

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT CHIMIE



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master 2 cycle LMD en chimie

Option : Chimie de l'environnement

THEME

**Caractérisation de l'eau de source de thala
Ougelid avant et après stockage et
désinfection**

Réalisé par : M^{lle} Hadj Saïd Lydia

M^r Alioui Sofiane

Membres de Jury :

Présidente M^{lle} ALI Oumessaad MCB UMMTO

Examinatrice M^{lle} CHEIKH Assira MCB UMMTO

Promotion 2020/2021

Dédicaces

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail à :

Mon père **LAZIZ** et ma mère **SAMIA** que j'aime beaucoup et qui m'ont soutenu tout au long de ce projet dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines n'ont permis de vivre ce jour, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils cessent de me combler, que dieu les protège et leur procure longue vie et bonne santé.

Mes sœurs **MANEL** et **LITICIA** qui m'avaient toujours encouragé.

SOFIANE mon ami avant d'être mon binôme.

Tous mes ami(e)s qui m'ont soutenu et qui étaient toujours à l'écoute et à qui je souhaite plus de succès.

Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Lydia

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents SAID et DJOHER pour tous les sacrifices qu'ils ont fournis pour moi, à mes frères MASSI TAKFARINAS et JUGURTHA, à ma petite Lydia, à tous mes amis et à ceux qui m'ont donné le courage pour réaliser ce travail et sans oublier la community scientifique et à tous le personnel de la faculté des sciences UMMTO.

Sofiane

Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail n'avait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **M^{me} FERRAG Fatiha**, on la remercie pour nous avoir confié le sujet de ce travail et guidée dans sa réalisation ainsi que pour sa disponibilité et sa patience dont elle a su faire preuve malgré ses charges académiques et professionnelles durant la préparation de ce travail.

On tient à remercier **M^{me} LADJEL Samia** pour nous avoir accordé l'accès au laboratoire de l'ADE de Tizi-Ouzou et à tout le personnel du laboratoire.

Toutes nos gratitude s'adressent à **M^{lle} CHEIKH Assira** qui nous a fait l'honneur d'examiner ce mémoire et aussi à **M^{lle} ALI Oumessaad** pour l'honneur qu'elle nous fait de présider ce mémoire. On vous remercie pour avoir accepté de faire partie du jury.

Liste des figures

Figure I.1: Représentation chimique d'une molécule d'eau

Figure I.2 : Cycle hydrologique de l'eau

Figure I.3 : Différents types d'eau

Figure I.4 : Nappe libre et nappe captive d'un aquifère

Figure I.5 : Ecoulement de l'eau souterraine

Figure III.1 : Principaux avantages et inconvénients de la chloration

Figure III.2 : Logo de l'entreprise « Algérienne des eaux »

Figure IV.1 : Source d'eau thala Ougelid

Figure IV.2 : Vue satellite de la source d'eau thala Ougelid

Figure IV.3 : Conservation de l'échantillon

Figure IV.4 : Matériel bactériologique utilisé

Figure IV.5 : Emplacement de la membrane dans la boîte de pétri

Figure IV.6 : Etuve d'incubation réglée à 37°C

Figure IV.7 : Les milieux de cultures utilisés

Figure IV.8 : pH-mètre

Figure IV.9 : Conductimètre

Figure IV.10 : Turbidimètre

Figure IV.11 : Spectrophotomètre à UV-visible

Figure IV.12 : Spectrophotomètre d'émission à flamme

Figure IV.13 : Densimètre

Figure IV.14 : Comparateur visuel de chlore

Figure V.1 : Histogramme des valeurs de pH de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.2 : Histogramme des valeurs de température de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.3 : Histogramme des valeurs de turbidité de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.4 : Histogramme des valeurs de la conductivité de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.5 : Histogramme des valeurs de TA, TAC et TH de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.6 : Histogramme des valeurs de résidu sec de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.7 : Histogramme des valeurs des paramètres de minéralisation globale de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.8 : Histogramme des valeurs des substances indésirables de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.9 : Histogramme de comparaison des résultats des paramètres de pollution de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.10 : Dénombrement des coliformes et E. Coli sur l'eau de source thala Ougelid, l'analyse initiale

Figure V.11 : Dénombrement des coliformes et E. Coli sur l'eau de source thala Ougelid, après stockage de 10 jours

Figure V.12 : Dénombrement des streptocoques fécaux sur l'eau de source thala Ougelid, après l'analyse initiale

Figure V.13 : Dénombrement des streptocoques fécaux sur l'eau de source thala Ougelid, après 10 jours de stockage

Figure V.14 : Histogramme des valeurs des paramètres bactériologiques de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Figure V.15 : Dénombrement des coliformes et E. Coli sur l'eau de source thala Ougelid, après désinfection

Figure V.16 : Dénombrement des streptocoques fécaux sur l'eau de source thala Ougelid, après désinfection

Figure V.17 : Evolution de la concentration en chlore résiduelle dans l'eau de source désinfectée après 30 et 60 min de contact

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Propriétés thermodynamiques de l'eau

Tableau I.2 : Les principales différences entre les eaux souterraines et les eaux superficielles

Tableau II.1 : Classification de l'eau selon la turbidité usuelle

Tableau II.2 : Qualité d'une eau selon sa dureté

Tableau II.3 : Classification de la qualité et la potabilité de l'eau selon le taux de minéraux recueillis

Tableau II.4 : Les principales maladies d'origine virales

Tableau II.5 : principales maladies d'origine bactérienne

Tableau III.1 : Valeurs optimales des paramètres influençant la désinfection

Tableau V.1 : Résultats des paramètres physico-chimiques de la source thala Ougelid avant, après stockage et désinfection

Tableau V.2 : Concentration des métaux contenus dans l'eau de la source thala Ougelid avant, après stockage et après désinfection

Tableau V.3 : Résultats des paramètres liés aux substances indésirables de la source thala Ougelid avant, après stockage et désinfection

Tableau V.4 : Résultats des paramètres de pollution de la source thala Ougelid, Avant et après stockage et désinfection

Tableau V.5 : Charges moyennes des bactéries dans l'eau brute thala Ougelid avant, après stockage et désinfection

Tableau V.6 : Concentration en chlore résiduelle d'eau de la source thala Ougelid désinfectée

Liste des abréviations

% : Pour cent

°C : Degré Celsius

°F : Degré français

ΔH : Chaleur latente

ΔH_{fusion} : Chaleur latente de fusion

$\Delta H_{\text{vaporisation}}$: Chaleur latente de vaporisation

μm : Micromètre

μs : Micro-Siemens

ADE : Algérienne des eaux

APP : Analyse physico-chimique partiel

APC : Analyse physico-chimique complet

BEA : Bile Esculine Azoture

C : Concentration

C.I.E : Centre d'information sur l'eau

CaCO_3 : Carbonates de calcium

CO_2 : Gaz de dioxyde de carbone

Degré ChL : Degré chlorométrique

DPD : N, N-Diéthylphénylène-4 Diamine

E.Coli : Escherichia coli

Ech : Echantillon

EDTA : acide éthylène diamine tétra-acétique

EPCI : Entreprise public à caractère industriel et commercial

FM : Filtration sur membrane

H_2S : Sulfure d'hydrogène

H_2SO_4 : Acide sulfurique

HSN : Acide ascorbique

ICP : Spectrophotométrie d'émission à l'aide d'un générateur inductif de plasma

KMnO_4 : Permanganate de potassium

MES : Matières en suspension

Méq : Milliéquivalent

Méq/L : Milliéquivalent par litre

MgCO₃ : Carbonates de magnésium

MO : Matière organique

N.A : Norme algérienne

NTU : Unité de turbidité néphélométrique

OMS : Organisation mondiale de la santé

PEHD : Polyéthylène haute densité

Pm : Picamètre

PO₄³⁻ : Phosphate

PVC : Polychlorure de vinyle

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Dureté

THCa : Dureté calcique

THMg : Dureté magnésienne

UFC : Unité formant colonie

UV : Ultraviolet

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I.1	Propriétés de l'eau	1
I.1.1	Propriétés physiques.....	1
I.1.2	Propriétés thermodynamiques	1
I.1.3	Propriétés chimiques	2
I.1.4	Propriétés optiques	3
I.2	Origine et présence de l'eau sur terre	3
I.2.1	Origine de l'eau.....	3
I.2.2	Formes de l'eau sur terre et dans l'atmosphère.....	4
I.3	Cycle de l'eau	4
I.4	Différents types d'eau	5
I.4.1	Eau de surface	6
I.4.1.1	Eau douce	6
I.4.1.2	Eau salée	7
I.4.2	Eau souterraine	7
I.4.2.1	Origine des eaux souterraines.....	7
I.4.2.2	Formation des eaux souterraines	7
I.4.2.3	Différents réservoirs souterrains.....	8
I.4.2.3.1	Aquifères	8
I.4.2.3.2	Nappes souterraines	8
1.	Nappe libre	8
2.	Nappe captive.....	8
I.4.2.4	Mouvement des eaux souterraines.....	9
I.4.2.5	Composition des eaux souterraines	10
I.4.2.6	Caractéristiques des eaux souterraines	10
I.4.2.7	Les principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface.....	10

Chapitre II : Critères de potabilité d'une eau

II.1 Les différents paramètres de qualité de l'eau	13
II.1.1 Les paramètres physico-chimiques.....	13
1. Potentiel hydrogène.....	13
2. Température.....	13
3. Turbidité.....	14
4. Conductivité électrique.....	14
5. Alcalinité.....	15
6. Dureté (Calcique et magnésienne).....	15
7. Résidu sec à 105°C.....	17
II.1.2 Paramètres organoleptiques.....	17
1. La couleur.....	17
2. L'odeur.....	18
3. La saveur.....	18
II.1.3 Paramètres de minéralisation globale.....	18
II-1-3-1 Cations.....	18
1. Sodium Na^+	18
2. Calcium Ca^{2+}	18
3. Magnésium Mg^{2+}	19
4. Potassium K^+	19
II-1-3-2 Anions.....	19
1. Sulfates SO_4^{2-}	19
2. Nitrates NO_3^-	20
3. Chlorures Cl^-	20
4. Bicarbonates HCO_3^-	20
II.1.4 Substances indésirables.....	20
1. Fer (Fe).....	20
2. Aluminium (Al^{3+}).....	21
3. Manganèse (Mn^{2+}).....	21
II.1.5 Paramètres de pollution.....	21
1. Ammonium (NH_4^+).....	21
2. Nitrites (NO_2^-).....	21
3. Phosphates (PO_4^{3-}).....	22
4. Matière organique (MO).....	22
II.1.6 Paramètres microbiologiques.....	22
1. Coliformes totaux.....	23
2. Streptocoques fécaux.....	23

3. Clostridium sulfito-réducteurs.....	24
II.2 Norme de qualité	24
II.3 L'eau et la pollution	24
II.4 Impact des eaux contaminées sur la santé humaine.....	25
II.5 Maladies liées à l'eau.....	25

Chapitre III : Désinfection de l'eau de source contaminée

III.1 Notion de désinfection	28
III.1.1 Désinfection chimique.....	29
III.1.2 Désinfection physique.....	29
III.2 Désinfection des eaux destinées à la consommation humaine	29
III.2.1 Critères permettant de choisir le désinfectant.....	30
III.2.2 Les principaux désinfectants employés pour le traitement de l'eau	31
III.2.3 Désinfection de l'eau par le chlore (la chloration)	31
III.2.3.1 Mesure de la teneur résiduelle en chlore	32
III.2.3.2 Réaction du chlore dans l'eau	32
III.2.3.3 Paramètres influençant l'efficacité du chlore	33
III.2.3.4 Principaux avantages et inconvénients de la chloration	33
III.3 Présentation de l'algérienne des eaux (ADE).....	34

DEUXIEME PARTIE: PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre IV : Méthodes et matériels

IV.1 Présentation du site du prélèvement	35
IV.2 Prélèvement de l'échantillon	36
IV.3 Acheminement du prélèvement	36
IV.4 Conservation de l'échantillon	37
IV.5 Méthodes d'analyses	37
IV.5.1 Analyse bactériologique	37
IV.5.1.1 Mise en culture	39
IV.5.2 Analyse physico-chimique	40
IV.5.2.1 Méthode électrochimique	41
1. Le potentiel hydrogène.....	41
2. La conductivité.....	41
3. La turbidité	42
IV.5.2.2 Méthode volumétrique.....	42
1. Détermination de l'alcalinité (TA et TAC).....	43
2. Détermination de la dureté	43

3.	Détermination de la dureté calcique	44
4.	Détermination de la dureté magnésienne	44
5.	Dosage du calcium	44
6.	Dosage des chlorures.....	44
7.	Détermination de la matière organique	45
	IV.5.2.3 La méthode spectrométrique.....	45
	IV.5.2.3.1 Spectrophotomètre à UV-Visible.....	45
1.	Dosage de l'ammonium	45
2.	Dosage des nitrites	46
3.	Dosage des phosphates.....	46
4.	Dosage des nitrates.....	46
5.	Dosage des sulfates	47
6.	Dosage d'aluminium	47
7.	Dosage du sodium et potassium	48
8.	Dosage du manganèse	49
9.	Détermination du résidu sec à 105 °C.....	49
	IV.6 Désinfection de l'eau de source thala Ougelid.....	49
	IV.6.1 Vérification du degré de l'eau de Javel	50
	IV.6.2 Détermination du volume de l'eau de javel.....	50
	IV.6.3 Mesure de la teneur libre résiduelle en chlore (test de chlore).....	51
	Chapitre V : Résultats et discussion	
	V.1 Analyse physico-chimique	52
	V.1.1 Paramètres physico-chimiques	52
1.	Potentiel d'hydrogène (pH).....	53
2.	Température.....	53
3.	Turbidité.....	54
4.	Conductivité	55
5.	TA, TAC et TH	55
6.	Résidu sec à 105 °C.....	56
	V.1.2 Paramètres organoleptiques	57
1.	Couleur.....	57
2.	Odeur.....	57
3.	Saveur.....	57
	V.1.3 Paramètres de minéralisation globale	57
1.	Sodium (Na ⁺).....	58
2.	Calcium (Ca ²⁺)	58

3. Magnésium (Mg^{2+})	58
4. Potassium (K^+)	59
5. Sulfates (SO_4^{2-}).....	59
6. Nitrates (NO_3^-).....	59
7. Chlorures	59
8. Bicarbonates	60
V.1.4 Substances indésirables	60
1. Fer (Fe^{2+}) et aluminium (Al^{3+})	61
2. Manganèse (Mn^{2+}).....	61
V.1.5 Paramètres de pollution	61
1. Ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-) et phosphates (PO_4^{3-}).....	62
2. Matière organique (MO)	62
V.2 Analyse bactériologique	62
V.3 Désinfection de l'eau de la source thala Ougelid	66
V.4 Détermination du chlore résiduelle après désinfection	67

Conclusion

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION GENERALE

Parmi les thèmes les plus dominants au cours du XIX^e siècle est celui de l'eau. L'eau est un élément vital, très présent sur terre et indispensable à l'amplification de la vie, la survie et le maintien des écosystèmes naturels. L'eau est un élément majeur de l'environnement et un produit de l'économie, nécessaire au développement d'une foule d'activités humaines telles que : l'agriculture, l'industrie, l'alimentation des populations et leur hygiène comme elle l'est aussi à la production d'énergie de certains pays. Au fur et à mesure que la population augmente, la demande en eau s'accroît. Cette dernière s'est multipliée deux fois plus que le taux de croissance démographique au cours du siècle dernier [ACHOUI, SOUCI (2015)], cela a affecté la disponibilité d'eau potable d'une part et aussi le phénomène de la pollution qui contribue à la limitation des ressources en eau potable d'autre part.

Claire et limpide qu'elle soit, l'eau a de nombreux secrets et dans la plupart des cas ne répondent pas aux normes de sécurité recommandées à cause de son altération.

La dégradation de la qualité d'eau consommée par la population, influence sur la santé de cette dernière. Des études ont montré que plus de 5 millions de personnes, majoritairement originaires de pays en développement, meurent à cause de la consommation d'eau contaminée [JOURNAL HELIYON (2021)].

Afin d'éviter toute contrainte liée à la santé humaine, il est nécessaire d'effectuer des études judicieuses et éclairées sur la nature de l'eau consommée après stockage à domicile. Sachant que les populations s'approvisionnent en eau de source, pour une consommation ultérieure (stockage de l'eau). La problématique donc se situe dans le cadre de la consommation d'une eau sans examiner sa qualité et sa potabilité après stockage. Cette étude est focalisée sur l'analyse physico-chimique et bactériologique de la qualité de l'eau de source dans le but d'évaluer sa potabilité après stockage à domicile.

Dans ce contexte, l'étude a été réalisée sur l'eau de source thala Ougelid qui se situe à Mechtras daïra Boghni wilaya de Tizi-Ouzou. Le choix de cette source a été fait car, elle est considérée comme une source d'eau de consommation publique.

Ce mémoire est structuré en deux parties distinctes qui sont:

- La première partie : est relative à l'étude bibliographique portant sur l'eau. Cette partie est subdivisée en trois chapitres dont le premier est consacré aux généralités sur l'eau : l'eau : aspects fondamentaux. Le deuxième chapitre est dédié aux différents critères

INTRODUCTION GENERALE

d'une eau destinée à la consommation. Le troisième chapitre est consacré à l'étude des différentes méthodes de désinfection de l'eau.

- La deuxième partie : est relative à la partie expérimentale de ce mémoire, elle est consacrée aux différentes méthodes expérimentales ainsi que le matériel et les réactifs utilisés durant cette étude (chapitre IV). Cependant, le chapitre V illustre la présentation et discussion de l'ensemble des résultats obtenus à partir de cette étude.

Enfin, ce mémoire est achevé par une conclusion générale, ainsi que quelques perspectives seront présentées.

Le terme « eau » dérive du latin « aqua », est une substance chimique naturelle incolore, inodore, sans saveur et transparente quand elle est pure. L'eau est un élément indispensable à la vie et à l'homme. L'eau est constituée de deux atomes d'hydrogène et un atome d'Oxygène d'où sa formule chimique H_2O .

I.1 Propriétés de l'eau

L'eau possède plusieurs propriétés physico-chimiques assez particulières, la liaison Hydrogène est responsable de ces propriétés spécifiques.

L'eau se trouve sous trois états : solide, liquide et gazeux. Les états solide et liquide sont plus compliqués que l'état gazeux et c'est cette complexité qui leur attribut leurs propriétés exceptionnelles.

I.1.1 Propriétés physiques

- L'état solide de l'eau est plus léger que l'état liquide.
- L'état physique de l'eau dépend de la température et de la pression.
- L'eau à une masse volumique maximale de $1\ 000\ kg/m^3$ qui varie avec la température et la pression.
- Points de fusion et d'ébullition de l'eau sont extrêmement élevés par rapport à un liquide de poids moléculaire égal.
- L'énergie cinétique moyenne et la pression de vapeur des molécules d'eau augmentent lorsque la température augmente.
- L'eau est considérée comme un fluide incompressible, elle ne peut pas se comprimer ni augmenter du volume
- L'eau possède une très faible conductivité qui varie selon son degré de pureté.

I.1.2 Propriétés thermodynamiques

- L'eau a une capacité thermique à pression constante la plus élevée de tous les liquides ($75,711\ J.\ mol^{-1}.\ K^{-1}$ à $20^\circ C$) à l'exception de l'Hydrogène liquide.
- L'eau à une chaleur latente d'évaporation la plus élevée de tous les liquides d'où l'efficacité de la transpiration comme moyen de rafraîchissement.
- L'eau a une chaleur latente de fusion élevée.
- L'enthalpie de la vapeur saturée est constante, soit environ $2\ 775\ kJ/kg$.

