

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de Biologie**



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Biologie

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

**Contribution à l'étude des paramètres
physico-chimiques et bactériologiques de
l'eau de la source Thabout
« Ouadhias, Wilaya de Tizi-Ouzou »**

Réalisé par : AMICHI Zohra AMIRI Kenza

Jury composé de :

Présidente du jury	: M ^{me} CHAOUCHI	Maître de conférences (A) UMMT-O.
Promotrice	: M ^{me} LARDJANE	Maître de conférences (A) UMMT-O.
Examinatrice	: M ^{me} MESTAR	Maître de conférences (B) UMMT-O.

Promotion 2019 - 2020

Remerciements

*Nous tenons à remercier en premier lieu le bon **Dieu**, de nous avoir donné la force, la patience, la volonté afin d'accomplir ce travail qui présente le fruit de plusieurs années de sacrifices.*

*Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre promotrice : **M^{me} Lardjane**, pour sa précieuse aide, ces orientations et le temps qu'elle nous a accordé pour notre encadrement.*

*Nous remercions par ailleurs vivement les membres du jury: **M^{me} Chaouchi**, **M^{me} Mestar**, de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.*

*Bien sûr, nous tenons à remercier profondément **Mr Salah A**, **Mme Nassima T** et **Mme Farida H** pour leurs orientations, leurs aides et leurs conseils si précieux.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à **Madame Ladjel**, de nous avoir bien accueilli dans son laboratoire et pour la confiance et l'aide qu'elle nous a accordé, ainsi que toute l'équipe du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux et la subdivision hydraulique de Ouadhia. Nous n'aurions pas pu réaliser les expérimentations sans leurs collaborations.*

Sans oublier tous les employés de l'APC d'Aït Bouaddou et tous les fonctionnaires de la bibliothèque du département Biologie.

*Nos sincères remerciements à tous nos anciens professeurs, en particulier **Mr Oudjiane** pour sa disponibilité et son aide.*

Arrivés au terme de la rédaction de ce mémoire, nous exprimons notre gratitude pour toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à notre réussite.





Dédicases

Je tiens à dédier ce travail

*A mes très chers **parents**, pour m'avoir soutenu moralement et financièrement jusqu'à ce jour, et à leurs encouragements tout au long de mes études. Que ce travail, soit pour vous, un faible témoignage de ma profonde gratitude. Qu'ALLAH vous préserve, vous accorde santé, bonheur et longue vie.*

*A mon cher petit frère **Ghiles**, à qui je souhaite la réussite dans ces études.*

*A mes **tantes** et **oncles** qui m'ont encouragé depuis mon enfance à exceller dans mes études.*

*Particulièrement à mon cher oncle **Menouar** qui m'a orienté vers le chemin de la réussite et qui m'a aidé dans l'abotissement de ce mémoire.*

*A ma meilleure amie **Katia** qui est très chère à mon cœur, t'es la sœur que je n'ai jamais eue. Tu as su être toujours là pour moi, dans les bons comme les mauvais moments, et me soutenir tout au long de ce mémoire.*

*A tous mes amis proches **Sarah**, **Fairouz**, **Yacine** et **Fatah** qui m'ont soutenu et qui ont été des personnes inoubliables et formidables.*

*En particulier, à mon binôme et ma chère amie **Zohra**, pour tous les bons souvenirs qu'on a pu vivre ensemble durant toutes les années d'études surtout ces trois dernières années inoubliables.*

Kenza

Dédicases

Je tiens à dédier ce travail

A Ma chère mère, qui ma donné la vie qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'ALLAH te protège et te donne la santé, le bonheur et longue vie.

A la mémoire de mon cher père que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

Je dédie aussi aux personnes qui sont chères à mon cœur :

Mes frères Abdenour et Khaled qui m'ont épaulé toutes au long de mes études et qui ont été toujours là pour moi ; sans eux je n'arrivais jamais à me tenir debout aux moments les plus difficiles. Grâce à vous que j'ai pu réussir à réaliser se mémoire.

A mes adorables sœurs Nassira ,Laila et Rachida et leurs maries Amar, Sofiane et Mahdi.

A mes belles sœurs Tassadit et Djamilia.

A mes petites nièces Anias,Maylesse,Elyne et Léa que j'adore beaucoup.

A mes adorables neveux Elyane, Nail, Ahmed et Amayas.

A ma chère grand-mère, mes tantes et mes oncles, que Dieu les protèges.

A ma chère binome Kenza qui est avant tous ma meilleur amie , avec celle que j'ai partagée des formidables moments.

A mes chers amis Kamilia,Fatah et Lyfy.

Zohra

Liste des figures

Figure 1 : La molécule d'eau.....	3
Figure 2 : Les différents changements d'état de l'eau.....	4
Figure 3 : Cycle biogéochimique de l'eau.....	5
Figure 4 : Répartition de l'eau sur le globe.....	7
Figure 5 : Comparaison entre une nappe captive et une nappe libre.....	9
Figure 6 : Carte géographique de la daïra d'Ouadhias.....	47
Figure 7 : Photo de la source Thala Thabout.....	48
Figure 8 : Localisation de la source Thala Thabout.....	49
Figure 9 : La situation topographique d'Ait Bouaddou	50
Figure 10 : pH – mètre.....	55
Figure 11 : Conductivimètre.....	55
Figure 12 : Turbidimètre (néphélométrie).....	56
Figure 13 : Dosage du titre alcalimétrique (TA).....	57
Figure 14 : Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC).....	58
Figure 15 : Dosage de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA.....	59
Figure 16 : Dosage du calcium par titrimétrie à l'EDTA.....	60
Figure 17 : Dosage des chlorures.....	61
Figure18: Dosage du potassium et du sodium par spectrophotométrie d'émission à flamme...	62
Figure 19 : Dosage d'ammonium.....	64
Figure 20 : Dosage des ions nitrites.....	65
Figure 21 : Dosage des ions nitrates.....	65
Figure 22 : Dosage de phosphate.....	66
Figure 23 : Détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium.....	68
Figure 24 : Dosage de Fer.....	69

Liste des figures

Figure 25 : Dénombrement des coliformes totaux par NPP.....	71
Figure 26 : Dénombrement des coliformes thermo et Escherichia Coli.....	72
Figure 27: Ensemencement en milieu liquide pour dénombrement des entérocoques.....	73
Figure 28 : Variation du pH en fonction du temps	74
Figure 29 : Variation de la conductivité en fonction du temps	75
Figure 30 : Variation de la température en fonction du temps	76
Figure 31 : Variation de la turbidité en fonction du temps	77
Figure 32 : Variation du Titre alcalimétrique complet TAC en fonction du temps.....	77
Figure 33 : Variation de la dureté totale en fonction du temps	78
Figure 34 : Variation de la dureté calcique et magnésienne en fonction du temps	79
Figure 35 : Variation de la concentration des chlorures en fonction du temps	80
Figure 36 : Variation de la concentration du potassium en fonction du temps	81
Figure 37 : Variation de la concentration du sodium en fonction du temps	82
Figure 38 : Variation de la concentration en ions sulfates en fonction du temps	82
Figure 39: Les teneurs des différents paramètres de pollution.....	83
Figure 40: Les teneurs des éléments indésirables en fonction du temps	85
Figure 41 : Résultats d'analyses en composantes principales des paramètres de pollution, indésirables et bactériologiques.....	88

Liste des tableaux

Tableau 1: Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines.....	10
Tableau 2: Les principales maladies d'origine bactérienne.....	23
Tableau 3 : Les principales maladies d'origine parasitaire.....	24
Tableau 4: Les principales maladies d'origine virale.....	25
Tableau 5 : Classification des eaux selon la température.....	28
Tableau 6: Classification des eaux selon leurs pH.....	29
Tableau 7: Relation entre la résistivité de l'eau et la conductivité mesurée.....	30
Tableau 8: Classe de turbidité usuelle NTU.....	31
Tableau 9: Les valeurs du Titre Hydrométrique.....	32
Tableau 10: Relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles.....	34
Tableau 11: Les paramètres indésirables et leurs effets.....	42
Tableau 12: Les normes algériennes pour l'analyse de l'eau potable.....	45
Tableau13: Matériel et méthodes utilisés pour les différents paramètres physico-chimiques..	53
Tableau 14 : Variation des Paramètres bactériologiques.....	86
Tableau 15 : Bulletin d'analyses de la source Thabout.....	87

Liste des abréviations

°C	: Degré Celsius.
°F	: Degré français.
ADE	: Algérienne des eaux.
BCPL	: Bouillon lactosé au pourpre de bromocresol.
BLVB	: Bouillon lactosé Billié au vert Brillant.
cm²	: Centimètre carré.
DBO	: Demande biochimique en oxygène.
DCO	: Demande chimique en oxygène.
E. Coli	: Escherichia coli.
EDTA	: Acide Ethylène Diamine Tetraacétique.
EVA	: Bouillon lactosé à l'éthyle de violet et à l'acide de sodium.
MES	: Matières en Suspension.
mg/l	: Milligramme par litre.
mg.Kg⁻¹	: Milligramme par kilogramme.
mm/an	: Millimètre par année.
mol/l	: Mole par litre.
MTH	: Maladies à Transmissions Hydriques.
NPP	: Nombre le Plus Probable.
NTU	: Unité de Turbidité Néphélométrique.
OMS	: l'Organisation Mondiale de la Santé.
PCB	: Les polychlorobiphényles.
pH	: Le potentiel Hydrogène.
S/m	: Siemens par mètre.
TA	: Titre Alcalimétrique.
TAC	: Titre Alcalimétrique Complet.
TH	: Titre Hydrotimétrique.
µg/l	: Microgramme par litre.
µS/cm	: Micro-siemens par centimètre.

SOMMAIRE

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Liste des abréviations.

Introduction générale.....1

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les eaux naturelles.

I.1. Définition de l'eau.....	3
I.2. Propriétés de l'eau.....	3
I.3. Les trois états de l'eau.....	3
I.4. Cycle de l'eau.....	4
I.5. Eau brute.....	6
I.6. Eau potable.....	6
I.7. Répartition de l'eau sur le globe.....	7
I.8. Eaux naturelles.....	7
<i>I.8.1. Eaux de surfaces.....</i>	<i>8</i>
<i>I.8.2. Eaux souterraines.....</i>	<i>8</i>
<i>I.8.3. Principales différences entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines.....</i>	<i>10</i>
I.9. Eaux de sources.....	11
<i>I.9.1. Les différents types de sources.....</i>	<i>11</i>
<i>I.9.2. Traitement de l'eau de source.....</i>	<i>12</i>
I.10. Qualité des eaux.....	12
I.11. Législation et textes.....	13

SOMMAIRE

Chapitre II : Pollution des eaux.

II.1. Définition de la pollution.....	15
II.2. Pollution de l'eau.....	15
II.3. Principales Origines de la pollution de l'eau.....	15
II.4. Les différentes formes de pollution.....	17
II.5. Les Différents types de pollution des eaux.....	17
II.6. Impacts de la pollution de l'eau.....	20
<i>II.7.1. Impact sur la santé de l'homme.....</i>	<i>20</i>
<i>II.7.2. Impact sur l'environnement.....</i>	<i>21</i>

CHAPITRE III : Maladies transmissibles par l'eau.

III.1. Les maladies d'origines hydriques.....	22
<i>A. Maladies d'origines bactériennes.....</i>	<i>22</i>
<i>B. Maladies d'origines parasitaires.....</i>	<i>23</i>
<i>C. Maladies d'origines virales.....</i>	<i>24</i>

Chapitre IV : Paramètres d'une eau potable.

IV.1. Caractéristiques d'une eau potable.....	26
IV.1.1. Paramètres organoleptiques.....	26
IV.1.2. Paramètres physico-chimiques.....	27
<i>A. Paramètres physiques.....</i>	<i>27</i>
<i>B. Paramètres chimiques.....</i>	<i>32</i>
IV.1.3. Paramètres de la minéralisation globale	34
IV.1.4. Les éléments indésirables et de pollution.....	37
IV.1.5. Paramètres bactériologiques.....	42
IV.2. Normes de potabilité des eaux.....	44

SOMMAIRE

Partie expérimentale

Chapitre V : La présentation de la zone d'étude.

V.1. Situation géographique.....	47
V.2. Situation topographique.....	49
V.3. Situation hydrographique.....	50
V.4. Cadre climatique.....	50
V.5. Couvert végétal.....	51

Chapitre VI : Matériel et méthodes.

VI.1. Echantillonnage	52
1. <i>Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques</i>	52
2. <i>Echantillons destinés aux analyses bactériologies</i>	52
3. <i>Transport des échantillons</i>	53
VI.2. Matériel.....	53
VI.3. Méthodes analytiques.....	54
VI.3.1. Méthodes d'analyse physico-chimique.....	54
VI.3.2. Méthodes d'analyse de la minéralisation globale.....	56
VI.3.3. Méthodes d'analyse des paramètres indésirables et de pollution.....	63
VI.3.3.1. <i>Les paramètres de pollution</i>	63
VI.3.3.2. <i>Les paramètres indésirables</i>	68
VI.3.4. Méthodes d'analyses bactériologiques.....	70

SOMMAIRE

Chapitre VII : Résultats et discussions.

VII.1. Interprétation des résultats des analyses organoleptiques.....	74
VII.2. Interprétation des résultats des analyses physico-chimiques.....	74
VII.3. Interprétation des résultats des analyses de la minéralisation globale.....	77
VII.4. Interprétation des résultats d'analyses des paramètres de pollution.....	83
VII.5. Interprétation des résultats d'analyses des paramètres indésirables.....	85
VII.6. Interprétation des résultats d'analyses bactériologiques.....	86
VII.7. Analyses statistiques.....	87
Conclusion et perspectives.....	89
Références bibliographiques	



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

L'eau est la première ressource naturelle, autour de laquelle se maintient et se développe la vie. L'eau potable ordinaire est une eau possédant des qualités physiques, chimiques, microbiologiques et organoleptiques qui la rendent acceptable à la consommation humaine (GUIRAUD, 1980).

La valeur de l'eau est inestimable mais elle n'est pas inépuisable, car dans certaines régions du monde, la pénurie en eau commence à devenir une menace inquiétante pour la biodiversité en générale et pour l'homme en particulier, tandis qu'elle est considérée comme un droit élémentaire (ANONYME, 2006). Malgré sa valeur précieuse, elle peut être également responsable de la mort de millions d'êtres humains dans le tiers-monde en raison de sa pollution par des produits chimiques et microbiologiques dangereux, essentiellement issus des activités humaines, qui la rendent inapte à la consommation.

La situation actuelle est telle que la communauté scientifique a tiré la sonnette d'alarme pour mobiliser la conscience humaine sur l'avenir flou de notre planète. En effet, la protection et la gestion de cet élément naturel sont indispensables à la survie de l'humanité, du règne animal et végétal (ROUX, 1995).

Les ressources naturelles en eau sont constituées d'eaux souterraines et superficielles, l'eau souterraine présente souvent des avantages de qualité, d'accessibilité et de fiabilité par rapport à l'eau de surface, elle ne renferme généralement pas de polluants microbiologiques (ROUX, 1995).

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques à cause de sa situation géographique. Les ressources en eau sont inégalement réparties et limitées, la principale source de satisfaction de la demande en eau au sud est l'eau souterraine tandis qu'au nord elle est mixte (eau souterraine et de surface) (HAMADOUCHE et *al.*, 2018).

En reparlant de potentialités hydriques, la wilaya de Tizi-Ouzou en a d'importantes. Mais dans certaines de ses localités, les eaux souterraines constituent la seule ressource en eau potable. Cette ressource est sous l'influence d'un ensemble de facteurs naturels ou anthropiques. Ces eaux subissent des perturbations quotidiennes qui entraînent une détérioration de leur qualité hygiénique (HAMADOUCHE et *al.*, 2018).

Introduction générale

Pour développer l'idée d'avoir une eau saine, nous avons effectué un stage pratique dans l'établissement public de distribution d'eau (ADE) unité de Tizi Ouzou, et précisément au niveau du laboratoire de Boukhalfa. L'objectif de notre travail est l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de la source Thabout, Ouadhias, wilaya de Tizi-Ouzou durant trois mois différents (février, juillet et septembre).

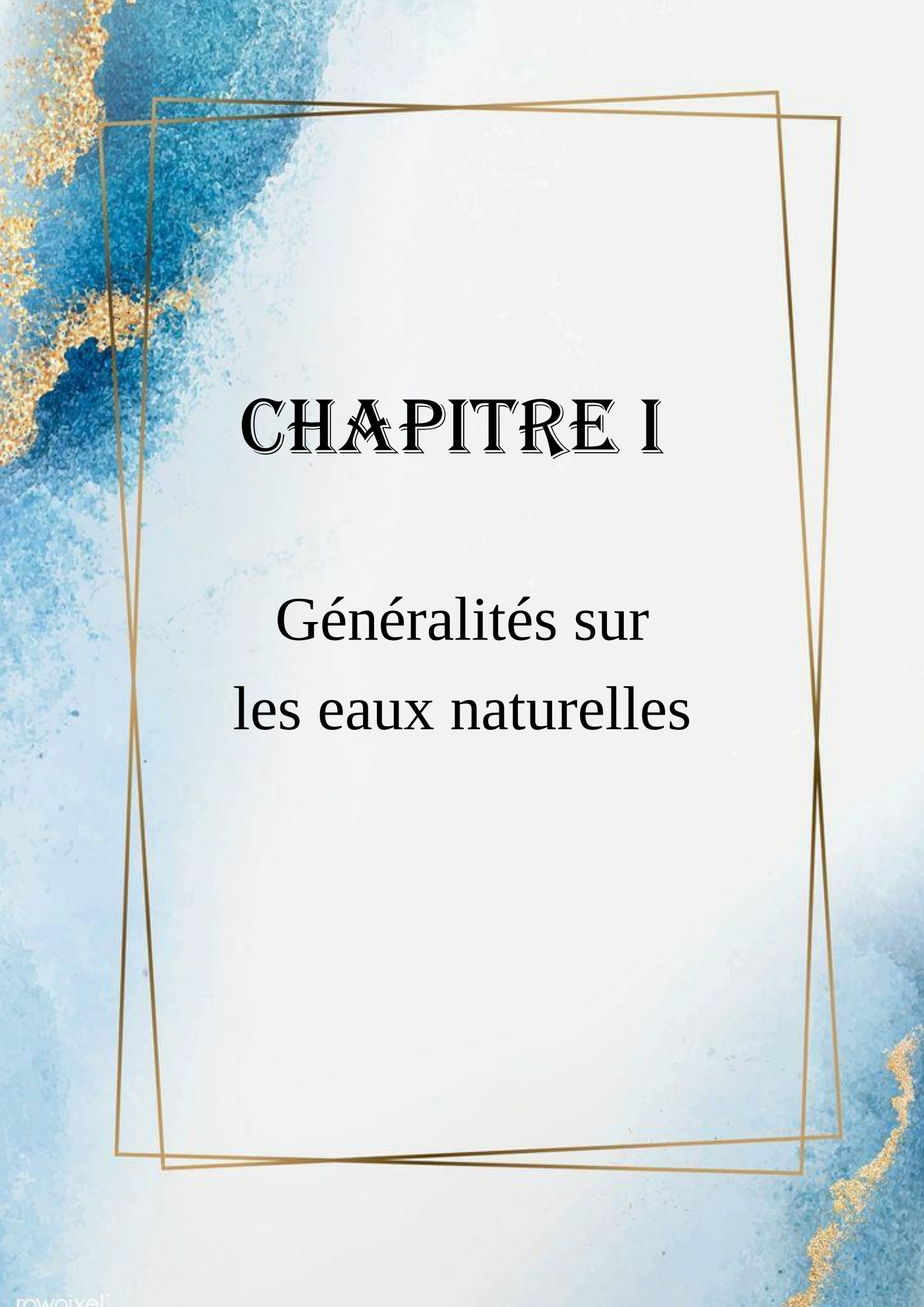
Afin de mener à bien notre étude, nous avons structuré notre document comme suit:

- Une partie bibliographique qui comporte des généralités sur les eaux naturelles, les différents types de pollution de ces eaux, les Maladies à transmission hydrique et ainsi que les paramètres d'une eau potable ;
- Une partie expérimentale qui est consacré aux matériels utilisés, les méthodes suivies et ainsi que les résultats obtenus et leurs interprétations ;

Enfin nous terminons par une conclusion générale résumant les différents résultats et quelques recommandations.



PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE I

Généralités sur les eaux naturelles

I.1. Définition de l'eau

L'eau est l'élément vital pour la vie, c'est la boisson naturelle par excellence. L'eau est la combinaison de deux atomes d'hydrogène rattachés à un atome d'oxygène (H_2O) selon un angle de 105° , représentée en trois dimensions sous la forme tétraèdre déformé. La molécule d'eau se comporte comme un dipôle (ROUX, 1995). (Figure1)

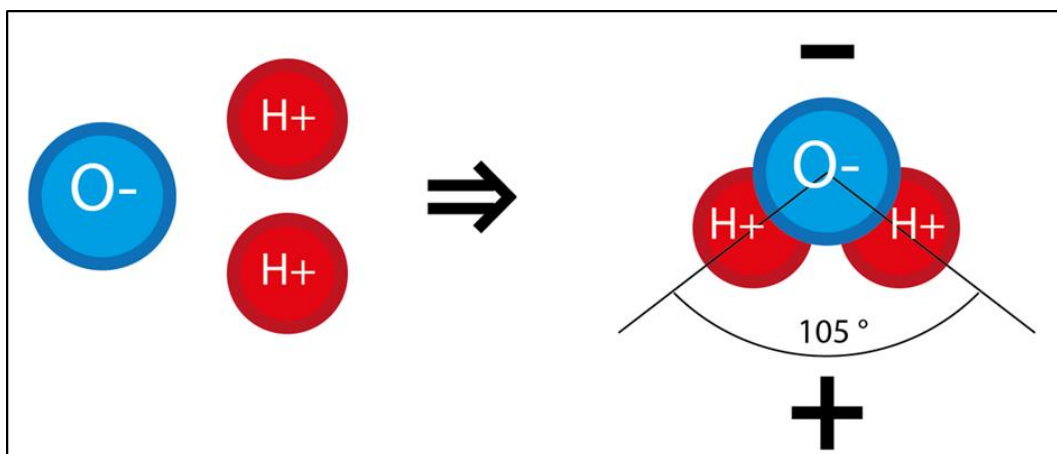


Figure 1 : La molécule d'eau (GRANGER, 2019)

I.2. Propriétés de l'eau

L'eau c'est un liquide incolore, inodore, sans saveur et de pH neutre. C'est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants. L'eau s'allie avec certains sels pour former des hydrates et réagit avec des oxydes de métaux pour former des acides. Elle est utilisée comme catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques importantes (PIERRE ET BERNARD-ALEX, 2011). L'eau est aussi un régulateur thermique : ses propriétés thermiques lui confèrent un rôle majeur dans la stabilité des températures de la terre et dans les phénomènes climatiques.

I.3. Les trois états de l'eau

Dans la nature sous l'action de différents facteurs tels que : la pression atmosphérique et la température, nous pouvons trouver l'eau sous trois formes :

- État solide : à basse température, l'eau est appelée glace et possède des structures cristallines régulières ;
- État gazeux : caractérisé par une absence de forme et de limite physique il n'y a pas de liaisons entre les molécules, celles-ci restent indépendantes les unes des autres ;

- État liquide : caractérisé par une forme non définie, ces molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres, mais elles restent proches car elles sont liées par des forces intermoléculaires (SARI, 2014).

L'eau peut changer d'état selon la température et sous l'action du soleil et du vent.

