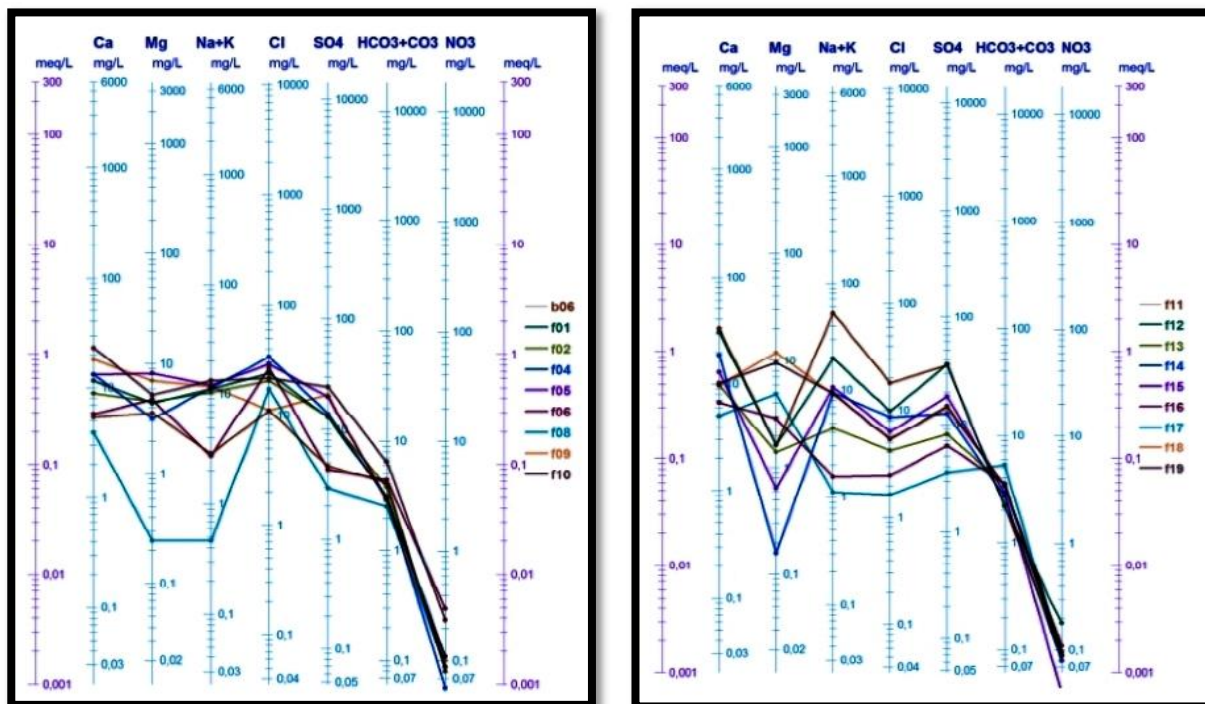


Figure IV.2 : Diagrammes de Schoeller des eaux du Sénonien de la région Guerrara

L'examen des diagrammes obtenu de différents forages met en évidence les faciès chimiques suivants :

- Faciès chloruré calcique magnésien au niveau des forages : F1, F2, F4, F6, F7, F8, F5 et B6.
- Faciès sulfatés calcique et magnésien aux forages : F9, F19, F12, F13, F14, F16, F18.
- Faciès sulfaté sodique au forage : F11.

IV.1.6. Qualité des eaux de la nappe Sénonien

Pour contrôler la qualité de l'eau de l'aquifère Sénonien, ils ont comparés les résultats des analyses physico-chimiques aux normes recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS).

-A cette fin, la comparaison des concentrations maximales des différents paramètres obtenus de ces analyses avec les normes de l'OMS (Tableau IV.2), montre que la majorité des paramètres dépassent les normes, excepté le pH et les teneurs en Mg^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} .

-La potabilité d'une eau peut être également évaluée par la dureté ou titre hydrotimétrie (D.H.T), la dureté calculée pour la nappe du Sénonien de Guerrara montre que l'eau de la nappe est dans l'ensemble dure. Un échantillon seulement présente un TH de 20,81°F donc une eau modérément douce.

-L'étude hydrochimique des eaux de la nappe du Sénonien de Guerrara montre que l'eau dans l'ensemble est fortement minéralisée avec une conductivité électrique qui varie entre 0,40 et 4,81 mS/cm.

Enfin, nous pouvons conclure que quatre forages seulement présentent une eau de bonne qualité à l'AEP, et qui sont : B6, F13, F16 et F17.

IV.2. Oued Djemaa-Zitouna (Bejaia)

IV.2.1. Situation géographique

La zone d'étude est située à environ 20Km à l'Est de la ville de Bejaia, au lieu de Djemaa-Zitouna. L'aire prospectée s'inscrit dans la plaine côtière de Bejaia, plus précisément dans la plaine de Djemaa- Zitouna, qui présente une largeur d'environ 500m et une longueur de 15km. Elle est interrompue par le cap TICHY et limitée à l'Est et à l'Ouest par des massifs de bordures, au Sud par des monts relativement élevés (environ 600 m) à pentes raides et au Nord par la mer méditerranéenne. D'après les données climatiques fournis par la station météorologique d'Aéroport de Béjaia l'étude des facteurs climatique a permis de distinguer deux saison à savoir la saison sub-humide et la saison sèche, concernant la température moyenne dans la région est de l'ordre de 19.2 °C.

Le bassin versant de l'oued Djemaa, en un point ou plus précisément dans une section droite d'un cours d'eau, est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de ladite section, tous les écoulements, prenant naissance à l'intérieur de cette surface, doivent traverser la section droite considérée pour poursuivre leur trajet vers l'aval.

Le bassin versant de l'Oued Djemaa est constitué par des calcaires marneux et calcaires à silex du crétacé inférieur. Cette formation est la plus dominante le long de la rive droite, avec des calcaires à silex du lias moyen formant les crêtes et les grés rouges et d'argiles du trias (-230 à -200 millions d'années).

Cette étude a porté sur l'analyse et interprétation de 13 échantillons (8 échantillons d'eaux souterraines et 5 échantillons d'eaux de surface). Les analyses des éléments chimiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de recherches en hydraulique appliquée et environnement de

l'université de Bejaia et ont porté sur les éléments majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^{2-}).

IV.2.2. Paramètres physico-chimiques

IV.2.2.1 Analyse des paramètres physico-chimiques

Le tableau IV.2 montre les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenus lors des analyses.

Tableau IV.2: Les résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques

Eaux Paramètre	Eaux souterraines		Eaux de surface	
	Valeur maximale	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur minimale
Potentiel Hydrogène (pH)	7.82	7.51	8.55	7.91
Conductivité (CE) ($\mu\text{m}/\text{cm}$)	1278	572	887	451
Salinité (‰)	0.4	0.0	0.2	0.0
Total des sels dessous (mg/l)	1241	559	870	466

IV.2.2.2 Paramètre organoleptiques

Le tableau IV.3 montre les résultats d'analyse organoleptiques obtenus lors des analyses.