Tableau I.1: Propriétés thermodynamiques de l'eau [TARDAT, BEAUDRY (2007)]

CHALEURS DE FORMATION		ΔH	
H ₂ O liquide		-285,6 kJ/mol	
H ₂ O gazeux		-241,6 kJ/mol	
CHALEURS SPECIFIQUES		\bar{C}_s	
H ₂ O solide	2,05 kJ/kg.	0°C (entre -10°C et 0°C)	
H ₂ O liquide	4,18 kJ/kg.	0°C (à 15°C)	
H ₂ O gazeux	2,01 kJ/kg.	0°C (entre 100 °C et 120°C)	
CHALEUR LATENTE DE FUSION		ΔH_{fusion}	335 kJ/kg (à 0°C)
CHALEUR LATENTE DE VAPORISATION		$\Delta H_{\text{vaporisation}}$	2260 kJ/kg (à 100°C)

I.1.3 Propriétés chimiques

- La molécule d'eau possède une forme coudée due à la présence de deux doublets non-liants sur l'atome d'oxygène: les deux orbitales non-liantes et les deux orbitales liantes (liaison O-H) se repoussent, par conséquent l'eau possède une structure tétraédrique (type AX₂E₂ par la méthode VSEPR). L'angle H-O-H est de 104,45° et la distance interatomique d_{O-H} vaut 95,84 pm soit 9,584.10⁻¹¹ m (Figure I.1).
- L'électronégativité de l'atome O étant plus haute que celle de H, il y a une polarisation de cette molécule, par conséquent l'eau possède un dipôle électrique permanent, ce qui en fait un bon solvant.
- La polarité de la molécule H₂O lui permet de réaliser des liaisons hydrogène intermoléculaires. Les liaisons hydrogènes sont des liaisons faibles, donc très mobiles, qui donnent à l'eau une structure ordonnée.
- L'eau est un composé amphotère qui possède un caractère d'une base dans un milieu acide ou d'un acide dans un milieu basique. L'eau peut être protonée, c'est-à-dire capter un ion H⁺ et devenir un ion H₃O⁺, À l'inverse, elle peut être déprotonée, c'est-à-dire qu'une autre molécule d'eau peut capter un ion H⁺ et la transformer en ion OH⁻. Cependant, ces réactions se produisent très rapidement et sont minimes.



- L'eau est un excellent solvant qui dissout un très grand nombre de sels pour former des hydrates, de gaz, de molécules organiques. L'eau est un composé thermiquement stable.

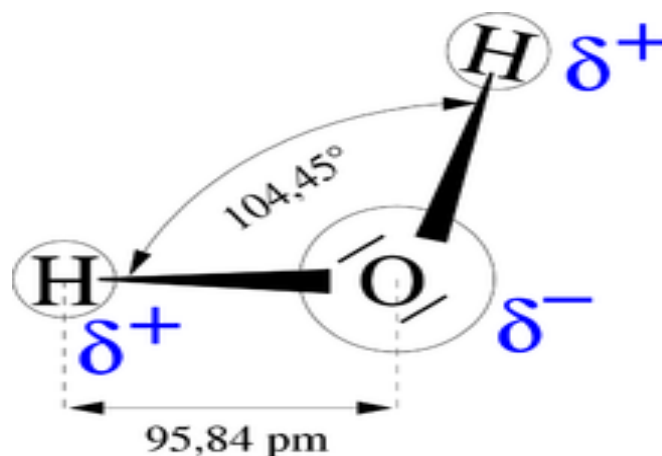


Figure I.1: Représentation chimique d'une molécule d'eau

I.1.4 Propriétés optiques

- L'indice de réfraction de l'eau varie, selon la longueur d'onde, entre 1,3 et 1,4.
- L'eau absorbe peu les radiations ultraviolettes, Par contre dans le visible, l'absorption augmente notablement dans l'orangé, le rouge.
- L'eau et la vapeur d'eau absorbent fortement les infrarouges, radiations calorifiques particulièrement importantes en limnologie et en écologie aquatique [TARDAT, BEAUDRY (2007)].
- L'eau est transparente à la lumière visible, elle est cependant opaque au rayonnement infrarouge.

I.2 Origine et présence de l'eau sur terre

I.2.1 Origine de l'eau

Selon la conception actuelle :

- L'hydrogène est produit très tôt dans l'histoire de l'univers, c'est le premier atome formé ;
- L'oxygène est le produit un peu plus tardif de réaction de fusion thermonucléaire au sein de certaines étoiles ;

- Ces deux atomes se combinent au cours d'une réaction exothermique pour former l'eau ;
- Lorsque la Terre s'est formée, l'eau était une des molécules présentes en quantité importante (comme dans les météorites et comètes) [COURS MASTER (2020)].

I.2.2 Formes de l'eau sur terre et dans l'atmosphère

L'eau est le seul élément qui peut prendre trois formes qui résultent de l'action du soleil, de la température et de la pression atmosphérique.

L'eau liquide caractérisée par une forme non définie est trouvée dans toutes sortes d'étendues d'eau, telles que les océans, les mers, les lacs, et de cours d'eau tel que les fleuves, les rivières, les torrents, les canaux ou les étangs, elle existe aussi dans les eaux souterraines (aquifères).

L'eau est également présente dans l'atmosphère à l'état liquide et gazeux. Cette dernière n'a pas de forme ni de limite physique, elle prend la forme du milieu qui l'a contient. Les molécules en cet état sont indépendantes les unes des autres car il n'y a pas de liaisons entre ces dernières.

A basse température l'eau prend la forme solide appelée « glace » qui est un solide dur et cassant et possède des structures cristallines régulières.

I.3 Cycle de l'eau

La quantité globale de l'eau sur terre est d'un milliard et quatre millions Km^3 , cette quantité est constante depuis plus de 3,5 milliards d'années, elle régit sous forme de cycle appelé cycle de l'eau ou scientifiquement connu cycle hydrologique. Alors l'eau est recyclée en permanence, elle est en échange continu entre l'hydrosphère, l'atmosphère, les sols, la surface, la nappe phréatique, et les plantes.

Le cycle de l'eau se déroule à la fois sur terre et dans l'atmosphère. Chauffée par le soleil, l'eau des océans, des mers, des rivières et des lacs s'évapore. A ce volume s'ajoute la vapeur d'eau issue de l'évapotranspiration des plantes. Toute cette vapeur d'eau monte dans l'atmosphère et se refroidit. Elle se condense alors et forme des gouttes ou des cristaux. Les nuages ainsi constitués se déplacent avec le vent. Ils laissent échapper leur contenu sous forme de précipitations (pluie, neige, grêle) ou de brouillard. La plus grande partie de l'eau tombe directement dans les océans. Le reste atteint les continents, où 60% s'évapore à

nouveau, seul 25% s'infiltré dans la terre et alimente les nappes souterraines, enfin 15% ruisselle et rejoint les cours d'eau pour retrouver ensuite l'océan. Et le cycle recommence... [COURS MASTER (2020)].

Les eaux douces de la planète, c'est-à-dire celles dont la salinité est inférieure à 3 g/L, ne représentent que 3% en volume de toute l'eau de l'hydrosphère et encore toute cette eau n'est-elle pas disponible, la majeure partie étant gelée aux pôles. Le volume des eaux douces directement utilisable est finalement d'environ 9 millions de kilomètres cubes, dont la plus grande part consiste en eau souterraine.

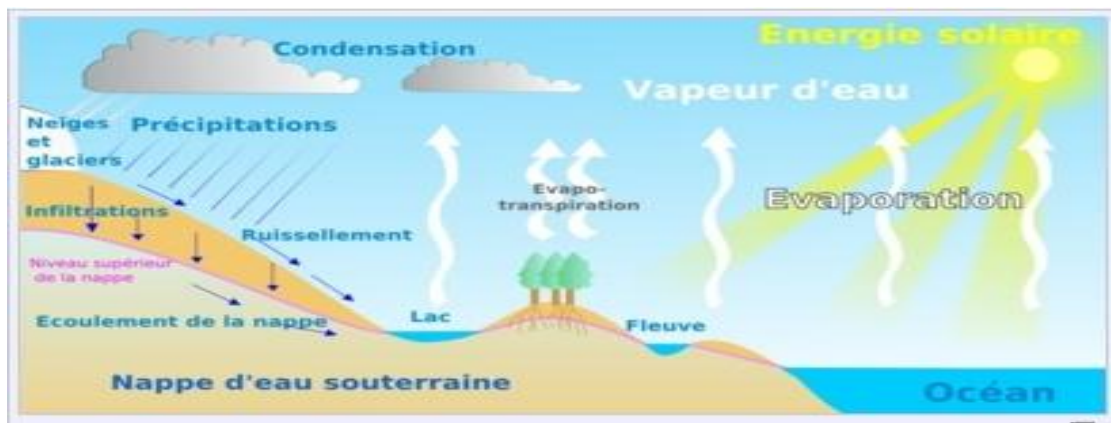


Figure II.2: Cycle hydrologique de l'eau

I.4 Différents types d'eau

Il existe quatre types d'eau ; chacune diffère de l'autre par sa nature, ses propriétés, sa composition, son origine,...etc.

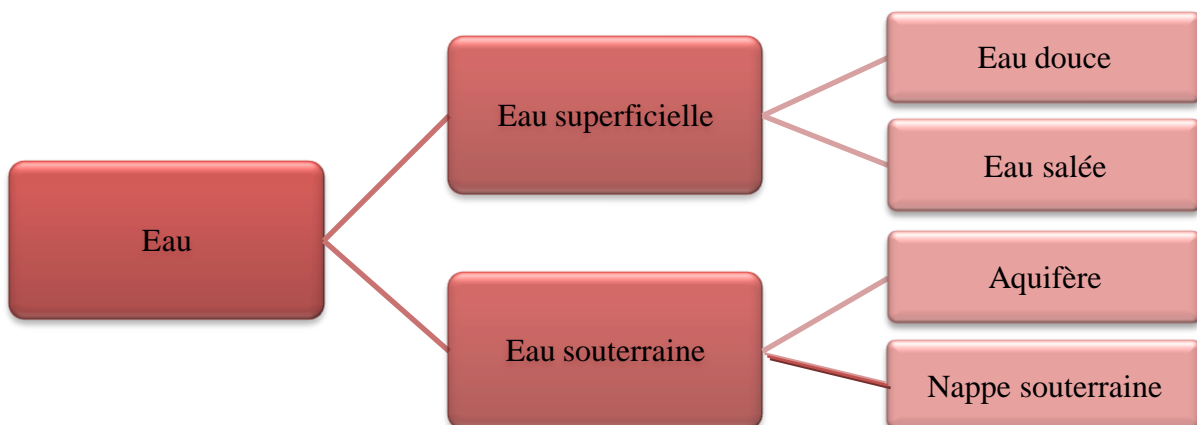


Figure III.3: Différents types d'eau

I.4.1 Eau de surface

Ce sont des eaux des cours d'eau et des glaciers (eau douce), des océans et des mers (eau salée). Les eaux de surface ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit des eaux de ruissèlement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et en vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturels (lacs) ou artificielles (retenues de barrages), caractérisées par une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)].

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés durant leurs parcours dont l'eau dissout les différents éléments constitutifs de ces terrains. En revanche sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau-atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau [DEGREMONT (2005)].

I.4.1.1 Eau douce

Les eaux douces sont des eaux très pures, destinées à la consommation humaine. Ce sont toutes les eaux fournies par l'intermédiaire d'un réseau de distribution, soit en l'état, soit après traitement, destinées à la boisson, à la cuisson, la fabrication ou la commercialisation de produits alimentaires, et à d'autres usages domestiques, quelle que soit leur origine.

Parmi les sources d'eau douce exploitable, on distingue :

- Les eaux de distribution (eau du robinet...)
- Les eaux de production (eaux de forage, de puits...)
- Les eaux de ressource avec les eaux brutes souterraines et les eaux superficielles (eau de rivière, lac...) classées par groupe en fonction de leur traitement :
 - * Groupe A1 : traitement physique simple et une désinfection ;
 - * Groupe A2 : traitement normal physique, chimique et une désinfection.

* Groupe A3 : traitement physique et chimique poussé, des opérations d'affinage et de désinfection.

I.4.1.2 Eau salée

L'eau saline est une eau qui contient de grandes concentrations en sels dissous. L'eau saline n'est pas potable, et en général ne doit pas être bue par les êtres humains.

I.4.2 Eau souterraine

Les eaux souterraines sont les eaux présentes sous la surface de la terre, elles se trouvent dans les rivières souterraines et dans les interstices des couches rocheuses ou dans les fissures des roches. Elles sont une source importante d'approvisionnement en eau.

L'eau souterraine n'est pas seulement confinée à quelques canaux, au contraire, elle est presque omniprésente dans le sous-sol.

I.4.2.1 Origine des eaux souterraines

La plupart des eaux souterraines proviennent des eaux pluviales (pluie ou neige). Si elles ne sont pas perdues par évaporation, transpiration ou ruissellement, l'eau de ces sources peut s'infiltrer dans le sol grâce à la propriété perméable et poreuse des sols.

I.4.2.2 Formation des eaux souterraines

Une grande quantité d'eau provenant des précipitations est difficile à retenir sur un sol sec formant ainsi un film mince sur la surface et dans les micropores des particules du sol, définit comme étant la capacité de rétention du sol. Aux niveaux intermédiaires, les films de l'eau recouvrent les particules solides, mais de l'air est encore présent dans les sols (vides). Cette région s'appelle une zone non saturée ou zone d'aération, et l'eau présente est dite vadose. En profondeur et en présence de quantités adéquates d'eau, tous les vides sont remplis pour produire une zone de saturation, et l'eau présente dans cette zone est appelée eau souterraine. Une zone de saturation constitue les réservoirs des eaux souterraines ou aquifères.

I.4.2.3 Différents réservoirs souterrains

I.4.2.3.1 Aquifères

Un aquifère est une formation géologique, où une partie de celle-ci constituée d'un matériau perméable capable de stocker des quantités importante d'eau. Autrement dit, est un réservoir susceptible de contenir une nappe souterraine.

La porosité et la structure de la terre déterminent le type de la couche aquifère et la circulation souterraine. Les aquifères peuvent être constitués de différents matériaux : sables et graviers non consolidés, roches sédimentaires perméables telles que les grès ou calcaires, roches volcaniques et cristallines fracturées, etc.

I.4.2.3.2 Nappes souterraines

Les nappes souterraines sont un réservoir naturel souterrain d'eau, elles servent à alimenter les sources et les puits en eau potable, elles peuvent être situées à des petites ou grandes profondeurs de la zone saturée en eau d'un aquifère suivant plusieurs paramètres tels que les qualités physiques du sol de la région d'étude, les conditions météorologiques et les taux de recharge et d'exploitation de la nappe souterraine. Selon la profondeur, nous relevons deux types de nappes : libre et captive.

1. Nappe libre

C'est la première nappe peu profonde rencontrée dans un sous sol perméable, elle se situe jusqu'à 20 m de la surface de la terre. Une nappe est dite libre lorsqu'elle n'est pas limitée par une couche imperméable supérieure et donc sa surface supérieure est libre de monter et de descendre.

La nappe libre est la nappe la plus exposée aux différents types de pollution atmosphérique d'une façon directe ou indirecte.

2. Nappe captive

C'est la nappe la plus profonde, elle se situe à 200 m environ de profondeur au-dessus du trait imperméable et en-dessous d'une couche imperméable de l'aquifère qui constitue cette nappe.

La nappe captive est plus propre que la nappe libre car elle est bien protégée de diverses pollutions et est doublement traitée naturellement ainsi que l'eau exploitée de cette nappe est de très bonne qualité et est directement destinée à la potabilité.

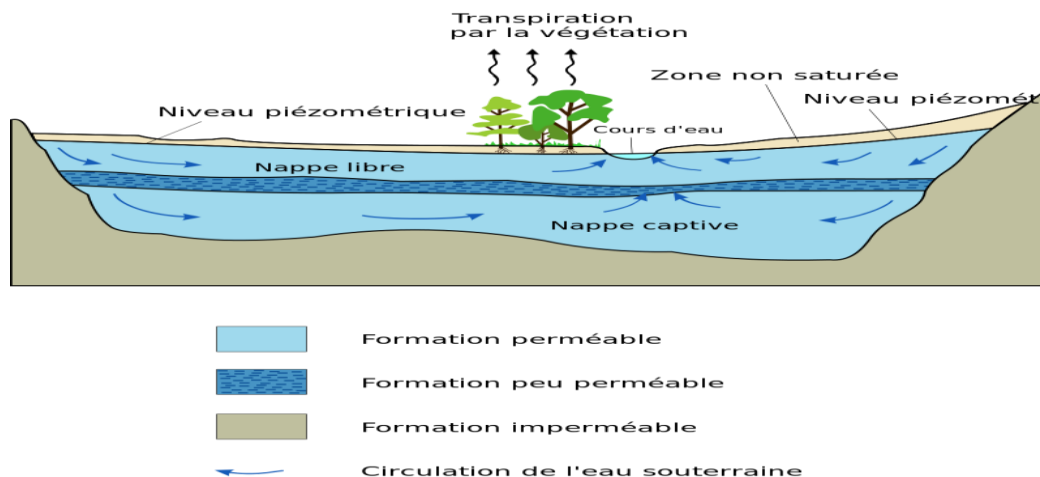


Figure IV.4: Nappe libre et nappe captive d'un aquifère

I.4.2.4 Mouvement des eaux souterraines

Les eaux souterraines ont un mouvement constant, bien qu'elles doivent traverser des passages complexes entre les espaces libres des roches. Tout d'abord, les eaux souterraines s'écoulent vers le bas grâce à la gravité. Mais elles peuvent également se déplacer vers le haut pour aller depuis des secteurs de haute pression vers des secteurs de plus basse pression. Le taux d'écoulement d'eaux souterraines est commandé par deux propriétés de la roche : la porosité et la perméabilité.

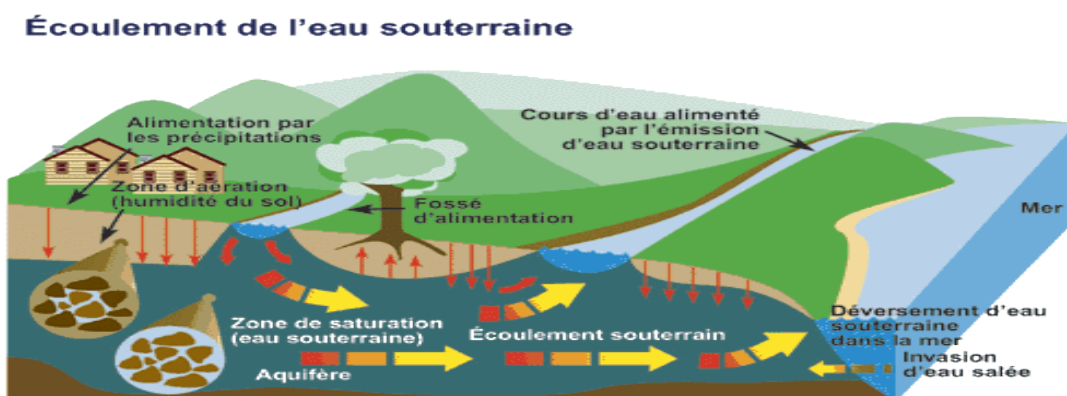


Figure V.5: Ecoulement de l'eau souterraine

I.4.2.5 Composition des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont naturellement chargées en sels minéraux. Cependant, leur composition chimique varie grandement selon leur origine, suivant la nature géologique du sol de la zone d'étude et la composition des roches traversées.

I.4.2.6 Caractéristiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines ont une bonne pureté bactériologique, une faible turbidité, une température et une composition chimique constante, absence quasiment totale d'oxygène, ceci provoque une réduction de la présence d'éléments indésirables [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)] contrairement aux eaux de surface.

I.4.2.7 Les principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface

Le tableau suivant est un comparatif entre les caractéristiques de l'eau de surface et celles de l'eau souterraine en se basant sur les paramètres principaux d'analyse.