Le Schéma suivant résume les différents changements d'état possible :

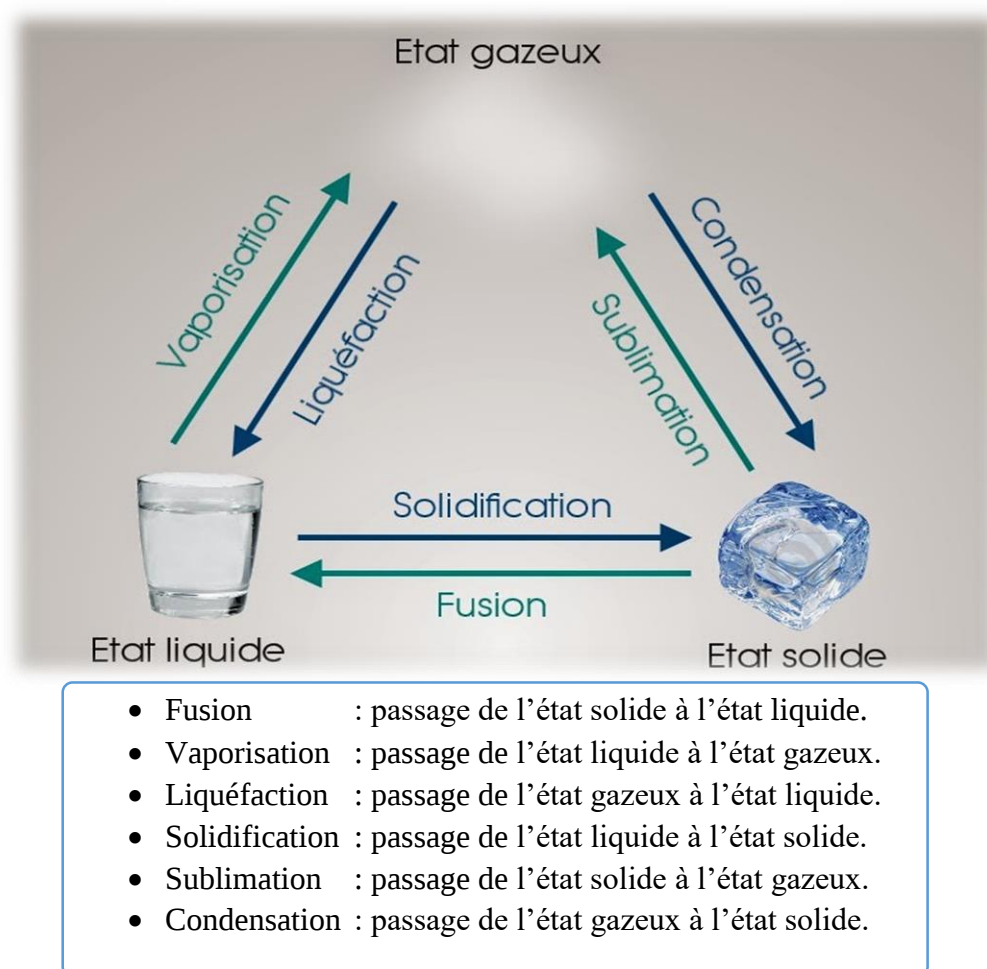


Figure 2 : Les différents changements d'état de l'eau (JOSEPH, 2014)

I.4. Cycle de l'eau

On peut définir les mouvements de l'eau sur la terre comme des flux dans un système à circuit fermé. Une représentation simple de ce circuit implique des mouvements d'eau des masses océaniques vers l'atmosphère et vers les masses continentales, puis des masses continentales vers les océans. Cette nature cyclique est à l'origine du terme général attribué à ces mouvements d'eau : cycle de l'eau (ANCTIL et al., 2013). Ce cycle, appelé aussi cycle

hydrologique, est essentiellement un des grands composants de la régulation énergétique de l'ensemble terre-océan-atmosphère (ROCHE et al., 2012).

Sous l'effet de la chaleur apportée par le soleil, l'eau s'évapore depuis la surface des océans et des continents, transite par l'atmosphère-où elle ne reste en moyenne que huit jours - et retombe en pluie sur les océans et les continents. À terre, l'évaporation renvoie une partie de l'eau vers l'atmosphère pendant et après la pluie ou associe à cette évaporation directe la transpiration des végétaux, qui renvoie aussi vers l'atmosphère l'eau qui s'est infiltrée dans le sol (BERGER ET SERVAT, 2006).

Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère (figure 3).

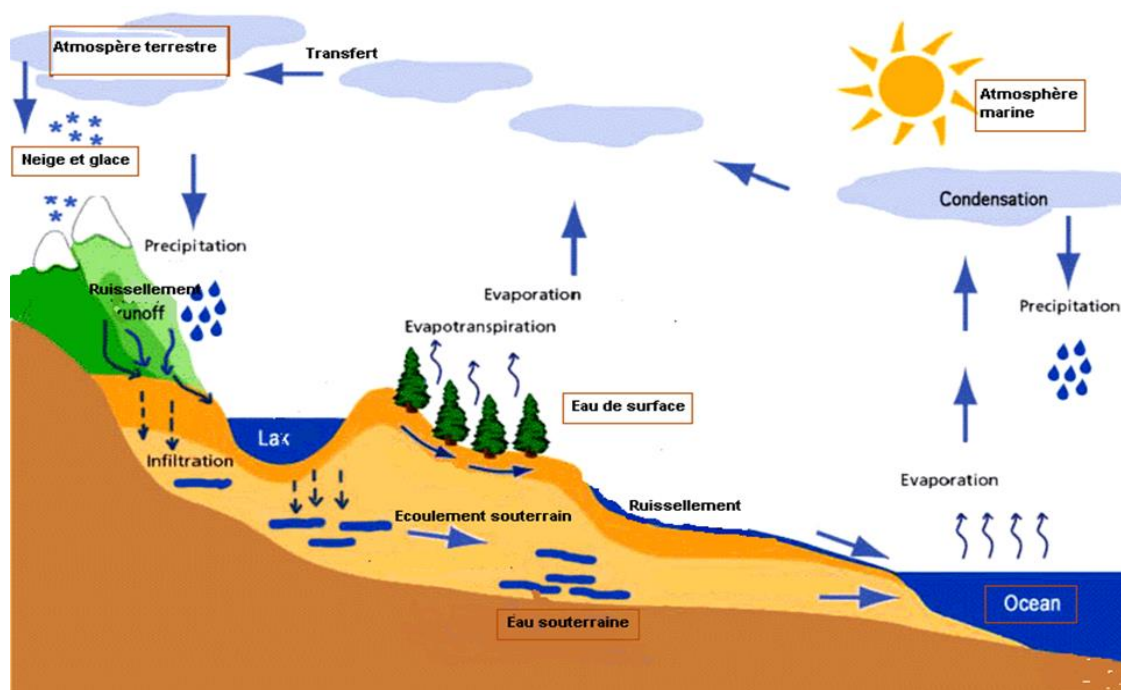


Figure 3 : Cycle biogéochimique de l'eau (ANONYME, 2017)

1. L'évaporation : est le processus par lequel l'eau liquide se transforme en gaz ou vapeur, la chaleur fournie par le soleil est nécessaire pour ce processus. L'évaporation des océans est la première façon pour l'eau d'entrer dans l'atmosphère.

2. La condensation : au contact des couches d'air froid de l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense en minuscules gouttelettes qui, poussées par les vents, se rassemblent et forment des nuages.

3. Les précipitations : la précipitation est la libération de l'eau des nuages sous forme de pluie, neige ou grêle. C'est le principal chemin qu'utilise l'eau de l'atmosphère pour retourner à la Terre.

4. L'infiltration (ruissellement) : l'eau sous forme de pluie ou de neige s'infiltre dans le sous-sol et les roches, une partie des eaux d'infiltration est reprise par la végétation qu'elle alimente avant d'être rejetée dans l'atmosphère. L'autre partie s'accumule dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour peuvent former des sources émergentes à la surface du sol.

I.5. Eau brute

L'eau brute désigne l'eau qui n'a subi aucun traitement et qui peut alimenter une station de production d'eau potable. « Dictionnaire environnement »

L'eau brute est l'eau retrouvée dans le milieu naturel (rivières, nappes souterraines, milieux aquatiques de surface (lacs, canaux...)), ces eaux sont destinées à produire les eaux de consommation. L'accès aux eaux brutes est parfois naturel (directement à la source), mais généralement des accès artificiels nécessitent des creusements, terrassements, forages... Ces derniers sont désignés sous le thème "ouvrage de prélèvement" (ANONYME, 2008).

Selon Bordet, toutes les eaux brutes ne peuvent pas être utilisées pour produire de l'eau potable ; l'eau brute doit avoir une qualité minimum (BORDET, 2007).

I.6. Eau potable

C'est en effet un terme générique qui ne peut s'appuyer sur un type unique, car toute eau que l'on peut consommer sans danger peut être considérée comme potable. À cette notion de danger potentiel, peut se superposer une notion d'agrément vis-à-vis du goût et même de confort (aspect, température).

On pourrait dire qu'une eau destinée à la consommation humaine doit : être raisonnablement minéralisée, être raisonnablement colorée et limpide, être assurée de ne pouvoir nuire à la santé, être assurée de ne pas voir ses qualités altérées par le temps, ou les conditions de son transport (ANONYME, 2007).

I.7. Répartition de l'eau sur le globe

Sur le globe, l'eau dont le volume total est estimée à 1 milliard quatre-cents-millions de m³, est répartie dans cinq réservoirs « interconnectés » dont l'ensemble constitue l'hydrosphère.

Les océans et les mers contiennent à eux seuls 1350 millions de kilomètres cubes d'eau, soit 97% du volume total occupant 71% de la superficie de la planète (Figure 4), dont les 4/5 de l'hémisphère Sud. C'est pourquoi la terre mérite bien son surnom de « planète bleue » (ROUX, 1995).

L'eau douce ne représente que 3 % de l'eau sur Terre, elle se trouve dans (GLEICK, 1996) :

- Les glaciers : 68,7 %
- Les eaux souterraines : 30,1 %
- L'eau gelée dans le sol : 0,8 %
- L'eau douce de surface : 0,4 %

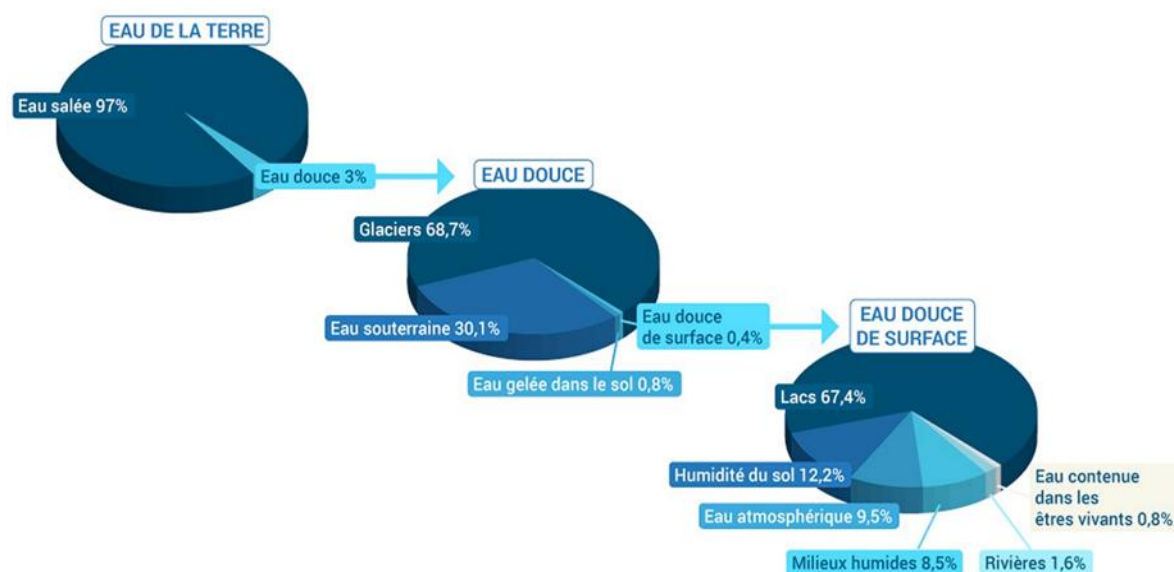


Figure 4 : Répartition de l'eau sur le globe (ANONYME, 2018)

I.8. Eaux naturelles

Les réserves disponibles en eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltrations, nappes) et des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières) (DEGREMONT, 2005).

I.8.1. Eaux de surfaces

Les eaux de surface sont plus chargées de matières en suspension que les eaux souterraines, ainsi que de matières colloïdales, plancton animal et végétal (KETTAB, 1992).

Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable (DEGREMON, 2005).

I.8.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont des sources naturelles et vitales qui représentent 60% des eaux continentales, leurs écoulements sont estimés à environ 30% du débit des fleuves. Leur renouvellement total est de 5000 ans en moyenne (ROUX, 1995).

Elles représentent les eaux qui se trouvent sous la surface de la terre : d'une part les rivières souterraines (cas des réseaux karstiques) et d'autre part l'eau qui remplit les interstices des couches rocheuses et enfin l'eau des nappes phréatiques (ROUX, 1987).

L'eau souterraine correctement captée ne comporte généralement pas, ou peu de matières en suspension ou de bactéries, car elle est naturellement filtrée : c'est pour cela que cette ressource est officiellement recommandée depuis près d'un siècle pour l'alimentation en eau potable (COLLIN, 2004).

Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont (DESJARDINS, 1997) :

- Turbidité faible ;
- Contamination bactérienne faible ;
- Température constante ;
- Débit constant ;
- Dureté souvent élevée ;
- Concentration élevée de fer et de manganèse.

❖ Différents types de nappes

« L'aquifère », ou encore « la nappe d'eau souterraine » est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau (KETTAB, 1992). Une nappe est constituée par l'ensemble de l'eau qui occupe les interstices des roches poreuses dans un domaine défini par son épaisseur et son étendue (POMEROL et RENARD, 1997). On peut distinguer deux types d'aquifères :

A. Nappe libre

La nappe libre peut se développer librement vers le haut puisque le terrain perméable, siège d'une nappe aquifère, n'est pas couvert par une couche imperméable (BONNIN, 1982).

Les nappes libres sont en contact direct ou indirect avec l'atmosphère, leur niveau peut monter ou baisser selon la pluviométrie et l'exploitation (Figure 5).

B. Nappe captive

La nappe captive ne peut se développer vers le haut car elle est emprisonnée entre deux couches imperméables. Les eaux des nappes captives sont très bien protégées des diverses pollutions, mais la qualité naturelle de cette eau n'est pas toujours excellente, car elle peut présenter souvent une minéralisation excessive en éléments majeurs (Chlorures et sulfates) et en oligo-éléments (Fer, Fluor, ...etc.) (COLLIN, 2004).

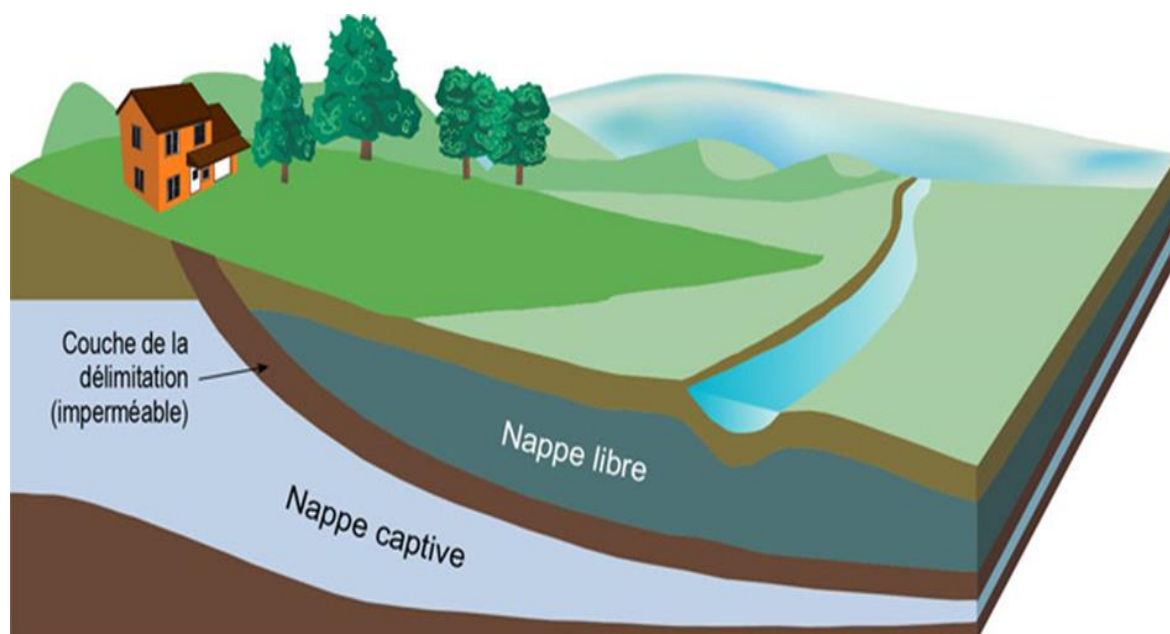


Figure 5: Comparaison entre une nappe captive et une nappe libre (ANONYME, 2013).

I.8.3. Principales différences entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines

Le tableau suivant représente les principales différences entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines :

Tableau 1: principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines (CHAUSSADE et al., 2005).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Goûts et odeurs	Fréquents	Rares (sauf H ₂ S)
Minéralisation globale (ou : salinité, TDS ...)	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets ...	Sensiblement constante ; en général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Généralement présents
CO ₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation: absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plupart du temps
H ₂ S	Généralement absent	Souvent présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Présents fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays industrialisés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Solvants chlorés	Rarement présents	Peuvent être présents (pollution de la nappe)
Caractère eutrophie	Possible: accentué par les températures élevées	Non

I.9. Eaux de sources

L'eau de source est exclusivement une eau d'origine souterraine, apte à la consommation, microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution d'origine humaine. Contrairement à l'eau minérale naturelle sa composition n'est pas systématiquement stable, peut varier avec le temps. Les eaux de sources répondent aux mêmes critères de potabilité que l'eau du robinet. Les sources représentent l'émergence des eaux souterraines, elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses (BOUZIANI, 2000).

I.9.1. Les différents types de sources

Une source est une eau qui sort naturellement de la terre, ou le point où cette eau jaillit. C'est souvent l'origine d'un cours d'eau. Mais les sources peuvent alimenter des mares, des lacs, s'écouler directement en mer, ou produire une eau qui disparaît à nouveau dans le sol. Il existe différentes approches permettant de classer les sources (BALLOUKI, 2012) :

- L'hydrochimie permet de classer les sources selon leurs qualités ;
- L'hydrogéologie qui cherche à expliquer l'origine et le fonctionnement de la source ;
- Le thermalisme qui classe les sources selon leur température et l'usage qui peut en être tiré.

Les principaux types de sources sont les suivants

❖ Sources d'affleurement

Lorsque la couche imperméable inférieure d'une nappe aquifère affleure le sol d'une vallée, l'eau de cette nappe apparaît à la surface sous forme d'un chapelet de sources. Elles apparaissent surtout dans des terrains calcaires ou cristallins, les sources thermo minérales appartiennent à cette catégorie (VILAGINES, 2003).

❖ Sources d'émergence (artésiennes)

Bien que la couche perméable soit fissurée en direction du sol, on peut avoir un débit alimentant un trou d'eau, souvent envahi de végétation par une ou plusieurs fractures ou l'on peut voir l'eau bouillonner. Le débit localisé de ces sources est souvent important, leur risque de tarissement est Inégal (VILAGINES, 2003).

❖ Sources de déversement

Ce type de sources se rencontre dans les terrains fissurés en surface, calcaires et surtout granites (le réseau de fissures vient rencontrer la surface du sol, avec une pente qui

permet d'y conduire l'eau). Généralement leur débit est faible, pratiquement constant et peuvent facilement tarir (VILAGINES, 2003).

I.9.2. Traitement de l'eau de source

Les eaux de sources sont naturellement propres à la consommation humaine. Les seuls traitements qui sont permis d'être appliqués, afin d'éliminer les éléments instables (gaz, fer et manganèse) sont : l'aération, la décantation et la filtration (LUNS ET LAGRADETTE, 2004).

I.10. Qualité des eaux

Nous avons tendance à juger la qualité de l'eau en fonction d'une utilisation particulière de celle-ci. Une eau qui est bonne pour une chose ne l'est pas nécessairement pour une autre. C'est pourquoi le ministère de l'Environnement a défini des critères de qualité de l'eau de surface adaptés aux principaux usages de l'eau. Ces critères visent la protection de la santé humaine, la protection du plan d'eau contre l'eutrophisation et la protection de la vie aquatique. La qualité d'une eau est déterminée par diverses substances qu'elle contient et aussi par leur concentration. Les nombreuses substances contenues dans l'eau, dissoutes ou en suspension, que l'on retrouve partout dans la nature (bicarbonates, calcium, magnésium, potassium, azote, phosphore, aluminium, etc.), proviennent du sol et du sous-sol, de la flore et de la faune, des précipitations et des eaux de ruissellement drainant le bassin versant, ainsi que des processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu dans le cours d'eau lui-même. À ces substances d'origine naturelle peuvent s'ajouter des produits découlant de la simple présence humaine (phosphore, azote et micro-organismes contenus dans les eaux usées domestiques) ou des activités industrielles et agricoles (substances toxiques, métaux, pesticides). Au cours d'une année, d'une saison et même d'une journée, la qualité de l'eau peut être très variable. Cette qualité est aussi influencée par les phénomènes naturels ou anthropiques. Les concentrations de certaines substances présentes dans l'eau peuvent être beaucoup plus élevées pendant une période de l'année. À l'inverse, en période de crue, certaines substances se trouvent diluées dans un plus grand volume d'eau, alors que d'autres qui atteignent le cours d'eau par ruissellement, se retrouvent en concentration plus importante. Ainsi, les concentrations des substances naturelles non dissoutes provenant d'un processus d'érosion augmentent avec le débit. Par ailleurs, les concentrations des divers polluants rejetés artificiellement et régulièrement dans un cours d'eau diminuent lorsque le débit augmente (HEBERT ET LEGARE, 2000).

Une très bonne connaissance du régime hydrologique d'un cours d'eau est donc nécessaire pour interpréter correctement les données de qualité de l'eau (HEBERT ET LEGARE, 2000).

I.11. Législation et textes

L'eau doit répondre à des normes préétablies qui fixent les concentrations "seuils" à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances dangereuses et pouvant y être présentes.

Cependant, bien qu'une eau potable soit conforme aux normes, cela ne signifie pas pour autant qu'elle soit indemne de ces substances, mais que leur teneur est assez faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (BERGER, 2004).

La norme est représentée par une valeur chiffrée, qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser pour une substance donnée, ou une limite inférieure à respecter.

Les conditions dans lesquelles sont effectués les prélèvements et les analyses d'échantillons sont fixées par voie réglementaire.

Dans le cadre du développement durable, l'Algérie s'est intéressée, ses dernières années, aux problèmes des eaux et leur contamination. Pour une meilleure protection et une rassurante gestion des ressources hydrique, l'Algérie a établi des lois, des décrets, des ordonnances et des arrêtés, parmi ces textes on peut citer :

a) Textes législatifs :

- Loi n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux ;
- La loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 04 Août 2005 relative à l'eau.

Article 111 : au sens de la présente loi, on entend par eau de consommation humaine toute eau destinée à :

- La boisson et aux usages domestiques ;
- La fabrication des boissons gazeuses et de la glace ;
- La préparation au conditionnement et à la conservation de toutes denrées alimentaires.

Article 69 : les ressources en eau souterraines et superficielles sont soumises à des contrôles de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et bactériologiques.

b) Textes réglementaires :

- Décret exécutif n°96-472 du 18 décembre 1996 portant création du conseil national de l'eau (J.O n°83 /96) ;
- Décret exécutif n°01-101 du 21 avril 2001 portant création de l'Algérienne des eaux (J.O 4/2001) ;
- Décret exécutif n°04/196 du 27 Joumad El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source ;
- Arrêté du 17 novembre 2001 portant approbation de l'organisation interne de l'établissement public « Algérienne des eaux » (J.O n°04/2002) ;
- Arrêté du 19 novembre 2001 portant approbation de l'organisme interne de l'établissement public « office national de l'assainissement » (J.O n° 04/2002) ;
- Arrêté interministériel du 26 Mai 1996 portant création, organisation et fonctionnement du comité national de lutte contre les maladies à transmission hydrique (J.O. n°81/96).