Tableau IV.3: Les résultats d'analyse des paramètres organoleptiques.

Sources Paramètres organoleptique	Eaux souterraines	Eaux de surface
	Odeur	Sans
Saveur	Absence	Absence
Couleur	Incolore	Jaunâtre

IV.2.2.3. Analyse des paramètres chimiques

❖ Eléments majeurs

Le tableau IV.4 montre les valeurs des paramètres chimiques obtenus lors des analyses.

Tableau IV.4 : Les valeurs d'analyse des paramètres chimiques.

Sources		Eaux souterraines		Eaux de surface	
Paramètres		Valeur maximale	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur minimale
Paramètres chimiques					
Les cations	Ca ²⁺	7.26	4.17	5.35	3.29
	Mg ²⁺	3.70	1.38	2.89	1.32
	Na ⁺	3.26	0.62	1.50	0.52
	K ⁺	0.02	0.00	0.04	0.00
Les anions	Cl	2.68	0.52	1.36	0.41
	SO ₄ ²⁻	6.52	2.85	4.83	1.86
	HCO ₃ ²⁻	4.47	3.26	4.05	2.95
	NO ₃ ²⁻	0.6	0.00	0.03	0.02

IV.2.3 Les faciès chimiques

IV.2.3.1 Les faciès chimiques selon le diagramme de Piper

Dans le diagramme de Piper (Figure IV.3), ils ont présenté les valeurs des paramètres majeurs des eaux des forages et de surface des Oueds Djemaa et Zitouna.

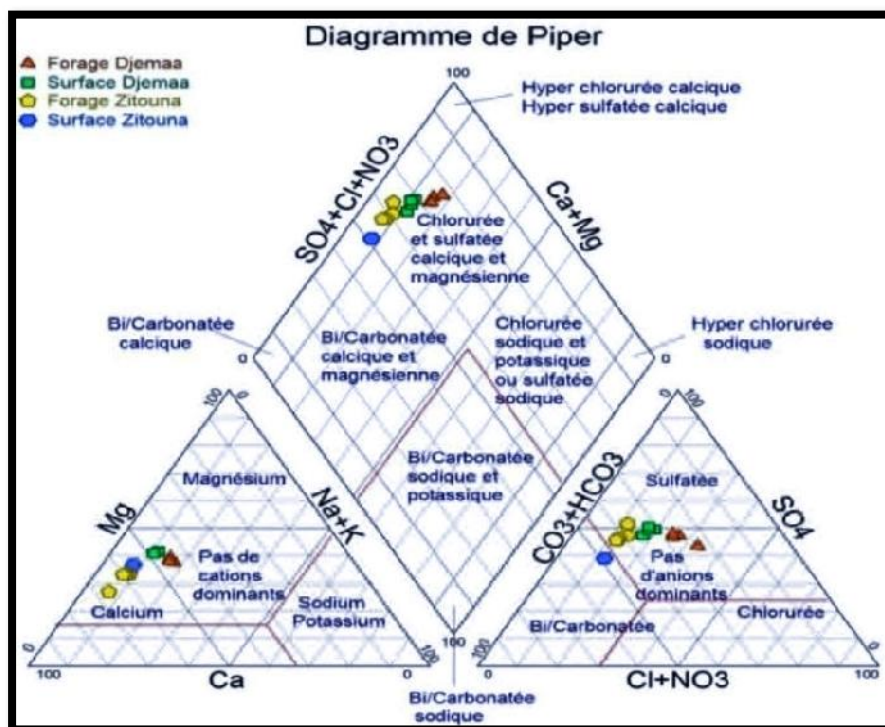


Figure VI.3 Les faciès chimiques selon le diagramme de Piper

A partir du diagramme de piper on remarque que pour les eaux de l’Oued Zitouna, le nuage des points montre une dominance cationique du calcium et du magnésium et sans dominance pour les eaux de Oued Djamaa. Pour les eaux de surface il y a absence anionique dans l’Oued de Zitouna et présence des bicarbonates dans l’Oued Djamaa.

Le diagramme global met en relief deux faciès dominants, le faciès hyper chloruré calcique et hyper sulfaté calcique pour les eaux de Zitouna et un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de l’Oued Djamaa.

IV.2.3.2 Les faciès chimiques selon le diagramme de Schoeller-Bercaloff

Le diagramme de Schoeller-Bercaloff (figure IV.4) regroupe les résultats d’analyses de plusieurs échantillons de forages et de surface des Oueds Djamaa et Zitouna.

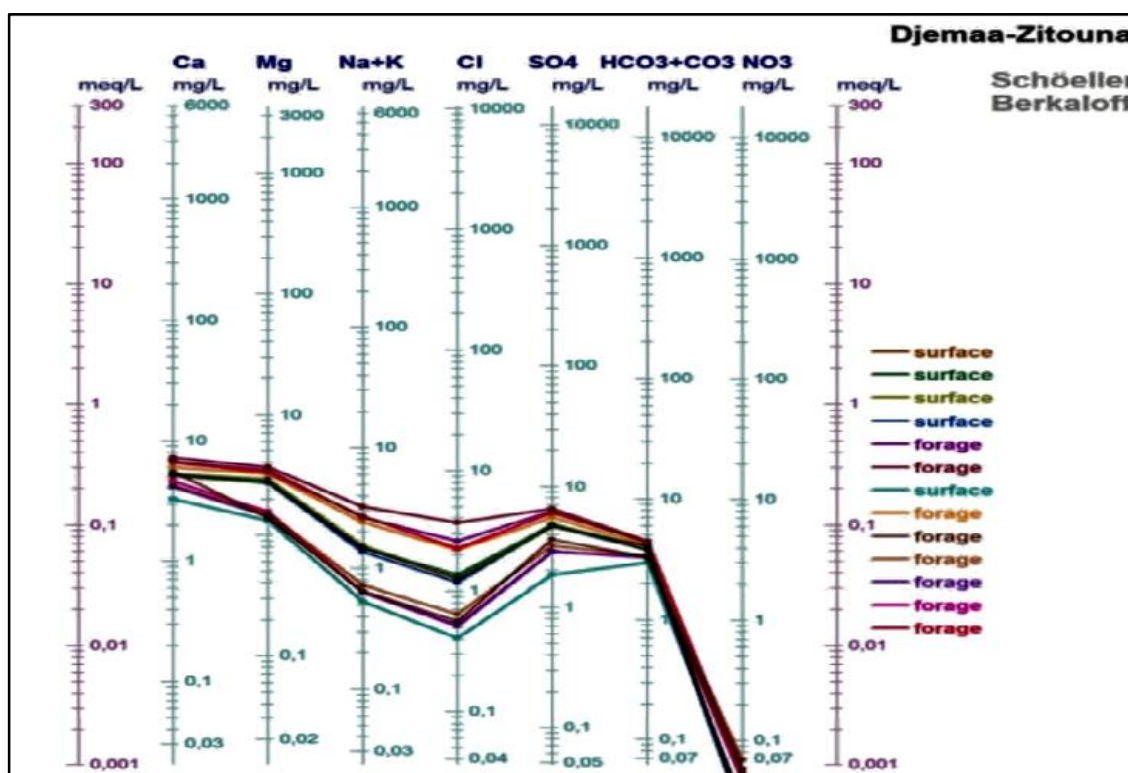


Figure VI.4 : Diagramme de Schoeller-Bercaloff des Oueds Djamaa et Zitouna.