Tableau II.2: Les principales différences entre les eaux souterraines et les eaux superficielles [ACHOUI, SOUCI (2015)]

Caractéristique	Eau de surface	Eau souterraine
Température	Varie en fonction des saisons	relativement constante
Turbidité, MES	Variable parfois élevé	faible ou nulle (sauf en terrain karstiques)
Couleur	Liée aux MES en suspension (argiles, algues,...) sauf pour les eaux acides et très douces	Due aux solides dissous ou à une précipitation (Fe, Mn)

Minéralisation globale (salinité, TDS)	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets	Sensiblement constante, plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fer et Mn en solution	Généralement absent, sauf à la profondeur des lacs et des pièces d'eau en état d'eutrophisation	Présent
CO ₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
O ₂ dissout	Souvent proche du niveau de saturation. Absent dans les eaux très polluées	Souvent nul
H ₂ S	Généralement absent	Souvent présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Souvent présent
Nitrates	Généralement faible	Teneur parfois importante
Silice	Généralement en proportions modérés	niveau souvent élevé
Micropolluants minéraux et organiques	Présent dans l'eau des pays industrialisés, mais susceptible de disparaître rapidement une fois la source éliminée	Généralement absent mais une pollution accidentelle a des effets à très long terme
Organismes vivants	Bactéries, virus, plancton (animal et végétal)	Des bactéries de fer sont fréquemment

		trouvées
Solvant Chlorés	Rarement présent	Souvent présent (pollution des nappes)

Une eau est dite potable lorsqu'elle est sans couleur, sans odeur, agréable au goût et déchargée de substances minérales ou organiques jugées nocives pour la santé ainsi qu'elle ne doit pas être porteuse de germes pathogènes (bactéries et virus) ou toute autre substance constituant un danger pour la santé humaine.

Une eau de source est une eau naturellement propre à la consommation humaine et peut être bu en toute sécurité : on parle alors de l'eau potable.

L'eau est vectrice de nombreux parasites, bactéries ou virus, Claire et limbe qu'elle soit elle peut contenir des micro-organismes ou des polluants, pour cela, il faut faire attention à ne pas consommer n'importe qu'elle eau dans la nature.

Cependant, l'appréciation de la qualité de l'eau se base sur la mesure de certains paramètres rigoureux correspondant à des normes ordonnées par le ministère de la santé et le conseil supérieur du secteur d'hygiène publique.

II.1 Les différents paramètres de qualité de l'eau

II.1.1 Les paramètres physico-chimiques

1. Potentiel hydrogène

Le pH est une mesure de la concentration de protons (H^+) présents dans l'eau. On a $pH = -\log_{10} [H^+]$. Donc à chaque changement d'une unité pH, le nombre de protons dans l'eau change d'un ordre de grandeur (un facteur 10). Sachant que le pH de l'eau pure est de 7, une eau ayant un pH inférieur à 6 est dite acide (elle contient plus d' H^+) alors qu'au-dessus de 8 l'eau est dite basique [ATTEIA (2015)].

2. Température

La température est parmi les paramètres physico-chimiques majeurs utilisée pour évaluer la qualité de l'eau pour la consommation et contrôler de nombreuses activités telles que : les amplifications des goûts et des couleurs. La température agit sur la prolifération et la survie des micro-organismes, et influe les procédés de traitement : une hausse de température favorise la désinfection; elle exerce un effet indirect sur la turbidité, le pH, la solubilité et la dissolution des sels dissous. Pour cette raison, il est très important de connaître la température de l'eau. La mesure de la température s'effectue sur place au moment du prélèvement.

La température de l'eau variait de 26,0 à 29,1 °C, de 26,0 à 29,8 °C et de 26,2 à 29,7 °C (eau du robinet, forage et puits) ont été enregistrés pour les sources d'eau souterraines [JOURNAL HELIYON].

1. Turbidité

La turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du plancton suspendu) ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau [AYAD (2017)]. La mesure de la turbidité est obligatoire et essentiel pour indiquer la qualité de l'eau. La turbidité des eaux souterraines est généralement faible et ne pose pas de risque sur la santé humaine, contrairement aux eaux de surface qui ont tendance à avoir des niveaux de turbidité plus élevés. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour mesurer la turbidité et elle est exprimée en NTU. Parmi ces méthodes, les méthodes visuelles, opacimétrie, néphélémétrie...etc. Elle peut s'échelonner de moins d'une NTU à plus de 1000 NTU. La classification de l'eau selon la turbidité usuelle est montrée dans le tableau (II.1) [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)].

Tableau II.1: Classification de l'eau selon la turbidité usuelle

Turbidité (NTU)	Qualité de l'eau
NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>30	Eau trouble

2. Conductivité électrique

La conductivité électrique mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes et dépend de la teneur en sels minéraux dissous [ANDRIANJOHARY (2017)], elle est notée σ et est exprimée en Siemens par centimètre (S/cm) ou micro-Siemens par centimètre ($\mu\text{S/cm}$).

La conductivité diffère d'une eau à une autre, exemple :

- La conductivité de l'eau des forages est comprise entre 380-400 $\mu\text{S. Cm}^{-1}$
- La conductivité des eaux souterraines est entre 100-160 $\mu\text{S. Cm}^{-1}$

- La conductivité des eaux de surfaces est plus grande que les autres eaux.

L'eau contient des ions mobiles chargés positivement et négativement ce qui lui permet d'attribuer la propriété conductrice du courant, contrairement à l'eau pure qui n'est pas un bon conducteur du courant car elle ne contient que très peu d'ions qui permettent le transport du courant. Autrement dit: plus le nombre et la mobilité des ions présents en solution augmente, plus le courant augmente, plus la conductivité est intéressante.

La mesure de la conductivité de l'eau permet d'évaluer la concentration d'ions présents dans l'eau. La conductivité est en fonction de la température de l'eau et devient importante lorsque la température augmente.

3. Alcalinité

L'alcalinité est une caractéristique importante qui détermine la qualité de l'eau, elle joue un rôle important pour assurer un bon équilibre des composants chimiques dans l'eau. Elle est exprimée en degré français (°F).

L'alcalinité est déterminée par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC) ; elle correspond à la présence dans l'eau d'ions carbonates CO_3^{-2} , d'ions bicarbonates ou hydrogénocarbonates HCO_3^{-2} et d'espèces basiques telles que les hydroxydes OH^- .

- Le titre alcalimétrique (TA) correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres et carbonates alcalins caustiques. Le TA d'une eau de consommation doit être nul ou en très faibles concentrations.
- Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates.

4. Dureté (Calcique et magnésienne)

La dureté d'une eau appelée aussi titre hydrotimétrique qui regroupe la somme des concentrations en cations métalliques alcalino-terreux. Une eau dure est une eau à haute teneur en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} qui sont à l'origine de la formation des dépôts de calcaire. La teneur d'une eau en calcaire dépend de la région géographique de la provenance d'eau donc elle diffère d'une région à une autre. La dureté peut être exprimé en différentes unités citons : degré français (°F), milliéquivalent par litre (még/L) ou en milligramme de calcaire par litre (mg CaCO_3/L) par la relation (II.1)

$$1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg CaCO}_3/\text{L} = 0,2 \text{ méq/L} \quad (\text{II.1})$$

Les spécialistes admettent qu'une dureté de 50 mg/L de CaCO₃ est optimale pour la saveur alors qu'une dureté de 80 mg/L de CaCO₃ est optimale du point de vue de l'utilisation générale de l'eau [TARDAT, BEAUDRY (2007)]. Le tableau II.2 donne la qualité de l'eau selon sa dureté.

Tableau III.2: Qualité d'une eau selon sa dureté [TARDAT, BEAUDRY (2007)]

Qualité de l'eau	Dureté totale	
	Mg/L de CaCO ₃	Méq/L
Eau douce	<60	<1,2
Eau légèrement dure	60 – 120	1,2 – 2,4
Eau dure	120 – 180	2,4 – 3,6
Eau très dure	>180	>3,6
Valeur optimale	Ξ 80	Ξ 1,6

En réalité, la dureté d'une eau peut être exprimée de différentes manières suivant les cations ou les sels réellement pris en compte. On distingue :

6.1. Dureté totale (TH) : qui est la somme des concentrations des ions Ca²⁺ et Mg²⁺.

6.2. Dureté calcique (THCa) : correspond à la teneur globale en sels de calcium.

6.3. Dureté magnésienne (THMg) : représente la concentration totale en sels de magnésium, elle est déterminée par différence de la dureté totale et la dureté calcique par la relation (II.2)

$$\text{TH magnésienne} = \text{TH} - \text{THCa} \quad (\text{II.2})$$

6.4 Dureté permanente (THp) ou non carbonatée: détermine la différence entre la dureté totale et la dureté carbonatée qui correspond à la dureté qui subsiste après ébullition de l'eau.

6.5 Dureté temporaire : signifie la somme des carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium. Elle correspond à la différence entre dureté totale et dureté permanente déterminée par la relation (II.3) [DORE (1989)].

$$\text{TH temporaire} = \text{TH} - \text{THp} \quad (\text{II.3})$$

5. Résidu sec à 105°C

Le résidu sec correspond à la quantité des éléments minéraux et de la matière dissoute non volatiles exprimée en mg/L contenue dans un litre d'eau recueillis par évaporation à une température de 105°C, il est déterminé par la relation (II.4) suivante :

$$\text{R.s} = (\sum \text{cations} + \sum \text{anions}) - \frac{1}{2}[\text{HCO}_3^-] \quad (\text{II.4})$$

Selon le taux de minéraux recueillis, l'eau peut être classée comme dans le tableau (II.3) ci-dessous.

Tableau III.3: Classification de la qualité et la potabilité de l'eau selon le taux de minéraux recueillis [C FAIT MAISON (2009)]

Taux de minéraux recueillis (mg/L)	Qualité de l'eau	Potabilité de l'eau
Taux >1500	Eau riche en minéraux	Mauvaise
500 < Taux < 1500	Eau moyennement minéralisée	Moyennement bonne
Taux < 500	Eau faiblement minéralisée	Bonne
Taux < 50	Eau très faiblement minéralisée	Très bonne

II.1.2 Paramètres organoleptiques

1. La couleur

La couleur de l'eau est généralement due à la présence de certaines impuretés minérales (Fer, Manganèse), mais également de certaines matières organiques comme les substances humiques provenant de décomposition de la matière végétale [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)]. Par ailleurs, une eau de consommation doit être incolore d'après l'OMS [OMS (1986)].

2. L'odeur

C'est les sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, la qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances [GAMRASNI (1986)].

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. En effet, toute odeur est un signe de pollution ou de la présence de la matière organique en décomposition [RODIER, LEGUBE, MERLET, COLL (2009)].

3. La saveur

L'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. Les propriétés des produits qui provoquent ces sensations [GAMRASNI (1986)].

Une eau de bonne qualité présente une saveur faible et agréable. Les principaux éléments pouvant donner à l'eau une saveur désagréable sont : le manganèse, le fer, le chlore actif, le phénol, les chlorophénols, etc. Une eau chargée en quantités élevées en chlorure est dite saumâtre, en manganèse est amère, en fer est métallique. Par contre, une absence de sels minéraux habituels et l'anhydride carbonique dans l'eau, cette eau sera fade [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)].

II.1.3 Paramètres de minéralisation globale

II-1-3-1 Cations

1. Sodium Na^+

Le sodium est un élément naturellement présent dans l'eau car la plupart des sols en contiennent une teneur de 0,1% à 1%. On considère ordinairement le goût de l'eau potable comme désagréable lorsque la concentration du sodium dépasse la normale. Le sodium n'est pas considéré comme toxique. Le gisement souterrain de sel gemme et la météorisation des roches ignées constituent les deux sources naturelles du sodium dans l'environnement [ANDRIANJOHARY (2017)].

2. Calcium Ca^{2+}

Le calcium est un métal alcalino terreux très répandu dans la nature, il est généralement l'élément principal de l'eau de source et un composé caractéristique des roches

carbonatées. Il provient principalement du lessivage des calcaires et de molécules bicarbonates.

Le dosage du calcium se fait suivant une méthode gravimétrique, un titrage à l'EDTA, par spectrophotométrie d'adsorption atomique avec flamme ou par spectrophotométrie d'émission à l'aide d'un générateur inductif de plasma (ICP).

3. Magnésium Mg^{2+}

Le magnésium est un élément très important dans l'organisme, il est nécessaire à la formation des os, indispensable à la croissance et est un élément dynamique dans les systèmes enzymatiques. Il est l'un des minéraux les plus connus surtout pour son action contre le stress.

Le magnésium est un élément prédominant dans les eaux drainantes des aquifères contenant des carbonates magnésiens comme la dolomie [CHERY (2006)].

4. Potassium K^+

Le potassium est un élément indispensable à notre organisme, il provient des roches ignées et d'argile.

Le potassium est étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels. Il joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme et règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules [MERCIER (2000)]. Le potassium est rarement présent dans l'eau et beaucoup moins abondant que le sodium sa teneur ne dépasse pas 10 mg/L.

II-1-3-2 Anions

1. Sulfates SO_4^{2-}

Les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates en proportions très variables. Leur présence résulte de la solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuse et l'oxydation des sulfates répandus dans les roches. Les concentrations élevées de sulfates (plus de 400 mg/L) peuvent contribuer à la corrosion des systèmes de distribution surtout avec les eaux faiblement alcalines [TARDAT, BEAUDRY (2007)].

La présence des sulfates n'est pas un danger pour la santé humaine mais à des concentrations élevées qui dépassent la norme recommandée, elles peuvent causer des troubles diarrhéiques.

2. Nitrates NO_3^-

Les nitrates se trouvent naturellement dans la majorité des eaux en faibles concentrations, ils sont très répandus sur terre.

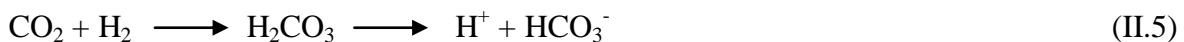
Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates proviennent de la décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels et de l'oxydation de l'ammoniaque [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)].

3. Chlorures Cl^-

La présence des chlorures dans l'eau peut être liée principalement à la nature des terrains traversés, fréquent dans la nature sous forme de sel de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl_2). Dans l'eau, les chlorures se trouvent à l'état ionique, leur teneur est variée ; celle des eaux courantes exemptes de pollution est généralement inférieure à 25 mg/L et celle des eaux naturelles est inférieure à 50 mg/L. Leur inconvénient majeur réside dans la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/L et de la corrosion des métaux [POTELON, ZYSMAN (1998) ; MEGHZILI (2003)].

4. Bicarbonates HCO_3^-

La plupart des eaux naturelles ont un pH compris entre 4,5 et 8,2 et leur alcalinité est attribuée essentiellement aux bicarbonates. Ces bicarbonates proviennent essentiellement de la dissolution des carbonates de calcium et de carbonates de magnésium selon les réactions suivantes :



Ces réactions nécessitent la présence de CO_2 dans l'eau, qui provient de l'air et de l'activité intense des bactéries dans le sol [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)].

II.1.4 Substances indésirables

1. Fer (Fe)

Le fer se trouve de manière importante dans les eaux souterraines car c'est un élément de la croûte terrestre à raison de 4,5 à 5%. Sa présence dans l'eau dépend des conditions physiques et hydrologiques (lessivage des terrains, rejets industriels, corrosion des

canalisations métalliques). Une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir plus de 0,3 mg/L de fer [POTELON, ZYMAN (1998)].

2. Aluminium (Al^{3+})

Très répandu sur la terre, il se trouve rarement dans les eaux naturelles. L'aluminium vient par ordre d'importance après l'oxygène et le silicium. Lorsqu'il est en solution et en milieu acide, il existe sous forme d' Al^{3+} . Il ne représente aucun inconvénient pour l'organisme humain à des concentrations inférieures à 0,2 mg/L [BEN CHABANE, HAMDI (2018)].

Pour le dosage de l'Aluminium, les méthodes par spectrophotométrie d'adsorption atomique avec ou sans flamme et par spectrophotométrie d'émission à l'aide d'un générateur inductif de plasma sont utilisées [RODIER, COLL (2005)].

3. Manganèse (Mn^{2+})

Le manganèse est un oligo-élément indispensable à notre organisme, il se trouve rarement ou en très faibles quantités dans les eaux naturelles, il a comme avantage d'être facilement soluble et il peut être détecté à de faibles concentrations.

Le dosage du manganèse doit être pratiqué immédiatement après le prélèvement car il a tendance à s'oxyder rapidement, à précipiter et à se fixer sur les parois du récipient. Dans le cas contraire, acidifier l'échantillon au moment du prélèvement [RODIER, COLL (2005)].

Le manganèse peut être dosé par spectrophotométrie d'adsorption atomique avec flamme et par spectrophotométrie d'émission.

II.1.5 Paramètres de pollution

1. Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est l'un des excellents indicateurs de la pollution de l'eau car il provient du processus de dégradation incomplet de la matière organique azotée et des engrais. La solubilité de l'ammonium dans l'eau dépend des conditions du pH de cette dernière.

L'élimination de l'ammonium présent dans les eaux se fait par des procédés physico-chimiques ou biologiques.

2. Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont retrouvés dans les eaux généralement à des doses très faibles ; ils proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des

nitrites sous l'influence d'une dénitrification. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car leur présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique [BOUAZZOUNI, HADJ ARAB (2016)].

3. Phosphates (PO_4^{3-})

Des teneurs élevées en phosphates signalent une infiltration d'eau de surface ou une contamination par des engrais.

L'eau de source et les eaux souterraines qui ne sont pas influencées par des contaminations anthropogènes montrent des teneurs en phosphates inférieurs à 0.01 mg/L [C.I.E (2005)].

4. Matière organique (MO)

La matière organique dérive des activités humaines (agricoles, urbaines) et des métabolismes des organismes vivants. Sa présence dans une eau indique une contamination bactériologique, elle favorise la prolifération de certains organismes tels que les algues et les champignons et c'est ce qui confère à cette dernière un goût désagréable et une couleur non transparente.

II.1.6 Paramètres microbiologiques

Les bactéries sont omniprésentes dans la nature car il s'agit probablement des premiers êtres vivants apparus sur terre (archéobactéries). Seule quelques dizaines d'espèces sont adaptées à l'homme : la plupart sont inoffensives ou même utiles faisant partie des flores cutanées, digestives, buccales, génitales ; certaines sont pathogènes, opportunistes ; une minorité est régulièrement pathogène [RODIER, COLL (2005)].

Les bactéries sont naturellement présentes en plus grand nombre dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines.

L'analyse biologique de l'eau permet l'identification de toutes les espèces existant, et surtout celles qui sont pathogènes pour l'homme pouvant provoquer des maladies, ainsi leur présence indique une contamination fécale telle que : *Escherichia coli*, coliformes totaux, streptocoques fécaux et *Clostridium sulfito-réducteurs*.

L'identification et le dénombrement des coliformes totaux et *E.Coli* présents dans l'eau peut se faire suivant trois méthodes : Filtration sur membrane (méthode quantitative),

méthode qualitative présence/absence qui sont les plus utilisées dans différents pays, ou fermentation en tubes (méthode semi-quantitative) [SANTE CANADA (2012)]. Quand aux entérocoques peuvent être détectés en milieu liquide: dilution en tubes multiples et méthode du nombre le plus probable, ou sur gélose : méthode de filtration sur membrane (FM) qui est la mieux adaptée à l'eau potable.

1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont un groupe de bactéries que l'on trouve couramment dans l'environnement, par exemple dans le sol ou la végétation, ainsi que les intestins des mammifères, y compris les humains.

La présence d'E.Coli dans l'eau indique une contamination fécale récente et peut indiquer la présence possible d'agents pathogènes causant des maladies, tels que des bactéries, des virus et des parasites.

Escherichia coli sont des bactéries en forme de bâtonnets, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase qui permet de libérer un agent chromogène utilisé dans des milieux de culture servant à les identifier [CHEVALIER (2017)].

Dans l'eau, les coliformes n'ont ni goût, ni odeur, ni couleur. Ils ne peuvent être détectés que par des tests de laboratoire.

2. Streptocoques fécaux

La classification générale des streptocoques fécaux a été modifiée dans les années 80 par la création d'un nouveau genre, Enterococcus. Dans ce contexte, plusieurs espèces appartenant antérieurement au genre Streptococcus ont été transférées vers le genre Enterococcus, ce dernier correspondant, grosso modo, aux streptocoques du groupe sérologique D de la classification de Landefeld. Le genre Enterococcus comprend une vingtaine d'espèces qui se retrouvent dans différents habitats et chez différents hôtes. On les retrouve souvent dans le tractus gastro-intestinal des humains et de plusieurs animaux; Enterococcus faecalis et E. faecium sont les deux espèces le plus souvent identifiées chez l'homme. Elles sont présentes dans les intestins d'environ 75 % des humains, à des concentrations variant de 10^5 à 10^8 bactéries/g. Quant aux streptocoques du groupe D susceptibles de contaminer les eaux d'approvisionnement, ils sont plutôt typiques des déjections animales, comme Streptococcus bovis, S. equinus, S. gallolyticus et S. alactolyticus. Ces espèces colonisent le bétail, les chevaux et la volaille bien qu'elles peuvent parfois être présentes chez l'humain, en

particulier *S. bovis* et elles n'ont pas été transférées dans le genre *Enterococcus* [CHEVALIER (2002)].