CHAPITRE II

Pollution des eaux

II.1. Définition de la pollution

Lorsqu'on parle généralement de la pollution, nous pensons habituellement aux matières toxiques produites par l'homme dans l'environnement. Le terme pollution ne doit pas être utilisé que lorsqu'il y'a dommage réel ou potentiel (KENNETH et FRANÇOIS, 1976).

Une pollution peut se définir comme une dégradation ou une perturbation du milieu, qui résulte en général de l'apport de matières ou de substances exogènes. Ses effets peuvent être modificateurs ou destructeur vis-à-vis du fonctionnement du milieu, selon la nature ou la quantité de polluant (GENIN et *al.*, 2003).

II.2. Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est toute modification physique ou chimique sur sa qualité, qui a une influence négative sur les organismes vivants ou qui rend l'eau inadéquate aux usages souhaités. On dit que l'eau est polluée lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement dégradée, plusieurs types de pollution existent provenant d'origines diverses (domestiques, agricoles, industrielles ou même naturelle) (ATTEIA, 2015).

L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution (KENNETH et FRANÇOIS, 1976).

II.3. Principales Origines de la pollution de l'eau

La pollution des eaux souterraine provient essentiellement des activités domestiques urbaine et industrielles, agricole, ainsi que des précipitations, elle perturbe les conditions de vie de la flore et la faune aquatiques, et l'équilibre du milieu aquatique. Et d'après l'origine des substances polluantes, on distingue (GOUJOUS, 1995) :

a- La pollution domestique ou urbaine

C'est une pollution provoquée par l'homme et en général véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Cette pollution peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que du développement de l'eutrophisation dans les rivières (FAURIE et *al.*, 2003).

La pollution domestique se caractérise par (GAUJOUS, 1998) :

- Des germes fécaux ;
- Des fortes teneurs en matières organiques ;
- Des sels minéraux (azote, phosphore) ;
- Des détergents.

Et selon MIZI (2006), la pollution d'origine urbaine provient des différents usages domestiques de l'eau. Les eaux sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en :

- 1- Eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques ;
- 2- Eaux "vannes" qui ont pour origine les toilettes, sont chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux, constituant un substrat équilibré pour le développement des bactéries.

b- La pollution industrielle

Elle est provoquée par les rejets d'eau résiduaire d'origine industrielle, susceptible de contenir une infinité de substances plus ou moins biodégradables (TARDAT, 1992 ; GAUJOUS, 1995). Les polluants d'origines industrielles sont très variés selon le type d'activité ; substances organiques ou de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux, métaux lourds.

Ces produits sont exceptionnels mais trop souvent chroniques dans le cas des fuites de réservoirs ou de canalisation (BEAUCHAMP, 2006).

c- La pollution agricole

Les pratiques actuelles de cultures et d'élevage influent grandement sur le régime et la qualité des eaux. D'une part, l'utilisation massive de fertilisants des sols (engrais minéraux du commerce ou déjections animales) et d'autre part, l'usage de produits chimiques de traitement des plantes (les produits phytosanitaires: herbicides, fongicides, insecticides) qui entraînent la dégradation du milieu aquatique des rivières et des eaux souterraines, les rendant impropres à la consommation (BOUCENNA, 2008). L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs "eutrophisation", notamment par les engrais azotés et phosphatés, conduit à la prolifération d'algues et de végétaux et à la dégradation des caractéristiques de l'eau (acidité,

goût, odeur). Les différents polluants d'origine agricole ne peuvent donc pas être recueillis et traités ultérieurement dans une station d'épuration.

d- La pollution naturelle

Divers phénomènes naturels sont aussi à l'origine de pollution, par exemple, une éruption volcanique, un épanchement sous-marin d'hydrocarbure, le contact avec des filons géologiques (métaux, arsenic), une source thermo-minéral ...etc. (GAUJOURS, 1998).

e- Pollution thermique

L'utilisation de l'eau pour le refroidissement des centrales thermiques produisant de l'électricité mobilise des volumes très importants et leur rejet se fait directement dans la rivière avec un apport thermique en flux calorifique. Ce flux, s'il est rejeté dans la rivière, modifie la température. Le réchauffement qui accélère la vie bactérienne et donc l'autoépuration, conduit, dans les rivières très polluées, à un appauvrissement en oxygène qui peut être nocif (VALIRON, 1990).

II.4. Les différentes formes de pollution

Il existe quatre formes de pollution des eaux :

- **Pollutions ponctuelles** : Elles proviennent des ressources bien déterminées et qui peuvent être contrôlées par les stations d'épuration (rejets domestiques ou industriels) (LEVEQUE, 1996) ;
- **Pollution diffuse** : Elle est due principalement aux pratiques agricoles, les engrais gagnent les milieux aquatiques par lessivage des sols en surface et après infiltration dans le sol (LEVEQUE, 1996) ;
- **Pollution permanente** : Correspond aux rejets domestiques de grandes villes ;
- **Pollution accidentelle ou aigue** : Résulte du déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel.

II.5. Les Différents types de pollution des eaux

Un polluant pourrait être défini comme une substance présente dans l'environnement en quantité suffisamment importante pour entraîner des effets indésirables sur les écosystèmes ou la santé humaine. Selon les types de polluants, le déplacement peut être très différent c'est à dire qu'ils ne vont pas se déplacer de la même vitesse, par ailleurs, les propriétés

physico-chimiques des milieux et des polluants sont donc indispensables à connaître pour gérer les risques liés aux pollutions (ATTEIA, 2015).

a- La pollution chimique ou minérale

Elle est due essentiellement aux rejets industriels qui apportent de grandes quantités de substances chimiques, perturbant aussi l'équilibre de l'écosystème aquatique. Certains de ses produits, entre autres les métaux toxiques et les substances inorganiques telles que les nitrates, les phosphates et autres sels minéraux nutritifs utilisés en agriculture comme fertilisants, sont non biodégradables et peuvent occasionner des intoxications chez l'homme (AROUYA, 2011).

Les polluants chimiques peuvent avoir aussi pour origine :

- ✓ Les eaux usées qui sont habituellement chargées de détergents et d'autres substances à usage domestique ;
- ✓ Les eaux de ruissellement, issues de terrains agricoles et qui sont souvent chargées de pesticides et de divers produits chimiques à usage phytosanitaire (BRISOU et DENIS, 1978).

Les autres substances minérales sont les chlorures, les sulfates, le fluor (étant des paramètres de la qualité naturelle des eaux) et des éléments toxiques (métaux lourds) tels que le cyanure et l'arsenic, qui sont des substances minérales issues de l'activité humaine et susceptibles de polluer les nappes de façon ponctuelle (BEAUCHAMP, 2002).

Les déversements accidentels et à grande échelle de produits pétroliers sous forme liquide sont une cause importante de pollution des rivages où les hydrocarbures peuvent entraîner de grandes catastrophes écologiques, les cas les plus spectaculaires de pollution par les hydrocarbures sont dues à des accidents de pétroliers géants et aux opérations de forage en mer (BOUZIANI, 2000).

b- La pollution physique

Elle est essentiellement industrielle, secondairement domestique, on peut distinguer trois types de polluants ayant un caractère physique : les polluants mécaniques, thermiques et atomiques (AROUYA, 2011).

Selon RAMADE (2000), les principaux agents de pollution physique sont : la chaleur, les matières en suspension (MES), la radioactivité...etc.

- ✓ L'élévation de la température de l'eau de surface diminue la solubilité des gaz dans l'eau, en particulier l'oxygène. Il en résulte une diminution du pouvoir auto-épurateur des eaux de surface, donc une augmentation de la matière organique.
- ✓ Les particules en suspension de nature organique ou minérale sont introduites dans l'eau de surface par les eaux de ruissellement, elles proviennent essentiellement d'effluents industriels et urbains.
- ✓ La radioactivité est potentiellement la plus dangereuse des polluants physiques, elle met en jeu les rayonnements X, β et δ , de puissance diverses. Certaines roches et minerais contiennent des éléments instables et radioactifs, comme l'uranium, le radium et le thorium. Leurs accumulations dans l'organisme provoquent des toxicités.

Les radio-isotopes peuvent exercer leurs effets nocifs directement par le rayonnement ionisant mais aussi par leur accumulation dans des organismes marins. Ainsi dans certaines algues, le facteur de concentration peut atteindre 105 à 106 fois la radioactivité de l'eau (COLAS, 1976 ; AROUYA, 2011).

c- La pollution microbiologique

La pollution microbiologique des eaux se traduit par une forte contamination par de nombreux agents pathogènes, bactéries et virus. Elle soulève dans bien des cas de redoutables problèmes d'hygiène publiques qui ne sont pas limités aux seuls pays du tiers monde (RAMADE, 2005).

Les polluants microbiologiques entraînent un déficit en oxygène dissous et une apparition des odeurs désagréables. Les polluants bactériologiques et viraux sont les plus dangereux, ils provoquent des maladies mortelles comme la typhoïde et le choléra (RAMADE, 1998 et RAMADE, 2005).

Les germes pathogènes sont généralement associés aux coliformes et streptocoques fécaux, la présence de ces derniers indique une pollution par les eaux de vannes, les eaux de station d'épuration, les rejets d'élevages industriels (KANKOU, 2004).

d- La pollution organique

Elle est représentée par des substances plus ou moins biodégradables (sucres, protéines) rejetées par certaines industries agroalimentaires et de conditionnement, elle comprend aussi

des substances toxiques plus ou moins remuantes (phénols, tensioactifs, hydrocarbures pétroliers, pesticides) et apparentés (ALAIN V et ALAIN B, 2005).

Cette pollution peut se faire soit par :

- La décomposition de la matière organique par les micro-organismes qui libère des nitrites, des nitrates, l'ammonium, du méthane et l'hydrogène sulfuré. La matière organique résiduelle persistant dans l'eau constitue un milieu favorable au développement des germes qui peuvent être pathogènes (BEAUCHAMP, 2006). Les apports de matières organiques agissent sur les organismes, la production des biocénoses et le vieillissement des plans d'eau (PESSON *et al.*, 1978) ;
- Les détergents sont en général biodégradés dans le sol ou adsorbés sur les argiles. Certains atteignent la nappe à partir des puits ou à partir des rivières polluées dans les nappes alluviales. Leur toxicité est faible mais en tant que produits mouillants, ils favorisent la dispersion d'autres produits indésirables comme les pesticides ;
- Les pesticides sont en partie métabolisés ou retenus dans le sol et dans la zone non saturée. Leur transfert à la nappe est faible ;
- Les polychlorobiphényles (PCB) se retrouvent rarement dans les nappes. Les solvants chlorés sont peu biodégradables et peu retenus dans le sol, leur transfert à la nappe est donc aisé.

II.6. Impacts de la pollution de l'eau

De nos jours, le problème de pollution de l'eau constitue un danger de plus en plus important dans le monde et engendre de graves conséquences sur l'homme et son habitat.

II.6.1. Impact sur la santé de l'homme

➤ L'effet indirect

Certaines substances ingérées par les êtres vivants se concentrent dans les tissus par bioaccumulation, puis se transfèrent au long de la chaîne trophique, avec l'augmentation de sa concentration d'un niveau à un autre (bioamplification), jusqu'à arriver à l'homme qui se situe au sommet de la chaîne trophique. Il est affecté par ces substances toxiques ce qui provoque des intoxications aiguës ou chroniques et parfois mortelles.

➤ **L'effet direct**

L'effet direct peut se manifester par la consommation directe de cette eau qui contient des organismes pathogènes (bactéries, protozoaires, virus...) et donc provoquer des maladies à transmissions hydriques (MTH).

II.6.2. Impact sur l'environnement

La pollution des eaux conduit à des altérations physico-chimiques des biotopes. Il en résulte des bouleversements biocénotiques qui transforment entièrement la structure de la communauté vivante.

Selon RAMADE (2000), l'impact des eaux usées sur la faune se manifeste par la diminution de la diversité spécifique, le polluant élimine un nombre important d'espèces, tandis que les espèces tolérantes à la pollution se mettent à pulluler, mais il faut préciser que l'impact des polluants hydriques sur la flore est différent d'une espèce à une autre. Les espèces végétales les plus sensibles sont caractérisées par un taux de mortalité très élevé dès le contact avec des polluants (Il s'agit surtout d'espèces bio-indicatrices de pollution).

On peut aussi observer dans plusieurs domaines, d'autres exemples d'impacts de pollution tels que les marées noires ainsi que dans les lacs et les rivières où la mort des poissons, suite à l'intoxication due aux lessives ou à des rejets industriels, porte atteinte aux écosystèmes aquatiques.



CHAPITRE III

Maladies transmissibles par l'eau

III.1. Les maladies d'origine hydrique

Les maladies à transmission hydrique « MTH » recouvrent un large éventail de manifestations pathologiques d'origine bactérienne, parasitaire ou virale dont l'élément commun est le mode de contamination : L'eau.

Les maladies d'origine hydrique peuvent se répandre rapidement lorsqu'il n'y a pas d'installations sanitaires appropriées. Des excréments non traités qui contiennent des organismes vecteurs de maladies sont transportés par ruissellement ou par infiltration dans des sources d'eau douce, contaminant ainsi l'eau potable et les aliments. Dans ce cas, l'eau peut véhiculer en particulier un nombre de micro-organismes, bactéries, virus et parasites en tous genres qui y vivent et s'y développent ; on distingue trois types de maladies :

A. Maladies d'origines bactériennes

Certaines espèces de bactéries ont un pouvoir pathogène vis-à-vis de l'homme, ces bactéries sont les principales responsables de certaines maladies qui provoquent chaque année la mort de millions de personnes et touchent particulièrement les enfants (VILAGINES, 2003).

Le tableau suivant représente les principales maladies d'origine bactérienne et leurs agents :

Tableau 2 : Les principales maladies d'origine bactérienne (VILLAGINES, 2003).

Maladies	Agents responsables	Manifestations	Contamination
Fièvres Typhoïde et paratyphoïdes	Salmonella Typhi et salmonella paratyphi A	- Fièvre - Céphalées - Diarrhées - Douleurs abdominales - Hémorragies intestinales - Collapsus cardiovasculaire - Atteintes hépatiques, respiratoire et neurologiques.	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales
Choléra	Vibrio cholera	- Diarrhées - Vomissement - Douleurs épigastriques - Crampes musculaires.	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales
Gastro-entérites	Escherichia coli	- Diarrhées - Douleurs abdominales - Fièvre - Nausées et vomissement - Selles sanguinolentes	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales

B. Maladies d'origine parasitaire

L'eau constitue le réceptacle de certains parasites qui peuvent provoquer un ensemble de maladies telles que :

- *Amibes* : l'amibiase est l'une des maladies parasitaires les plus meurtrières du monde.
- *Giardia lamblia* : ce sont des flagellées occupant les parties intestinales et atriales. Les symptômes incluent des crampes abdominales, nausées et diarrhée aqueuse.

Les maladies parasitaires, conséquentes à la prolifération des parasites, sont classables selon leurs agents, leurs symptômes, ainsi que leurs modes de contamination (Tableau 3).

Tableau 3 : Les principales maladies d'origine parasitaire (ANONYME, 2008 ; VILLAGINES, 2003).

Maladies	Agents responsables	Manifestations	Contamination
Gastro-entérite	Cryptosporidium parvum	- Diarrhée sévère - Crampes abdominales - Baisse de poids	Voie digestive
Dysenterie amibienne	Entamoeba histolytica	- Crampes - Diarrhée muco sanglante	Voie digestive
Giardiase	Giardia lamblia	- Diarrhées - Crampes d'estomac - Perte de poids - Fatigues	Voie digestive

C. Maladies d'origines virales

Une maladie virale (ou virose) est transmise à un individu par contact avec un virus, qui s'installe dans son organisme en s'adaptant à ses défenses immunitaires pour y proliférer.

Les maladies sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Les principales maladies d'origine virale (GEURSEN et al, 2004 ; ANONYME, 2008).

Maladies	Agents responsables	Manifestations	Contamination
Poliomyélite	Poliovirus	- Fièvre - Fatigue - Douleur au niveau des jambes - Maux de tête	Le virus pénètre dans la bouche et se multiplie dans l'intestin
Hépatite infectieuse	Virus de l'hépatite A	- Perte d'appétit - Urines foncées - Diarrhées - Nausées - Fièvres	Voie digestive
	Virus de l'hépatite E	- Trouble digestifs importants - Urines foncées - Diarrhées	Voie digestive

Les virus responsables d'infections hydriques sont excrétés dans les selles d'individus infectés. Il a été démontré que plus de 130 virus pathogènes, que l'on peut dénommer virus entériques, peuvent être éliminés dans les fèces humaines (REJSEK, 2002).

Dans les pays en développement, quatre cinquièmes de toutes les maladies sont causées par les maladies hydriques, où la diarrhée est la principale cause de la mort des enfants.

En Algérie l'étude montre que les hépatites virales occupent la première place parmi les MTH, elles sont suivies par la fièvre typhoïde et dysenterie.

CHAPITRE IV

Paramètres d'une eau potable

IV.1. Caractéristique d'une eau potable

Une eau potable doit présenter un certain nombre de caractères physiques, chimiques et biologiques et répondre à certains critères essentiels (incolore, insipide, inodore...) appréciés par le consommateur. Toutefois, ses qualités ne peuvent pas se définir dans l'absolu, ni d'une manière inconditionnelle (ANONYME, 2001).

IV.1.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques comprennent : l'odeur, le goût et la couleur. Ils sont très importants pour la détermination de la qualité de l'eau de consommation (WEINER et MATTHEWS, 2003).

❖ *Couleur*

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes. 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).

La coloration des eaux peut être (MOKDDEM et OUDDANE, 2005):

- D'origine naturelle : due à certaines impuretés minérales (présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes, de substances humiques dans les eaux de surface) ;
- Une des conséquences du phénomène d'eutrophisation : (développement excessif d'algues et de plancton) des lacs, étangs, barrages... ;
- D'origine industrielle chimique : (colorants des tanneries et de l'industrie textile d'impression et teintures).

❖ *Odeur*

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur dans l'eau est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition.

L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles (RODIER et *al.*, 2009).

❖ *Gout et saveur*

Le goût peut être défini comme étant l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche (RODIER *et al.*, 2009).

La saveur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles, des bourgeons gustatifs (RODIER *et al.*, 2009).

Une eau potable et bonne en qualité doit avoir une saveur faible et agréable (RAMADE, 1998).

Et selon RODIER (2005) :

- Si l'eau renferme une quantité importante de chlorure, elle sera saumâtre ;
- Si elle renferme une quantité trop forte de magnésie, elle sera amère ;
- Si elle est chargée en fer, elle sera métallique ;
- S'il y'a absence de sels habituels et d'anhydride carbonique, elle sera fade.

IV.1.2. Paramètres physico-chimiques

A. Paramètres physiques

Les paramètres physiques sont en relation avec la structure naturelle des eaux : au contact du sol, les eaux se chargent de certains éléments minéraux qui influent sur la conductivité et le pH, la température de l'eau est également prise en compte.

❖ *Température*

La température est un facteur écologique important dans les milieux aqueux et pour l'activité biologique, son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (RODIER, 2005).

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilisation des sels minéraux et des gaz particuliers dans la détermination du pH et elle influe sur la solubilité de l'oxygène dans l'eau et la cinétique des réactions biochimiques, par conséquent la température influe également sur le pouvoir auto-épurateur des cours d'eaux (DEGREMONT, 2005).

La température de l'eau dépend d'une série de facteurs :

- Situation géographique, la saison ;
- La profondeur (la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface) ;

Les eaux souterraines sont à température relativement constante toute l'année, environ 12 °C à 15 °C, lorsque leur environnement n'est pas modifié.

La température des eaux superficielles (rivières, lacs et retenues) est très variable selon les saisons et peut passer de 2°C en hiver à 30°C (GRAINDORGE, 2015).

- La couleur de l'eau : une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur ;
- Le volume de l'eau : Plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température.

Le tableau suivant représente la classification des eaux selon leur température :

Tableau 05: Classification des eaux selon la température. (DENHOVE, 1990).

Températures (°C)	Types d'eau
$T < 20$	Minérale, source
$20 < T < 30$	Mésothermale
$30 < T < 50$	Thermale
$T > 50$	Hyperthermale

❖ *Potentiel d'hydrogène « pH »*

L'eau renferme des ions H^+ et OH^- libres (qui ne sont pas combinés pour donner des molécules du liquide). Le taux de concentration en ion H^+ est le potentiel hydrogène (pH) du milieu. Alors le pH est l'un des paramètres le plus important de la qualité de l'eau. Il joue un rôle principal dans l'indication des propriétés physico-chimiques comme l'acidité ou la basicité et l'agressivité d'une eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans de complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité (SAVARY, 2010). Une eau est d'autant plus acide lorsque son pH (inférieur à 7) est plus près de la valeur 0, elle est d'autant plus alcaline lorsque son pH (supérieur à 7) est plus près de 14 (GROSCLAUDE, 1999).

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (GRAINDORGE, 2015).

Le tableau suivant représente la classification des eaux selon leur pH :

Tableau 6: Classification des eaux selon leurs pH (DEGERMONT, 2005).

pH	Classe	Remarque
< 5	Acidité forte	Présence d'acides minéraux ou organique.
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	Evaporation intense

❖ Conductivité électrique

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (BENKADDOUR, 2015).

La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. L'unité de mesure de la conductivité est siemens/cm (S/cm) : [1 S/m = 10⁴ μS/cm] . Cette mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau et suivre son évolution.

La conductivité augmente, soit avec un pH anormal, soit avec une salinité élevée. Elle varie en fonction de la température. Elle est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique qui conduit peu (ANONYME, 2015).

Le tableau 7 représente la minéralisation des eaux en fonction de la conductivité :

Tableau 7: Relation entre la résistivité de l'eau et la conductivité mesurée (REJSEK, 2002).

Types d'eau	Conductivité $\mu\text{S/cm}$	Résistivité
Eau pure	< 23	> 30000
Eau douce peu minéralisé	100 à 200	5000 à 1000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisé	1000 à 2500	400 à 1000

❖ **Turbidité « unité : FNU »**

La turbidité d'une eau représente l'opacité d'un milieu trouble. Autrement dit, c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes, notamment colloïdales, argiles, limons, grains de silice, matières organiques. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'opération de traitement des eaux brutes. L'unité de mesure utilisée pour exprimer la turbidité est : NTU = Unité de Turbidité Néphélométrique (REJSEK, 2002 ; GRAINDORGE, 2015).

Donc, la turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées, elles forment parfois d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs. Pour la sécurité du consommateur, l'eau destinée à la consommation doit présenter une turbidité inférieure à 5 NTU (RODIER, 1984 ; REJSEK, 2002 ; RODIER, 2009). (Tableau 8)

Une turbidité forte est souvent un signe de pollution, mais peut-être aussi d'origine naturelle : développement planctonique, sable, particules argileuses en suspension qui forment une éponge sur laquelle viennent se fixer les bactéries (ANONYME, 2005).

Tableau 8: Classe de turbidité usuelle NTU.

Turbidité NTU	Spécificité d'eau
< 5	Eau claire
$5 < \text{NTU} < 30$	Eau légèrement trouble
$\text{NTU} > 30$	Eau trouble

❖ *Matière 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 particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, elles ne sont ni colloïdales, ni solubilisées et elles peuvent être organiques ou minérales. Leurs concentrations dans les eaux sont très variables et sont de l'ordre de 100 à 300 mg/l. Et l'unité de mesure est le mg/l (GAID, 1984).

La présence des matières en suspension diminue la concentration en oxygène dissous, ce qui rend les activités des micro-organismes faibles et par conséquent la diminution du phénomène d'autoépuration ; elles déterminent aussi la turbidité de l'eau et elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau (FELFOUL et HADJYAHYA, 1999).