Le diagramme de Schoeller-Bercaloff, confirme la domination du faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne qui est due à la dissolution combinée de la calcite, la dolomite et le gypse. Secondairement, le faciès chloruré calcique et sulfaté calcique peut provenir des facteurs anthropiques.

IV.2.4 Qualité des eaux des Oueds Djemaa et Zitouna

La composition chimique de ces eaux est dominée par Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} et SO_4^{2-} ; minéralisation acquise en grande partie par la dissolution chimique naturelle des carbonates, des formations gypseuses ainsi que par les activités anthropiques tout au long du bassin (Djemaa- Zitouna), correspondant à des apports d'engrais agricoles, de rejets domestiques à ciel ouvert.

L'interprétation des données hydrochimiques a montré que l'abondance des ions majeurs de l'eau de surface est comme suit $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$; dans les eaux souterraines, elle correspond à $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$. Les représentations graphiques des points d'eaux analysés sur les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff ont montré que les eaux de la région sont majoritairement chlorurées calciques et hyper sulfatées calciques pour les eaux de Zitouna et un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien pour les eaux de l'Oued Djemaa.

IV.3. Eaux superficielles et souterraines du bassin versant du Sébaou, wilaya Tizi-Ouzou

IV.3.1 Présentation de bassin versant du Sébaou

La plaine alluviale de Sébaou se localise à 80 km à l'Est d'Alger. Du point de vue administratif, la région chevauche deux wilayas : Tizi-Ouzou (haut et moyen Sébaou) et Boumerdès (bas Sébaou). Ses limites naturelles sont :

- Au Nord, la Chaîne littorale et la mer méditerranée ;
- A l'Est, le bassin versant de la Soummam ;
- A l'Ouest, le bassin versant de Isser ;
- Au sud et sud Est par la chaîne de Djurdjura (chaîne calcaire).

Le bassin versant de l'oued Sébaou est de forme allongée, de direction Est-West. Il couvre une superficie de 2500 km² dont l'altitude moyenne est de 504m. la nappe alluviale représente environ 36 % de la surface totale du bassin, dont l'altitude est inférieure à 200m. la pluviométrie moyenne à l'échelle du bassin versant est de l'ordre de 900 mm/an. Elle se caractérise d'un climat méditerranéen, deux périodes humide allant du mois de juin au mois de septembre et une période humide allant du mois d'octobre au mois de mai, l'évolution des précipitations à la station de Tizi-Ouzou montre bien ces deux périodes dans les dernières périodes (ANRH, 2015 Blida).

La vallée de Sébaou est constituée, par des dépôts détritiques où sont incorporés des horizons argileux discontinus. Cette formation détritiques d'âge quaternaire représente l'aquifère de la vallée, constituant le remplissage d'un synclinal à cœur miocène, on retrouve dans cette dernière un matériau hétérogène, formé de sables, galets, graviers et limons. La lithologie et la tectonique ont imposé une grande diversité de paysages et une surface d'extension de la vallée limitée où se côtoient des reliefs parallèles d'orientation Est-Ouest et des dépressions renfermant des plaines étirées, plus étendues vers l'aval. La vallée de l'oued Sébaou est une dépression comblée d'alluvions formant un complexe de terrasses.

Dans le haut de Sébaou les terrasses sont étagées, cette structure a une incidence sur l'alimentation de la nappe alluviale, de fait quelles sont susceptible de renfermer des nappes à entités hydrauliques bien individualisées. Les bordures et le lit mineur de la vallée de l'oued sont formés par des marnes imperméables ou argiles de l'Oligocène au Pliocène.

A l'exception des formations perméables de la chaîne calcaire et des alluvions de l'oued Sébaou, les formations du bassin versant sont souvent imperméables.

VI.3.2 Eaux souterraines

IV.3.2.1 Méthodes d'analyses et d'interprétation

L'étude hydrochimique a été faite grâce à la constitution d'un dossier analytique concernant chaque point d'eau ayant servi à la piézométrie (13 puits, 2 forages et 07 piézomètres).

Pour suivre l'évolution spatiale des éléments chimiques, la répartition géographique des concentrations en éléments chimiques dissous et pour estimer le risque de pollution nous avons choisie l'établissement des cartes hydrochimique suivantes :

- Carte d'iso teneurs en bicarbonates ;
- Carte d'iso teneurs en chlorures ;
- Carte d'iso teneurs en calcium ;
- Carte d'iso teneurs en magnésium ;
- Carte du sodium ;
- Carte du nitrate.

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire de l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Blida). Elles ont porté principalement sur les éléments majeurs à savoir :

Cation: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Anion: Cl^- , SO_4^- , CO_3^- , HCO_3^- , NO_3^- .

Cette étude hydrochimique a pour but d'avoir une idée globale sur la qualité actuelle des eaux de la zone étudiée, étudier les résultats des paramètres physico-chimiques et analyser l'évolution spatiale de chaque élément à travers l'aquifère afin de :

- Distinguer les phénomènes qui influent sur la teneur d'un élément.
- Apprécier les mécanismes des écoulements des eaux souterraines ainsi que leur origine.

A cet effet, une campagne d'échantillonnage a été menée sur 22 points pour les eaux souterraines (13 puits, 2 forages et 07 piézomètres). Le choix des sites des prélèvements tient compte aussi d'une bonne répartition spatiale des points d'eau, de manière à couvrir de façon représentative, l'ensemble de la nappe.

Pour ce faire on a tracé pour chaque élément des cartes d'égale teneur superposée sur un fond géologique et topologique en s'appuyant sur les analyses physico-chimiques localisation des points de prélèvements (eaux de surface et souterraines, 2015).

Afin de déterminer le faciès chimique d'une eau, plusieurs méthodes de représentation graphique et de classification ont été élaborées, parmi elles ; nous avons retenue celles de Schoeller-Bercaloff et de Piper. À cet effet nous avons représentées les résultats des analyses sur des graphiques automatiquement par un logiciel (Diagramme).

Pour l'interprétation des analyses, ils ont fait distinguer :

- Une dominance du faciès carbonaté calcique due au lessivage des formations carbonatées, qui s'expliquent par des contaminations naturelles ou artificielles des eaux :
 - ❖ Naturelle, du fait de la présence du (schistes, marnes, marno-calcaires (flysch) dans le bassin versant du Sébaou.
 - ❖ Artificielle, par les rejets d'eaux usées et industriels.

IV.3.2.2 Résultats d'analyses

Le tableau présente les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques d'une campagne d'échantillonnage a été mené sur 22 points pour les eaux souterraines (13 puits, 2 forages et 07 piézomètres) en 2015.