Les entérocoques sont des bactéries à gram positif, ils possèdent une forme de coques en courtes chaînes et peuvent se développer à une température entre 10 et 45 °C, ces caractéristiques sont utilisés pour leur identification. Ces derniers sont très résistants aux agents désinfectants, leur durée de vie dans une eau est plus longue que les autres organismes indicateurs de pollution, ce qui fait d'eux des indicateurs privilégiés pour évaluer l'efficacité du traitement de l'eau. Dans ce contexte, on a récemment reconnu le rôle des entérocoques comme indicateurs de contamination fécale dans les aquifères (nappes d'eau souterraine).

3. Clostridium sulfito-réducteurs

Les *Clostridium* ne sont pas des hôtes exclusifs de l'intestin de l'homme, ils se trouvent également dans l'environnement tellurique. D'autre part, les spores de *clostridium* ne peuvent pratiquement pas être enlevées par la chloration, et il faut pour le faire recourir à la filtration. C'est pourquoi leur présence ne doit pas être considérée comme un témoin de contamination fécale, mais comme une insuffisance de la filtration naturelle des sols ou de la filtration sur sable, dans le cadre d'une usine de traitement.

Quand toutes ces spores ont été éliminées, cela signifie que tous les germes de taille analogue et plus grands ont été éliminés, notamment certains parasites [LE GULLUDEC (1995)].

II.2 Norme de qualité

Jusqu'au début du siècle, on déterminait si une eau était potable à partir des seuls sens. L'eau devrait ainsi être agréable au goût, dépourvue d'odeur désagréable et limpide. Ce type sommaire d'évaluation a conduit dans plusieurs cas à des catastrophes. Aujourd'hui, on mesure plutôt les caractéristiques les plus appropriées et on les compare à des normes. Ces normes ne sont pas définitives, étant donné que les développements en microbiologie, en chimie analytique et en épidémiologie permettent de mieux cerner les effets de différentes qualités d'eau sur la santé humaine [DESJARDINS (2010)].

II.3 L'eau et la pollution

La pollution de l'eau correspond à toute modification physique ou chimique, mais aussi bactériologique directe ou indirecte sur la qualité de cette dernière, elle rend l'eau

impropre à l'utilisation même à la consommation et cela affecte négativement les organismes vivants.

Il existe deux types de pollution :

- La pollution chimique : générée par les pesticides, les insecticides, les produits pharmaceutique, les colorants,... etc. Et le rejet de produits chimiques par les usines tels que les nitrates et les phosphates.
- La pollution organique : due à la présence des microorganismes dans l'eau.

Les eaux souterraines considérées comme la ressource la plus potable, est également accessible à la pollution.

La pollution des eaux souterraines provient principalement de l'infiltration des eaux de surface ; des activités industrielles, agricultures, ainsi que les activités domestiques. Elle cause la destruction et le déséquilibre de la faune et la flore aquatique.

II.4 Impact des eaux contaminées sur la santé humaine

Les conséquences de la pollution des eaux sont multiples, les altérations physico-chimiques ou bactériologiques de cette dernière deviennent toxiques pour les organismes en dépassant une certaine dose, certaines substances peuvent interagir avec le système hormonal notamment le métabolisme mais aussi elles ont des effets moins visibles : des maladies ou des perturbations endocriniennes.

L'ingestion d'une eau contaminée peut provoquer des épidémies et des diarrhées mortelles chez l'enfant. D'autres risques peuvent provenir de la consommation d'organismes aquatiques ayant été en contact de cette eau tels que les poissons.

II.5 Maladies liées à l'eau

Les maladies d'origine hydrique sont des infections qui sont dues à un agent infectieux (bactéries, virus) qui provient des personnes malades ou des animaux. On distingue deux types de maladie d'origine virale et bactérienne ; les tableaux II.4 et II.5 regroupes les principales maladies d'origine virale et bactérienne, respectivement.

Tableau IIV.4: Les principales maladies d'origine virales [HADNI, OUAZAR (2017)]

Maladies	Agents responsables	Manifestations	Contaminations	Références
Poliomyélite	Poliovirus	-fièvre ; -fatigue ; -douleur au niveau des jambes ; -Maux de tête.	Le virus pénètre dans la bouche et se multiplie dans l'intestin.	GEURSEN et al, 2004
Hépatite Infectieuse	Virus de L'hépatite A	-Perte d'appétit ; urines foncées; -diarrhées ; -nausées ; -fièvres.	Voie digestive	OMS ,2008
	Virus de l'hépatite E	-trouble digestifs importants -urines foncées ; - diarrhées.	Voie digestive	OMS ,2008

Tableau IV.5: principales maladies d'origine bactérienne [VILAGINES (2003)]

Maladies	Agents responsables	Manifestations	Contaminations
Fièvres Typhoïdes et paratyphoïdes	Salmonella typhi et salmonella paratyphi A	-fièvre -céphalées -diarrhée -douleurs abdominales -hémorragies intestinales -collapsus cardiovasculaire -atteintes hépatiques, respiratoires et	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales

		neurologiques	
Choléra	Vibrio cholera	-diarrhée -vomissement -douleurs épigastriques -Crampes musculaires	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales
Gastro-entérites	Escherichia coli	-diarrhée -douleurs abdominales -fièvre -nausées et vomissement -selles sanguinolentes	Voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales

Par ailleurs, la recherche des germes-test de contamination fécale sur laquelle est basé le contrôle de la potabilité microbiologique de l'eau ne constitue qu'un contrôle rétrospectif et non pas préventif, car trop tardif pour permettre d'intervenir et d'éviter les risques. En effet, les consommateurs ont déjà ingéré l'eau polluée et potentiellement dangereuse lorsque une contamination est détectée. C'est pourquoi des traitements de désinfection sont mis en place, dans l'intention première d'assurer, en toutes circonstances, l'innocuité microbiologique de l'eau distribuée [LE GULLUDEC (1995)].

L'OMS a pu établir que 34 200 000 décès en 1990 seraient dus à des maladies d'origine hydrique (épidémies de choléra, typhoïde hépatique...) ; la microbiologie est la base de la santé publique [GRONDIN (2005)]. La même organisation estime que 80 % des maladies qui affectent la population mondiale sont directement associées à l'eau [DESJARDINS (2010)]. Les maladies contagieuses causées par les bactéries pathogènes constituent le risque pour la santé le plus commun et le plus répandu. Ce risque concerne beaucoup les enfants ; parmi les maladies liées à l'eau, les diarrhées infantiles d'origine microbienne sont une cause majeure de morbidité et de mortalité.

Pour assurer la salubrité de l'eau potable, la première mesure à prendre est de protéger les ressources de toute pollution. Si cela n'est pas possible ou ne fournit pas de résultats fiables en continu, un traitement est nécessaire.

Qu'elles soient d'origine souterraine ou superficielle, les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est souvent nécessaire de leur appliquer un traitement plus ou moins approprié à savoir la désinfection. L'objectif fondamental de désinfection de l'eau est de protéger les consommateurs des micro-organismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé [VALENTIN (2000)].

III.1 Notion de désinfection

La désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine est définie comme l'opération destinée à détruire ou à inactiver les microorganismes pathogènes pour l'homme jusqu'à l'obtention d'un certain niveau de sécurité microbiologique. Ainsi, la désinfection ne correspond pas à une stérilisation au sens strict, puisqu'une eau désinfectée peut toujours contenir quelques germes banaux.

Pour autant, l'absence de coliformes dans l'eau traitée ne signifie pas qu'elle ne présente pas de risque sanitaire : en effet, les spores et kystes de protozoaires sont des formes très résistantes aux traitements de désinfection. Cependant, comme il est impossible techniquement et financièrement de contrôler tous les microorganismes, il s'agit plutôt de rechercher des indicateurs qui révèlent la présence possible ou l'absence de germes pathogènes : des études épidémiologiques montrent en effet que le risque sanitaire est proportionnel à la quantité de germes tests dénombrés. Par exemple, la recherche des streptocoques et des coliformes constitue un bon test de contamination des eaux par les matières fécales [RAVARINI (1997)].

Les méthodes de désinfection peuvent être classées en deux catégories : la désinfection chimique et la désinfection physique [RAVARINI (1997), OFFICE OF WATER (1999)].

III.1.1 Désinfection chimique

Un agent chimique ajouté à l'eau réagit avec les composés présents, essentiellement par des mécanismes d'oxydoréduction favorisés par une augmentation de la température. Les modes et sites d'action des désinfectants chimiques, et donc également leur efficacité germicide, diffèrent sensiblement en fonction du type de microorganisme cible. En effet le temps de contact et la concentration de désinfectant sont nécessaires pour obtenir un certain niveau d'inactivation des germes.

La désinfection chimique peut, par réaction, conduire à la création de substances nouvelles potentiellement dangereuses pour la santé, appelées sous-produits de désinfection [SENET (2003)].

III.1.2 Désinfection physique

La désinfection est réalisée sans ajout de réactif soit par effet germicide soit par séparation. Avec les rayonnements ultraviolets, l'effet germicide est obtenu par la rupture physique des macromolécules voire par l'explosion des cellules des germes. Avec une filtration, les germes sont physiquement séparés de l'eau par le pouvoir de coupure des membranes.

Les membranes sont des barrières filtrantes semi-perméables qui permettent de séparer physiquement l'eau des germes potentiellement pathogènes. La taille des pores définit des procédés différents : la microfiltration stoppe les particules de taille supérieure à quelques dixièmes de microns, elle convient donc pour éliminer les vers et la plupart des bactéries ; pour les virus par contre, il faut mettre en œuvre l'ultrafiltration (pouvoir de coupure de l'ordre de 10^{-8} m).

Contrairement aux procédés de désinfection chimique, il n'est pas possible d'obtenir un effet rémanent avec les procédés de désinfection physique. En revanche, il n'y a pas de risque connu afférent à la désinfection physique [SENET (2003)].

III.2 Désinfection des eaux destinées à la consommation humaine

La désinfection est un traitement indispensable pour protéger les populations des infections d'origine hydrique. La désinfection revêt une importance incontestable dans la

sécurité sanitaire d'un approvisionnement en eau de boisson. La destruction des micro-organismes pathogènes est une opération capitale, qui fait très souvent appel à des réactifs chimiques tels que le chlore. La désinfection constitue une barrière efficace contre de nombreux agents pathogènes (en particulier des bactéries) lors du traitement de l'eau de boisson et doit être pratiquée sur les eaux de surface et les eaux souterraines susceptibles de contamination fécale. Une dose résiduelle de désinfectant est maintenue de façon à assurer une protection partielle contre les contaminations de faible ampleur et le développement bactérien dans les réseaux de distribution [OMS (2017)].

La désinfection comporte deux étapes importantes correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné :

-L'effet bactéricide = capacité à détruire les germes

-L'effet rémanent = propriété d'un désinfectant de persister dans l'eau un certain temps après son introduction [LE GULLUDEC (1995)].

III.2.1 Critères permettant de choisir le désinfectant

Le choix du désinfectant dépend essentiellement de la ressource en eau utilisée ; les eaux de surface sont souvent plus contaminées et donc l'objet de traitements de désinfection plus poussés que les eaux d'origine souterraine [SENET (2003)].

Un désinfectant ou un procédé de désinfection doit :

- Ne pas être toxique pour les humains ou les animaux.
- être toxique, à de faibles concentrations, pour les micro-organismes.
- Etre soluble dans l'eau.
- Former avec l'eau une solution homogène.
- Etre efficace aux températures normales de l'eau de consommation.
- Etre stable, afin de favoriser le maintien d'une certaine concentration résiduelle pendant de longues périodes de temps.
- Ne pas réagir avec la matière organique autre que celle des micro-organismes.
- Ne pas détériorer les métaux ni endommager les vêtements lors de la lessive.
- Eliminer les odeurs.
- Exister en grandes quantités et être vendu à un prix abordable.
- Etre facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs.

- Permettre une mesure aisée de sa concentration et, partant, un bon contrôle de celle-ci [DESJARDINS (2010)].

III.2.2 Les principaux désinfectants employés pour le traitement de l'eau

Cette partie regroupe certaines caractéristiques des principaux procédés désinfectants employés pour le traitement de l'eau et des installations : chlore (chlore gazeux, eau de Javel, hypochlorites), chloramines, dioxyde de chlore, ozone, ultraviolets et filtration membranaire. Les renseignements pratiques évoqués s'appliquent au traitement de l'eau.

La méthode de désinfection à mettre en œuvre pour traiter l'eau et les installations dépend essentiellement du type et de la concentration des microorganismes et des propriétés physiques et chimiques de l'eau [SENET (2003)]. Cependant, le chlore a été et reste encore le désinfectant le plus utilisé dans la plupart des pays (80 % de la désinfection dans le monde), Cette prédominance du chlore dans l'arsenal de la désinfection provient essentiellement du fait qu'il est facilement disponible, rémanent, peu couteux, aisé à manipuler et à mesurer [LE GULLUDEC (1995)].

III.2.3 Désinfection de l'eau par le chlore (la chloration)

Si l'eau souterraine utilisée le plus souvent pour la boisson est à l'origine de bonne qualité, il n'en est pas toujours de même après son exploitation, son transport et son stockage. La désinfection de l'eau par le chlore a fréquemment démontré son efficacité. Ainsi, dans les pays européens il a mis un coup d'arrêt aux grandes épidémies, et à l'heure actuelle la chloration demeure la seule solution envisageable en milieu rural africain [GRONDIN (2005)].

La chloration est un procédé de traitement simple et efficace qui permet d'éliminer les pathogènes des eaux afin de la rendre potable, ce qui réduit les risques pour la santé. La chloration est appliquée sur les eaux claires et transparentes. Il s'agit d'introduire dans l'eau une partie importante des produits chlorés (pastilles de chlore, eau de javel...) étant nécessaire pour neutraliser les matières organiques et éliminer les bactéries, les virus et les microorganismes pathogènes responsables de maladies qu'elle contient, il n'en reste cependant qu'une partie, appelée chlore résiduel libre, pour traiter la contamination éventuelle ultérieure de l'eau dans le réseau. La concentration en chlore libre de l'eau traitée doit être selon l'OMS de 0,2 à 0,5 mg/L. Après 30 minutes environ, l'eau est généralement potable. En raison de

l'effet résiduel du chlore, il peut rester dans cet état pendant des heures ou des jours (selon les conditions de stockage).

La chloration convient à tous les environnements où la qualité de l'eau est insuffisante. Le chlore est ajouté dans l'eau des grands réseaux de distribution d'eau potable afin que l'eau ne soit pas contaminée pendant son transport depuis la station de traitement jusqu'à l'utilisateur. De plus, dans de nombreux pays en développement là où l'eau disponible peut être contaminée, la chloration est utilisée à l'échelle individuelle, domestique ou collective.

III.2.3.1 Mesure de la teneur résiduelle en chlore

Il est important de s'assurer de la présence de chlore libre dans l'eau en tout point du réseau. La mesure de la teneur résiduelle en chlore constitue en effet un signal d'alarme immédiat et peu coûteux permettant de surveiller l'évolution de la qualité microbiologique dans le réseau.

Il s'agit d'une mesure colorimétrique qui nécessite l'acquisition d'un comparateur visuel ou d'un spectromètre, de deux cuves de 10 mL, d'un disque étalon et de comprimés de réactif. L'ensemble de la mesure prend moins de 5 minutes. Les résultats sont précis au dixième.

La surveillance du résiduel de chlore libre doit être effectuée le plus souvent possible aux extrémités du réseau [LE GULLUDEC (1995)].

III.2.3.2 Réaction du chlore dans l'eau

Le chlore gazeux et l'hypochlorite réagissent rapidement dans l'eau pour former un produit qui s'avère un produit actif de la désinfection (responsable de l'effet désinfectant sur les micro-organismes) qui est l'acide hypochloreux HOCl.

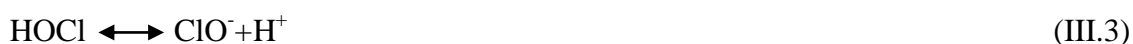
- Réaction du chlore gazeux :



- Réaction de l'hypochlorite de sodium "eau de javel" :



L'acide hypochloreux est un acide faible qui se dissocie selon la réaction suivante :



III.2.3.3 Paramètres influençant l'efficacité du chlore

L'efficacité biocide du chlore dépend de la prise en compte d'un certain nombre de facteurs qui influencent la quantité de chlore nécessaire à une bonne désinfection, citons : la turbidité, le pH et le temps de contact du chlore avec l'eau à désinfecter. .

Sur un plan général, la désinfection sera optimale lorsque les paramètres énoncés ci-dessous seront respectés [LE GULLUDEC (1995)].

Tableau III.1: Valeurs optimales des paramètres influençant la désinfection

Turbidité	< 0,5NTU
pH	< 8
Temps de contact	> 30 min

III.2.3.4 Principaux avantages et inconvénients de la chloration

Les avantages et les inconvénients de désinfection par chloration sont regroupés par le schéma suivant :

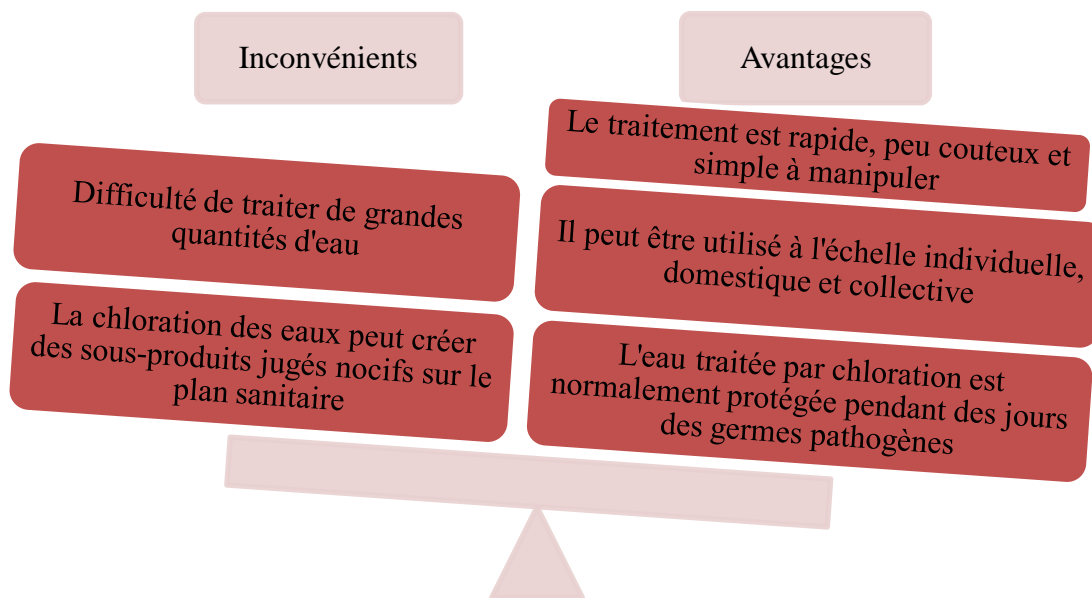


Figure III.1: Principaux avantages et inconvénients de la chloration

Les différentes analyses et la désinfection, réalisées sur l'eau de source de thala Ougelid ont été effectuées au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de l'eau ADE de Boukhalfa wilaya de Tizi-Ouzou.

III.3 Présentation de l'algérienne des eaux (ADE)

L'algérienne des eaux est une entreprise publique à caractère industriel et commercial (EPCI). Elle est chargée de la production, l'exploitation et la gestion de la distribution de l'eau. L'algérienne des eaux est dotée d'un laboratoire de contrôle de qualité qui a été créé par décision du directeur régional [BOUZZOUNI, HADJ ARAB (2016)].