❖ *Salinité « Sa »*

C'est la masse de sels (composés ioniques) dissous dans 1L d'eau. Elle s'exprime en g par Kg d'eau. Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables dont l'origine peut être une percolation à travers les terrains salés, des infiltrations des eaux marines dans les nappes phréatiques ou profondes, des rejets humains (urines), des industries extractives (industries pétrolières, houillères...) et surtout les industries de sel (saline), de la soude et de la potasse (EL MORHIT, 2009).

B. Paramètres chimiques

❖ La dureté Totale ou le titre hydrométrique

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (alcalino-terreux). Une eau est dite « dure » lorsqu'elle est fortement chargée en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), et par opposition, « douce » lorsqu'elle contient peu de ces ions (Tableau 9).

Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1g/l de CaCO_3 . Les sels du calcium se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. La teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par l'eau.

Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté :

- La dureté magnésienne (titre magnésien TMg) correspondant à la teneur en ions Mg^{+2} ;
- La dureté calcique ou titre calcique TCa correspondant à la concentration en ions Ca^{+2} ;
- La dureté permanente issue de l'association des ions calcium et magnésium avec les anions Cl^- , SO_4^{-2} ou NO_3^- ;
- La dureté temporaire provenant de la combinaison des Ca^{+2} et Mg^{+2} avec les ions HCO_3^- , CO_3^{-2} et OH^- (CLAUDE et GILLES, 2013).

La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne ou consommation de savon. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO_3 . Elle est aussi très souvent donnée en degrés français (RODIER et *al.*, 2009).

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

Tableau 9 : Les valeurs du Titre Hydrométrique

Dureté mg/L CaCO_3	Spécificité de l'eau
<60	Eau douce
60 à 120	Eau légèrement dure
120-180	Eau dure
180 plus	Eau très dure

❖ *L'alcalinité*

À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bases et des sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte généralement de la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes. L'unité utilisée est le degré français ($1^{\circ}\text{f} = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3 = 0,2 \text{ milliéquivalent/l}$) (RODIER et al., 2009).

On distingue deux titres :

- Titre alcalimétrique (TA)

Le TA correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-) (RODIER et al., 2009).

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$

- Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le TAC correspond à la teneur en ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- pour des pH inférieurs à 8.3, la teneur en ions OH^- et CO_3^{2-} est négligeable ($\text{TA}=0$), dans ce cas la mesure de TAC correspondant au dosage des bicarbonates seuls (RODIER et al., 2009).

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

❖ *Demande biochimique en oxygène « DBO₅ »*

La DBO₅ est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes présents dans un milieu pour oxyder (dégrader) les substances organiques contenues dans un échantillon d'eau maintenu dans l'obscurité, pendant 5 jours.

Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire.

❖ *Demande chimique en oxygène « DCO » unité mg/l d'O₂*

Cette mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale. Certaines matières organiques sont oxydées par du dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en milieu acide et en présence de catalyseur à

l'argent. On procède ensuite au titrage de l'excès de dichromate de potassium avec une solution titrée de sulfate de fer (II) et d'ammonium.

IV.1.3. Paramètres de la minéralisation globale

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés, elle traduit la teneur globale en sels minéraux dissous tels que carbonates, bicarbonates, chlorures, sulfates, calcium, sodium, potassium, magnésium.

D'une façon générale, les eaux souterraines profondes ont une minéralisation plus stable dans le temps et plus importante que les eaux peu profondes (BENKADDOUR, 2015), et les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées (DEGREMONT, 2005).

Une minéralisation excessive donne un goût salé et peut avoir des effets laxatifs. Cependant elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes, c'est pour cela que les eaux fortement minéralisées doivent être préalablement diluées (RODIER et *al.*, 2009).

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité (Tableau 10).

Tableau 10 : Relation entre la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles (RODIER, 2009).

Conductivité $\mu\text{S/cm}$	Minéralisation d'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	Elevée

Les cations

❖ *Le calcium (Ca^{2+})*

Le calcium est un élément principal de la dureté de l'eau, appelé aussi métal alcalino-terreux qui est extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires

sous forme de carbonates. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables (RODIER, 1996). Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles. Leur teneur dans l'eau, qui peut varier de 1 à 1500 mg/l, est directement liée à la nature géologique des terrains traversés (GRAINDORGE, 2015).

❖ **Le Magnésium (Mg^{2+})**

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature, on le trouve dans de nombreux minéraux et dans les calcaires (2.1% de l'écorce terrestre) (RODIER et *al.*, 2009). Il contribue à la dureté de l'eau sans être l'élément essentiel.

La concentration du magnésium est en relation directe avec la nature géologique des terrains traversés. Sa variation dans les eaux souterraines est due à l'influence des formations carbonates telles que les calcaires, les argiles et les marnes qui sont riche en Mg^{2+} .

Le magnésium est un élément important pour la croissance et pour la production de certaines hormones. Il intervient également dans de nombreux systèmes enzymatiques (POTELON et ZYSMAN, 1998).

❖ **Sodium (Na^+)**

Le sodium est un métal alcalin abondant et constant dans l'eau, toujours associé à d'autres éléments chimiques. Il se trouve dans la majorité des eaux souterraines et de surface. Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (RODIER, 2005).

La concentration de sodium (Na^+) dans l'eau de boisson est normalement inférieure à 50 mg/l, mais elle peut augmenter au cours des traitements d'adoucissement (par échange d'ions) des eaux calcaires.

Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir :

- D'apports industriels (potasse, industrie pétrolière) ou domestiques ;
- De la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium et d'autre élément ;
- Naturelle (mer, terrain salé, ...) ;
- Humaine (10 à 15g NaCl dans leur urines / jours).

❖ *Le potassium (K^+)*

Le potassium est un élément naturel des eaux, il est principalement présent dans les roches ignées et dans les argiles. Malgré son abondance, le potassium est généralement peu concentré dans les eaux naturelles et dans les minéraux argileux. Cette particularité s'explique par la difficulté de mobilisation de l'ion K^+ .

Dans les eaux souterraines ; la concentration en potassium, étant pratiquement constante, ne dépasse généralement pas 10mg/l à 15 mg/l, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25 mg/l. Mais dans d'autres cas, certains rejets industriels, en particulier de mines de potasse et d'usines d'engrais, peuvent entraîner dans l'eau des quantités relativement élevées (RODIER, 2005).

Les anions

❖ *Chlorure (Cl^-)*

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium ($NaCl$) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ainsi, les eaux courantes ont une teneur généralement inférieure à 25 mg/L (RODIER et *al.*, 2009). Des concentrations élevées de chlorure nuisent au goût de l'eau en lui conférant une saveur salée surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (POTELON et ZYSMAN, 1998).

Les chlorures présents dans une eau peuvent avoir plusieurs origines :

- Percolation de l'eau à travers des terrains salés ;
- Infiltration d'eaux marines dans la nappe souterraine ;
- Rejets humains ;
- Industries extractives comme des mines de potasse ou des salines.

Dans les régions littorales, les pluies apportent des chlorures d'origine océanique qui peuvent s'accumuler en surface par évaporation puis être entraînés dans les aquifères (REJSEK, 2002).

❖ Sulfates (SO_4^{2-})

Composés naturels des eaux, les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont liés aux cations majeurs, calcium, magnésium et sodium, et la plupart de ces sulfates sont solubles dans l'eau. On les trouve dans l'eau de consommation, surtout sous forme de sulfates calciques.

Les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates en proportions très variables, mais ne dépassent généralement pas les grammes par litre. Cependant, une eau destinée à la boisson humaine ne doit pas contenir plus de 400 mg/l de sulfate. Mais des teneurs supérieures à 300 mg/l peuvent contribuer à la corrosion des systèmes de distribution, surtout avec les eaux faiblement alcalines (MEGHZILI, 2003).

Les sulfates présents dans une eau proviennent :

- De certains minéraux (en particulier du gypse présent dans le sol) ;
- De l'oxydation des minéraux sulfureux ;
- Des argiles et de l'altération des terrains gypseux ;
- Des matières fécales et des détergents.

IV.1.4. Les éléments indésirables et de pollution

❖ Le Fer (Fe^{2+})

Le fer se classe en 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre. Il se trouve de manière plus importante dans les eaux souterraines, mais si les eaux contiennent moins d'oxygène, alors elles se chargent plus en fer. C'est également le cas des eaux minérales et principalement les eaux thermo minérales qui peuvent contenir plus de 10 mg/l de fer.

La présence du fer dans l'eau dépend des conditions physiques et hydrologiques, elle peut avoir divers origines :

- Lessivage des terrains et de pollutions minières ;
- Rejets industriels ;
- Corrosion des canalisations métalliques.

Le fer existe sous différentes formes :

- Colloïdal, (complexes organiques ou minéraux) ;
- Ferreux, qui est assez soluble dans l'eau ;

- Pyrite FeS_2 , couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur.

❖ *Le Manganèse (Mn)*

Le manganèse est un oligo-élément essentiel au fonctionnement du corps humain, assez répandu dans la nature, son origine peut être naturelle ou le résultat de l'activité humaine. Il s'emploie dans de nombreuses applications industrielles (surtout en industrie électrique).

Il est présent dans les eaux à l'état soluble, en suspension ou sous forme de différents complexes. Sa solubilité dépend du pH et de l'oxygène dissous.

Suivant son degré d'oxydation, le manganèse se présente sous les formes suivantes :

- Mn^{+2} : sous forme dissoute ;
- Mn^{+3} : Mn_2O_3 qui n'existe que sous forme de précipité ;
- Mn^{+4} : sous forme dissoute et le précipité de dioxyde de manganèse MnO_2 .

Dans les eaux naturelles, on rencontre principalement le manganèse bivalent Mn^{2+} et $\text{Mn}(\text{OH})^+$ à pH basique (CARDOT, 1999).

❖ *Ammonium (Azote Ammoniacal NH_4^+)*

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux, il traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut provenir de la décomposition des déchets végétaux et animaux, il provient aussi de la réaction des minéraux contenant du fer avec des nitrates. Sa teneur dans ces eaux est normalement faible.

La présence d'ammonium dans les eaux souterraines résulte d'une contamination de surface liée essentiellement aux rejets d'effluents domestiques et industriels ou d'un phénomène de réduction naturelle des nitrates.

L'ammonium n'a pas d'effet appréciable sur la santé du consommateur, mais sa présence en quantité importante dans les eaux est un indicateur de pollution.

❖ Les Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante, soit d'une oxydation incomplète des matières organiques.

Les nitrites sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantité relativement faibles. Leur présence a également été signalée dans les eaux de pluie et dans celles provenant de la fonte des neiges. En effet la pollution atmosphérique favorise l'augmentation de la teneur en nitrites. Toutefois, une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique (SAVARY, 2010).

Etant un signe très fort de la pollution pour des concentrations limites de $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$, la présence de nitrites dans les eaux justifie une analyse chimique détaillée.

Les nitrites sont également assez largement présents, mais à des niveaux bien moindres que les nitrates. Ils peuvent provoquer dans certains cas des phénomènes de méthémoglobinisation pouvant aller parfois jusqu'à l'asphyxie chez les bébés nourris au biberon (SAMAKE, 2002).

❖ Les Nitrates (NO_3^-)

Toutes les formes d'azote sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. Donc, les nitrates constituent le stade final de la décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels. Les nitrates proviennent également de l'oxydation d'ammoniaque :

Matières organiques → *ammoniaque* → *nitrites* → *nitrates* (SAMAKE, 2002).

Les nitrates solubles se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles. Une concentration maximale de nitrates (plus de 50 mg.l^{-1}) dans une eau est officiellement non potable. Cependant, on estime que la consommation d'une eau ayant une teneur en nitrates comprise entre 50 et 100 mg.l^{-1} peut être tolérée, sauf pour les femmes enceintes et les nourrissons. Au-delà de 100 mg.l^{-1} , l'eau ne doit pas être consommée.

Les nitrates sont employés dans diverses activités :

- Agricoles : fertilisation des sols par des engrais azotés, fumiers, élevage ;
- Humaine : eaux usées ;
- Fabrication des explosifs ;
- Industrie chimique : comme oxydant ;
- Dans les denrées alimentaires : comme conservateur.

Ces effluents industriels, agricoles, urbains et les produits des activités humaines élèvent les teneurs en nitrates des eaux de surface et souterraines, de ce fait, le taux des eaux en nitrates est utilisé comme indice de pollution.

❖ *Silice*

La silice ou oxyde de silicium ou encore silicates, sont extrêmement abondants dans l'écorce terrestre. La silice a une origine essentiellement naturelle et se rencontre dans les eaux brutes sous deux formes : soluble et colloïdale, sa solubilité dépend principalement de la température et du pH (POTELON et ZYSMAN, 1998).

❖ *Les phosphates (PO_4^{3-})*

Les phosphates contenus dans les eaux de surface ou des nappes peuvent être d'origines naturelles, mais à l'heure actuelle, leur présence dans les eaux est essentiellement due aux rejets industriels, domestiques ou agricoles (POTELON et ZYSMAN, 1998).

Les eaux souterraines qui ne sont pas influencées par les contaminations anthropogènes montrent des teneurs en phosphate inférieures à 0.01 mg/l (ANONYME, 2005). Et les teneurs supérieures à 0,5mg/l doivent constituer un indice de pollution (RODIER, 1996).

❖ *Oxydabilité au permanganate de potassium*

Il s'agit de la teneur de permanganate de potassium ($KMnO_4$) consommée pour l'oxydation des matières organiques d'une eau en milieu acide ou en milieu alcalin. Le résultat peut être exprimé en mg/l d' O_2 ou en mg/l de $KMnO_4$.

Cette notion permet d'estimer la pollution organique globale d'une eau naturelle et d'apprécier l'efficacité du traitement auquel elle est soumise.

Les eaux souterraines sont généralement très faiblement chargées en permanganate de potassium, leur taux est de l'ordre du mg/l d'oxygène (ANONYME, 2007 ; POTELON et ZYSMAN, 1998).

❖ *Les Métaux lourds*

Les métaux sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel, dangereux pour les êtres vivants, même à des micro-doses ; L'Homme en libère de grandes quantités, certains d'entre eux sont nécessaires aux organismes vivants à des concentrations déterminées (oligoéléments : Fe, Zn, Cu, Mn...), d'autres n'ont aucune utilité pour l'organisme (Cd, Hg) et au-delà des concentrations tolérables il y a toxicité. Parmi les métaux les plus dangereux, on cite comme exemple :

- **Le plomb (*Pb*)**

Le plomb est un élément très abondant et largement répandu dans la croûte terrestre, à des teneurs de l'ordre de 13 ppm de sol, sous forme de dérivés peu solubles (MORLOT, 1996). Il peut provenir aussi de l'air, des rejets industriels (peintures, gaz d'échappement des voitures) comme il peut être véhiculé par les eaux de ruissellement et de lessivage des rues (TARDAT et BEAUDRY, 1984).

La contamination peut résulter du contact avec des conduites en plomb, mais aussi avec d'autres matériaux métalliques ou non dont le plomb est un composant (GRAINDORGE, 2015).

L'absorption de plomb et son accumulation dans l'organisme entraînent une maladie appelée « saturnisme » qui provoque des troubles neurologiques chez les nourissants et les jeunes enfants.

D'une façon générale, les paramètres cités au-dessus ont des effets néfastes pour la santé humaine, s'ils dépassent le seuil toléré (Tableau 11).

Tableau 11: Les paramètres indésirables et leurs effets. (VILAGINES, 2003 ; CHERY, 2004 ; RODIERS et al., 2009).

<i>Eléments indésirables</i>	<i>Origines</i>	<i>Effets</i>	<i>LM (µg /l)</i>
Fer (Fe)	- Naturelles : eaux souterraines et roches sédimentaires. - Lessivage des dépôts d'ordures.	- Coloration rouge et gout métallique - Odeur de poisson pourri - Tâches de rouilles	200µg /l
Manganèse (Mn)	- Naturelle (sol bruns) - Industrielles (verrerie teinturerie).	- Goût indésirable. - Formation d'une couche noire sur les canalisations.	50µg/l

IV.1.5. Paramètres bactériologiques

La présence de bactéries dans l'eau est un aspect primordial de la décomposition de la matière organique et du recyclage des éléments nutritifs essentiels au maintien des organismes aquatiques et de la chaîne trophique.

Cependant, lorsque le milieu reçoit des déjections d'origine animale ou humaine, le nombre et le type de bactéries présentes peuvent rendre l'eau non appropriée pour certaines activités. Donc, l'eau destinée à la consommation ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

Les principaux types de microorganismes rencontrés dans l'eau sont :

- **Coliformes fécaux**

Les coliformes fécaux, ou thermo tolérants sont en fait des coliformes capables de se développer à des températures plus élevées, soit à partir de 44,5 °C. Comme la présence de ces bactéries dans une source d'eau ne peut pas être considérée comme normale, elle peut donc représenter une menace ou l'indication d'une éventuelle dégradation de la qualité microbiologique de l'eau, due à la présence d'une contamination fécale. Le mécanisme de transport de ces bactéries dans l'eau serait surtout le ruissellement des eaux de pluies sur le

bassin versant, entraînant avec lui les micro-organismes contenus dans la terre (BOUCHARD, 2008).

Les coliformes fécaux proviennent des intestins et des excréments des humains et des animaux à sang chaud. La présence de ces bactéries dites pathogènes est très risquée pour la santé des humains et des animaux. La bactérie *Escherichia coli* appartient à cette catégorie de coliformes. L'absorption d'une eau infectée de coliformes fécaux peut entraîner des maladies très graves et, dans certains cas, peut causer la mort. Les premiers symptômes sont généralement de nature gastro-intestinale (nausées, vomissements et diarrhée).

- **Coliformes totaux**

Ce sont des organismes en formes de bâtonnets, non sporogones, Gram négatif, oxydase négative capables de croître en aérobiose à 37°C sur milieu de culture (ROUX, 1989). Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales, mais elles se développent également dans le milieu naturel (sol, végétation, eaux naturelles). Les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes. Cependant, l'absence de ces derniers ne signifie pas un risque pathogène, car les kystes de certains parasites sont plus résistants à la désinfection que les coliformes. La présence d'un petit nombre de coliformes dans les eaux souterraines non traitées n'a qu'une signification réduite sur le plan sanitaire, lorsqu'elle ne s'accompagne pas de coliformes fécaux (GRAINDORGE, 2015).

Concernent le décompte total des bactéries de type coliformes ; bien que la plupart dérivent de substances végétales, certains coliformes totaux peuvent être d'origine fécale (de 10 à 15 %). Ces bactéries servent d'indicateurs de pollution ou de contamination microbiologique.

- **Germes totaux**

Ce sont des germes qui se développent dans des conditions aérobies, leur présence est indicatrice de pollution bactérienne, leur dénombrement donne une information sur la qualité hygiénique de l'eau, destinée à la consommation humaine (BOURGEOIS et *al.*, 1991). Ainsi, ils renseignent sur le degré de protection des nappes souterraines d'où provient l'eau à analyser (RODIER, 2005).

Ces micro-organismes, dits « revivifiables » n'ont pas d'effets directs sur la santé mais, sous certaines conditions, ils peuvent générer des problèmes dans le système de dialyse. Ce paramètre permet de mesurer les conditions sanitaires de la distribution (stagnation de l'eau,

présence des nutriments...) et du résiduel de désinfection. Une concentration en germes totaux trop importante peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique (GRAINDORGE, 2015).

- **Streptocoques fécaux**

Ils sont pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale. Ils sont de Gram positifs, groupes en chaînettes, anaérobies facultatifs, catalase négatif et immobile. Ils sont donc des bactéries pathogènes, c'est-à-dire dangereuses pour la santé.

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Néanmoins leurs identifications sont considérées comme indicateurs d'une pollution fécale. Et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. D'autres études ont, même, montré que les streptocoques étaient un meilleur témoin que les coliformes fécaux, pour des pathologies infectieuses d'origine hydrique (TARDAT-HENRY, 1993).

- **Escherichia coli**

Escherichia- coli est une bactérie coliforme, c'est un hôte normal de l'intestin. On peut le retrouver au niveau des diverses muqueuses chez l'homme et les animaux. Cette bactérie n'existe pas normalement dans l'eau et le sol. Sa présence est considérée comme signe de certaines pollutions fécales récentes d'où le fait qu'une intervention immédiate soit exigée.

IV.2. Normes de potabilité des eaux

Qu'est-ce qu'une eau potable ?

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (1972), l'eau destinée à la consommation urbaine ne doit contenir ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. En outre, elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. Cette définition doit être traduite en termes permettant de déterminer si une eau est potable ou non. C'est là l'objet des normes de potabilité, approche quantitative de la notion qualitative de potabilité. Ces normes s'appliqueront à un certain nombre de grandeurs jugées pertinentes en la matière.

Donc, les normes de qualité d'eau de consommation humaine sont des valeurs guides, qu'on ne doit pas dépasser (tableau 12). Elles sont des valeurs calculées avec une grande marge d'incertitude pour chaque substance. Elles sont calculées pour la population la plus sensible, en fonction de la dose journalière de substance tolérable pour un poids corporel donné et pouvant être ingérée quotidiennement toute une vie sans risque sanitaire (MAZZUOLI, 2012).

Tableau 12 : Les normes algériennes pour l'analyse de l'eau potable (Journal Officielle, 2015).

Paramètre physique	UNITE	N.A
PH		6,5-9
CONDUCTIVITÉ 25°C	µs/cm	2800
TEMPERATURE	°C	25
TURBIDITÉ	NTU	5
SALINITÉ	%	50
RÉSIDU SEC A 105°C	mg/L	1500
T D S	mg/L	1200

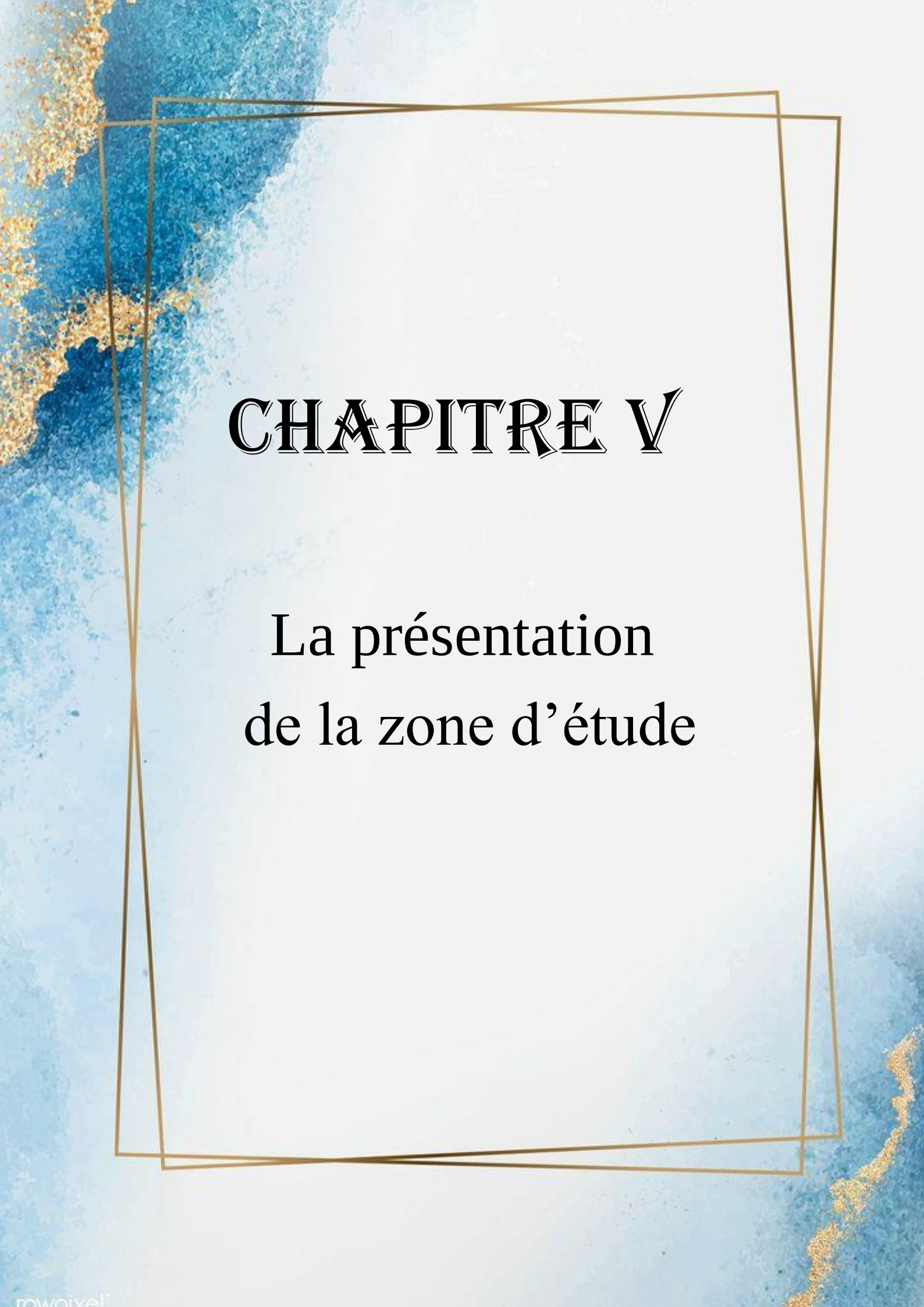
MINERALISATION	UNITE	N.A
GLOBALE		
Calcium Ca ⁺⁺	mg/L	200
Magnésium Mg ⁺⁺	mg/L	150
Sodium Na ⁺⁺	mg/L	200
Potassium K ⁺	mg/L	12
Chlorure CL ⁻	mg/L	500
Sulfate So ₄ ²⁻	mg/L	400
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/L	180
Dureté totale (TH)	mg/L CaCo ₃	500
Titre alcalin (TA)	mg/L CaCo ₃	...
Titre alcalin complet (TAC)	mg/L CaCo ₃	500

PARAMÈTRE DE POLLUTION	UNITE	N.A	PARAMÈTRE INDESIRABLE	UNITE	N.A
AMMONIUM NH_4^+	mg/l	0.5	FER TOTAL	mg/l	0.3
NITRITE NO_2	mg/l	0.2	FER Fe^{2+}	mg/l	0.3
NITRATE NO_3	mg/l	50	FER Fe^{3+}	mg/l	0.3

PARAMÈTRE BACTERIOLOGIQUE	UNITE	N.A
Germe totaux		
A 37°C	UFC/ml	10
A 22°C	UFC/ml	100
Coliforme totaux	UFC/100 ml	00
E.coli	UFC/100 ml	00
Streptocoques fécaux	UFC/100 ml	00
Clostridium sulf-red	UFC/100 ml	



PARTIE EXPÉRIMENTALE



CHAPITRE V

La présentation de la zone d'étude

Avant d'entamer n'importe quel projet d'alimentation en eau potable d'une agglomération, l'étude du site est nécessaire pour connaître les caractéristiques physiques fondamentaux de la région et les facteurs qui influent la conception de ce projet.