Tableau IV.5 : Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de bassin versant du Sébaou

Paramètres	Valeurs minimales	Valeurs maximales
Température	17 °C	19,5 °C

Potentiel hydrogène (pH)	6,9	8,3
Conductivité (CE)	850 $\mu\text{S/cm}$	2870 $\mu\text{S/cm}$
Dureté	25 F°	67 F°
Résidu sec	549 mg/l	1756 mg/l
Calcium Ca^{2+}	75 mg/l	200 mg/l
Magnésium Mg^{2+}	65 mg/l	120 mg/l
Sodium Na^+	100 mg/l	40 mg/l
Potassium K^+	100 mg/l	40 mg/l
Chlorures	200 mg/l	380 mg/l
Sulfates	200 mg/l	380 mg/l
Bicarbonates	300 mg/l	400 mg/l
Nitrates	1 mg/l	46 mg/l
Métaux lourds		

IV.3.2.3. Faciès chimiques

IV.3.2.3.1. Selon le diagramme de Piper

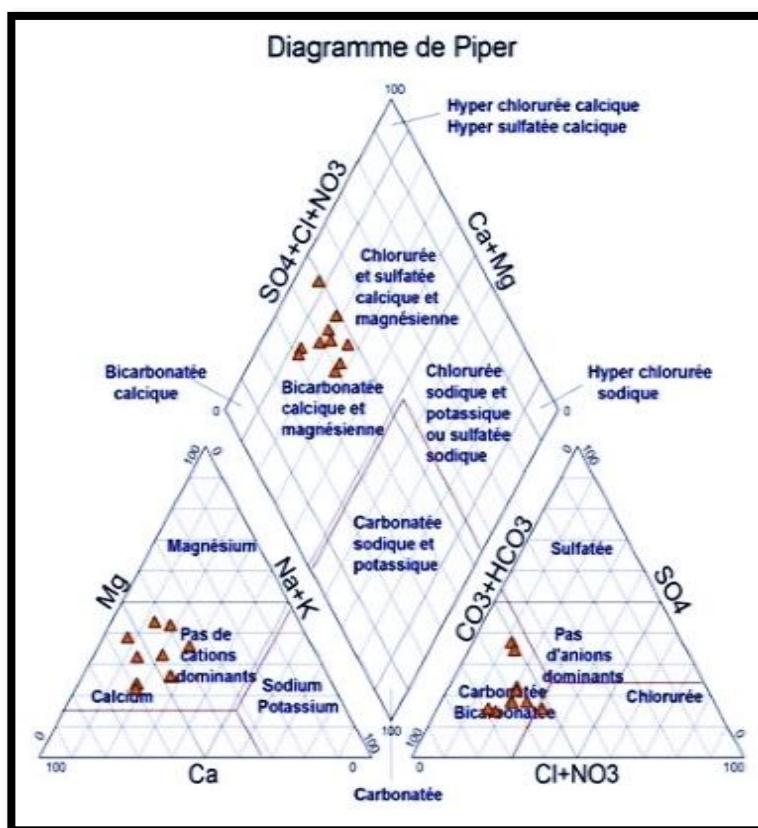


Figure IV.5 : Diagramme de Piper de la nappe alluviale du Sébaou (haut eau 2015)

La représentation des analyses sur le diagramme de Piper, permet de déduire les observations suivantes :

- Les cations présentent une tendance vers le pôle calcique et les anions ont une tendance vers le pôle carbonaté.
- Sur le losange nous avons distingué le faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

IV.3.2.3.2. Selon diagramme de Schoeller-Bercaloff

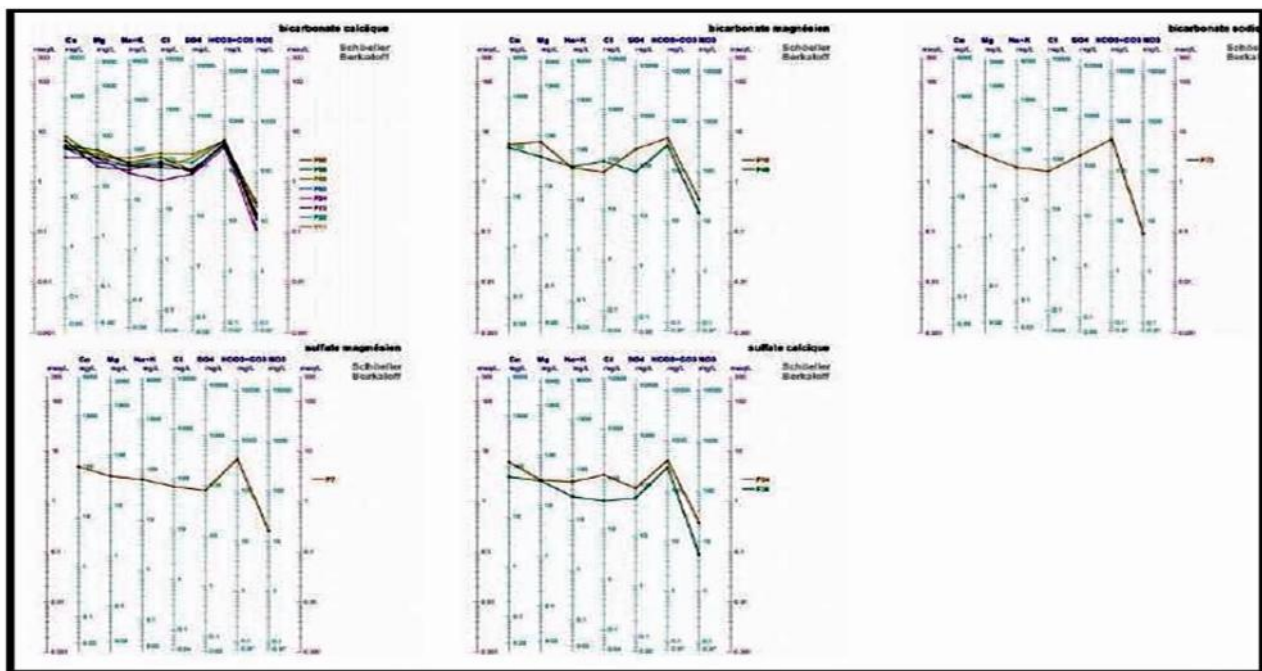


Figure IV.6 : Diagramme de Schoeller-Bercaloff pour la nappe alluviale du Sébaou (2015).

D’après la représentation graphique de Schoeller-Bercaloff, le faciès chimique le plus répandu dans l’Oued de Sébaou est bicarbonaté calcique.

IV.3.2.4. Classification des eaux pour l’irrigation

Le rapport des valeurs de S.A.R et de la conductivité sur le diagramme de Riverside montre que plus de 90% des eaux de la plaine appartiennent à la classe C3 S1, donc peuvent être utilisées dans l’irrigation sans aucun danger.

IV.3.2.5. Qualité des eaux souterraines

Nous examinerons la qualité chimique des eaux de la vallée alluviale du Sébaou en le comparant aux normes internationales retenues par O.M.S.