Le laboratoire de l'ADE comporte deux services : un service bactériologique qui se charge des analyses bactériologiques et un service physicochimique qui se charge des différentes analyses physicochimiques.



Figure III.2: Logo de l'entreprise « Algérienne des eaux »

IV.1 Présentation du site du prélèvement

La source d'eau thala Ougelid se trouve à 550 m de Mechtras voir 2 min en voiture, sur la route qui mène vers Ihsnawen. Mechtras est une commune située à 32 km au sud de la wilaya de Tizi-Ouzou.

L'eau de cette source passe à travers un tuyau en PVC qui coule 24h/24h (Figure IV.1), elle est utilisée par la population de la région pour la consommation et l'usage domestique et ménager.



Figure IV.1: Source d'eau thala Ougelid

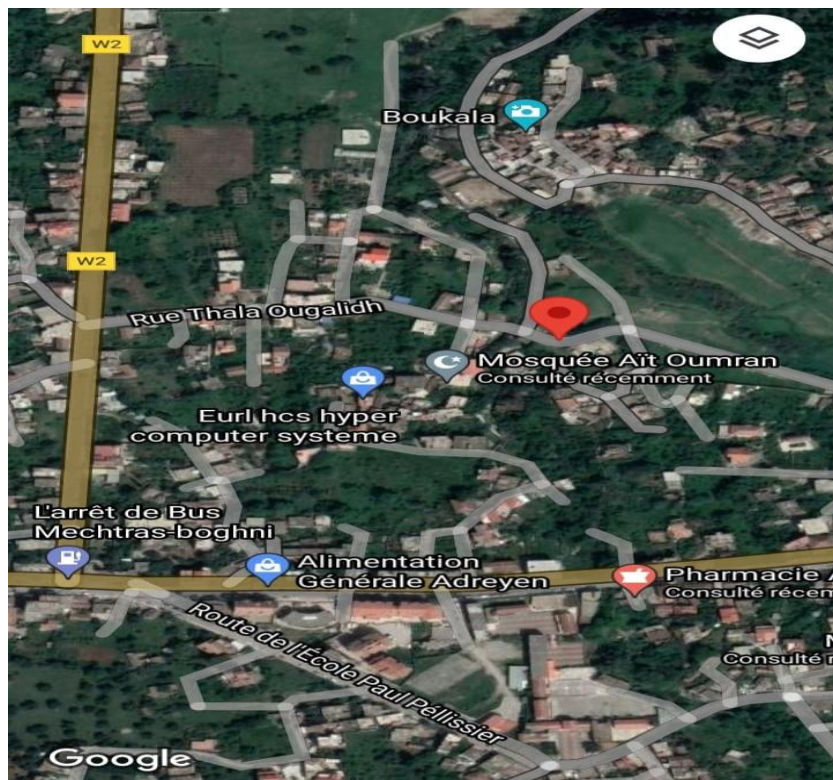


Figure IV.2: Vue satellite de la source d'eau thala Ougelid

IV.2 Prélèvement de l'échantillon

Le prélèvement d'un échantillon d'eau qui est réservé aux analyses est la première opération qui doit être effectuée, Cette opération doit être effectuée suivant des conditions strictes afin d'obtenir un prélèvement représentatif pour ne pas modifier les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau que l'on désire analyser et encore pour garantir la lecture des résultats analytiques exacts. De plus le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière [RODIER, LEGUBE, MERLET, COLL (2009)].

Le flacon préconisé à l'utilisation est en polyéthylène haute densité (PEHD) de capacité 20 L doit être neuf préalablement bien lavé avec une solution détergente (sans phosphates, bore, etc.) et convenablement rincé avec de l'eau, égoutté puis fermé. Au moment du prélèvement, le rinçage du flacon avec de l'eau à analyser 3 fois est recommandé, pour éliminer toute contamination éventuelle du flacon, donc assurer son utilisation. Enfin remplir le flacon totalement après avoir désinfecté la tuyauterie avec la chaleur, pour éviter la pénétration d'air, par conséquent, la variation de la population bactérienne.

IV.3 Acheminement du prélèvement

Le prélèvement est directement acheminé au laboratoire d'analyse ADE de Tizi-Ouzou. Le transport de l'échantillon est réalisé dans des conditions favorables de manière à conserver les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'échantillon.

L'analyse physico-chimique n'est pas très sensible aux altérations accidentelles, elle peut se faire à n'importe quel moment, mais malgré cela, une analyse in-situ s'impose devant être pratiquée le plus rapidement possible après le prélèvement pour certains paramètres tels que : le pH, la température, oxygène dissous, turbidité, couleur, odeur en raison de leur instabilité. L'analyse bactériologique étant très sensible aux modifications qui peuvent se produire au sein de l'échantillon, elle doit être effectuée sans tarder au plus tard 4 heures après le prélèvement.

Au laboratoire, l'échantillon prélevé sera étiqueté et codé avec précision afin de faciliter son identification et pour éviter toute forme de confusion, en mentionnant sur l'étiquette tout les renseignements nécessaires.

Des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été effectuées sur l'échantillon initialement prélevé, stocké après dix jours et traité par un désinfectant.

IV.4 Conservation de l'échantillon

L'échantillon a été conservé dans un milieu lumineux à une température de 25°C comme le montre la figure IV.3.



Figure IV.3: Conservation de l'échantillon

IV.5 Méthodes d'analyses

Afin d'évaluer la qualité de l'eau souterraine de thala Ougelid, deux méthodes d'analyses ont été effectuées sur cette source avant et après le stockage à savoir : l'analyse bactériologique et physico-chimique.

IV.5.1 Analyse bactériologique

L'examen bactériologique est un examen qui révèle être obligatoire pour évaluer la qualité de l'eau. Cette analyse permet la recherche, l'identification et le dénombrement des bactéries aérobies et anaérobies pathogènes dans une eau si elles existent.

Pour notre étude, on s'est basé sur la recherche et le dénombrement de trois bactéries qui sont les suivantes :

- ✓ Escherichia coli
- ✓ Coliformes totaux

La méthode par filtration sur membrane est utilisée, car la source de thala Ougelid présente une eau claire, c'est-à-dire une eau qui n'est pas trouble.

Cette méthode est applicable aux eaux à faible teneur en bactéries qui produiront moins de 100 colonies totales sur la gélose chromogène.

A l'aide d'un bec bunsen, stériliser tout le matériel après son montage à savoir : le réservoir gradué (l'entonnoir, le couvercle et le fritté) et le flacon de l'échantillon d'eau (avant et après analyse). Après refroidissement, déposer la membrane de porosité 0,45 µm sur le fritté avec une pince stérile. Puis verser 100 mL d'eau de source dans le réservoir gradué après l'homogénéisation de l'échantillon. La filtration de ce dernier est réalisée à l'aide d'une pompe à vide (Figure IV. 4). La membrane est retirée stérilement du fritté puis déposée soigneusement sur le milieu de culture adéquat de manière à éviter la formation de bulle d'air entre la membrane et le milieu de culture. Les boîtes de pétri de 55 mm de diamètre sont incubées, le couvercle vers le bas, dans un incubateur à 37 °C (Figure IV. 5 et IV. 6).

Les boîtes de Pétri ont été utilisées afin de développer de manière contrôlée la croissance des souches bactériennes recherchée (*Escherichia coli*, streptocoques fécaux, coliformes totaux), en utilisant des milieux de culture adéquat aux germes à savoir, le milieu gélose CCA et le milieu gélose Slanetz & Bartley (préparation et dénombrement (voir Annexe 3)). Pour l'identification, le code de l'échantillon à analyser, la date d'analyse et la température d'incubation sont mentionnés sur la boîte de Pétri.

Figure IV. 4 montre les différents appareillages et verreries utilisé lors de l'analyse bactériologique.

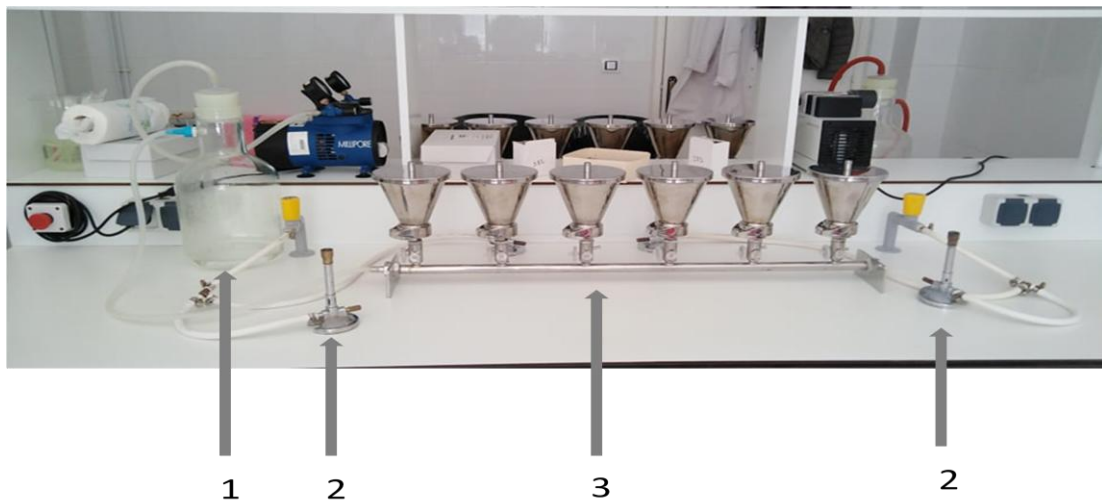


Figure IV.4: Matériel bactériologique utilisé

Avec :

- 1 : Trompe à vide
- 2 : Bec bunsen
- 3 : Rampe de filtration à 6 réservoirs en acier inoxydable

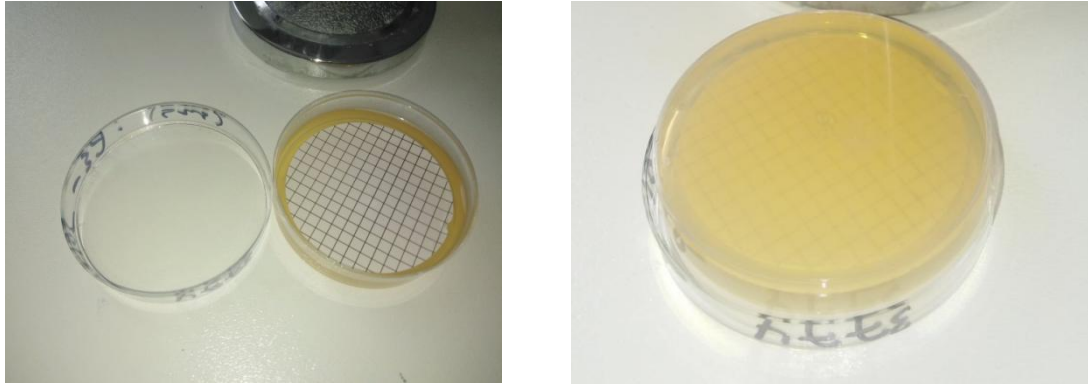


Figure IV.5: Emplacement de la membrane dans la boîte de pétri



Figure IV.6: Etuve d'incubation réglée à 37°C

IV.5.1.1 Mise en culture

Cette étape consiste à développer de manière contrôlée la croissance des souches bactériennes afin d'en faciliter l'étude. On utilise pour cela une boîte de Pétri, dans lequel on crée artificiellement les conditions de développement des germes. Sur ces boîtes on mentionne : le code de l'échantillon à analyser, la date d'analyse et la température d'incubation. Suivant les germes qui sont recherchés, les techniques de culture varient (Escherichia coli, streptocoques fécaux, coliformes totaux).

La préparation des milieux de culture doit être réalisée avec précaution.

Les milieux de culture utilisés afin d'identifier ces germes dans notre étude sont : le milieu gélose CCA et le milieu gélose Slanetz & Bartley.



Figure IV.7: Les milieux de cultures utilisés

IV.5.2 Analyse physico-chimique

L'analyse physico-chimique est un examen essentiel à l'évaluation de la pureté de l'eau de source thala Ougelid et d'un niveau de pollution en fonction d'un ensemble de paramètre. Ce type d'analyses est basé sur deux qualités :

- ✓ Qualité physique : température, turbidité, conductivité, couleur, matières en suspension MES, alcalinité...etc.
- ✓ Qualité chimique : potentiel hydrogène pH, ammonium, nitrites, matière organique...etc.

Les techniques d'analyses physico-chimiques utilisées dans notre étude sont les suivantes :

- ✓ La méthode électrochimique
- ✓ La méthode volumétrique
- ✓ La méthode spectrométrique

Il existe deux types d'analyses physico-chimiques :

- ✓ Analyse physico-chimique partiel APP : c'est tout ce qui concerne l'électrochimie : le potentiel hydrogène, la conductivité, la turbidité, la couleur, l'ammonium, les nitrites.
- ✓ Analyse physico-chimique complet APC : c'est le rassemblement des trois techniques mentionnées en haut, ce qui fait une analyse générale ou complet.

IV.5.2.1 Méthode électrochimique

Cette méthode met en œuvre les appareillages : les électrodes qui sont utilisées par immersion dans l'eau, elles permettent de mesurer : le pH, la turbidité, la conductivité...

1. Le potentiel hydrogène

Le pH de l'eau de source thala Ougelid est mesuré avec des électrodes combinées d'un pH-mètre étalonné, avec deux solutions étalon de pH=7 et pH=14. Le PH-mètre utilisé dans notre étude est de marque WTW, type pH 540 GLP (marque allemande).



Figure IV.8: pH-mètre

2. La conductivité

La conductivité de l'eau de source est déterminée à l'aide d'un conductimètre de marque allemande WTW, type cond 7110.



Figure IV.9: Conductimètre

3. La turbidité

La turbidité à savoir la teneur en matières en suspension de l'eau de source est estimée par un turbidimètre de marque HACH, type TL2300.



Figure IIV.10: Turbidimètre

IV.5.2.2 Méthode volumétrique

L'analyse volumétrique est une technique d'analyse quantitative, consiste à la neutralisation d'un certain volume d'eau contenant la substance à doser, de concentration inconnue, avec un acide minéral dilué ou une solution aqueuse dont la concentration est connue, en présence d'un indicateur coloré pour identifier le point d'équivalence.

Cette méthode nous permet d'analyser nombreux paramètres (alcalinité, dureté, dureté calcique, chlorures, matière organique).

1. Détermination de l'alcalinité (TA et TAC)

Ces paramètres sont basés sur le titrage d'un certain volume d'eau par un acide en présence d'un indicateur coloré pour la recherche des carbonates (CO_3^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-), les hydrogénocarbonates (H_2CO_2) et les hydroxydes (OH^-).

Le titre alcalimétrique (TA) d'une eau permet de mesurer sa concentration en ions carbonates. Il se fait par titrage de 100 mL de l'eau de source avec un volume d'acide fort (acide sulfurique) nécessaire pour neutraliser ces derniers en présence de deux gouttes de phénolphthaléine (indicateur coloré).

Il n'y a pas apparition d'une couleur rose donc le TA est nul, l'échantillon est préservé pour la détermination du titre alcalimétrique complet.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) d'une eau correspond à la somme des concentrations en ions CO_3^{2-} , HCO_3^- et OH^- . Il est déterminé par titrage avec un acide fort en présence d'un indicateur coloré qui est le méthylorange.

L'ajout deux gouttes de méthylorange à l'échantillon préservé montre l'apparition d'une couleur jaune. Ensuite titrer le mélange avec l'acide sulfurique jusqu'au virage de couleur rouge brique à un pH de 4.30. Le volume de l'acide est retenu.

2. Détermination de la dureté

Titration par complexométrie du calcium et de magnésium avec une solution aqueuse d'EDTA à pH de 10 en présence du mordant noir comme indicateur. L'EDTA réagit d'abord avec les ions calcium et magnésium libres en solution au début du titrage ensuite, au point d'équivalence, avec les ions calcium et magnésium combinés avec l'indicateur coloré et provoque un changement de couleur de violet à bleu.

Ajouter 4 mL d'une solution tampon à 50 mL d'eau à analyser, puis ajouter 3 gouttes de l'indicateur coloré mordant noir, une couleur violet est examinée. Sous agitation, titrer le mélange avec la solution aqueuse d'EDTA, jusqu'au virage à la couleur bleu. Le volume d'EDTA est déterminé.

3. Détermination de la dureté calcique

Ajouter 2 mL de NaOH à 50 mL d'eau à analyser, puis ajouter l'indicateur coloré HSN, une couleur rose est apparue. Sous l'agitation, doser le mélange avec la solution aqueuse d'EDTA, jusqu'au virage à la couleur bleu. Le volume d'EDTA est noté.

4. Détermination de la dureté magnésienne

La détermination des ions magnésium présents dans l'eau se fait suivant la formule IV.1 suivante :

$$C_{\text{Mg}^{2+}} \text{ (mg/L)} = \text{TH}_{\text{tot}} \text{ (mg/L)} - \text{TH}_{\text{Ca}} \text{ (mg/L)} \quad (\text{IV.1})$$

Avec C : la concentration

TH_{tot} : dureté totale

TH_{Ca} : dureté calcique

5. Dosage du calcium

Selon la norme ISO 6058 :1984, le titrage des ions calcium, avec une solution aqueuse d'EDTA s'effectue à pH basique (12 et 13). Le HSN forme un complexe rouge avec le calcium est utilisé comme indicateur.

Lors du titrage, l'EDTA réagit initialement avec les ions calcium libre, puis avec les ions combinés en présence de l'indicateur HSN qui donne le virage du rouge au bleu clair.

- A l'aide d'une pipette, introduire 50 mL dans l'échantillon préparé dans une fiole conique de 250 mL.
- Ajouter 2 mL de la solution NaOH et environ 0.2 g de l'indicateur HSN.
- Mélanger et doser immédiatement

Ajouter la solution d'EDTA tout en continuant d'agiter. Verser lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

6. Dosage des chlorures

Après l'ajout de 1 mL de chromate de potassium à 100 mL d'eau à analyser, une couleur jaune citronnier est obtenue. Sous agitation magnétique, procéder immédiatement au dosage du mélange, avec une solution de nitrate d'argent, jusqu'à la zone de virage rouge brique. Le volume de la solution versé est retenu.

7. Détermination de la matière organique

L'oxydation de la matière organique présente dans l'eau est réalisée avec l'usage de permanganate de potassium et d'acide sulfurique afin d'activer la réaction en milieu chaud pour que l'oxydation soit complète et rapide.

Sur une plaque chauffante réglée à 50 °C ou 60 °C, mélanger 20 mL d' H_2SO_4 avec 100 mL d'eau à analyser, une couleur violet est examinée après l'ajout de 20 mL de KMnO_4 . Le mélange est retiré de la plaque chauffante après dix minutes l'ébullition. La disparition de la couleur violet est observée après l'ajout de 20 mL de $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_2$. Ensuite le mélange est dosé par KMnO_4 jusqu'à l'obtention d'un reflet rose. Le volume de KMnO_4 versé est noté.

IV.5.2.3 La méthode spectrométrique

IV.5.2.3.1 Spectrophotomètre à UV-Visible

La spectrophotométrie à UV-Visible est utilisée pour l'analyse de l'eau de source thalassogelid. Une technique d'analyse quantitative, applicable à de nombreuses substances telles que : l'ammonium, les nitrites, les phosphates. Le spectrophotomètre à UV-visible utilisé dans notre étude est de marque HACH LANGE de type DR 6000.



Figure IV.11: Spectrophotomètre à UV-visible

1. Dosage de l'ammonium

Après mélange de 4 mL du réactif coloré et de 4 mL du réactif incolore avec 40 mL d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 mL, une couleur jaune est observée. Le mélange est ajusté avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Après une heure de contact, le mélange est analysé sur le spectrophotomètre UV-Visible (programmé sur le paramètre ammonium). La concentration en ammonium est donnée directement sur l'appareil en mg/L.

Si la couleur de la solution vire du jaune au vert, on constate la présence des ions ammonium dans l'eau.