V.1. Situation géographique

La daïra de Ouadhias est située à 35 Km au Sud de Tizi Ouzou sur une superficie 139,5400 Km² avec une population 55377 habitants (HAMADOUCHE et *al.*, 2018).

Elle est composée de quatre communes :

- Agouni Gueghrane ;
- Aït Bouadou ;
- Tizi N'Tleta ;
- Ouadhias.

Elle est limitée comme suit (Figure 6) :

- À l'Est, par la commune d'Ouacif et Aït Toudert ;
- À l'Ouest, par les communes de Tizi N'Tleta et Aït Bouaddou ;
- Au Sud, par la commune d'Agouni Gueghrane et le massif du Djurdjura ;
- Au Nord, par la daïra de Beni Douala dont la commune d'Aït Mahmoud.



Figure 6 : Carte géographique de la daïra d'Ouadhias (ANONYME, 2020).

Aït Bouaddou, aussi appelé "At Buwaddu", est située dans la partie Sud de la wilaya de Tizi-Ouzou et relève à la daïra de Ouadhias. Elle s'étend sur une superficie de 39,30 Km² et abrite une population de 14 435 habitants, soit une densité de 3,7 hab/ha selon les données de RGPH 2008. La commune s'organise autour d'un chef-lieu, deux agglomérations secondaires et une zone éparses.

Elle est délimitée comme suit (Figure 7) :

- Au Nord, par la commune de Tizi Ntleta ;
- A l'Est, par les communes Agouni Guehrane ;
- À l'Ouest, par la commune d'Assi Youcef ;
- Au Sud, par la wilaya de Bouira.

La source Thala Thabout (Figure 9) est située dans la commune d'Aït Bouaddou avec un débit de 1L/s.

Elle est limitée comme suite (Figure 8):

- Au Nord, par Aït Khalfa ;
- Au Sud, par Aït Ouel Hadj ;
- A l'Est, par Aït Irane ;
- À l'Ouest, par Aït Djemaa.



Figure 7 : Photo de La source Thala Thabout (Amiri et Amichi, 2020).



Figure 8 : Localisation de la source Thala Thabout (ANONYME, 2020).

V.2.Situation topographique

La commune d'Aït Bouaddou est une région montagneuse dont sa moitié méridionale fait partie du massif rocheux du Djurdjura. Des plaines au Nord sous forme de vallée, sont caractérisées par une topographie plus au moins plane, dont les altitudes varient de 400 à 700 mètres, avec des pentes plus au moins faibles, moins de 8% sur les rives et les lits des oueds et de 8 à 25% sur l'ensemble des terrains agricoles.

Des replats, au centre du territoire communal, forment les sommets sur lesquels sont implantés la majorité des villages, dont les altitudes varient de 700 à 1000 m. Ils sont caractérisés par une topographie accidentée avec de fortes pentes de plus de 25% sur les versants et des surfaces planes de 8 à 25% sur les sommets. Des escarpements rocheux dont les hauteurs varient entre 1000 à 2100 m au Sud de la commune, caractérisés par un relief très accidenté avec de très fortes pentes (HAMADOUCHE et *al.*, 2018).



Figure 9: La situation topographique d'Aït Bouaddou (Photo originale, 2020).

V.3. Situation hydrographique

La commune d'Aït Bouaddou est traversée par un réseau hydrographique très important. Constitué par de denses ruissèlements qui prennent naissance sur les hauteurs du Djurdjura. Au sud de la commune, se déversant dans tous les sens Est, Ouest et Nord, dans d'importants oueds (Assif Tamdha, Tassif Guiguer...), ainsi que des oueds temporaires tel que Ighzer Bouhammud, Ighzer Oumalou. Ces oueds constituent principalement les limites communales Est et Ouest, affluent dans des oueds plus importants qui se jettent dans le Sébaou (HAMADOUCHE et *al.*, 2018).

V.4. Cadre climatique

La commune d'Aït Bouaddou est caractérisée par un climat typiquement méditerranéen, qui est de type humide, pluvieux et froid en hiver ainsi qu'une fréquente chute de neige à partir de 800 mètres d'altitude, sec et chaud en été, les vents dominants sont de régime Ouest et Nord-Ouest. Ce climat est conditionné par sa situation géographique et la nature du relief dominant ; qui est un escarpement rocheux très accidenté sur les hauteurs du massif du Djurdjura (HAMADOUCHE et *al.*, 2018).

❖ *Température*

Les températures moyennes de la région d'Aït Bouaddou varient entre 5 et 40 °C, leurs fluctuations dépendent de la morphologie des terrains. Les températures minimales varient entre 3 et 8 °C au mois de Janvier, tandis que les températures maximales dépassent 35°C au mois d'Août.

❖ *Précipitation*

Les précipitations dans cette région sont très abondantes dans la saison hivernale. En effet, la commune se classe dans la séquence bioclimatique humide dont la pluviométrie moyenne est de plus de 900 mm/an.

V.5. Couvert végétal

La commune bénéficie de précipitations abondantes qui constituent un véritable atout pour le développement d'une végétation naturelle luxuriante et la pratique d'une agriculture pluviale et variée, selon le climat et l'exposition du relief. Cependant, il est à signaler que les caractéristiques physico-climatiques du sud de la commune imposent des conditions très contraignantes pour le couvert végétal à cause de la composition rocheuse du terrain et l'importance de la période d'enneigement qui dépasse les six mois par an.

Donc, le couvert végétal est dense et diversifié dans la partie centrale de la commune d'Aït Bouaddou, lequel est dominé par l'olivier et les maquis (HAMADOUCHE et *al.*, 2018).

CHAPITRE VI

Matériel et Méthodes

VI.1. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate pour laquelle le plus grand soin doit être apporté. Celui-ci conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico – chimiques de l'eau. En outre, s'il est bien évident qu'un prélèvement correct est indispensable à l'obtention de résultats analytiques significatifs, il est tout aussi important de connaître le devenir de l'échantillon entre le prélèvement et l'arrivée au laboratoire (RODIER *et al.*, 2009).

L'échantillonnage s'est effectué à la source Thala Thabout :

- Le 10 / 02 / 2020 à 11h40 mn ;
- Le 25 / 07 / 2020 à 09h00 mn ;
- Le 02 / 09 / 2020 à 10h16 mn.

1. Echantillons destinés aux analyses physico-chimiques

Les échantillons sont recueillis dans des flacons en verre de 250 ml, rincés préalablement avec l'eau distillée, et qui sont de nouveau rincés trois fois avec de l'eau à analyser au moment du prélèvement. Ces échantillons sont remplis jusqu'au bord afin d'éviter toute réactions d'oxydation lors de la pénétration de l'air. Les flacons ont été scellés et munis d'une étiquette portant un code pour faciliter leur identification.

2. Echantillons destinés aux analyses bactériologiques

Les prélèvements sont effectués dans des conditions aseptiques. Des flacons de 250 ml ont été utilisés, soumis à un lavage et une stérilisation préalable. Au moment du prélèvement, nous avons laissé l'eau couler pendant environ 5 minutes. Les flacons sont remplis au 5/6 de leurs volumes pour maintenir en vie les bactéries aérobies et de pouvoir agiter et mélanger l'échantillon avant analyse.

Pour chaque prélèvement, tous les flacons portent une étiquette où sont mentionnées les indications suivantes :

- Le nom de la source ;
- La date et l'heure du prélèvement.

3. Transport des échantillons

Les prélèvements sont immédiatement acheminés vers le laboratoire dans des glacières dont la température est comprise entre 4 et 10°C ; Afin de maintenir la composition initiale de l'échantillon, nous n'avons fait en sorte que le temps qui s'est écoulé entre le prélèvement et l'analyse ait été réduit au minimum.

L'analyse bactériologie devant être débutée dans un délai maximal de 8 heures après le recueil de l'échantillon, pour ne pas risquer une quelconque modification de la population bactérienne ; nous avons respecté cette précaution.

VI.2. Matériel

Le matériel et les méthodes utilisés pour doser les paramètres physico-chimiques sont représentés dans le tableau 13 :

Tableau 13 : Matériel et méthodes utilisés pour les différents paramètres physico-chimiques.

Paramètres mesurés	Méthodes	Appareillage
pH	Potentiométrie	pH Mètre WTW pH 540 GLP Multical
Turbidité		Turbidimètre HACH TL2300
Conductivité		Conductimètre WTW Cond7110 inoLab
Alcalinité	Volumétrie	/
Dureté	Titrimétrie à l'EDTA	/
Calcium	Titrimétrie à l'EDTA	/
Magnésium	/	/
Chlorure	Mor	/
Ammonium	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Nitrates	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Nitrites	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Sulfates	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Phosphates	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Potassium	Spectrophotométrie d'émission à flamme	Spectrophotométrie d'émission à flamme (Sherwood flamme photomètre 410)
Sodium	Spectrophotométrie d'émission à flamme	Spectrophotométrie d'émission à flamme (Sherwood flamme photomètre 410)
Fer	Spectrophotométrie d'absorption	Spectrophotomètre (HACH)
Matière organique Acide	Méthode à chaud en milieu acide	/

- Milieux de culture

Les milieux de culture sont servis pour l'isolement des germes.

- Bouillon "lactosé" au Pourpre de Bromo Crésols (B.C.P.L) à simple et double concentration, pour les coliformes ;
- Bouillon "lactosé" Blié au Vert Brillant (B.L.V.B) pour *Escherichia coli* ;
- Bouillon "lactosé" à l'acide de sodium à simple et double concentration (milieu de Roth), pour les streptocoques fécaux ;
- Bouillon "lactosé" à l'éthyle de violet et à l'acide de sodium (EVA), pour confirmer la présence de streptocoques fécaux.

VI.3. Méthodes analytiques

VI.3.1. Méthodes d'analyses physico-chimiques

La caractérisation des eaux souterraines concerne essentiellement l'analyse des paramètres de base (pH, température, conductivité), des ions majeurs et d'éventuels éléments traces. La conductivité, la température et le pH permettent de définir les caractéristiques fondamentales de l'eau.

1. Mesure du potentiel d'hydrogène

La présente méthode d'essai a pour objet de décrire une méthode électrométrique pour la détermination du pH de l'eau.

La détermination électrométrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution.

La mesure du pH se fait selon l'instruction de travail du pH mètre (Figure 10) concerné qui doit être d'abord étalonné, en trempant l'électrode dans du KCl à 3 mol/l. Les mesures sont exprimées en unités de pH, à la température de 25°C. La lecture des résultats se fait directement sur l'enregistreur électronique quand l'affichage est stabilisé (ANONYME, 2020).



Figure 10 : pH – mètre (Photo originale, 2020).

2. Mesure de la conductivité

La présente méthode d'essai a pour objet de décrire une méthode électrique pour la détermination de la conductivité des eaux à l'aide de conductimètre (Figure 11).

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration et de la nature des ions, ainsi que de la température et de la viscosité de la solution. Avant la mesure de la conductivité d'une solution, l'appareil doit être étalonné. Ensuite, immerger l'électrode dans un béccher d'eau à analyser. La température est automatiquement corrigée par l'appareil de mesure. La lecture des résultats se fait directement sur l'enregistreur électronique (ANONYME, 2020).

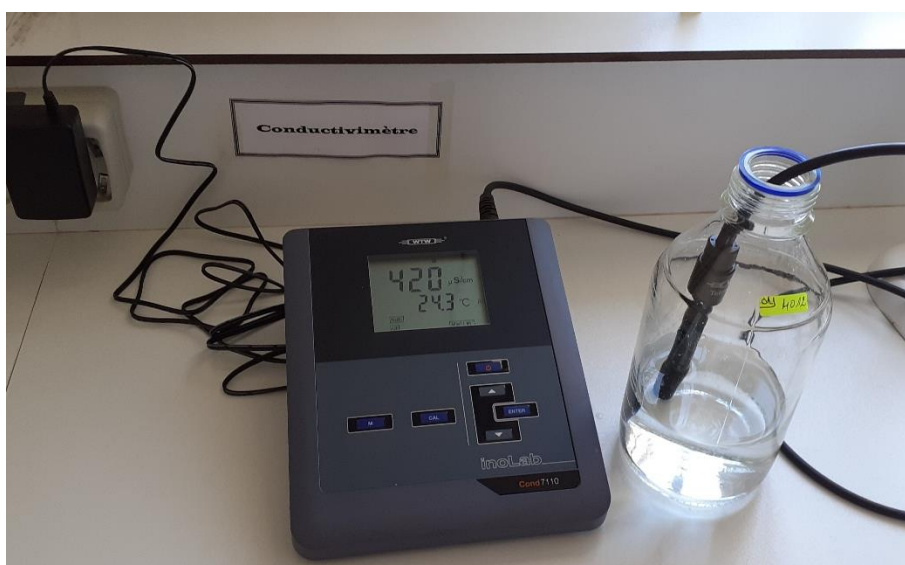


Figure 11 : Conductivimètre (Photo originale, 2020).

3. Mesure de la température

La température de l'eau est mesurée sur site avec un thermomètre précis, gradué au 1/10 de degré, la lecture est faite après une immersion de 10 minutes (ANONYME, 2020).

4. Mesure de la turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes (limon, argile, algue, grain de silice, micro-flocs ...).

L'appareil employé, le turbidimètre appelé aussi néphélométrie, fonctionne sur le principe de la mesure diffusée, en utilisant des cuves en verre bien nettoyées et bien séchées, remplies avec de l'eau à analyser. La mesure est effectuée en laissant l'appareil se stabiliser.

Les résultats sont exprimés en NTU (Nephelometric Turbidity Units) si cette unité est sélectionnée (ANONYME, 2020).



Figure 12 : Turbidimètre (néphélométrie) (Photo originale, 2020).

VI.3.2. Méthodes d'analyses de la minéralisation globale

1. Dosage de l'alcalinité

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée, nécessaires pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

1.1. Dosage du titre alcalimétrique (TA)

Le TA correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}) et des ions hydroxydes (OH^-).

- Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide chlorhydrique (HCl), dilué en présence de phénolphtaléine. Le but est de mesurer la teneur en hydroxyde libre et en carbonate (CO_3^{2-}).

- Mode opératoire

Prélever dans un erlenmeyer, 100 ml d'eau à analyser. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution de phénolphtaléine (Figure 13).

La réaction est positive lorsque la coloration rose se développe. Mais dans notre cas, il n'y a pas eu de changement de couleur, la réaction est négative, donc le $\text{TA}=0$ F. Cependant, il faut conserver l'échantillon pour la détermination du T.A.C.



Figure 13 : Dosage du titre alcalimétrique (TA) (Photo originale, 2020).

1.2. Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC correspond à la somme des concentrations des ions carbonates (CO_3^{2-}), des ions hydroxydes (OH^-) et des ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-).

- Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide (HCl), dilué en présence de méthyle orange. Le but est de déterminer la teneur en hydrogénocarbonates dans l'eau.

- Mode opératoire

Utiliser l'échantillon traité précédemment, s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthyl orange ; et titrer à nouveau avec le même acide (HCl) jusqu'au virage du jaune au jaune orangé à $\text{pH} = 4.3$ (Figure 14). Noter le volume de HCl nécessaire pour ce titrage.



Figure 14 : Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC) (Photo originale, 2020).

2. Dosage de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA

Cette méthode permet de doser rapidement les ions calcium et magnésium ; avec certaines précautions, elle est appropriée à la plupart des types d'eaux (RODIER et *al.*, 2009).

- Principe

La dureté totale détermine la concentration en calcium et en magnésium dissous. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA). L'indicateur utilisé est le noir ériochrome, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium.

- Mode opératoire

Il est impératif d'introduire les composés dans l'ordre indiqué (Figure 15):

- Prendre 50 ml d'eau à analyser ;
- Ajouter 4 ml de solution tampon ammoniacal (pH=10);
- Ajouter 2 à 3 gouttes de Noir Eriochrome T ; et noter le changement de la couleur en violet ;
- Effectuer un titrage avec la solution E.D.T.A tout en continuant d'agiter constamment, jusqu'au virage de la coloration violâtre au bleu. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA
- Noter le volume V1 d'E.D.T.A nécessaire pour ce titrage;
- La teneur globale en calcium et magnésium est donnée par l'équation :

$$TH (mg/l) = \frac{C1 * V1}{V0}$$

Avec :

TH : teneur globale en calcium et en magnésium (mg/l) ;

C1 : concentration de la solution de l'EDTA ;

V1 : volume de la solution de l'EDTA utilisé pour le titrage (ml) ;

V0 : volume de l'échantillon (ml).



Figure 15 : Dosage de la dureté totale par titrimétrie à l'EDTA (Photo originale, 2020).

3. Dosage du calcium

- Principe

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide (HSN), qui forme un complexe rose avec le calcium.

Lors du dosage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions calcium libres, puis avec les ions combinés avec l'indicateur qui vire alors de la couleur rose à la couleur bleu claire.

- Mode opératoire

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et 0,2 g d'indicateur HSN (Murexide) et noter le changement de la couleur en rose. Bien mélanger le tout. Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement jusqu'à virage de la couleur rose au bleu (Figure 16).

La teneur en calcium, exprimée en mg/l, est donnée par l'équation suivante :

$$C_{Ca} \text{ (mg/l)} = \frac{C1 \times V1 \times A}{V0}$$

Avec : C_{Ca} : teneur en calcium mg/l ;

$C1$: la concentration en EDTA (mM) ;

$V0$: le volume de la prise d'essai (ml) ;

$V1$: le volume de la solution de l'EDTA utilisé pour le dosage (ml) ;

A : masse atomique relative du calcium.



Figure 16 : Dosage du calcium par titrimétrie à l'EDTA (Photo originale, 2020).

4. Dosage du magnésium

- Principe

Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, il est facile par différence de calculer la dureté magnésienne, qui est donnée par la formule suivante :

$$CMg \text{ (mg/l)} = C(Ca + Mg) - C Ca$$

Avec : C_{Mg} (mg/l) : teneur en magnésium (mg/l) ;

$C_{(Ca+Mg)}$: teneur globale en calcium et en magnésium ;

C_{Ca} : teneur en calcium.

5. Dosage des chlorures (méthode de Mohr)

- Principe

Les ions chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur rouge caractéristique du chromate d'argent (RODIER *et al.*, 2009).

- Mode opératoire

Introduire 100 ml de l'échantillon, ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium K_2CrO_4 (coloration jaunâtre), et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent $AgNO_3$ jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre (Figure 17).



Figure 17 : Dosage des chlorures (Photo originale, 2020).

6. Dosage du potassium et du sodium par spectrophotométrie d'émission à flamme

Lorsqu'une solution est pulvérisée dans une flamme, l'eau ou le solvant s'évapore ; les sels et leurs produits de décomposition sont dissociés à l'état d'atomes ou de radicaux. Ceux-ci sont excités par l'énergie thermique de la flamme ; leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'une radiation de fréquence caractéristique de l'élément mis en solution et dont l'intensité est fonction de sa concentration (RODIER *et al.*, 2009).

6.1. Dosage du potassium

Dissoudre 1,907 g de KCl dans un litre d'eau distillée. Cette solution a, ainsi, une concentration égale à 1000 mg/l de potassium. A partir de cette solution, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l. Faire passer au photomètre à flamme la solution de 10 mg/l trois fois, et ça doit afficher « 10 ». Ensuite, faire passer les échantillons. Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon (Figure 18).

6.2. Dosage du sodium

Peser 2,54g de NaCl, le dissoudre dans l'eau distillée et compléter à un litre. Cette solution a une concentration de 1000 mg/l de sodium, elle est conservée. Par dilution, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l. Faire passer au photomètre à flamme la solution de 10 mg/l trois fois, et ça doit afficher « 10 ». Ensuite, faire passer l'échantillon. Si la concentration en sodium dépasse 10 mg/l, procéder à la dilution de l'échantillon (Figure 18).



Figure 18 : Dosage du potassium et du sodium par spectrophotométrie d'émission à flamme
(Photo originale, 2020).

7. Dosage des sulfates

- Principe

Les ions sulfates présents dans les eaux de sources à analyser ont été identifiés par la spectrométrie d'adsorption. Les ions sulfates de l'échantillon réagissent avec le baryum du sulfate pour former un précipité de sulfate de baryum.



- Mode opératoire

On prend un volume de 100 ml d'eau à analyser, on y ajoute 5 ml de solution stabilisante et 2 ml de chlorure de baryum. Le mélange est ensuite agité pendant 1mn, puis analysé par spectrophotomètre d'absorption à une longueur d'onde $\lambda=420$ nm.

VI.3.3. Méthodes d'analyses des paramètres indésirables et de pollution

Les paramètres de pollution tels que l'ammonium, les nitrites, les nitrates, les phosphates présents en solution dans l'eau de source ont été identifiés par spectrométrie d'adsorption. La concentration en polluants est affichée directement en mg/l par le spectromètre.

VI.3.3.1. Les paramètres de pollution

1. Dosage d'ammonium

- Principe

C'est un dosage spectrométrique du composé bleu formé suite à la réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) de sodium (nitroprussiate de sodium).

- Mode opératoire

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre (Figure 19) :

- 4 ml du réactif coloré homogénéisé, il y'aura apparition d'une coloration jaune clair ;
- 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser ;
- 2 ml d'eau distillée afin d'ajuster la solution jusqu'à 50 ml (trait de jauge).