La comparaison nous permettrons de conclure que :

- Les concentrations en oligo-élément sont toutes inférieures à la teneur maximale admissible.
- Au niveau du piézomètre P11 on remarque toujours des valeurs qui dépassent les normes dictées par l'OMS, on explique ça par la possibilité d'une intrusion marine, vu que ce piézomètre se trouve proche de la mer.

L'étude hydrochimique de la nappe alluviale de Sébaou nous permet de conclure que le faciès chimique dominant est bicarbonaté calcique, qui nous permet de déduire que ces eaux sont de qualité chimique moyenne, assez douces à dures et propices à l'irrigation.

IV.3.3. Eaux de surface

IV.3.3.1. Paramètres physico-chimiques

Le tableau IV.6. Montre les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenus lors des analyses.

Tableau IV.6 : Les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenus

Valeurs Paramètres	Valeur maximale	Valeur minimale
Température (°C)	29.8	9.7
Potentiel Hydrogène (pH)	8.1	7
Titre hydrotimétrique (TH)	35	18

IV.3.3.2. Paramètres bactériologiques

Dans cette partie, ils ont entrepris d'évaluer le degré de pollution et son évolution spatiale au niveau de la vallée de l'oued Sébaou, à travers des données.

Ils ont examiné les résultats d'analyses des eaux de surface en tenant compte des sources de pollution potentielles brutes situées dans la vallée et ses alentours immédiats, afin de localiser les points névralgiques et de proposer des solutions susceptibles de remédier à cette situation.

IV.3.3.3. Paramètres de pollution

Les interprétations qui vont suivre s'inspirent de la grille de qualité des eaux (ANRH, 2015) (Annexe III) et des normes de l'OMS.

a) Matières en suspension

Les matières en suspension se présentent dans des concentrations trop élevées et caractérisent les eaux de l'oued Sébaou par une pollution excessive (ANRH, 2015). (Annexe III).

b) Demande biochimique en oxygène (DBO)

La DBO utilisée couramment est la DBO5 car elle représente l'oxydation de 68,4% de la matière organique contenue dans une eau. Les données (Annexe III) montrent que les valeurs de la DBO5 sont variables au cours du temps.

c) Demande chimique en oxygène (DCO)

D'amont en aval de l'oued Sébaou, la DCO au cours de l'année 2015 augmente ; les valeurs enregistrées confèrent aux eaux une pollution notable.

IV.3.3.3. Paramètres de pollution azotée

Parmi les paramètres de pollution azotée étudiée sont l'ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-).

a) Ammonium (NH_4^+)

Les concentrations de l'ammonium à la station de Baghlia, sont variables et illustrent une pollution notable en 2015, indice d'une contamination par les rejets domestiques ou d'origine agricole (fertilisants organiques) et aussi de la décomposition des végétaux. Mais dans le barrage Taksebt et la station de Freha les valeurs montrent une pollution modérée. (Annexe III).

b) Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates ont des concentrations normales, c'est-à-dire conformes à la grille de qualité azotée au niveau des stations de Baghlia et de Fréha (Annexe III).

c) Nitrites (NO_2^-)

Les valeurs de NO₂⁻ enregistrées illustrent une eau de mauvaise qualité conformément à la classification de (l'ANRH, 2000) durant l'année 2015.

IV.3.3.4. Autres paramètres. (Matière organique, Oxygène dissout)

Les résultats des analyses (2015) pour ces deux paramètres illustrent des eaux avec une situation normale (les valeurs diminuent d'amont en aval) cas de la matière organique. Pour l'Oxygène dissout on remarque que les valeurs dans l'oued de Baghlia les eaux sont polluées notablement tandis que dans le barrage de Taksebt et la station de Fréha présentent des eaux avec une bonne qualité (Annexe III).

IV.3.4. Qualité des eaux de surface

Les eaux de surface sont caractérisées par des paramètres physico-chimiques (pH, conductivités) qui augmentent d'amont en aval et leur confèrent un caractère incrustant et une faible minéralisation. Cette minéralisation augmente également d'amont en aval et se présente selon des concentrations en anions et cations conformes aux normes de potabilité chimique.

Le titre hydrotimétrique total augmente également d'amont en aval ; ses valeurs élevées qualifient les eaux d'eaux dures à très dure.

- Le faciès chimique dominant de type Hydrogénocarbonate calcique (et les variantes : Magnésien, Chloruré, Sulfaté et Sodique) reflète l'origine de la minéralisation à travers les faciès géologiques du bassin versant.

IV.4. Etude comparative

L'étude hydrochimique nous permettons de connaître les différentes concentrations en éléments chimiques, leur évolution dans le temps et l'espace et l'origine des eaux. Les faciès chimiques ainsi que leur qualité, dans notre étude de diverses ressources en eaux à savoir (eaux de surface, eaux souterraines) dans différentes zones telles que la nappe Sénonien de la région de Guerrara de la wilaya de Ghardaïa, les eaux superficielles et souterraines d'Oued-Djamaa et Zitouna de la wilaya Bejaia, les eaux superficielles et les eaux bassin versant de Sébaou wilaya Tizi-Ouzou ; qui sont de divers caractéristiques. Dans notre synthèse bibliographique nous avons basé sur les eaux souterraines qui était la source d'eaux de bon qualité mais lors de l'étude des faciès chimiques on a arrivés a les classés mais aussi savoir leur aptitudes (alimentation, irrigation) à partir des représentations graphiques sous forme de diagrammes, on a basé sur le diagramme

logarithmique de Piper et Schoeller-Bercaloff. Mais aussi une comparaison des résultats physico-chimiques aux normes de (OMS).

Les résultats de représentations des résultats dans le diagramme de Piper et Schoeller-Bercaloff dans les zones, en premier les eaux de l'aquifère de Sénonien montre que dans les éléments chimiques il y avait une domination des cations Ca^{2+} , Na^+ , et domination des anions Cl^- , HCO_3^- . Faciès chimiques : on a déduit deux types de familles ; eaux chlorurés et sulfatées calciques et eaux sulfatés sodiques.

Selon le diagramme de Schoeller-Bercaloff on a distingué différents faciès dans les forages analysés telles que chlorurés calciques et magnésien, sulfatés calciques et magnésien, sulfaté sodique, bicarbonaté calcique. On conclut que l'eau est dans l'ensemble fortement minéralisé.

Secondairement, Pour les eaux souterraines, les eaux d'oued Zitouna on déduit une dominance cationique de calcium et magnésium, son faciès est hyper chloruré calcique et hyper sulfaté calcique. Ainsi Les eaux d'oued djemaa n'y avait pas de cation dominant, son faciès est chloruré et sulfaté calcique et magnésien.

Pour les eaux de surface de Djemaa en a estimé une absence anionique ou à bicarbonaté pour les eaux de surface de Zitouna.

Le diagramme de Schoeller-Bercaloff confirme la domination de faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien qui est due à la dissolution combinée de calcite, dolomite et gypse. Et chloruré calcique et sulfaté calcique prévenant des facteurs anthropiques. Donc sa nature dépend des terrains traversés.