2. Dosage des nitrites

Après mélange de 1 mL du réactif 1 avec 40 mL d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 mL, une solution transparente est apparue. Le mélange est ajusté avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Après 10 minutes de contact, le mélange est analysé sur le spectrophotomètre UV-Visible (programmé sur le paramètre nitrite). La concentration des nitrites est affichée directement sur l'appareil en mg/L.

Remarque

Si on observe une apparition d'une couleur rose après le temps de contact des réactifs, c'est qu'il y a présence des nitrites dans l'eau.

3. Dosage des phosphates

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium.

Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'adsorption (l'une vers 700 nm, l'autre plus important à 880 nm).

Après mélange de 1 mL d'acide ascorbique et 2 ml du réactif de mélange avec 40 mL d'eau à analyser, dans une fiole jaugée de 50 mL une solution transparente est obtenue. Le mélange est ajusté avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Après 10 à 30 minutes de contact, le mélange est analysé sur le spectrophotomètre UV-Visible (programmé sur le paramètre phosphate). La concentration en phosphore est affichée directement sur le spectrophotomètre en mg/L. Le passage de la concentration en phosphore vers la concentration en phosphate est donné par la relation (IV.2).

$$[\text{PO}_4^{3-}] = [\text{P}] * 3,06 \quad (\text{IV.2})$$

Remarque

L'apparition d'une coloration bleue après le temps de contact des réactifs indique la présence des phosphates dans l'eau.

4. Dosage des nitrates

Réaction des nitrates avec le diméthyle 2,6 phénols en présence d'un mélange d'acide sulfurique et phosphorique qui permet de produire le complexe nitro-4 diméthyle-2,6 phénol.

Agiter soigneusement dans une fiole jaugée de 50 mL, 35 mL d'acide mélange, 5 mL d'eau à analyser et 5 mL de solution de diméthyle 2-6 phénol, puis ajusté le mélange avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Après 10 à 60 minutes de contact, la solution transparente est analysé sur le spectrophotomètre UV-Visible (programmé sur le paramètre nitrate). La concentration en azote nitrate est donnée sur le spectrophotomètre en mg/L à une longueur d'onde de 324 nm. Le passage de la concentration en azote nitrate vers la concentration en nitrate est déterminé par la l'équation (IV. 3).

$$[\text{NO}_3^-] = [\text{NO}_3^-\text{-N}] * 4,427 \quad (\text{IV.3})$$

5. Dosage des sulfates

Mode opératoire

- Introduire 10 mL de l'eau à analyser à l'aide d'une pipette dans une cuvette
- Sélectionner le programme correspond au paramètre sulfate sur le spectrophotomètre UV-visible
- Passer l'échantillon dans ce dernier pour l'étalonner
- Une concentration de 0 mg/L est donnée sur le spectrophotomètre
- Faire sortir la cuvette de ce dernier
- Ajouter le réactif préparé
- Mélanger convenablement jusqu'à ce que la poudre disparaisse
- Remettre la cuvette dans le spectrophotomètre
- La valeur affichée en mg/L à une longueur d'onde de 450 nm correspond à la concentration en sulfate.

6. Dosage d'aluminium

La méthode utilisée est la méthode au rouge d'alizarine S. Cette méthode est adaptée par la détermination des ions aluminium dans l'eau à des concentrations entre 0,01 mg/L et 0,6 mg/L.

Des échantillons d'eau contenant des concentrations élevées peuvent être dilués.

Les ions d'aluminium se combinent avec le rouge d'alizarine S pour former un complexe jaune rouge qui peut être mesuré à 490 nm.

A 25 mL d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 mL, ajouter successivement 0,5 mL de thiosulfate de sodium, 1 mL d'acide ascorbique, 1 mL d'acide sulfurique, 10 mL de la

solution tampon de pH de 6,2 et 5 mL de solution fille Eryochrome cyanine, sous agitation. Le mélange est ajusté avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Après 10 minutes de contact, le mélange est analysé sur le spectrophotomètre UV-Visible (programmé sur le paramètre aluminium). La concentration en aluminium est examinée sur l'appareillage en mg/L à une longueur d'onde de 540 nm.

7. Dosage du sodium et potassium

La spectrophotométrie d'émission à flamme est une technique d'analyse quantitative précise et rapide qui utilise l'énergie lumineuse émise par un atome excité par une flamme. Elle a eu l'avantage de permettre le dosage des métaux alcalins et alcalinoterreux prédominants dans l'eau comme le sodium, le calcium, le magnésium, et le potassium.

L'analyse de sodium et de potassium présent dans l'eau se source thala Ougelid est réalisée à partir d'un spectromètre d'émission à flamme de marque Sherwood Flamme photomètre 410.



Figure IV.12: Spectrophotomètre d'émission à flamme

L'analyse de sodium et de potassium présent dans l'eau se source thala Ougelid est effectuée sur le spectrophotomètre à flamme, après avoir réglé à 0 mg/L, la concentration en sodium ou en potassium présente de l'eau distillée. Pour calibrer le photomètre à flamme, une solution témoin de sodium ou potassium de 10 mg/L est analysée trois fois et le chiffre « 10 » est affiché sur l'écran. Ensuite l'analyse de l'eau de source est réalisée sur le spectrophotomètre et la concentration en Na^+ ou K^+ est donnée en mg/L. Si la concentration est supérieure à 10 mg/L, procéder à la dilution de l'eau à analyser et la concentration en tenant compte du facteur de dilution est estimé par la relation (IV.4).

$C_{\text{Extinctions}}$ * facteur de dilution

(IV.4)

1. Dosage du manganèse

Le manganèse est oxydé en permanganates à l'aide de persulfate d'ammonium en présence de nitrate d'argent. Le permanganate ainsi formé est dosé par calorimétrie.

2. Détermination du résidu sec à 105 °C

Mélanger une quantité d'eau et l'évaporer dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée.
- Evaporer 500 mL d'eau filtrée dans cette dernière remplie à moitié au bain-marie.
- Rincer la fiole utilisée pour mesurer le volume d'eau avec de l'eau déminéralisée.
- Porter la capsule à l'étuve à 105°C pendant 4 heures une fois que toute l'eau est évaporée.
- Refroidir au dessiccateur pendant un quart d'heure.
- Peser immédiatement.
- Le résidu est généralement hygroscopique. Ce défaut peut être évité en prenant la précaution de déposer 1 ou 2 grammes de fluorure de sodium au fond de la capsule avant que la tare ne soit déterminée, car ces derniers ont tendance à éliminer l'excès d'eau facilement à 105°C en raison de leur insolubilité.

Le résidu sec à 105°C de l'eau de source thala Ougelid est déterminé par l'équation (IV.5).

$$RS = [(m_1 - m_0) / V_{\text{éch}}] * 10^6 \text{ (mg/L)} \quad (\text{IV.5})$$

Avec :

m_1 : la masse de la capsule avec résidus secs (mg)

m_0 : la masse de la capsule à vide (mg)

$V_{\text{éch}}$: volume de l'échantillon (mL)

IV.6 Désinfection de l'eau de source thala Ougelid

Après stockage, l'eau de source est traitée, on utilisant un désinfectant l'eau de Javel. Pour cela, il est très important de vérifier du degré de l'eau de javel utilisé, afin savoir le volume exacte de l'eau de Javel nécessaire pour la désinfection de l'eau de source stocké.

IV.6.1 Vérification du degré de l'eau de Javel

Pour connaître le volume d'eau de Javel, à savoir la concentration souhaitée, nécessaire pour la désinfection de l'eau de source stockée, Il est très important de vérifier le degré chlorométrique, généralement, affiché sur la bouteille.

Le degré chlorométrique de l'eau de Javel utilisé dans cette étude est déterminé à partir d'un densimètre de marque Anton Paar DMA 35.



Figure IV.13: Densimètre

L'étalonnage du densimètre utilisé est réalisé à l'aide de l'eau distillée, la valeur 0,997 est affichée. Ensuite l'eau de Javel est analysée, une densité de 1.058 est donnée par le densimètre. Puis le tube du densimètre est rincé avec de l'eau distillée. Le degré de l'eau de javel est estimé avec la densité trouvée (Annexe N°2).

IV.6.2 Détermination du volume de l'eau de javel

Après la détermination du degré chlorométrique, le volume d'eau de javel nécessaire à la désinfection de l'eau de source de thala Ougelid stockée est estimé par la relation (IV.6).

$$V_{\text{eau de javel}} = (V_{\text{éch}} * C_{\text{cl résiduelle}}) / \text{Quantité du chlore actif} \quad (\text{IV.6})$$

$$= (18 \text{ L} * 0,5 \text{ mg/L}) / 36500 \text{ mg/L}$$

$$= 0,000245 \text{ L} * 1000 = 0,245 \text{ mL}$$

Détermination de la quantité du chlore actif contenant dans l'eau de javel utilisé :

Un degré chlorométrique correspond à 3,17 grammes de chlore actif par litre d'eau de Javel

$$\left. \begin{array}{l} 1^{\circ} \text{ chlorométrique} \rightarrow 3,17 \text{ g/L du chlore actif} \\ 11,5^{\circ} \text{ chlorométrique} \rightarrow x \end{array} \right\} x = 36,5 \text{ g/L} = 36500 \text{ mg/L}$$

Pour la désinfection de l'eau de source stockée pendant 10 jours, 0,245 mL de l'eau de javel de 11,5° ont été injectées à l'aide d'une micropipette dans 18 L d'eau. Le flacon est agité soigneusement, afin d'évaluer la quantité du chlore libre résiduelle, un échantillon d'eau désinfecté est analysé après 30 minutes et 1 heure de contact.

IV.6.3 Mesure de la teneur libre résiduelle en chlore (test de chlore)

Le comparateur visuel du chlore de marque allemande Lovibond est utilisé afin de déterminer la quantité du chlore libre résiduelle contenue dans l'eau de source désinfecté.

Un comprimé de DPD (indicateur redox N, N-Diéthylphénylène-4 Diamine N°1 (DPD) de marque Lovibond) est ajouté à 10 mL d'eau à analyser, dans un tube à essai. Après agitation la dissolution totale du comprimé est observée, l'eau prend une coloration rose dont l'intensité est fonction de la concentration en chlore libre. La cuve du comparateur de chlore est remplie avec l'échantillon, le disque étalon du comparateur est tourné jusqu'à obtention d'une même intensité de rose. La concentration correspondante en chlore libre est lue sur le disque du comparateur.



Figure IV.14: Comparateur visuel de chlore

L'évaluation de la qualité de l'eau de source thala Ougelid envisagée, avant et après stockage et désinfection, est portée sur la mesure des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques contenus dans cette eau. Les différentes analyses effectuées au niveau du laboratoire de l'ADE de Tizi-Ouzou, ont permis de déterminer la présence de certains éléments minéraux et bactéries en concentrations remarquables, et leur évolution au cours du stockage a été également suivi.

V.1 Analyse physico-chimique

L'analyse physico-chimique a concerné, dans un premier temps, l'évaluation des paramètres physico-chimiques se rapportant aux paramètres suivants : pH, température, turbidité, conductivité, alcalinité, dureté totale et calcique ainsi que résidu sec ; les paramètres organoleptiques comme couleur, odeur, saveur ; les paramètres de minéralisation globale tels que : le sodium, le calcium, le magnésium, le potassium, les sulfates, les nitrates, les chlorures et les bicarbonates ; les paramètres liés aux substances indésirables voire : le fer, l'aluminium et la manganèse ; ainsi que sur les paramètres de pollution suivants : ammonium, nitrites, phosphates ainsi que la matière organique.

V.1.1 Paramètres physico-chimiques

Les résultats des analyses obtenus pour les différents paramètres physico-chimiques étudiés sur l'eau de source ciblée sont représentés dans le tableau V.1 et illustrés par les différents histogrammes figures V.1.à V.7.

Tableau V.1: Résultats des paramètres physico-chimiques de la source thala Ougelid avant, après stockage et désinfection.

Paramètres physico-chimiques	pH	T (°C)	Turbidité (NTU)	Conductivité (µS/cm)	TA mg/L CaCO ₃	TAC mg/L CaCO ₃	TH mg/L CaCO ₃	Résidu sec mg/L
Résultats préliminaires	7,56	20,1	0,33	492	0	214	236	275
Résultats après stockage	7,59	21,2	0,17	492	0	216	238	279
Résultats après désinfection	7,29	23,1	0,29	478	0	216	238	285

1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH d'une eau traduit son alcalinité ou son acidité. Il est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau, c'est pour cela qu'il doit être bien surveillé au cours de toutes les opérations d'analyse et désinfection.

Les différentes analyses réalisées sur l'eau de source thala Ougelid, ont montré pour la valeur de pH de l'eau est neutre (7,56 et 7,59), aucun changement n'est observé avant et après stockage (Figure V.1). Un pH de 7,20 est examiné après désinfection, cela est due probablement à la variation de la concentration des ions bicarbonates. Toutefois, les valeurs trouvées restent inférieures à pH 9 et elles sont bien conformes aux normes fixées par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS ($6,5 < \text{pH} < 9$).

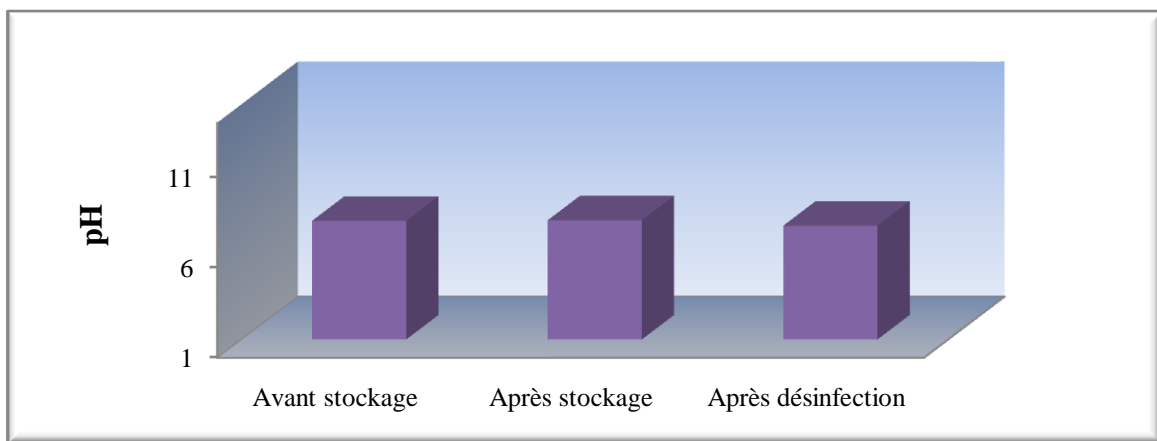


Figure V.1: Histogramme des valeurs de pH de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

C'est au voisinage de cette valeur que se situe le pH des eaux destinées à la consommation humaine recommandé par l'organisation mondiale de la santé. Cette dernière ne fixe pas de valeur, mais elle recommande un pH inférieur à 8 pour une bonne désinfection par le chlore.

2. Température

La variation de la température d'une eau destinée à la consommation par rapport aux normes recommandées n'a pas d'effet direct sur la santé humaine, en revanche, elle a un impact sur la qualité de cette dernière. Selon l'OMS, L'eau froide est généralement plus appréciée que l'eau chaude car une température élevée de l'eau stimule la croissance des micro-organismes et peut accroître les problèmes liés au goût, à l'odeur, à la coloration et à la corrosion.

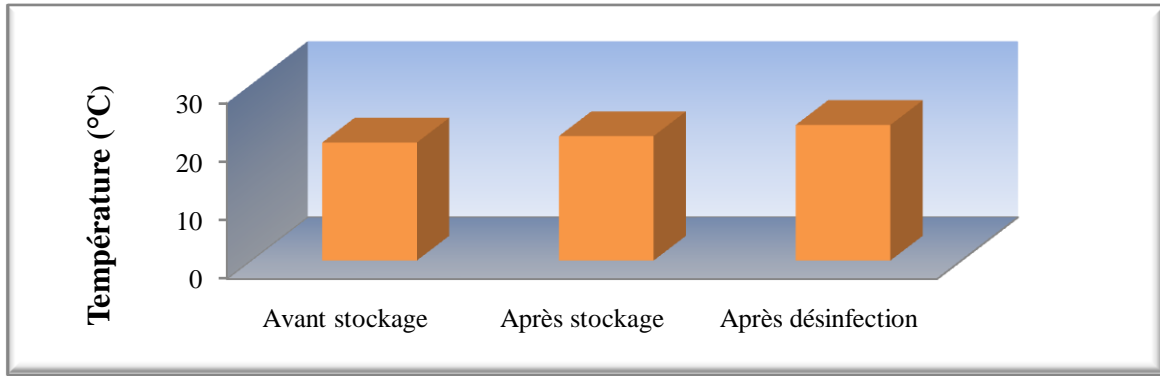


Figure V.2: Histogramme des valeurs de température de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Les analyses effectuées sur l'eau de source thala Ougelid, ont montré une légère élévation de température.

Les valeurs de températures enregistrées sont comprises entre 20 et 23,1°C. Toutefois, ces valeurs sont en accord avec la norme fixée par le journal officiel de la république algérienne N°13 (<25°C).

3. Turbidité

La turbidité traduit la présence des MES dans l'eau, elle donne à l'eau une apparence trouble par conséquent, elle perd sa transparence. L'eau de la source ciblée possède un aspect limpide et l'analyse initiale et après stockage et désinfection de cette première a confirmé sa clarté par une valeur de la turbidité égale à 0,33 NTU (Figure V.3). Cette valeur est conforme, car elle reste très inférieure à la norme fixée par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS à 5 NTU.

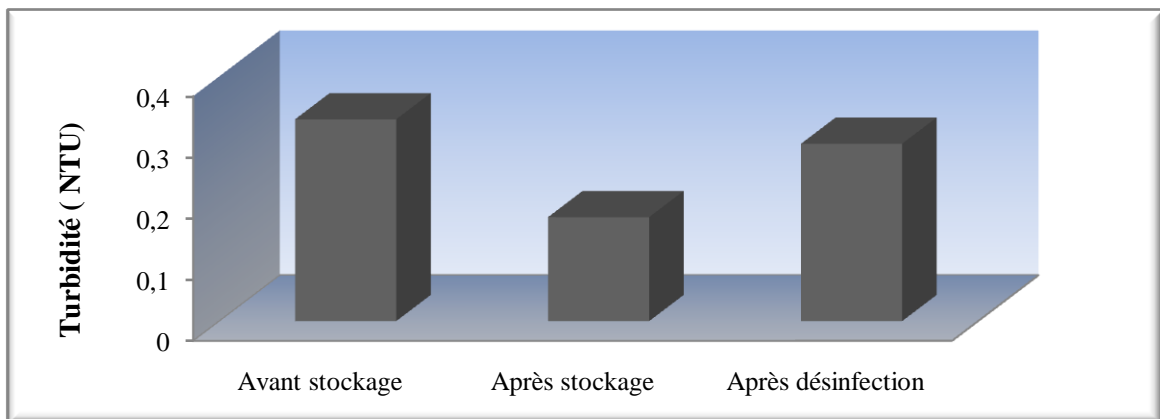


Figure V.3: Histogramme des valeurs de turbidité de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

4. Conductivité

La mesure de la conductivité d'une eau permet d'apprécier son degré de minéralisation. Plus la conductivité est élevée, plus les minéraux dissous dans l'eau sont importants. Pour la source étudiée, la même valeur $492 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ de la conductivité ($492 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) est obtenue avant et après le stockage (Figure V.4). Cependant, une légère diminution de la valeur est observée après désinfection soit $478 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Néanmoins, ces valeurs sont appropriées, puisque la valeur de la conductivité préconisée par le journal officiel de la république algérienne N°13 doit être inférieure à $2800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

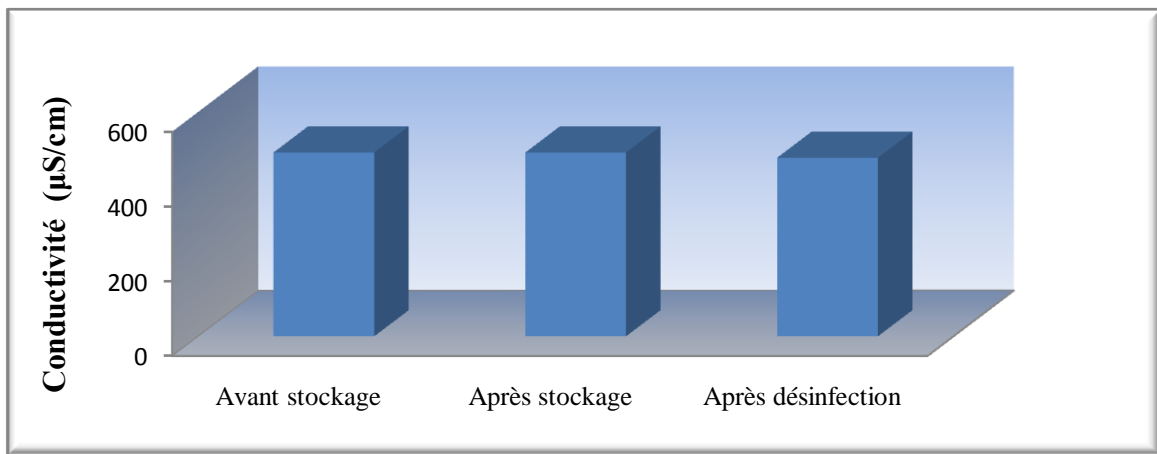


Figure V.4: Histogramme des valeurs de la conductivité de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

5. TA, TAC et TH

La Figure V.5 regroupe les résultats d'analyse de TA, TAC et TH de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection.