Attendre le développement de la couleur 60mn minimum. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655 nm comme procédé pour la gamme d'étalonnage.

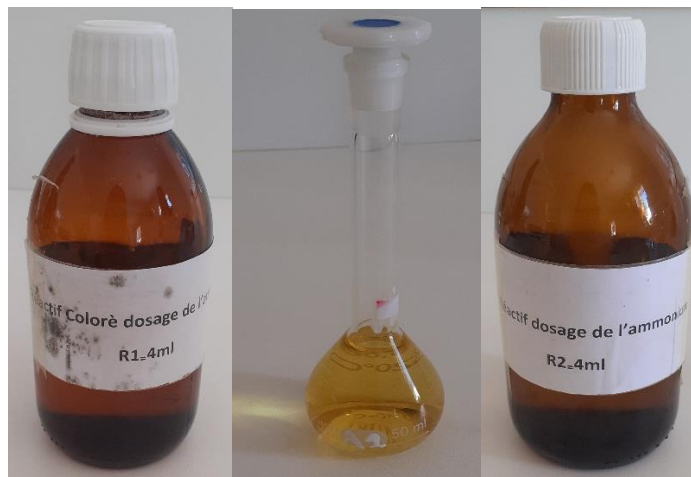


Figure 19 : Dosage d'ammonium (Photo originale, 2020).

2. Dosage des ions nitrites

- Principe

Le nitrite présent dans l'échantillon réagit avec l'acide sulfanilique pour former un sel intermédiaire de diazonium. Ce dernier se combine à l'acide chromo tropique pour produire un complexe de couleur rose dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration de nitrite dans la solution.

- Mode opératoire

Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte et laisser reposer 15 à 20 mn. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- , et dans le cas contraire on ne note aucun changement de couleur. Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm) (Figure 20).



Figure 20 : Dosage des ions nitrites (Photo originale, 2020).

3. Dosage des ions nitrates

- Principe

Le nitrate présent dans l'échantillon réagit avec l'acide chromo tropique en condition fortement acide pour former un produit jaune. Le dosage se base sur la réaction des nitrates avec le diméthyl-2,6 phénol en présence des acides sulfuriques et phosphoriques, avec production du nitro-4 diméthyl -2,6 phénol.

- Mode opératoire

Introduire 35 ml du mélange acide dans une fiole puis ajouter 5ml de l'échantillon et 5ml de diméthyl-2,6 phénol. Mélanger soigneusement le contenu et laisser reposer pendant 10 min. L'apparition de la coloration jaune indique la présence des NO_3^- , la concentration en nitrate est la valeur donnée par spectrophotomètre à une longueur d'onde $\lambda=324\text{nm}$ (Figure 21).



Figure 21 : Dosage des ions nitrates (Photo originale, 2020).

4. Dosage de phosphate

- Principe

C'est une réaction des ions orthophosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

- Mode opératoire

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

- 1 ml d'acide ascorbique ;
- 2 ml de réactif mélange ;
- Ajuster jusqu'à 50ml.

L'apparition d'une coloration bleue indique la présence des phosphates. Mesurer l'absorbance à une longueur d'onde $\lambda=880$ nm (Figure 22).



Figure 22 : Dosage de phosphate (Photo originale, 2020).

5. Dosage de la matière organique

- Principe

L'indice de permanganate d'une eau est la concentration en masse d'oxygène équivalente à la quantité d'ions permanganates consommée quand un échantillon d'eau est traité par le permanganate dans les conditions définies.

L'échantillon d'eau est en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et d'acide sulfurique pendant une période donnée (10 minutes). Une partie du permanganate est réduite par les matières oxydables de l'échantillon. L'excès de permanganate est déterminé par addition d'un excès d'oxalate, suivie par un titrage de l'oxalate en excès par du permanganate.

- Mode opératoire
- Transférer à l'aide d'une pipette, 100 ml d'échantillon dans un bécher de 250 ml. Ajouter 20 ml d'acide sulfurique 2 mol/l et mélanger en agitant doucement ;
- Placer le bécher sur une plaque chauffante et porter à ébullition ;
- Ajouter 20 ml de la solution étalon 2 millimoles/l de permanganate de potassium (apparition d'une couleur violet) et démarrer le chronomètre et maintenir à l'ébullition pendant 10 minutes ;
- Après 10 min, ajouter à l'aide d'une pipette, 20 ml de la solution étalon d'oxalate de sodium 5 millimoles/l et attendre que la solution se décolore ;
- Retirer alors le bécher de la plaque et le poser sur l'agitateur après avoir au préalable placé une feuille blanche sur ce dernier (pour une meilleure vision de la coloration rose pâle à venir) ;
- Titrer, pendant que la solution est encore chaude, avec la solution titrante de permanganate de potassium 2 millimoles/l jusqu'à une coloration rose pâle persistante environ 30 s. Noter le volume V1 de permanganate consommé (Figure 23) ;
- Effectuer parallèlement à la détermination, un essai à blanc en utilisant le même mode opératoire, mais en remplaçant la prise d'essai par 100 ml d'eau distillée (de préférence sortant du purificateur). Noter le volume V0 de solution de permanganate consommé ;
- Conserver le blanc titré pour la vérification du permanganate de potassium :
 - Au blanc titré, ajouter 20 ml de la solution d'oxalate de sodium 5 millimoles/l. Réchauffer la solution 1 à 2 minutes (à environ 90°C) et retitrer avec le permanganate 2 millimoles/l jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistant 30 s.
 - Noter le volume V2 de solution de permanganate consommé, qui devrait être entre 19 et 21 ml.
- L'Indice de permanganate, I Mn, exprimé en milligrammes d'oxygène par litre, est calculé selon la formule :

$$I \text{ Mn} = \frac{(V_1 - V_0)}{V_2} * f$$

- **V0** : est le volume, en millilitres, de la solution de permanganate consommé dans le dosage du blanc.
- **V1**: est le volume, en millilitres, de la solution de permanganate consommé dans le dosage de la prise d'essai.
- **V2** : est le volume, en millilitres, de la solution de permanganate consommé lors de la vérification de la solution titrante.
- **f** : est le facteur correctif utilisé, compte tenu des unités, pour exprimer le résultat en milligrammes d'oxygène par litre. f est égal à 16.



Figure 23 : Détermination de l'oxydabilité au permanganate de potassium
(Photo originale, 2020).

VI.3.3.2. Les paramètres indésirables

1. Dosage du Fer

- Principe

Addition d'une solution de phénantroline à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm. Le complexe fer II- phénantroline est stable dans l'intervalle de pH de 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer.

- Mode opératoire
- Prélever 50 ml de l'échantillon ;
- Transvaser la solution dans une fiole de 100 ml, ajouter 1 ml de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement (Figure 24) ;
- Ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3,5 et 5,5 de préférence 4,5 ;
- Ajouter 2 ml de la solution phénantroline et conserver pendant 15 min à l'obscurité ;
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption ;
- Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l du fer.



Figure 24 : Dosage de Fer (Photo originale, 2020).

2. Dosage de manganèse

- Principe

C'est une réaction des ions manganèses avec une solution de formaldoxime susceptible de former un complexe rouge orangé mesurable à la longueur d'onde de 450 nm dans un domaine de pH situé entre 9.5 et 10.5.

- Mode opératoire

Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2 ml de réactif mélange dans une fiole jaugé de 50 ml. Compléter le volume. Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l de Manganèse.

VI.3.4. Méthodes d'analyses bactériologiques

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes, soit, ce qui est souvent plus aisé, celles qui les accompagnent et qui sont souvent présentes en plus grand nombre dans l'intestin des mammifères et sont, donc par leur présence, indicatrices d'une contamination fécale et par conséquent, des maladies associées à la contamination fécale (Rodier et *al.*, 2009). Nous avons effectué pendant notre travail la recherche des germes indicateurs de pollution qui sont :

- Les coliformes totaux;
- Les *Escherichia Coli* ;
- Les Entérocoques (streptocoques fécaux).

1. Recherches et dénombrement des coliformes totaux.

La recherche de la présence de bactéries fécales permet d'évaluer la qualité sanitaire globale. Les coliformes fécaux ou thermo tolérants constituent un bon indicateur de contamination des eaux par les matières fécales. Cette recherche se pratique par la méthode suivante:

Méthode de dénombrement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable(NPP)

- Principe

On entend par coliformes, les bactéries qui sont capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures, à une température comprise entre 36 et 37°C. Les *Escherichia Coli* sont des coliformes thermo tolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à 44 °C.

- Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des bactéries coliformes, coliformes thermo tolérants et des *Escherichia Coli* dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- Test de présomption : réservé à la recherche des coliformes ;
- Test de confirmation : réservé à la recherche des coliformes thermo tolérants et Escherichia Coli.

1) Test de présomption

Ensemencer une série de 9 tubes contenant de milieu de BCPL (avec cloche de Durham), dont 3 tubes de 10ml diluée avec 10 ml de l'eau, 3 tubes de 10 ml diluée avec 1 ml et 3 tubes de 10 ml diluée avec 0,1ml d'eau.

Chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

L'incubation se fait à 37°C pendant 48 heures (Figure 25).



Figure 25 : Dénombrement des coliformes totaux par NPP (Photo originale, 2020).

La lecture

Après incubation, les tubes considérés comme positifs présentent :

- Un trouble microbien (dépôt violacé) ;
- Dégagement de gaz (supérieur au 1/10^{ème} de la cloche).

2) Test de confirmation

- Pour la recherche des coliformes thermo (Figure 26)

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes feront l'objet d'un repiquage dans les tubes contenant du B.L.V.B muni d'une cloche de Durham, chasser l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

La lecture

- Un trouble microbien, avec virage du violet au jaune ;
- Un dégagement de gaz dans la cloche.

➤ Pour la recherche des Escherichia Coli (Figure 26)

Les tubes de BCPL trouvés positifs lors du dénombrement des coliformes feront l'objet d'un repiquage dans les tubes contenant du Tryptophane. Puis incuber à 44°C pendant 24 heures.

La lecture

Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par Escherichia coli après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.



Figure 26 : Dénombrement des coliformes thermo et Escherichia Coli (Photo originale, 2020).

2. Recherches et dénombrement des entérocoques

Méthode par ensemencement en milieu liquide pour détermination du nombre le plus probable (méthode en tubes)

- Principe

Les principes généraux de la méthode sont ceux décrits précédemment pour la colimétrie en milieux liquides. Alors que le tube primaire contient déjà une certaine quantité d'acide de sodium, le repiquage des tubes positifs sur un milieu nettement plus inhibiteur (plus forte concentration en acide de sodium et présence d'éthyle violet), ne laisse se développer que les streptocoques fécaux (RODIER et al, 2009).

- Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux dans les eaux se fait en deux étapes consécutives :

1) Test présomptif

- Ensemencer une série de 9 tubes contenant de milieu de Rothe, dont 3 tubes de 10ml diluée avec 10 ml de l'eau, 3 tubes de 10 ml diluée avec 1 ml et 3 tubes de 10 ml diluée avec 0,1ml d'eau (Figure 27);
- Veiller à ce qu'aucune évaporation ne soit produite dans le milieu ;
- Homogénéiser et agiter le contenu des tubes ;
- Incuber les tubes à 37°C et les examiner après 48h.

La lecture

Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période sont présumés contenir un streptocoque fécal est sont soumis au test confirmatif.

2) Test confirmatif

Après agitation des tubes positifs, prélever sur chacun d'eux, successivement, quelques gouttes et les reporter dans des tubes du milieu de Bouillon EVA Litsky. Incuber à 37°C pendant 24 heures.

La lecture

Apparition d'un trouble microbien et un virage de couleur (rose) qui confirme la présence d'un streptocoque fécal.

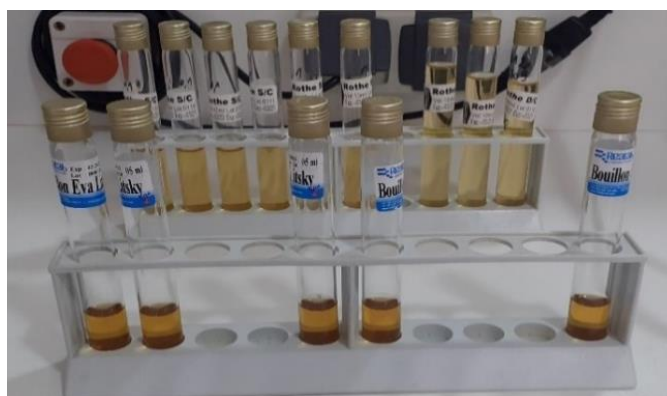


Figure 27: Ensemencement en milieu liquide pour dénombrement des entérocoques (Photo originale, 2020).

CHAPITRE VII

Résultats et Discussions

VII.1. Interprétation des résultats des analyses organoleptiques

❖ La couleur (mg/l Echelle Pt)

L'eau de la source Thabout était incolore durant la période étudiée, ceci est dû à l'absence des substances dissoutes dans l'eau, plus exactement à la carence des ions métalliques fer ferreux (Fe^{2+}) et fer ferrique (Fe^{3+}), qui sont les facteurs principaux du changement de la couleur d'eau.

❖ L'odeur à 25°C

L'eau de la source Thabout était inodore après notre analyse, ce qui indique probablement l'absence de produits chimiques, de matières organiques en décomposition et de protozoaires.

VII.2. Interprétation des résultats des analyses physico-chimiques

❖ Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif d'une eau, il est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre [7,2 - 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). La figure suivante représente les valeurs du pH pour la source étudiée en fonction du temps :

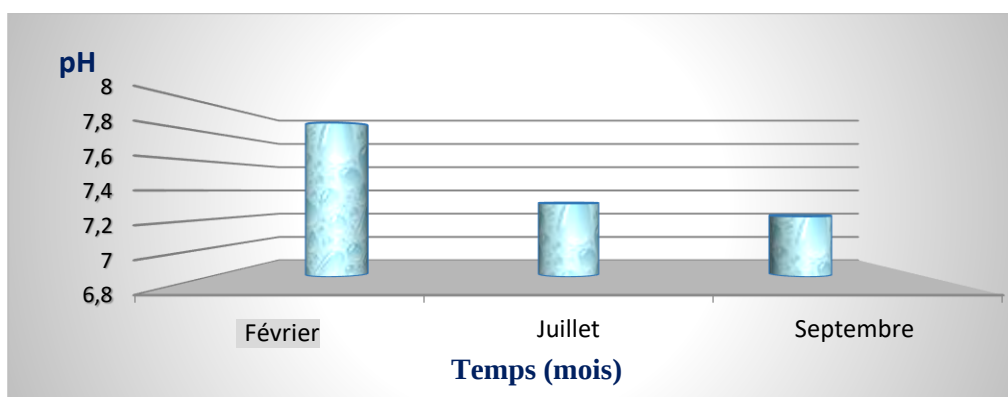


Figure 28 : Variation du pH en fonction du temps.

Pour la source Thabout le pH est généralement neutre durant les trois prélèvements, ceci est conforme aux normes algériennes qui fixent les valeurs du pH entre 6.5 et 9.

La valeur du pH enregistrée au mois de Février est légèrement neutre à alcalin par rapport à celles du mois de Juillet et Septembre ce qui pourrait être liée à la température d'analyse, selon RODIER(1996), toute augmentation de température entraine une augmentation du pH.

Pour rappel, l'OMS précise qu'un faible pH peut causer des problèmes de corrosion et un pH élevé entraine des problèmes organoleptiques. Pour cela il est recommandé un pH inférieur à 8 pour une bonne désinfection par le chlore.

❖ La conductivité à 25 °C

La conductivité des eaux naturelles fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment, sa mesure permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est riche en sel minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. Celle-ci varie également en fonction de la température (RODIER et al., 2008). La figure suivante représente les valeurs de la conductivité en ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 25° C, pour la source Thabout en fonction du temps :

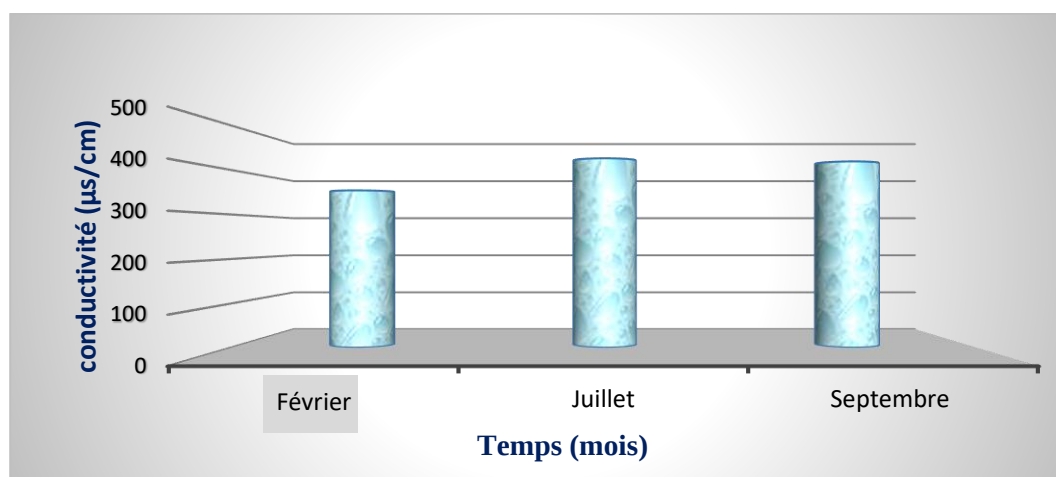


Figure 29 : Variation de la conductivité en fonction du temps.

Pour la source Thabout, les valeurs enregistrées de la conductivité électrique sont relativement élevées au mois de juillet et septembre par rapport à celle du mois de février, ce qui est lié à la température qui favorise la mobilité des ions. Les teneurs de la conductivité relevées pour la source étudiée sont comprises entre [354 - 426 $\mu\text{s}/\text{cm}$], qui restent conformes à la norme algérienne indiquant une valeur limitée de 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et selon les critères d'appréciation globale de la qualité de l'eau, on qualifie notre eau brute d'eau à minéralisation moyenne (REJSEK, 2002).

❖ La température

Les eaux souterraines, dont la température au cours des saisons est d'environ 12 à 15°C, sont évidemment moins sensibles aux variations de température que les eaux superficielles dont la température varie de 2 à 30°C (RODIER et *al.*, 2009). Ces variations influent sur certains paramètres tels que le pH et la conductivité. La figure suivante représente les valeurs de la température, pour la source Thabout en fonction du temps :

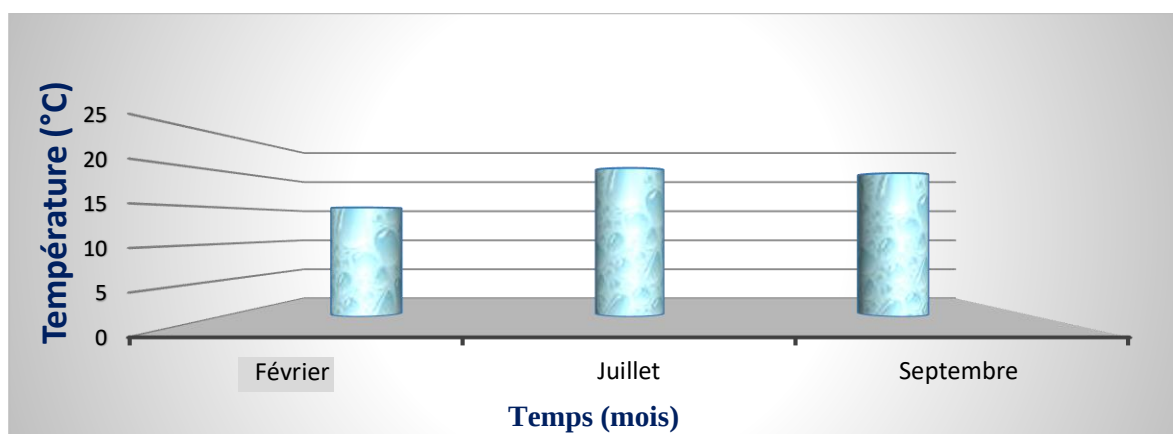


Figure 30 : Variation de la température en fonction du temps.

Cette figure montre que la température de notre source varie entre les saisons d'échantillonnage (hiver et été) dans un intervalle compris entre [15 - 20,4 °C]. De telles valeurs sont conformes aux normes fixées par l'O.M.S 1986 (25° C) et aux normes algériennes (30° C). Nous avons noté que cette eau est de type mésothermal au mois de juillet et pour les mois de février et septembre elle est de type minéral. D'après nos résultats, nous remarquons une baisse de température au mois de février et une augmentation au mois de juillet et septembre, nous constatons, alors, que les variations de températures d'eau suivent celle de l'air qui dépend du climat de la région.

❖ La turbidité

La mesure de la turbidité permet de donner une information visuelle sur l'eau qui est liée à la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...etc.); elle peut être favorisée par la pluviométrie (RODIER et *al.*, 2009).

La figure suivante représente les valeurs de la turbidité, pour la source Thabout en fonction du temps :

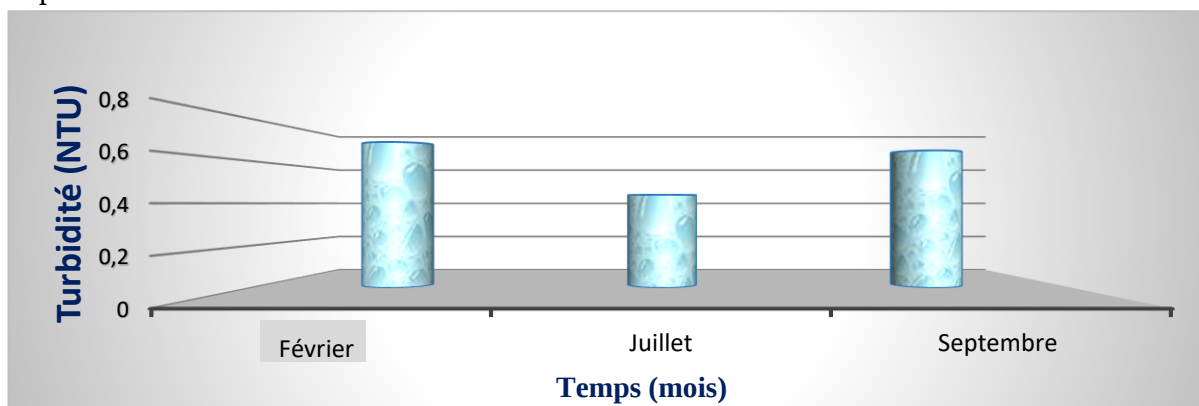


Figure 31 : Variation de la turbidité en fonction du temps.

Nous avons pu observer, d'après les résultats de la turbidité obtenue pour la source étudiée, que les valeurs varient entre [0,44 - 0,69 NTU]. Toutes ces valeurs sont largement en dessous de la norme maximale de 5 NTU fixée par l'OMS. Ceci nous permet de dire que cette eau est claire.

VII.3. Interprétation des résultats des analyses de la minéralisation globale

❖ Titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs relatives du titre alcalimétrique complet permettent de connaître les quantités de carbonates et d'hydrogénocarbonates alcalins présents dans l'eau. L'augmentation de ces derniers, donc élévation du TAC, est engendrée par l'augmentation de la concentration des ions calcium et magnésium dans le cas d'une diminution du débit d'une source. La figure suivante représente les valeurs de TAC, pour la source Thabout en fonction du temps :

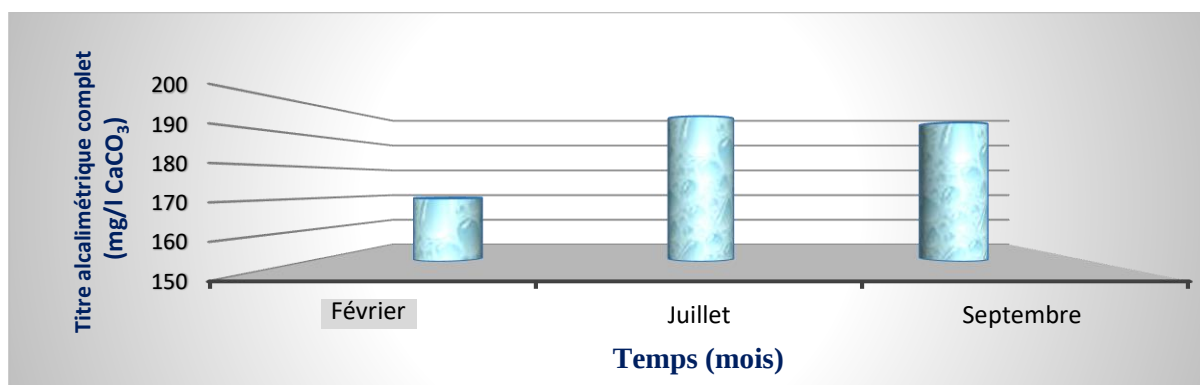


Figure 32 : Variation du Titre alcalimétrique complet TAC en fonction du temps.