Enfin, les eaux d'oued Sébaou, selon Piper on a déduit dominance cationique par Ca^{2+} et CO_3^{2-} , son faciès est bicarbonaté calcique et magnésien et selon Schoeller-Bercaloff on distingue un faciès bicarbonaté calcique.

La comparaison des paramètres physico-chimiques aux normes permet de déduire que les eaux de l'aquifère de Sénonien certain présente une eau de bonne qualité et pouvant destinée à l'AEP. Et qu'autres sont majoritairement les normes qui résultent une forte minéralisation donc de qualité dure. Et que les eaux de surface de bassin Sébaou sont des eaux dures, ces eaux nécessitent un traitement avant l'utilisation car elles sont exposées à la pollution.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de ce travail, nous avons présentés les résultats des études hydrochimiques effectuées sur trois zones différentes : Nappe Sénonien de Ghardaïa, oueds Djmaa-Zitouna et oued Sébaou. Après l'analyse physico-chimique des éléments majeurs présents dans les eaux, Ils ont procédé à la classification et à l'évaluation de la qualité de ces eaux en utilisant des diagrammes logarithmiques (Piper, Schoeller-Bercaloff) et en comparant les valeurs des différents paramètres à celles préconisées par l'OMS.

Pour les eaux de l'aquifère de Sénonien, certaines présentent une eau de bonne qualité et pouvant être destinée à l'AEP, d'autres ont majoritairement dépassé les normes qui résultent une forte minéralisation, donc de qualité dure.

Les eaux de surface du bassin Sébaou sont des eaux dures, de faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, chloruré calcique et sulfaté calcique. Le faciès chimique dominant de type hydrogénocarbonate calcique reflète l'origine de la minéralisation à travers les faciès géologiques du bassin versant. Les eaux souterraines de la nappe alluviale, issues généralement des eaux de surface précitées par le biais des infiltrations directes ou indirectes, présentent les mêmes caractéristiques qualitatives et évolutives.

Quant aux eaux de l'Oued Zitouna, Son faciès est hyper chloruré calcique et hyper sulfaté calcique. Ainsi l'eau de l'Oued djemaa son faciès est chloruré et sulfaté calcique et magnésien. On estime la domination de faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien, sont des eaux de mauvaise qualité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Alain M., 2001** ; Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres : et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, éditions technique et documentation, 2001 (Lavoisier, Paris).
- **Bourrier R., 2011** ; Technique de la gestion et de la distribution de l'eau, édition Moniteur Paris, pages 353,402.
- **Bouziani M., 2000** ; Eau : de l'épuration aux maladies. Éditions Iben-khaldoun pages 60, 61, 71, 72, 74, 75,
- **Bordet J., 2007** ; Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement (B.A.P.E), 1999 ; gestion de l'eau au Québec, page 20, L'eau dans son environnement rural. Edition Johanet. Paris
- **Boument, Camard. J-p, Le franc A, Franconi A.,** Réutilisation des eaux usées : Risques sanitaires et faisabilité en Ile-de-France Rapport ORS-2004, page 220.
- **Cardot C., 1999** ; les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus : génie de l'environnement, éditions Ellipses. Page 247.
- **Chaussade et al. 2005** ; Mémento technique de l'eau dégerment, Tome I. 10^{ème} édition Lavoisier, Tec Doc-Paris.
- **Castany G., 1982** ; Principe et méthode de l'hydrogéologie, édition DUNOD Paris, France.
- **Desjardins R., 1997** ; Le traitement des eaux, 2^{ème} édition de l'école polytechnique de Montréal.
- **Delarras. C, Trebaol.B., 2003** ; Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux : Réglementation, Prélèvement, Analyses. Edition Lavoisier pages 219-222.
- **El Alaoui. E, Hajhouji.Y., 2010** ; l'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz (Maroc) ; faculté des sciences technique Gueuz Marrakech, licence sciences et techniques, mémoire de fin de d'étude eau et environnement.
- **Jean-Claude Roux., 1995** ; L'eau, source de vie, Edition BRGM ; Paris Page 6, 8, 118.
- **Jen.M, Thierry.R., 2013** ; Les eaux souterraines sont-elles éternelles ? éditions Quae, 2013. Page 13.

Références bibliographiques

- Journal officiel de la république Algérienne N°45 (2004).
- **Haslay, Leclerc., 1993** ; Microbiologie des eaux d'alimentation. Technique et documentation, édition Lavoisier, 67,70.
- **Groxlaude.G., 1999** ; L'eau : Tome 2 usages et polluants Quae. (INRA. Paris.1999).(books.google.dz).
- **Gabriel Wackerman Henri Rougier., 2009** ; L'eau : Ressources et usages ; Édition ellipses page 11.
- **Gaujous D., 1995** ; La pollution des milieux aquatiques, 2^e édition revue et augmentée pages 16, 17, 119 ,120.
- **Khaled A., 2011** ; Pollution des eaux, impact des eaux usées sur la qualité des eaux de surface, Éditions universitaires européennes 2011 page 25.
- **Laurence., 2006** ; Guide technique, Qualité naturelle des eaux souterraines : méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français ; éditions BRGM, 2006.
- **Mention L., 1966** ; Les graphiques A base trilineaire représentatifs de la composition chimique des eaux souterraines. Page 2, 5, 6.
- **Michard G., 2002** ; Chimie des eaux naturelles, principe de la géochimie des eaux ; Edition PUBLISUD université Denis Didrot. Paris. Page 565.
- **Metahri M^{ED} Said., 2012** : Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par les procédés mixtes : cas de la STEP de la wilaya de Tizi-Ouzou, thèse doctorat : département d'agronomie, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, Pa ge148.
- **Olivier A., 2015** ; Chimie et pollutions des eaux souterraines. Lavoisier, Parie ; page 4.
- **Olivier A., 2005** ; Chimie et pollutions des eaux souterraines, éditons TEC § DOC Lavoisier, 2005. Pages 97, 103, 80.
- **Organisation Mondiale de Santé (OMS) (2015)** la qualité des eaux conditionnés en France.

Références bibliographiques

- Rapport relatif aux échantillonnages complémentaires des éléments majeurs ; Caractérisation hydrogéologique et support à la mise en œuvre de la Directive Européenne 2000/60 sur les masses d'eau souterraines en Région Wallonne. Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix à Namur. Département GFA (Géologie Fondamentale et Appliquée). Faculté Polytechnique de Mons ; page 40.
- **Schoeller M** ; les eaux souterraines- Hydrologie, Dynamique et chimique, Recherches, Exploitation et Evaluation des Ressources ; pages 679.
- **Viland, M. Montiel, A. Duchemin, Zarrabi** ; Eau et santé, Editions de Gret, parie(France) : Groupe de recherche et d'échanges technologiques page 109.
- **Roland V., 2003** ; eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie 2^{ème} éditions, Lavoisier 2003.