Le titre alcalimétrique (TA) d'une eau destinée à la consommation doit être nul, cela traduit l'absence des ions carbonate. C'est d'ailleurs le cas de notre eau de source étudiée qui présente un TA nul avant, après stockage et désinfection.

Les valeurs de concentration en TAC enregistrées durant cette étude sont 214, 216, 216 mg/L CaCO_3 avant, après stockage et désinfection, respectivement. Ces valeurs sont conformes à la norme fixée par le journal officiel de la république algérienne (65 valeur minimale).

Une eau douce est une eau en faibles teneurs en ions calcium et magnésium et qui possède un $\text{TH} < 60 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$ [TARDAT, BEAUDRY (2007)]. La dureté de l'eau de la

source ciblée varie entre 236 et 238 mg CaCO₃/L. Bien qu'elle n'est pas une eau très douce, mais elle répond bien à la norme recommandée par le journal officiel de la république algérienne N°13 qui indique un TH de 500 mg CaCO₃/L.

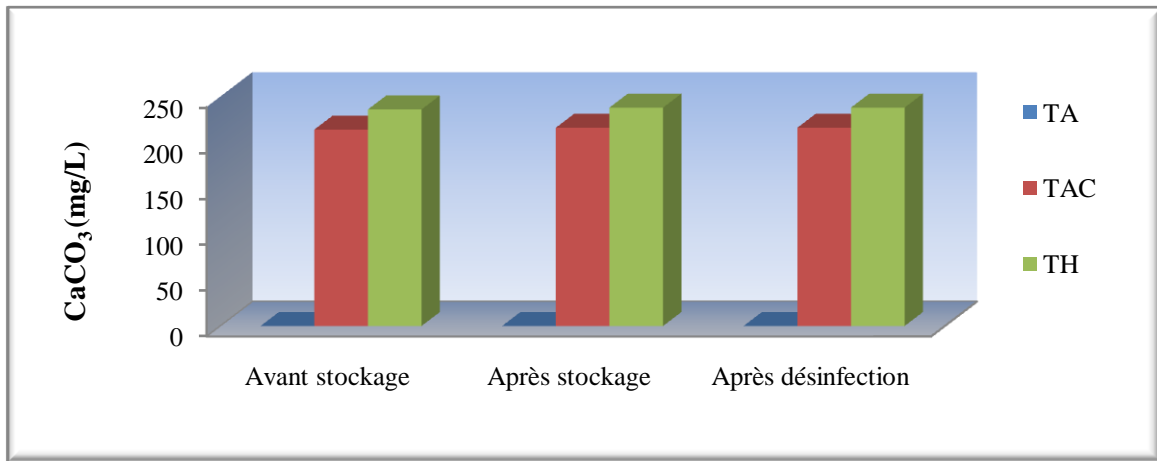


Figure V.5: Histogramme des valeurs de TA, TAC et TH de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

6. Résidu sec à 105 °C

La détermination du résidu sec dans une eau permet d'évaluer la quantité des éléments minéraux et de la matière dissoute non volatiles. La valeur préliminaire du résidu sec obtenue pour l'eau de la source thala Ougelid est de 275 mg/L (Figure V.6). Après stockage de cette eau et désinfection, une faible variation a été observée, cela peut être négligeable du fait que ces valeurs sont conformes aux normes préconisées.

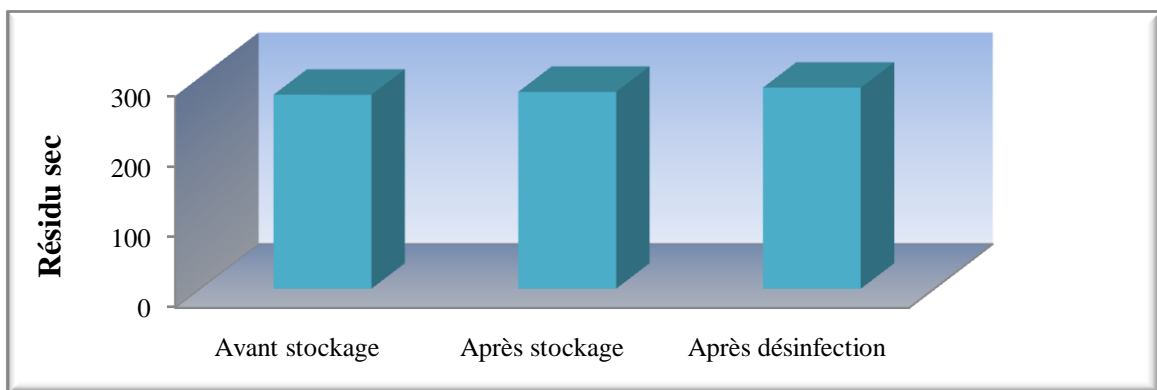


Figure V.6: Histogramme des valeurs de résidu sec de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

V.1.2 Paramètres organoleptiques

Dans les circonstances normales, il est très difficile de juger la qualité d'une eau simplement par la couleur, l'odeur et le goût parce qu'ils sont des paramètres visuels.

1. Couleur

La source examinée présente un aspect limpide, incolore ce qui signifie l'absence des impuretés minérales qui sont à l'origine de la coloration d'une eau.

2. Odeur

L'eau de la source considérée est inodore au moment du prélèvement. Cela exprime l'absence des matières organiques en décomposition qui développe des mauvaises odeurs.

3. Saveur

L'eau analysée ne présente aucune saveur désagréable au moment du prélèvement. Dire qu'une eau potable doit être fade et n'entraîne aucune évaluation précise.

Les analyses effectuées avant, après stockage et désinfection ont montré que ces paramètres correspondent aux critères d'une eau potable.

V.1.3 Paramètres de minéralisation globale

Les résultats des analyses obtenus pour les paramètres de minéralisation globale effectués sur l'eau de source considérée sont regroupés dans le tableau V.2 et illustrés par l'histogramme Figure V.7.

Tableau V.2: Concentration des métaux contenus dans l'eau de la source thala Ougelid avant, après stockage et après désinfection

Paramètres de minéralisation globale	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Résultats préliminaires	11	75	12	1	16	10,44	19	261
Résultats après stockage	11	74	13	1	18	12.61	18	264
Résultats après désinfection	13	76	12	1	18	12.4	21	264

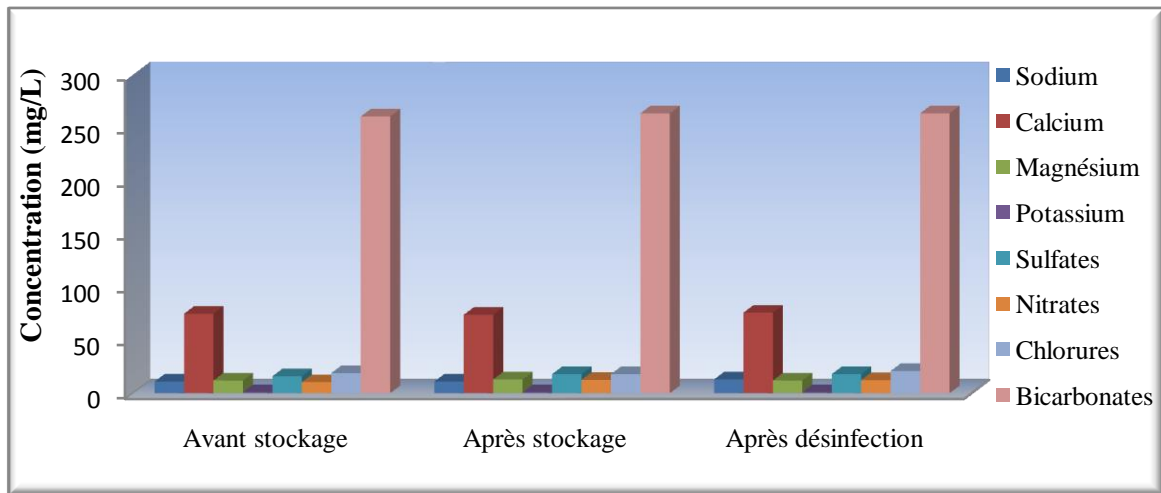


Figure V.7: Histogramme des valeurs des paramètres de minéralisation globale de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

1. Sodium (Na^+)

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, l'OMS a recommandé une réduction progressive de l'apport quotidien total en chlorure de sodium à 6g/j. L'apport hydrique du sodium est très faible par rapport à celui d'origine alimentaire [RODIER (2009)].

Les teneurs en sodium obtenues à partir de cette étude sont invariables avant et après stockage et désinfection, elles sont de l'ordre de 11 mg/L. Cette valeur est conforme à la norme fixée par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS (<200 mg/L).

2. Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est l'élément principal dominant de l'eau de source. Nous constatons que la teneur en calcium de la source thala Ougelid est estimée de 75 mg/L en résultat préliminaire. Puis, cette concentration a diminué à 74 mg/L soit une baisse de 1 mg/L après le stockage. Enfin, après désinfection une concentration de 76 mg/L est examinée. Une faible variation est observée entre ces résultats. Cependant, ces valeurs répondent bien à la norme exigée par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS (<200 mg/L et <300 mg/L, respectivement).

3. Magnésium (Mg^{2+})

La teneur en magnésium dans une eau dépend de la composition des roches rencontrées. Nous apercevons que la concentration du magnésium dans la source thala Ougelid est de 12 mg/L durant l'analyse initiale, après stockage, une légère augmentation est

constatée avec 1 mg/L de différence qui est due au dosage. Après désinfection, la concentration en magnésium de 12 mg/L est obtenue dans l'eau. La concentration en magnésium de la source ciblée est faible, cependant, ces valeurs restent conformes aux normes fixées par l'OMS (<500 mg/L).

4. Potassium (K^+)

Dans les eaux souterraines, le potassium n'est pas présent en grandes concentration. Selon l'OMS, le potassium présent dans l'eau de boisson à des concentrations bien inférieures à celles susceptibles de provoquer des effets toxiques, c'est d'ailleurs le cas de la source analysée. Les résultats des différentes analyses réalisées sur l'eau de source ont montré qu'elle contient une très faible teneur en potassium. Toutefois, ces valeurs restent dans la norme fixée par le journal officiel de la république algérienne N°13 (<12 mg/L) et l'OMS.

5. Sulfates (SO_4^{2-})

Au cours de cette étude, nous avons remarqué que la concentration des sulfates dans l'eau de la source thala Ougelid est faible. L'analyse initiale a enregistré une concentration de 16 mg/L. Cette concentration n'a pas changé après stockage et désinfection.

La présence des sulfates à des faibles concentrations dans cette eau analysée est due à la nature des terrains traversés par cette dernière. Toutefois, les résultats d'analyses sont dans la norme préconisée par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS (<400 mg/L et <250mg/L, respectivement).

6. Nitrates (NO_3^-)

La concentration en nitrate observée durant l'analyse de l'eau de la source thala Ougelid est très faible, soit 10,44 mg/L, pour analyse initiale. Cependant, le même résultat est observé après le stockage et la désinfection.

Cette faible concentration est satisfaisante puisque la concentration en nitrate dans les eaux souterraines est basse et elle répond bien à la norme exigée par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS (<50 mg/L).

7. Chlorures

L'analyse réalisée sur l'eau de source thala Ougelid a enregistré une concentration en chlorure de 19, 18, 21 mg/L avant, après stockage et désinfection, respectivement. Ces

résultats sont dans la norme prescrite par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS (<500 mg/L et <250 mg/L, respectivement).

8. Bicarbonates

L'analyse effectuée sur la source ciblée a montré une concentration en bicarbonate de 261, 264, 264 mg/L, avant et après stockage et désinfection, respectivement. Cependant, la teneur en bicarbonates dans une eau est liée à la géologie du terrain traversé. Malgré qu'après stockage la concentration a un peu augmenté, mais cela n'affectera pas la potabilité de l'eau.

V.1.4 Substances indésirables

Les résultats d'analyses obtenus pour les substances indésirables réalisés sur l'eau de source thala Ougelid sont représentés dans le tableau V.3 et illustrés par l'histogramme Figure V.8.

Tableau V.3: Résultats des paramètres liés aux substances indésirables de la source thala Ougelid avant, après stockage et désinfection

Substances indésirables	Fe ²⁺	Al ³⁺	Mn ²⁺
Résultats préliminaires (mg/L)	0	0	0,004
Résultats après stockage (mg/L)	0	0	0.009
Résultats après désinfection (mg/L)	0	0	0

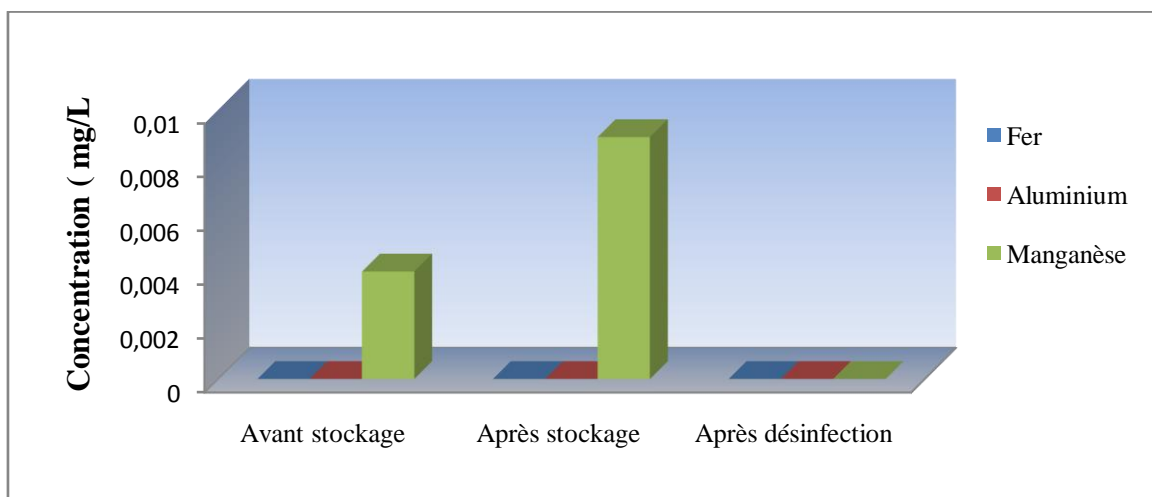


Figure V.8: Histogramme des valeurs des substances indésirables de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

1. Fer (Fe^{2+}) et aluminium (Al^{3+})

Le fer et l'aluminium sont considérés comme des éléments indésirables dans une eau. Les résultats des analyses ont montré une concentration nulle en ions en Fer et en aluminium pour l'eau de source thala Ougelid. Cela indique que cette dernière est de bonne qualité puisque le journal officiel de la république algérienne N°13 exige pour le fer et l'aluminium des valeurs inférieures à 0,3, 0,2 mg/L respectivement, et l'OMS préconise des valeurs inférieures à 0,3 et 0,1mg/L, respectivement.

2. Manganèse (Mn^{2+})

Le manganèse se trouve en très faible concentration 0,004 mg/L dans l'eau au cours de l'analyse initiale. Cependant, une concentration de 0,009 mg/L est observée après stockage. Toutefois, le manganèse est éliminé totalement après désinfection. En effet, ces teneurs restent inférieures à la concentration admissible prescrite par le journal officiel de la république algérienne N°13 et l'OMS (<50 $\mu\text{g/L}$ et <0,1 mg/L, respectivement).

V.1.5 Paramètres de pollution

Les résultats d'analyses obtenus pour les paramètres de pollution étudiés sur l'eau de source ciblée sont regroupés dans le tableau V.4 et illustrés par l'histogramme Figure V.9.

Tableau V.4: Résultats des paramètres de pollution de la source thala Ougelid, Avant, après stockage et désinfection

Paramètres de pollution	NH_4^+	NO_2^-	PO_4^{3-}	Matière organique
Résultats préliminaires (mg/L)	0	0	0	0,81
Résultats après stockage (mg/L)	0	0	0	0.97
Résultats après désinfection (mg/L)	0	0	0	0.32

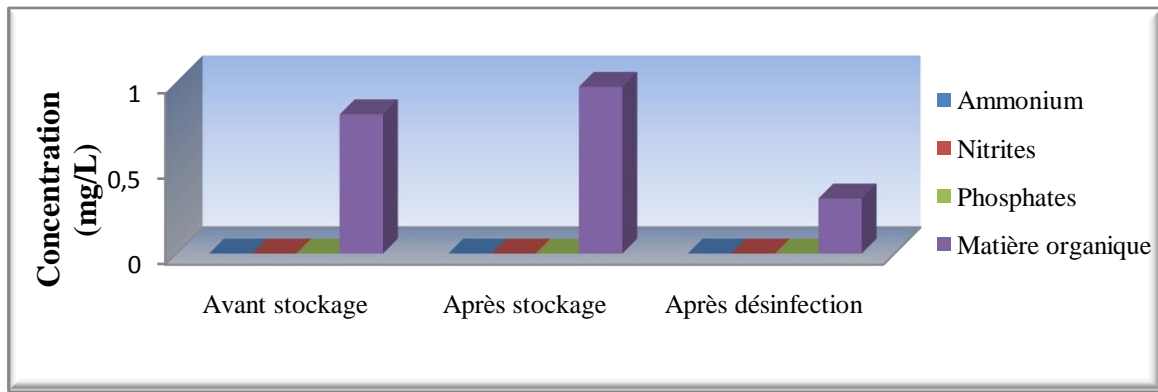


Figure V.9: Histogramme de comparaison des résultats des paramètres de pollution de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

1. Ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-) et phosphates (PO_4^{3-})

L'ammonium, les nitrites et les phosphates forment un indice de pollution selon la norme exigée par le journal officiel de la république algérienne N°13. En effet, l'étude réalisée sur l'eau de source de thala Ougelid a consigné une teneur de 0 mg/L pour l'ensemble de ces paramètres, avant, après stockage et désinfection. Conséquemment, la concentration présentée par l'eau considérée reste inférieure à la concentration fixée par le journal officiel de la république algérienne N°13, à savoir 0,5, 0,2, 5 mg/L pour l'ammonium, les nitrites et les phosphates, respectivement.

2. Matière organique (MO)

La présence de la MO dans une eau indique une prolifération bactérienne. L'analyse initiale a enregistré une teneur de 0,81 mg/L. Après stockage, une augmentation de la concentration (0,97mg/L) est observée qui peut s'expliquer du fait de l'accroissement de la population bactérienne. Cependant, la désinfection a diminué considérablement la concentration. En conséquence, l'eau de source étudiée est conforme à la norme fixée et présente une faible concentration en matière organique.

V.2 Analyse bactériologique

L'analyse bactériologique d'une eau de consommation repose sur la recherche des bactéries indicatrices de contamination comme les coliformes totaux, E.Coli, les streptocoques fécaux et anaérobies sulfito-réducteur. Les résultats des analyses biologiques de l'eau de la source thala Ougelid sont représentés dans le tableau (V.5).