D'après l'histogramme, nous remarquons que la valeur du TAC au mois de février est faible (170 mg/l CaCO_3) comparée à celle du mois de juillet et septembre (respectivement : 196 et 194 mg/l CaCO_3). Ces valeurs ne dépassent pas les normes algériennes de la potabilité qui sont fixées à 500mg/l CaCO_3 . En effet, plus le TAC augmente, plus les ions du calcium et magnésium augmente pendant la période d'été où le débit de notre source est faible.

❖ La dureté totale

La dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et magnésium. Il n'est pas facile de définir un niveau entre ce qui constitue une eau dure et une eau douce. Cependant, nous pouvons considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75 mg/l de CaCO_3 ou à 30 mg/l de Ca est une eau douce et qu'au-dessus, il s'agit d'une eau dure (RODIER et *al.*, 2009). La figure suivante représente les valeurs de la dureté totale, pour la source Thabout en fonction du temps :

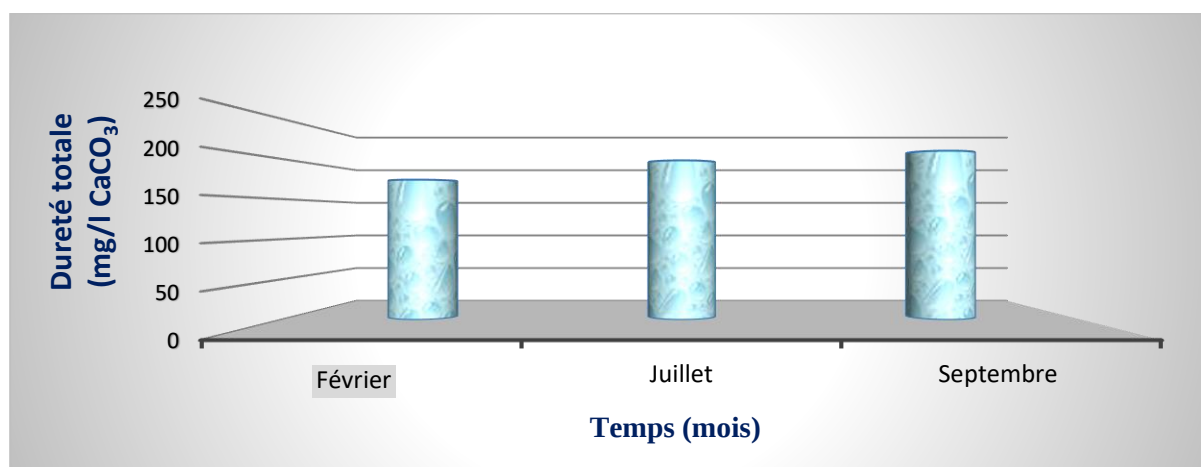


Figure 33 : Variation de la dureté totale en fonction du temps.

L'étude de ce paramètre montre que les concentrations de TH obtenues se situent dans l'intervalle [174 – 210 mg/l CaCO_3].

Nous déduisons que l'eau de la source Thabout est dure en hiver et très dure en été, selon la classification de RODIER. Toutefois, ses valeurs restent conformes aux normes indiquées par la réglementation Algérienne de 500 mg /l CaCO_3 .

❖ La dureté calcique et magnésienne

Le calcium et le magnésium sont les ions les plus répandus dans la nature et ils constituent les éléments significatifs de la dureté de l'eau. La teneur en calcium varie essentiellement

suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux), tandis que celle en magnésium dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. La figure ci-dessous représente les valeurs de la dureté calcique et magnésienne, pour la source Thabout en fonction du temps :

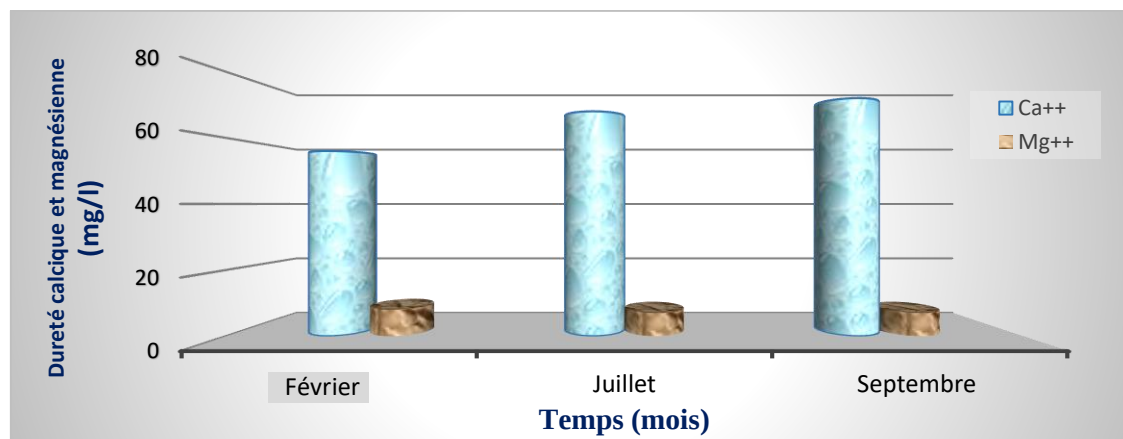


Figure 34 : Variation de la dureté calcique et magnésienne en fonction du temps.

- ***L'ion calcium***

Nos résultats montrent que la teneur du calcium dans l'eau de source est de [56 - 72mg/l], cette teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés de la région étudiée.

Le calcium existe surtout à l'état d'hydrogencarbonates, on le trouve, aussi, en quantité moindre sous forme de sulfates, de chlorures...etc. (RODIER, 1996). Les concentrations des échantillons analysés restent inférieures à la concentration maximale admissible décrétée par les normes Algériennes 200 mg/l.

- ***L'ion magnésium***

Nos résultats montrent que la teneur du magnésium est stable dans l'eau de source Thabout. Les valeurs obtenues sont toutes comprises dans l'intervalle des normes algériennes qui fixent le taux de Mg^{+2} à des valeurs inférieures à 150 mg/l. Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (DEBIECHE, 2002).

❖ Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Ils interviennent dans la désinfection de l'eau. Les teneurs élevées en chlorures ne présentent aucun risque sur la santé publique, mais à partir de 250 mg/l ils donnent à l'eau une saveur désagréable qui, toutefois, peut-être moins marquante en présence du calcium et du magnésium. La figure ci-dessous représente les valeurs des chlorures, pour la source Thabout en fonction du temps :

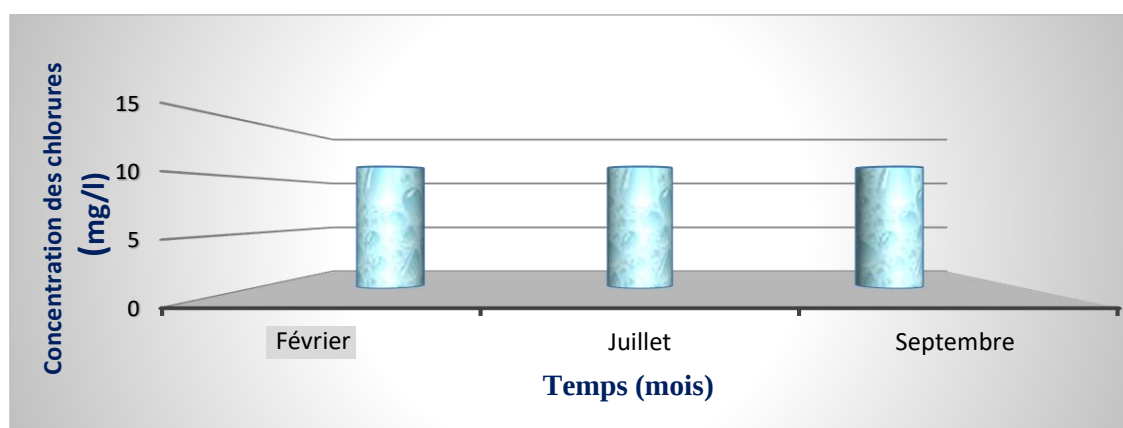


Figure 35 : Variation de la concentration des chlorures en fonction du temps.

L'eau de source échantillonnée présente des teneurs faibles en chlorures par rapport à la valeur guide algérienne de 200 mg/l et fixe une valeur limite de 500 mg/l. Nous avons enregistré une valeur stable de 11 mg/l durant la durée du prélèvement.

❖ Potassium

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 12 mg/l. À de telles valeurs, le potassium ne présente pas de risques pour la santé des individus, il est issu naturellement des roches métamorphiques et des argiles (RODIER, 1996). La figure ci-dessous représente les teneurs en potassium, pour la source Thabout en fonction du temps :

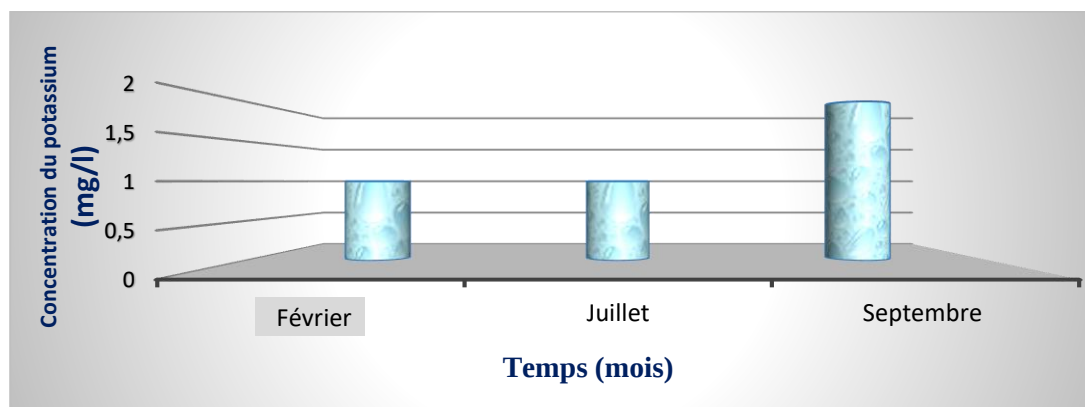


Figure 36 : Variation de la concentration du potassium en fonction du temps.

Les résultats d'analyses de l'eau de Thabout ont montré de faibles teneurs en K^+ , ces concentrations sont très inférieures aux normes exigées par l'Algérie. Néanmoins, nous remarquons une légère augmentation au mois de septembre. En effet, malgré son abondance, le potassium est généralement peu concentré dans les eaux naturelles, cette particularité s'explique par la difficulté de la mobilisation de l'ion K^+ dans les eaux souterraines et les concentrations ne dépassent généralement pas les 10 mg/L.

❖ Sodium

Le sodium reste un élément constant dans l'eau grâce à sa grande solubilité. Il provient du lessivage du dépôt des sels tel que les chlorures de sodium, les silicates de sodium, en surface et dans le sol.

Le sodium est un élément essentiel pour maintenir l'équilibre d'hydratation du corps. Il est donc indispensable d'en consommer en quantité suffisante mais pas en excès. Ces excès présentent des risques, principalement, pour les nourrissons et les personnes atteintes de troubles cardiaques, vasculaires et rénaux. La figure ci-dessous représente les teneurs en sodium pour la source Thabout en fonction du temps :

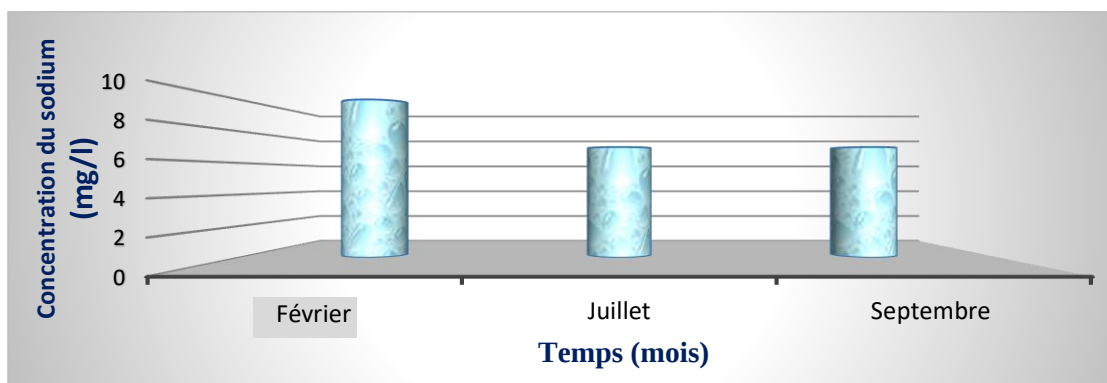


Figure 37 : Variation de la concentration du sodium en fonction du temps.

Les résultats montrent que l'eau de Thabout présente une teneur faible en Na^+ [7- 10 mg/l], cela pourrait s'expliquer par l'absence du sodium dans les terrains traversés par cette eau. Les concentrations obtenues sont nettement inférieures aux normes exigées par l'Algérie et qui est de 200 mg/l.

❖ Sulfates

Certains sols et certaines pierres contiennent des minéraux de sulfate, comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau. Parmi les minéraux qui contiennent du sulfate, on peut citer le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse) (LENNTECH, 2017). La concentration en ions sulfates des eaux naturelles est très variable dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfate minéraux, elle peut atteindre 30 à 50mg/l, mais ce chiffre peut être largement dépassé dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé (RODIER et *al.*, 2009). La figure ci-dessous représente les teneurs en sulfates pour la source Thabout en fonction du temps :

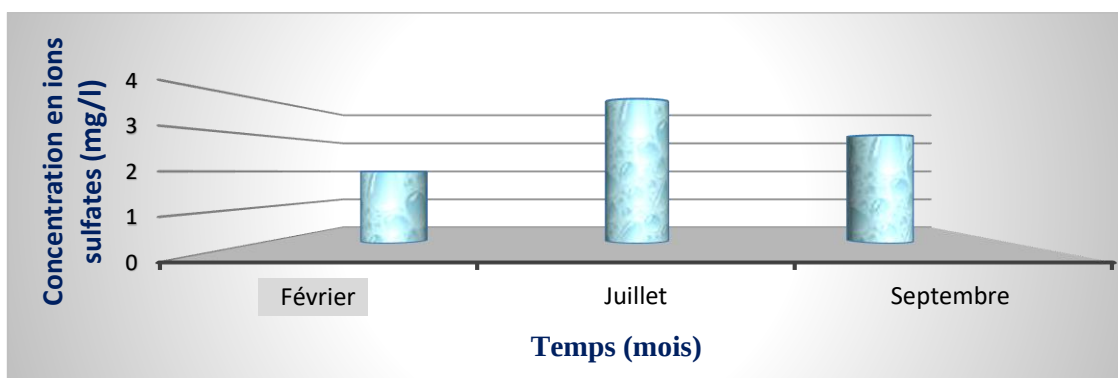


Figure 38 : Variation de la concentration en ions sulfates en fonction du temps.

Les valeurs des sulfates trouvées au niveau de la source étudiée sont comprises entre [2- 4 mg/l], elles restent inférieures à la concentration minimale et maximale admissible décrétée par les normes algériennes (400 mg/l). Selon RAMADE (1998), ces résultats seraient dus à la géologie des terrains traversées qui présentent un faible taux de gypse ainsi qu'aux temps réduits de contact eau-roche.

VII.4. Interprétation des résultats d'analyses des paramètres de pollution

L'histogramme ci-dessous représente les différents paramètres de pollution analysés pour la source Thabout en fonction du temps :

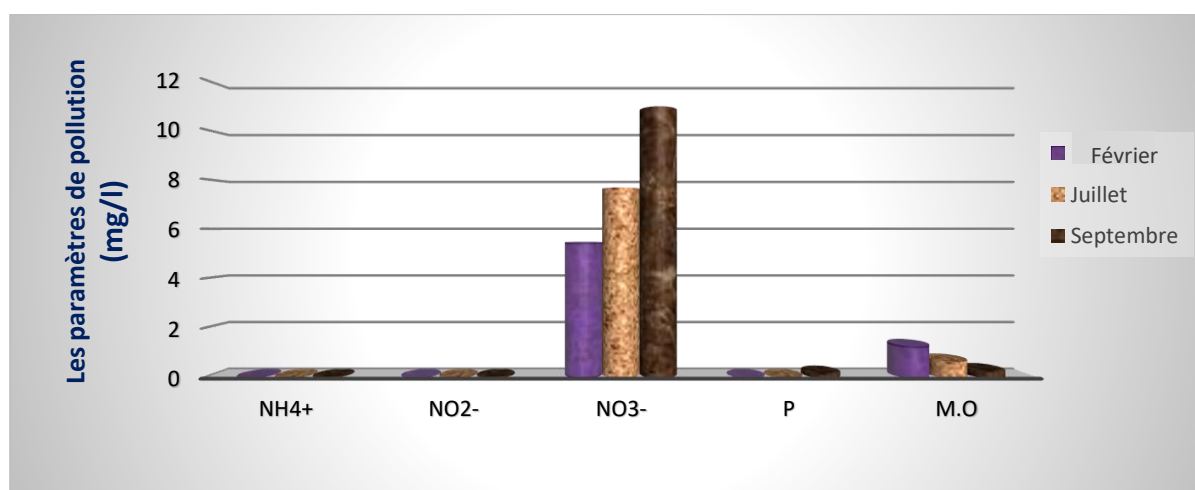


Figure 39 : Les teneurs des différents paramètres de pollution.

❖ Ammonium

Les eaux profondes peuvent être chargées en ammonium par réduction des nitrates sous l'action des bactéries (RODIER, 2005). L'ammonium (NH_4^+) n'a pas d'effets sur la santé du consommateur, mais s'il dépasse la norme fixée à 0.5 mg/l, il sera considéré comme indicateur de pollution de l'eau, ainsi il doit être éliminé dans les eaux de consommation, car c'est un élément qui peut permettre à certaines bactéries de proliférer dans les réseaux de distribution et provoquer des goûts désagréables quand il réagit avec le chlore pour former les chlora-mine. Dans notre cas, les concentrations en ammonium sont nulles durant toute la période d'échantillonnage, cela signifie une absence totale d'une pollution ammoniacale.

❖ Nitrites

Les nitrites sont des indicateurs de pollution. Ils constituent le stade intermédiaire entre les ions ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-), ils proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammonium soit d'une réduction des nitrates. Si les nitrites dépassent la valeur limite de 0,2 mg/l dans l'eau, ils dégradent sa qualité et pourraient affecter la santé humaine. Pour notre source, cet élément n'est pas présent.

❖ Nitrates

Les nitrates sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Toutes les formes d'azotes sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable suivant la saison et l'origine des eaux ; il peut aller de 1 à 15 mg/l (RODIER et *al.*, 2009). Les résultats de nos analyses sont compris entre [5,44 -10,89 mg/l], ils révèlent que la source Thabout est dans la norme durant les trois périodes d'échantillonnages, ceci est dû au fait que cette source est située au pied de la montagne.

❖ Phosphore

Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol ; leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution (RODIER et *al.*, 2009). D'après la figure 39, les teneurs en phosphates sont nulles en mois de février et juillet, cela nous renseigne de l'absence totale d'une pollution organique. Mais on note une légère augmentation (0,14 mg/l) au mois de septembre, ceci résulte d'une pollution humaine (eau de rejets, engrais ...etc.).

❖ Matière organique

L'analyse de la matière organique oxydable en milieu acide est un test qui permet d'évaluer la quantité de matière organique et des substances réductrices oxydables présentes dans l'eau. Une eau est dite très pure pour une teneur en matière organique inférieure à 1 mg/l. Selon la classification de RODIER (2006) :

- Une eau est dite potable pour des teneurs comprises entre 1 et 2 mg/l ;
- Une eau est dite suspecte pour des teneurs comprises entre 2 et 4 mg/l ;

- Une eau est mauvaise pour des teneurs supérieures à 4 mg/l.

Selon cette classification, l'eau de Thabout en période hivernale, est dite potable car sa valeur est de 1,28 mg/l, et nous constatons une diminution en période estivale qui atteint 0,25 à 0,66 mg/l, à ce stade, cette eau est dite très pure pour une teneur, en matière organique, inférieure à 1 mg/l.

VII.5. Interprétation des résultats d'analyses des paramètres indésirables

L'histogramme ci-dessous représente les teneurs en éléments indésirables analysés pour la source Thabout en fonction du temps :

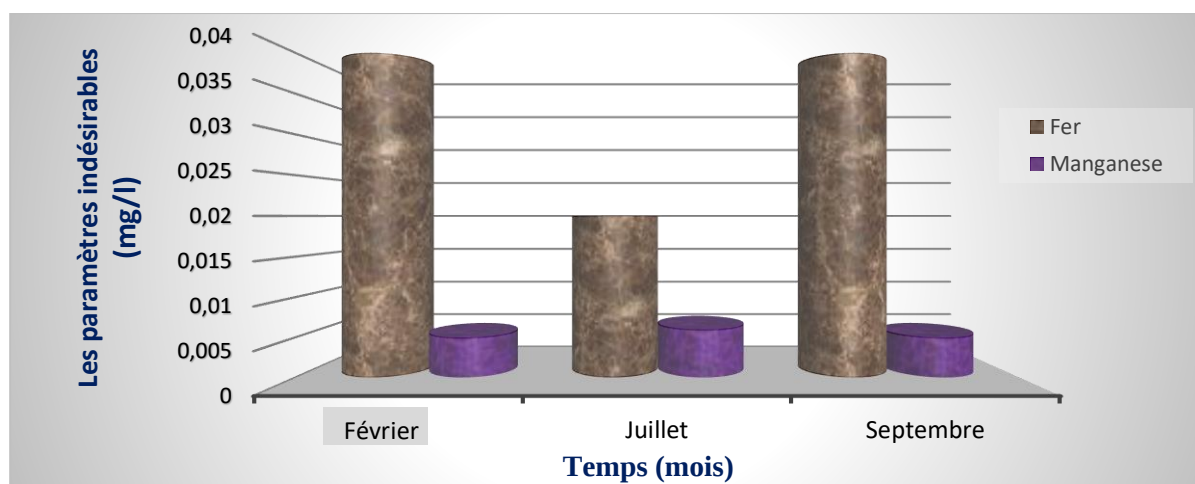


Figure 40: Les teneurs des éléments indésirables en fonction du temps

❖ Fer

Le fer est très réparti dans la nature, il se trouve sous différentes formes et généralement à l'état ferreux qui est assez soluble dans l'eau. L'excès de fer ne présente pas une toxicité particulière pour l'organisme, mais il peut provoquer bien des problèmes de coloration de l'eau.

Les teneurs obtenues pour notre source sont de 0,02 mg/l au mois de juillet et de 0,04 mg/l au mois de février et septembre, ces valeurs restent conformes à la limite fixée par l'Algérie à 0,3 mg/l.

❖ Manganèse

Le manganèse est très réparti dans la nature, dans certaines eaux souterraines la teneur en (Mn) est 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.

Du point de vue gustatif, le manganèse peut donner un goût désagréable à l'eau, même à de faibles doses (0,02 mg/l) (RODIER *et al.*, 2009). Les valeurs enregistrées de la concentration en manganèse sont stables (0,005 mg/l) durant les trois périodes. Ces concentrations sont toutes inférieures à la valeur recommandée par l'O.M.S qui est de 0.5 mg/l, cela peut s'expliquer par le fait que les terrains traversés sont pauvres en cet élément.