Annexe 1 : Paramètres avec valeurs indicatives (Normes algériennes du ministre des ressources en eau depuis 22 mars 2011)

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	pH	Unité pH	Ψ6.5 et Φ9
	Conductivité	μS/cm à 20°C	2800
	Température	°C	25
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
Paramètres organoleptiques	Sulfate	mg/l	400
	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur 12°C	Taux dilution	4
Paramètres chimiques	Saveur 25°C	Taux dilution	4
	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	μg/l	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Phosphore	mg/l	5
	Acrylamide	μg/l	0,5
	Antimoine	μg/l	20
	Argent	μg/l	100
	Arsenic	μg/l	10
	Cadmium	μg/l	3
	Chrome total	μg/l	50
	Cyanure	μg/l	70
	Mercure	μg/l	6
	Plomb	μg/l	10
	Sélénium	μg/l	10
	Zinc	mg /l	5
	Phénols	μg/l	0,5
	Bromates	μg/l	10
	Chlore	mg /l	5
	Chlorite	mg /l	0,07

	Trihalométhanes (THM) (Total)	µg/l	100
Radionucléides	Particules alpha	Picocurie/l	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	15
	Dose totale indicative (DTI)	(mSv/an)	0,1
Paramètres microbiologiques	Escheria Coli	nb/100ml	0
	Entérocoques	nb/100ml	0
	Bactérie sulfito-réductrices y compris les spores	nb/20ml	0

Annexe 2.1 : Les normes de l'OMS de la qualité des eaux potables 2006.

Eléments / substance	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	0,2 mg/l
Ammonium	Pas de contraintes
Antimoine	0,02 mg /l
Arsenic	0,01 mg/l
Amiante	Pas de valeur guide
Baryum	0,7 mg/l
Béryllium	Pas de valeur guide
Bore	0,5 mg/l
Cadmium	0,003 mg/l
Chlore	Pas de valeur mais on peut noter un gout a partir 250 mg/l
Couleur	Pas de valeur guide
Cyanure	0,07 mg/l
Oxygène dessous	Pas de valeur guide
Fluorure	1,5 mg/l
Dureté	200 ppm
Sulfure d'hydrogène	0,05 à 1 mg/l
Fer	Pas de valeur guide
Manganèse	0,4 mg/l
Molybdène	0,07 mg /l
Nitrate et nitrite	50 et 3mg/l (exposition à court terme) 0,2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité	Non motionnée
pH	Pas de valeur guide mais optimum entre 6,5 et 9,5
Argent	Pas de valeur guide
Sodium	Pas de valeur guide
Sulfate	500 mg/l
Etain inorganique	Pas de valeur guide : peu toxique
TDS	Pas de valeur guide mais optimum en dessous de

	1000 mg/l
Uranium	0 ,015 mg/l
Zinc	3 mg/l

Annexe 2.2 : les normes de l’OMS de la qualité des eaux potables 2006.

Paramètres microbiologiques	Unité	Normes OMS
Streptocoques fécaux	nb/100 ml	0
Clostridium sulfito-réducteurs	nb/100 ml	0
Staphylocoques pathogènes	nb/100 ml	0
Spores des bactéries	nb/20 ml	0
Salmonella	nb/5l	Absence
Vibrions cholériques	nb/10	Absence

Annexe II

Analyse eau souterraine				les unités en (mg/l)											
Nature	NAPPE	X(Km)	Y(Km)	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Nitrates	pH	CE $\mu\text{/cm}$	Résidu Sec	TH
PUTS	Bas Sébaou	618 310	385 425	65	21	42	3	47	96	259	1.0	8.1	875	549	25
FORAGE	Bas Sébaou	613 670	384 440	99	12	34	4	64	77	278	22.0	7.3	1 005	596	30
PUTS	Bas Sébaou	614 293	382 266	98	19	68	3	46	65	476	0.0	8.1	1 038	628	32
FORAGE	Bas Sébaou	611 080	383 900	151	38	65	4	104	150	549	1.0	7.8	1 530	933	54
PUTS	Bas Sébaou	609 000	385 500	146	37	85	4	123	123	461	2.0	8.0	1 629	944	52
Piezomètre	Sébaou	603 200	399 614	460	125	2 330	26	4 290	68	31	0.0	6.9	15 000	9 854	167
Piezomètre	Sébaou	604 185	395 928	168	55	167	4	187	20	778	0.0	8.0	1 713	1 019	65
Piezomètre	Sébaou	604 003	398 730	107	41	103	5	389	6	61	2.0	7.2	1 758	1 059	44
Piezomètre	Sébaou	604 739	397 198	74	25	185	3	259	1	488	0.0	7.6	1 747	1 012	29
Piezomètre	Sébaou	603 107	399 120	119	65	230	6	683	4	183	0.0	7.9	2 870	1 757	57
Piezomètre	Sébaou	604 604	387 889	45	21	310	4	207	86	717	0.0	8.3	2 240	1 325	20
Piezomètre	Sébaou	604 394	392 941	20	10	58	4	89	7	137	0.0	8.2	500	357	9
PUTS	Haut Sébaou	623 000	379 890	174	40	39	5	47	169	519	4.0	7.5	1 336	849	60
PUTS	Haut Sébaou	626 170	380 650	142	3	39	3	65	64	381	12.0	7.9	1 146	711	37
PUTS	Haut Sébaou	644 300	382 730	147	9	57	3	81	68	473	17.0	7.6	1 208	710	41
PUTS	Haut Sébaou	636 990	379 820	85	11	32	6	40	57	305	4.0	7.9	870	523	26
PUTS	Haut Sébaou	636 990	379 820	98	21	35	4	42	92	366	0.0	7.8	850	554	33
PUTS	Haut Sébaou	631 030	380 230	108	9	43	3	66	43	366	11.0	8.0	986	601	31
PUTS	Haut Sébaou	650 700	373 270	157	35	46	7	76	100	458	13.0	7.9	1 342	828	54
PUTS	Haut Sébaou	634 770	378 830	133	6	41	3	91	56	366	12.0	7.8	1 170	769	36
PUTS	Haut Sébaou	630 900	379 320	159	17	32	6	53	47	458	46.0	7.8	1 111	685	47
PUTS	Haut Sébaou	628 150	379 300	143	24	46	4	65	76	519	30.0	8.2	1 151	624	46

Analyse eau de surface (Oued Baghila)													(cation et les anions (mg/l))									
Moi	T°C	Calcium	Magnés	Sodium	Potassium	Cl	Sulfat	Bicarbon	Nitrates	pH	CE µ/cm	Résidu Sec	TH	SiO2	NO2	NH4	M.Org	PO4	O2 mg/L	DCO	DBO5	MES à 105°C
JAN	11.7	98	25	41	7	88	110	305	-0.3	8.1	980	617	35	2.1	0.449	1.280	7.5	0.275	3.4	20		220
Fev	9.7	102	18	27	5	44	71	275	4.0	8.1	750	532	33	0.4	0.484	0.710	4.4	0.612	5.5	38	4.0	50
Mars	11.6	105	15	19	4	79	47	214	3.1	8.2	660	504	33	11.1	0.446	0.260	4.0	0.061	5.6	20		30
Avril	18.7	82	16	29	4	47	82	244	2.4	8.3	720	399	27	5.1	0.319	0.180	1.3	0.245	9.6	42	5.0	80
Mai	24.6	112	10	35	4	57	78	259	5.1	8.1	960	626	32	8.3	1.063	0.530	8.3	0.245	5.3	26		50
Jui	25.4	80	18	24	4	78	75	214	0.0	8.2	700	435	28	6.4	0.000	0.000	1.8	0.000	5.6	19	2.0	30
Juil	29.6	115	13	50	5	94	128	290	0.9	8.3	910	692	34		0.021	0.230	7.5	0.000	7.5	40	11.0	80
Sep	29.8	59	22	92	7	103	66	265	1.0	7.8	840	536	24	12.4	0.000	<0.03	6.0	0.230	4.0	14		
Oct	22.0	59	22	69	7	81	60	290	2.6	8.3	850	542	24		0.981	1.870	7.0	0.000	2.9	67	7.0	40
Nov	21.0	101	17	55	6	90	89	336	0.2	8.3	1000	600	32		0.875	1.042	6.0	0.918	6.3	14	6.0	50
Dec	13.8	89	29	78	12	123	61	305	-0.1	7.8	1120	885	34	8.6	0.542	1.960	3.7	0.581	6.4	46	2.0	70

Analyse eau de surface (Barrage Taksebt)																						
Moi	T°C	Calcium	Magnés	Sodium	Potassiu	Cl	Sulfat	Bicarbon	Nitrates	pH	CE µ/cm	Résidu Sec	TH	SiO2	NO2	NH4	M.Org	PO4	O2 mg/L	DCO	DBO5	MES à 105°C
Jan	10.4	72	14	13	4	35	46	244	0.0	7.8	550	340	24	0.6	0.233	0.250	3.0	0.000	6.1	7	2.0	10
Fev	9.5	70	12	15	4	31	30	198	1.1	7.8	540	335	23	0.4	0.268	0.530	1.9	0.643	7.4	29	1.0	100
Mars	10.8	69	11	13	3	59	29	137	2.5	7.6	470	309	22	10.3	0.374	0.000	4.2	0.031	9.3	10	2.0	10
Avril	17.8	48	9	13	3	32	40	137	2.9	8.3	470	298	16	5.8	0.261	0.000	2.7	0.184	11.1	25	3.0	120
Mai	23.6	64	1	16	7	28	22	153	1.6	8.2	486	275	16	0.9	0.086	0.130	0.9	0.061	8.0	26		60
Juin	23.8	55	16	17	3	43	39	183	0.7	8.3	499	297	20	1.1	0.000	0.000	2.5	0.000	8.3	9	3.0	20
Juil	25.9	62	15	15	2	34	45	214	1.0	8.3	490	307	22		0.000	0.015	3.5	0.306	6.1	20	4.0	40
Aout	28.0	58	4	15	2	34	29	116	0.5	8.8	457	299	16	0.4	0.000	0.000	2.8	0.184	7.9	10	3.0	30
Sep	27.2	39	16	17	2	36	42	131	0.9	8.1	390	275	16	0.4	0.000	<0.01	3.5	0.193	5.4	2		
Oct	21.9	48	17	19	5	35	33	168	0.0	8.3	477	373	19		0.000	0.000	3.5	0.000	6.0	19	1.0	50
Nov	20.8	58	19	21	5	33	53	198	0.0	8.1	490	390	22		0.000	0.027	3.0	0.000	7.0	9	1.0	20
Dec	17.8	53	12	18	5	34	44	137	0.5	8.0	500	300	18	2.6	0.000	0.000	2.2	0.367	7.1	28	3.0	180

Analyse eau de surface (Freha)										
Moi	Ph	MO (mg)	DCO (mg)	DBO5 (mg)	saturat %	NO3 (mg)	NH4 (mg)	NO2 (mg)	PO4 (mg)	Rs105 (mg)
16/01/2015	7	9.5	18	-	-	5.471	0.416	0.487	0.627	281
19/03/2015	8	2.3	13	-	-	0.516	0.232	0.220	0.630	222
25/04/2015	7.7	2.5	35	-	-	2.556	0.200	0.034	2.876	365
21/05/2015	8.3	1.8	10	-	-	2.525	0.529	0.058	0.058	198
19/06/2015	8.1	4	45	-	-	0.400	0.046	0.000	0.251	430
23/07/2015	7.9	2.8	5	-	-	0.320	0.059	0.062	0.514	384
19/08/2015	8	2.8	9	-	-	0.500	0.056	0.000	0.080	423
17/09/2015	8.1	6	9	-	-	0.600	0.055	0.000	0.199	427
21/10/2015	7.9	2.1	9	-	-	0.094	0.258	0.237	0.095	689
18/11/2015	8	4.3	19	-	75.64	6.382	0.326	0.556	0.083	532
16/12/2015	7.9	2.9	40	-	87.33	7.253	0.260	0.346	0.346	453

Résumé

Le présent travail consiste à reprendre les travaux de mémoires réalisés et qui portaient sur l'étude hydrochimique des eaux naturelles pour mettre en évidence la relation entre les terrains traversés et la composition des eaux. Ainsi, elles ont été trouvées que les eaux de la nappe Sénonien de Ghardaïa (Zone saharienne) ont des faciès chlorurés et sulfaté calcique, sulfaté sodique, chloruré calcique et magnésien, sulfaté sodique et bicarbonaté calcique. Ces eaux sont fortement minéralisées. Dans la wilaya de Bejaia (Zone méditerranéenne), les eaux de l'Oued Zitouna ont des faciès chlorurés calcique et hyper sulfaté calcique et les eaux de l'Oued Djemaa ont des faciès chlorurés calcique et magnésien, ces eaux sont de qualité dure. Quant aux eaux de l'Oued Sébaou, ils ont des faciès bicarbonatés calcique et magnésien et bicarbonaté calcique. Les eaux de surface de Sébaou sont des eaux dures.

Mots clés : Analyse physico-chimique, faciès hydrochimique, diagrammes logarithmiques, qualité des eaux.

Abstract

This work consists of resuming the dissertation work carried out and which focused on the hydrochemical study of natural waters to highlight the existing relationship between the terrain crossed and the composition of the water. Thus, it was found that the waters of the aquifer Senonian of Ghardaïa (Saharan Zone) have chloride and calcium sulphate facies, sulphate sodium, calcium and magnesium chloride, sodium sulphate and calcium bicarbonate. These waters are highly mineralized. In the wilaya of Bejaia (Mediterranean area), the waters of Oued Zitouna have calcium chloride and calcium hyper sulphate facies and the waters of the Oued Djemaa have calcium and magnesium chloride facies, these waters are of hard quality. As to the waters of Oued Sébaou, they have calcic and magnesium bicarbonate facies and calcium bicarbonate. The surface waters of Sébaou are hard waters.

Key words: Physico-chemical analysis, hydrochemical facies, logarithmic diagrams, Water quality.