VII.6. Interprétation des résultats d'analyses bactériologiques

Le dénombrement des germes totaux est considéré comme un d'indicateur de pollution microbiologique ; celui-ci détermine la totalité de la charge bactérienne.

Le tableau ci-dessous représente les résultats des analyses bactériologiques de la source Thabout durant les trois périodes :

Tableau 14 : Variation des paramètres bactériologiques.

Temps (mois) Les germes	Février	Juillet	Septembre	Les normes algériennes
Coliformes totaux (n/100ml)	100	240	1100	<50
Escherichia Coli (n/100ml)	80	21	1100	<20
Entérocoques (n/100ml)	19	38	15	<20

❖ Les coliformes totaux

La présence des coliformes totaux dans l'eau de source n'indique généralement pas une contamination d'origine fécale, néanmoins certaines souches identifiées peuvent dégrader la qualité bactérienne de l'eau. Cette dégradation peut être attribuée, entre autre, à une infiltration d'eau de surface dans la source. Par conséquent, cette détérioration présente un risque pour la santé publique. La charge en coliformes totaux au niveau de la source Thabout est élevée au mois de février et juillet (100 et 240 n/100ml) et est très élevée au mois de septembre (1100 n/100ml).

Ces résultats dépassent largement la norme qui est inférieure à 50 n/100ml. La forte concentration de ces bactéries indique un probable problème.

❖ Escherichia Coli

Les Escherichia Coli sont des indicateurs spécifiques d'une pollution fécale, leurs présences dans l'eau ne peuvent provenir que, quasi uniquement, des matières fécales des mammifères. Ce sont donc des témoins sensibles, indicateurs de matières fécales et donc potentiellement de pathogènes, du fait de leurs grandes quantités dans les fèces (RODIER *et al.*, 2009). Nos résultats ont montré que le nombre des E. Coli pour la source Thabout est très élevé au mois de septembre (1100 n/100ml) comparé au mois de février et juillet et aussi par rapport à la norme fixée par l'Algérie, ce qui confirme la présence d'une contamination bactériologique d'origine fécale. Ceci peut être expliqué par la présence des facteurs qui favorisent leur croissance et qui ont comme origines : les rejets domestiques.

❖ Entérocoques (Les streptocoques fécaux)

Les streptocoques fécaux sont des bactéries qui se retrouvent aussi dans le système digestif des humains et des animaux. La recherche de ces germes permet d'évaluer la qualité de l'eau et de détecter une contamination d'origine fécale.

D'après le bilan d'analyses effectuées sur l'eau de la source Thabout, les valeurs du mois de février et septembre sont inférieures à la norme fixée par l'Algérie ($<20n/100ml$), par contre, pour le mois de juillet la valeur obtenue dépasse de peu la norme citée précédemment, cela confirme la présence d'une contamination bactériologique fécale.

VII.7. Analyses statistiques

Tableau 15 : Bulletin d'analyses de la source Thabout

		février	juillet	septembre
Les paramètres de pollution	Ammonium (P1)	0	0	0
	Nitrites (P2)	0	0	0
	Nitrates (P3)	5,44	7,65	10,89
	Phosphore (P4)	0	0	0,14
	M.O (P5)	1,28	0,66	0,25
Les paramètres indésirables	Fer (I1)	0,04	0,02	0,04
	Manganèse (I2)	0,005	0,006	0,005
Les paramètres bactériologiques	Coliformes Totaux (B1)	100	240	1100
	E. Coli (B2)	80	21	1100
	Entérocoques (B3)	20	38	15

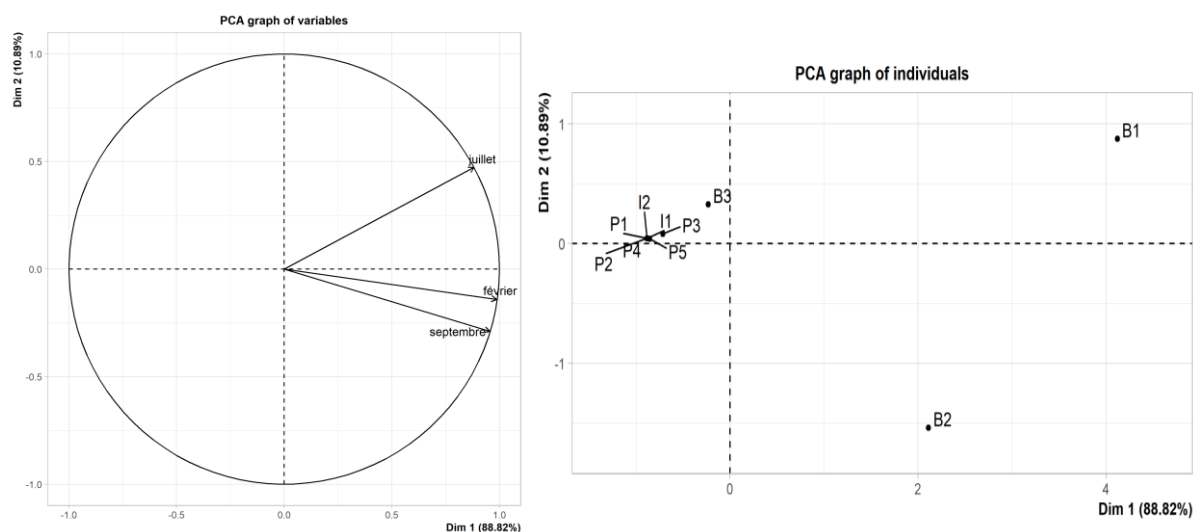


Figure 41 : Résultats d'analyses en composantes principales des paramètres de pollution, indésirables et bactériologiques.

D'après la figure 41 les 2 premiers axes de l'analyse expriment 99.7% de l'information

Les coliformes totaux et *E. coli* (B1 et B2) sont respectivement corrélés positivement par rapport aux mois de juillet et septembre cela s'explique par la hausse des températures de l'eau qui favorise leurs proliférations.

Les entérocoques (B3) et *E. coli* (B2) sont corrélés négativement.

Il n'y a pas de relation entre Les entérocoques (B3) et les coliformes totaux (B1)

Les entérocoques sont corrélés positivement avec les paramètres de pollutions ceci s'explique qu'elles sont des indicateurs de pollution qui peut être d'origine fécales.

Les paramètres de pollution ainsi que les indésirables se marginalisent nettement formant un ensemble de points corrélés positivement.



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Notre travail a pour but d'évaluer la qualité organoleptique, physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Thabout durant différentes périodes (février, juillet et septembre).

Au terme de notre étude, qui a porté sur les différentes analyses effectuées au laboratoire de l'ADE de Boukhalfa - wilaya de Tizi-Ouzou, nos résultats permettent de qualifier notre source sur plusieurs plans :

- ✓ Sur le plan organoleptique, les échantillons prélevés sont clairs et ne présentent ni odeur, ni saveur désagréable ;
- ✓ Sur le plan physico-chimique, la majorité des paramètres sont conformes aux normes algériennes en vigueur. Le pH enregistré reste neutre car la source se situe sur les hauteurs ;

La situation géomorphologique, surtout géologique, et le climat de la région de la source étudiée peut avoir une influence sur les teneurs en éléments constitutifs de l'eau. La nature géologique des terrains traversés par l'eau de source est à dominance calcaire ce qui a permis de la classer comme une eau bicarbonatée avec une prépondérance du carbonate de Calcium. Donc cette eau est qualifiée de très dure ;

- ✓ Sur le plan pollution organique, la source ne présente ni pollution ammoniacale ni pollution nitrique ;
- ✓ Sur le plan bactériologique, les résultats obtenus indiquent la présence simultanée de tous les germes et bactéries recherchés qui sont très abondante en période chaude (mois de juillet et septembre). La présence de ce nombre important de germes et de bactéries pathogènes (E. Coli, streptocoque) est un indicateur de contamination fécale qui pourrait être causée par les matières végétales ou pollution urbaine. La forte prolifération des microorganismes dans l'eau de la source Thabout indique la vulnérabilité de cette dernière et le manque de protection, de fait qu'elle soit proche des habitations et des rejets domestiques. Cette dégradation affecte la qualité de l'eau et par conséquent, la santé des consommateurs.

À la lumière des qualificatifs ci-dessus, l'eau de la source Thabout est une eau de mauvaise qualité bactériologique. Ceci est dû à la présence des coliformes, entérocoques et E. Coli. Ainsi cette eau est polluée et non potable d'après la grille de la qualité bactériologique de l'eau donnée par l'Institut Pasteur d'Algérie.

Conclusion générale

Pour améliorer et préserver l'eau de la source Thabout nous recommandons :

- ♦ De sensibiliser les habitants de la région à réduire leurs déchets domestiques afin de ne pas polluer l'environnement et de protéger ainsi les eaux souterraines.
- ♦ De sensibiliser les populations contre les eaux non-contrôlées et leur expliquer les risques éventuels ;
- ♦ Un suivi de la qualité des eaux utilisées par la population, car il reste toujours une probabilité que ces sources soient contaminées par diverses pollutions ;
- ♦ L'utilisation d'un adoucisseur d'échange d'ions pour adoucir une d'eau dure ;
- ♦ La conception du réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées ;
- ♦ De refaire les canalisations en PVC ;



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Références bibliographiques



- ♦ **ALAIN V et ALAIN B., 2005.** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Quae. France, 336p.
- ♦ **AMIARD J.C., 2011.** les risques chimiques environnementaux. 2^{ème} édition. Lavoisier : Tec & Doc. Paris. France, 744p.
- ♦ **ANCTIL F., ROUSSELLE J. et LAUZON N., 2013.** Hydrologie : cheminements de l'eau. 2^{ème} édition, Presses internationales polytechnique. Canada, pp 2-3.
- ♦ **ANONYME., 1972.** Organisation Mondiale de la Santé. Normes internationales applicables à l'eau de boisson. Genève.
- ♦ **ANONYME., 2003.** OMS (W.H.O) World Health Organisation Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. World Health Organisation.
- ♦ **ANONYME., 2005.** Centre d'Information sur l'Eau (C.I.E) disponible sur internet : www.cieau.com. 89p.
- ♦ **ANONYME., 2006.** Organisation Mondiale de la Santé. Lignes directrices en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, la sécurité en matière d'eau potable, 3^{ème} édition. ISBN 9242546380, Genève, 11 p.
- ♦ **ANONYME., 2007.** Contraintes et perspectives des aménagements hydroagricoles et antiérosifs en Algérie. Bulletin de recherches n° 12 I.N.R.F, 55 p.
- ♦ **ANONYME., 2007.** Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). L'eau, Codex alimentaire, 1^{ère} édition : Rome, 92p.
- ♦ **ANONYME., 2008.** Document interne à LAVALIN. La société Ondeo Dégrément (Mémento de L'eau) : processus de traitement des eaux destinées au personnel de maîtrise de SNC LAVALIN.
- ♦ **ANONYME., 2008.** Organisation Mondiale de la Santé. Directives de Qualité pour l'Eau de Boisson.
- ♦ **ANONYME., 2015.** Centre d'Expertise En Analyse Environnementale Du Québec. Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA. 115 – Cond. 1.1, rév. 1,



Références bibliographiques



Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 9p.

- ♦ **ANONYME., 2019.** Algérienne des eaux tizi-ouzou(a.d.e). Données physicochimiques et bactériologiques.
- ♦ **ANONYME., 2020.** Algérienne des eaux tizi-ouzou (**A.D.E**). Données de l'établissement public Algérienne des eaux, direction d'unité de Tizi-Ouzou.
- ♦ **AROUYA K., 2011.** Pollution des eaux. Edition universitaires européennes, pp 26-27.
- ♦ **ATTEIA O., 2015.** Chimie et pollutions des eaux souterraines. Lavoisier : Tec &Doc. Paris. France, 421p.
- ♦ **BALLOUKI K., 2012.** Etude de la Qualité Physico-chimique et Biologique de trois Sources dans la Région de Midelt (Haut Moulouya). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, pp 13-15.
- ♦ **BEAUCHAMP J., 2002.** Pollution et dépollution des nappes d'eau souterraine. Thèse de doctorat. Université de Picardie. Jules Verne, 235p.
- ♦ **BEAUCHAMP J., 2006.** Qualité et pollution des eaux souterraines. Thèse de doctorat. Université de Picardie. Jules Verne, 335 p.
- ♦ **BENKADDOUR N., 2015.** Contribution à l'étude de l'efficacité de la graine de Moringa oleifera dans la dépollution des eaux d'oued Safsaf. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agroforesterie. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, pp 18-20.
- ♦ **BONNIN J., 1982.** Aide-mémoire d'hydraulique urbaine. Edition : Eyrolles, pp 23-27.
- ♦ **BORDET J., 2007.** L'eau dans son environnement rural. Edition : Johanet. Paris, 309p.
- ♦ **BOUCENNA F., 2008.** Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière car de la plaine alluviale de l'oued Djendjen. Thèse de doctorat. Jijel, Nord-est Algérien. Algérie, 80p.
- ♦ **BOUCHARD M., 2008.** Évolution temporelle et modélisation des coliformes dans une source d'eau potable. Mémoire (M. Sc). Université de Laval. Québec, 98p.
- ♦ **BOURGOIS C.M., LEVEAU J.Y., 1991.** Technique d'analyse et de contrôle dans l'industrie agroalimentaire. Volume 3. Edition Lavoisier: Tec &Doc. Paris. France, 484p.



Références bibliographiques



- ♦ **BOUZIANI M., 2000.** L'eau : de la pénurie aux maladies. Ed: Ibn Khaldou, Tlemcen, 247p.
- ♦ **BRISOU J., DENIS F., 1978.** Hygiène de l'environnement maritime. Edition : Masson. Paris, 197p.
- ♦ **CARDOT C., 1999.** Les traitements de l'eau: procédés physico-chimiques et Biologiques, cours et problèmes résolus: génie de l'environnement. Edition : Ellipses. marketing. S.A, 71p.
- ♦ **CHERY L., DICTOR M.C., BARANGER P., MICHEL K., BARBIER J., CLOZEL B., TOUZE S. et BROSSELIN P., 2004.** Qualité des Eaux d'Alimentation. Edition : BRGM. France, 110p.
- ♦ **CHOCAT B., 2015.** L'eau du robinet est-elle différente de l'eau en bouteille? Méli Mélo. Université de Lyon, France, 14p.
- ♦ **CLAUDE ET GILLES., 2013.** Analyse des eaux. Ellipses. France, 288p.
- ♦ **COLAS R., 1976.** La pollution des eaux. Collection que sais-je P.U.F. 4^{ème} édition, 253p.
- ♦ **COLLIN, JEAN-JACQUES., 2004.** Les eaux souterraines. HERMANN EDITEURS DES SCIENCE ER DES ARTS. France : BERGM, 167p.
- ♦ **CÔTÉ M.J., LACHANCE C., LAMONTAGNE M., NASTEV R., PLAMONDON et ROY N., 2006.** Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay. Collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 64 p.
- ♦ **DEBIECHE TAHA-HOCINE., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, Azote, et Métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse. Hydrogéologie et Environnement. Université de Constantine, 47 p.
- ♦ **DEGREMONT., 2005.** Mémento technique de l'eau. Tome I. 10^{ème} édition Lavoisier : Tec & Doc. Paris. France, 1928 p.
- ♦ **DENHOVE., 1990.** Les eaux minérales. Volume 3. Edition: Lamy, 7 p.
- ♦ **DESJARDINS R., 1990.** Le traitement des eaux. 2^{ème} édition : revue et enrichie. Canada, 293 p.



Références bibliographiques



- ♦ **Données., 2012.** Plans directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU) de la commune d'Ait Bouaddou, wilaya de Tizi-Ouzou.
- ♦ **EL Morhit M., 2009.** Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences, écotoxicologues sur les différentes composantes d'un écosystème estrien (BASLOUKKAS).Thèse de doctorat. Université Mohammed V – AGDAL. Rebat, 260p.
- ♦ **FAURIE C., MEDORI P., DEVAUX J. et HEMPTIENNE J.L., 2003.** Ecologie Approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition : Lavoisier, 450p.
- ♦ **FELFOUL R., HADJYAHYA S., 1999.** Contribution au traitement des eaux d'oued boutane (Khemis Miliana) Choix d'un procédé d'épuration .Mémoire de fin d'étude. Centre université de Khemis Miliana, 94p.
- ♦ **GAID A., 1984.** Epuration biologique des eaux usées urbaines. Office des publications universitaires (OPU). Alger. Algérie, 261p.
- ♦ **GAUJOUS D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques. 2^{ème} édition : TEC & DOC. Lyon. France, 220p.
- ♦ **GAUJOUS D., 1998.** La pollution des milieux aquatiques. Edition: TEC & DOC. Paris, 220 p.
- ♦ **GENIN B., CHRISTIAN CH. et FRANCOISE M., 2003.** Cours d'eaux et indices biologiques : pollution, méthodes, IBGN. Édition : Educagri. France, 221 p.
- ♦ **GLEICK P.H., 2003.** Encyclopedia of Climate and Weather. Organisation Mondiale de la Santé 1996, Journée mondiale de la Santé :<http://www.who.int/fr/>
- ♦ **GRAINDORGE J., 2015.** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition : groupe territorial CS 40215-38516.Voiron cedex, 136, 163, 164, 165 p.
- ♦ **GROSCLAUDE G., 1999.** L'eau. Tome I : milieu naturel et maitrise. Edition INRA. Paris. France, 204p.
- ♦ **HAMADOUCHE S., TIFAOU B., HENICHE S., 2018.** REVISION DU PDAU AIT BOUADDOUN⁰12.711.115.Centre d'Etudes de Réalisation en Urbanisme : URBA.BLIDA, 85 p.
- ♦ **HÉBERT S., 2000.** LÉGARÉ. Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement. Ministère de l'Environnement du Québec, 24 p.
- ♦ **JORA (Journal Officiel de la République Algérienne) N°3 du 27/01/2015.**



Références bibliographiques



- ♦ **KANKOU M., 2004.** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie- étude en laboratoire du comportement de deux pesticides. Thèse de doctorat. Université de Limoges, pp 23-24.
- ♦ **KENNETH M et FRANÇOIS V., 1976.** Biologie de la pollution. Librairie Vuibert. Paris, 71p.
- ♦ **KETTAB A., 1992.** Traitement des eaux : les eaux potables. Volume 1. Edition : Office des publications universitaires. Alger, 118 p.
- ♦ **LENNTECH A., 2017.** Purification et traitement de l'eau. AQUATECH AMSTERDAM, 2-3p.
- ♦ **LEVEQUE C., 1996.** Ecosystème aquatique. Edition : Hachette livre. Paris. France, 160p.
- ♦ **LOUIS S.M., 2012.** La gestion durable de l'eau. Edition : DUNOD, 256p.
- ♦ **LUNC J. et LAGRADETTE M., 2004.** L'eau potable et l'assainissement. Edition : Johannes. Paris, 48 p.
- ♦ **MEGHZILI B., 2003.** Suivi de la qualité des eaux de la station de traitement Hamadi-Krouma (Skikda). Essais d'optimisation. Thèse de magister Université de Biskra, pp 77-89.
- ♦ **MIZI A., 2006.** Traitement des eaux de rejet d'une raffinerie – région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Faculté des sciences: Département de chimie. Université Badji Mokhtar Annaba, 189p.
- ♦ **MOKEDDEM K. et OUDDANE S., 2005.** Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau De Source Sidi Yaakoub (Mostaganem). Mémoire d'ingénieur. institut de biologie– Mascara, pp 18-22.
- ♦ **MORLOT M., 1996.** Aspects analytique du plomb dans l'environnement. Ed, Lavoisier : Tec et Doc. France, 483p.
- ♦ **PIERRE A. et BERNARD-ALEX G., 2011.** Les maladies liées à l'eau. MEDECINE TROPICALE. Diplôme de Médecine Tropicale des Pays de l'Océan Indien, 7 p.
- ♦ **POMEROL C. et RENARD M., 1997.** Élément de géologie. 11^{ème} édition: Masson, 523p.
- ♦ **POTELON J. et ZYSMAN K., 1998.** Le guide des analyses d'eau potable. Edition : la lettre du Cadre Territorial. Paris. France, 120 p.
- ♦ **RAMADE F., 1979.** Ecotoxicologie. 2^{ème} Edition: MASSON. Paris. New York Barcelone Milan, 618p.



Références bibliographiques



- ♦ **RAMADE F., 1998.** Dictionnaire encyclopédique de l'eau. Édition : science international. Paris, 487 p.
- ♦ **RAMADE F., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed : Dunod. Paris, 370p.
- ♦ **RAMADE F., 2005.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed : science internationale. Paris, 528 p.
- ♦ **REJSEK F., 2002.** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Edition : canopé –centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine de bordeaux. France, 360 p.
- ♦ **ROCHE D.A., MIQUEL J et GAUME E., 2012.** Hydrologie quantitative: processus, modèles et aide à la décision. Ed : Springer-Verlag. France, 7 p.
- ♦ **RODIER J., 1984.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers, chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie. 7^{ème} édition, Lavoisier : Tec& Doc, Dunod. Paris. France, 1365 p.
- ♦ **RODIER J., 1996.** L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers.8^{ème} édition: Dunod. Paris. France, 1383 p.
- ♦ **RODIER J., 2005.** L'analyse de l'eau : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mers. 8^{ème} édition : Dunod. Paris. France, 1381p.
- ♦ **RODIER J., 2008.** L'ANALYSE DE L'EAU : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer.8^{ème} édition : DUNOD. Paris. France, 1434p.
- ♦ **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N. et BRUNET R., 2009.** L'analyse de l'eau.9^{ème} édition: Dunod. Paris. France, 1526 p.
- ♦ **ROUX J.C., 1989.** Analyse biologique de l'eau. Etude de Synthèse. Office national de l'eau. Edition : du BRGM.n^o 23, 113 p.
- ♦ **ROUX J.C., 1995.** LES SECRETS DE LA TERRE. BRGM. Paris, 63p.
- ♦ **ROUX M., 1987.** L'analyse biologique de l'eau. Edition Lavoisier: Technique et Documentation. Paris, 93 p.
- ♦ **ROUX M., 1989.** L'analyse biologique de l'eau. Edition Lavoisier : Tec & Doc. Paris, 230p.
- ♦ **SAMAKE H., 2002.** Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de Bamako. Thèse de doctorat. Mali, 77p.



Références bibliographiques



- ♦ **SARI H., 2014.** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de source « Attar » (Tlemcen). Diplôme Master. Sciences des aliments. Université ABOU-BEKR BELKAID Tlemcen, 92 p.
- ♦ **SAVARY P., 2010.** Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition : Territorial Voiron, 261 p.
- ♦ **TARDAT HENRY M. et BEAUDRY J.P., 1984.** Chimie des eaux. Ed : Le Griffon d'argile. Québec, 340 p.
- ♦ **TARDAT-HENRY M., 1992.** Chimie Des Eaux. 2^{ème} Ed : Griffon d'Argile. Québec, 536p.
- ♦ **TARDAT-HENRY M., 1993.** Chimie des eaux. 2^{ème} Éditions : Le Griffon d'argile. Montréal. Canada, 537p.
- ♦ **VALIRON F., 1990.** Gestion des eaux 1 : Principes, moyens, structures. 2^{ème} édition : presses des ponts. Paris. France, 350 p.
- ♦ **VILAGINES R., 2003.** Eau, environnement et santé publique : introduction à l'hydrogéologie. 2^{ème} édition. Lavoisier: Tec et Doc, ISBN 2-7430-0604-8. Paris, pp 3-187.
- ♦ **VILAGINES R., 2005.** EAU, ENVIRONNEMENT ET SANTE PUBLIQUE: TEC & DOC. Paris, 198 p.
- ♦ **WEINER R.F. et MATTEWS., 2003.** Environmental engineering. Forth. Edition: Butterworth-Heinemann, 484p.

SITE INTERNET (2020):

- Cycle de l'eau. www.google.dz
- [www.google](http://www.google.com) Earth.