Tableau V.5: Charges moyennes des bactéries dans l'eau brute thala Ougelid avant, après stockage et désinfection

Bactéries recherchées	Coliformes totaux UFC/100 mL	E.Coli UFC/100 mL	Streptocoques fécaux UFC/100 mL	Clostridium sulfito-réducteurs UFC/100 mL
Résultats préliminaires	134	07	15	00
Résultats après stockage	134	09	04	00
Résultats après désinfection	00	00	00	00

Les analyses microbiologiques effectuées sur l'eau brute thala Ougelid avant et après 10 jours de stockage montrent l'absence des anaérobies sulfito-réducteur. Cependant, la présence des bactéries de types coliformes totaux, E.Coli et streptocoques fécaux est examinée. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figure V. 10 à V. 15.

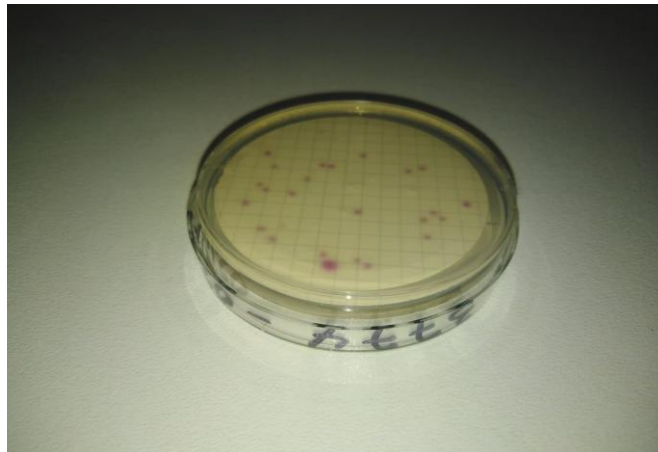


Figure V.10: Dénombrement des coliformes et E. Coli sur l'eau de source thala Ougelid, l'analyse initiale

L'eau de source thala Ougelid renferme des coliformes totaux dont la concentration est 134 UFC/100 mL avant stockage (Figure V.10). La même concentration en coliformes totaux est observée, après 10 jours de stockage, cela peut s'expliquer le fait qu'il n'y avait pas eu de prolifération de la flore initiale (Figure V.11).

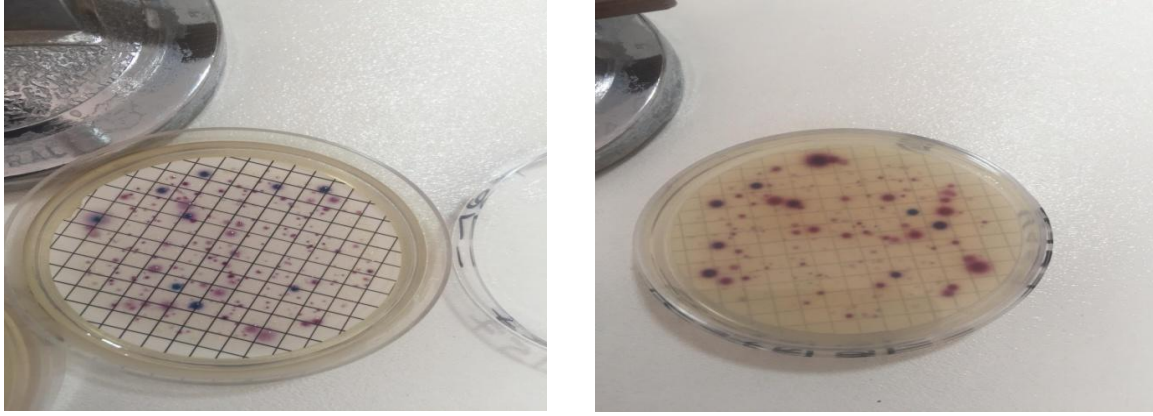


Figure V.11: Dénombrement des coliformes et E. Coli sur l'eau de source thala Ougelid, après stockage de 10 jours

Néanmoins, E. Coli sont moins abondant dans l'eau analysée. Une concentration en E. Coli de 07 UFC/100 mL et de 09 UFC/100 mL est examinée avant et après 10 jours de stockage, respectivement (Figure V.10 et V.11).



Figure V.12: Dénombrement des streptocoques fécaux sur l'eau de source thala Ougelid, après l'analyse initiale

À l'égard des streptocoques fécaux, la concentration varie de 04 à 15 UFC/100 mL (Figure V.12 et V.13).

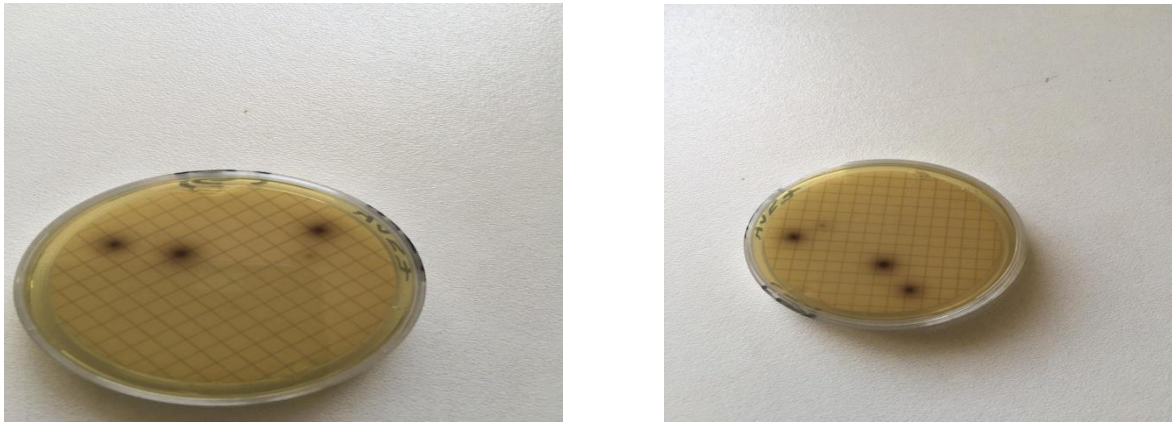


Figure V.13: Dénombrement des streptocoques fécaux sur l'eau de source thala Ougelid, après 10 jours de stockage

Ces bactéries sont de bons indicateurs de contamination fécale et les valeurs obtenues sont élevées en comparaison avec les normes de l'OMS, qui impose l'absence de ces bactéries dans l'eau destinée à la consommation humaine.

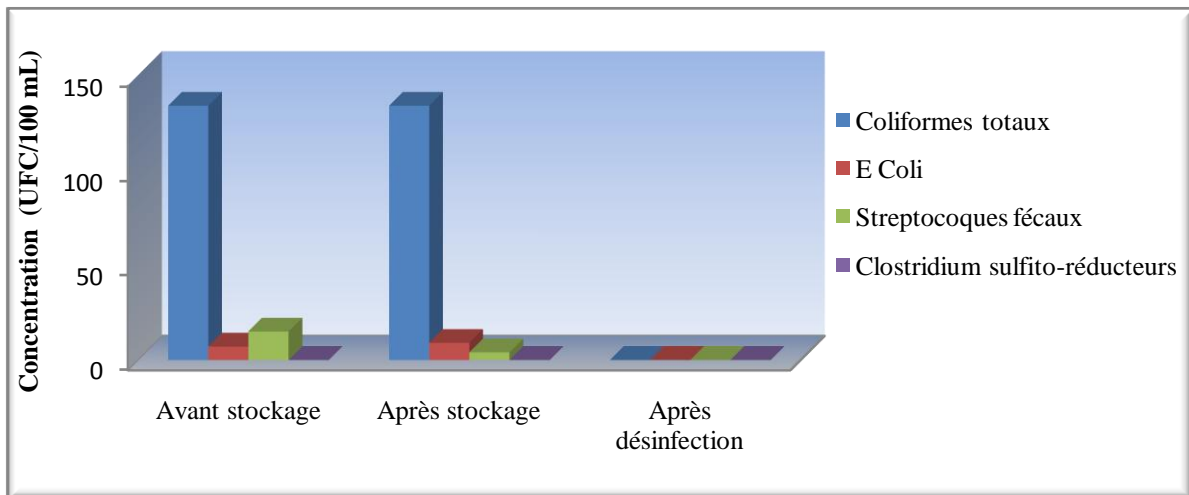


Figure V.14: Histogramme des valeurs des paramètres bactériologiques de l'eau de source thala Ougelid, avant et après stockage et désinfection

Cependant, les résultats d'analyse bactériologique laissent apparaître une absence des clostridium sulfito-réducteur pour l'eau de source ciblé, avant et après stockage et désinfection. Ces germes sont capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau.

V.3 Désinfection de l'eau de la source thala Ougelid

L'analyse bactériologique réalisée sur l'eau de source thala Ougelid, avant et après 10 jours de stockage a montré qu'elle est contaminée par plusieurs bactéries à savoir : les coliformes totaux, les *E. Colis* et les streptocoques fécaux, donc cette eau est impropre pour consommation humaine. Afin de remédier à cette pollution, la désinfection par un désinfectant est nécessaire pour éliminer les bactéries et rendre cette eau potable à la consommation.

Le désinfectant considéré dans cette étude est l'eau de javel. Les résultats des analyses bactériologiques effectuées, sur l'eau de source thala Ougelid désinfectée avant et après 10 jours de stockage, ont montré une élimination totale des bactéries (les coliformes totaux, les *E. Colis* et les streptocoques fécaux) (Figure V.15 et V.16). La disparition totale des bactéries est due probablement à l'agent chloré contenu dans l'eau de javel, par conséquent l'eau de source thala Ougelid répond bien aux normes ordonnées par l'OMS. L'eau de source thala Ougelid désinfectée après stockage est bonne pour la consommation.

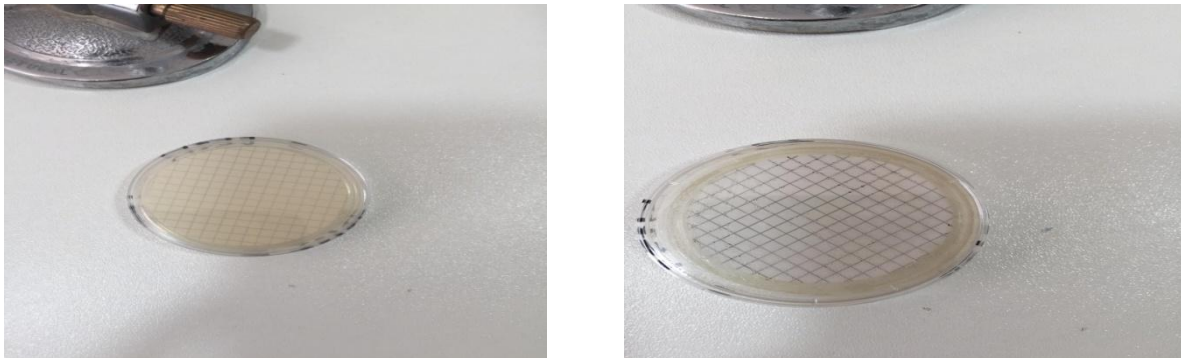


Figure V.15: Dénombrement des coliformes et *E. Coli* sur l'eau de source thala Ougelid, après désinfection

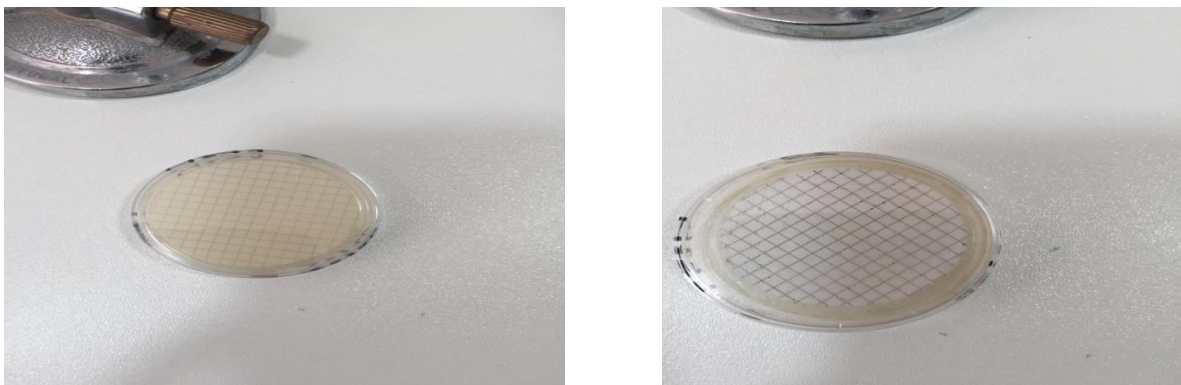


Figure V.16: Dénombrement des streptocoques fécaux sur l'eau de source thala Ougelid, après désinfection

V.4 Détermination du chlore résiduelle après désinfection

Après la désinfection à l'eau de javel, la concentration résiduelle en chlore est estimée dans l'eau de source thala Ougelid pour un temps de contact 30 et 60 min (tableau V.6).

Tableau V.6: Concentration en chlore résiduelle d'eau de la source thala Ougelid désinfectée

Temps de contact (min)	30	60
Concentration en chlore résiduelle (mg/L)	0,5	0,4

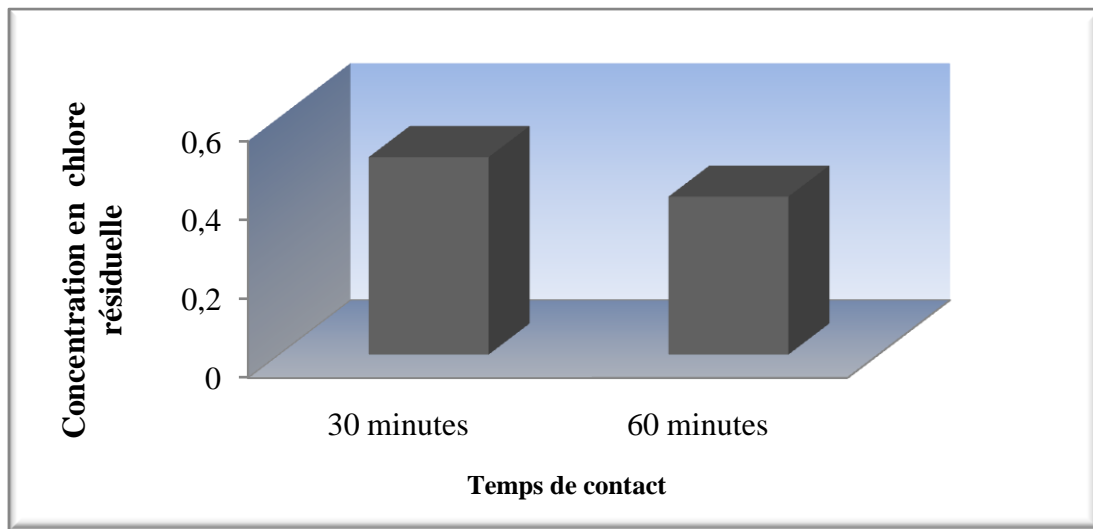


Figure V.17: Evolution de la concentration en chlore résiduelle dans l'eau de source désinfectée après 30 et 60 min de contact

Les résultats des analyses ont montré une concentration en chlore résiduelle de 0,5 et 0,4 mg/L, pour un temps de contact 30 et 60 min, respectivement (Tableau V.6 et Figure V.17). Cependant, une légère diminution est observée après une heure de contact, qui est dû à l'effet destructif du chlore sur les bactéries et les micro-organismes et l'oxydation de la matière organique. Ainsi, la présence du chlore résiduel dans l'eau prouve qu'il n'y a pas eu de contamination par la matière organique ou de bactéries consommatrice de chlore après désinfection. Ces résultats sont conformes à la valeur guide donnée par l'OMS (5 mg/L).

Conclusion

À l'issue de cette étude nous avons constaté que les résultats dérivés de l'analyse physico-chimique de l'eau de la source thala Ougelid avant et après 10 jours de stockage à domicile sont inférieurs aux N.A et aux normes recommandées par l'OMS. La qualité de l'eau de source thala Ougelid n'est pas affectée physico-chimiquement, elle est donc considérée comme étant potable pour la consommation humaine.

Néanmoins, du point de vue bactériologique, l'eau de source est souillée par des bactéries de contamination fécale, mais elle reste conforme aux normes préconisées, en analyse initiale, donc l'eau est bonne pour la consommation. Par contre, après 10 jours de stockage à domicile, l'eau de source thala Ougelid est altérée. L'analyse bactériologique a montré que l'eau ne répond pas aux normes fixées donc elle n'est pas potable pour la consommation.

La désinfection à l'eau de javel a été réalisée sur l'eau de source stockée, à raison de deux gouttes d'eau de javel pour 18 L d'eau stockée. La pertinence du traitement est examinée par une élimination totale de la flore bactérienne lors de l'analyse bactériologique et la quantité du chlore résiduel répond largement aux normes fixées (< 5 mg/L). L'eau de la source thala Ougelid stockée est de bonne qualité pour la consommation.

L'eau de source thala Ougelid est potable sur le lieu de point d'eau. Toutefois, son stockage peut rendre sa qualité peu satisfaisante à la consommation et peut contribuer à l'apparition de risque sanitaire pour l'homme. Par conséquent, une désinfection à l'eau de javel est recommandée pour les consommateurs de l'eau de source stockée.

A

Achoui R., Souci N., (2015). Etude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de différentes sources « Lakhroub » « Fontaine fraîche » et « Ainser akdhim » wilaya de Tizi-Ouzou, Mémoire de Master, Chimie : Chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pages 5.

Akodogbo H.H., (2005). Contribution à l'amélioration de la qualité de l'eau à usage domestique dans le 5^{ème} arrondissement de la commune de Porto-Novo-bénin. Environnement et santé, Mémoire de Master.

Andrianjohary S-R., (2017). Etude hydrogéochimique de la réserve en eau d'Ambohiby et approvisionnement en eau potable du Fokontany Soamahatamana commune rurale Tsinjoarivo Imanga district de Tsiroanomandidy, Mémoire de Master, Chimie : Ingénierie en sciences et techniques de l'eau, Université d'Antananarivo, 61p.

Atteia O., (2015). Chimie et pollution des eaux souterraines, 1^{ère} édition, Edition Lavoisier, Paris, page 6.

Ayad W., (2017). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-harrouch (wilaya de Skikda). Thèse de doctorat, Microbiologie : Microbiologie appliquée, Université Badji Mokhtar Annaba, page 80.

B

Ben chabane T., Hamdi S., (2018). Caractérisation des eaux des sources de la région de Yakouren. Suivi d'une étude comparative avec les eaux minérales (ifri, Toudja, Lala Khadîdja). Mémoire de Master, Chimie : Chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, page 8.

Bouazzouni KH., Hadj arab D., (2016). Evolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques durant le stockage de l'eau de source située dans la région de Tizi-Ouzou, Mémoire de Master, Chimie : Chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pages 3-27.

C

C fait maison., (2009). Quelle eau choisir ?. [Http://www.cfaitmaison.com/cru/cru-eau.html](http://www.cfaitmaison.com/cru/cru-eau.html).

Centre d'Information sur l'Eau (CIE)., (2005). Eau, Normes et contrôles. www.Cieau.com.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Cheikh A., (2020). Pollution des eaux et de l'environnement : L'eau : Aspects fondamentaux & pollution, Cours Master 1, Faculté des sciences, Département de chimie : Chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pages 5-8.

Chery L., (2006). Qualité naturelle des eaux souterraines : Méthodes de caractérisation des Etats de Références des Aquifères Français, Edition BRGM, France.

Chevalier P., (2002). Entérocoques et streptocoques fécaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, pages 1-2.

Chevalier P., (2017). Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, page 1.

D

Degremont G., (2005). Mémento techniques de l'eau, Tome 1, 2^{ème} édition, Edition Tec et doc, pages 38-39.

Desjardins R., (2010). Le traitement des eaux, 2^{ème} édition, Edition de l'école polytechnique de Montréal, Canada, pages 1-112

Doré M., (1989). Chimie des oxydants et traitements des eaux. 1^{ère} édition, Edition Lavoisier, Paris, page 14.

G

Gamrasni M., (1986). Etude de synthèse, le gout de l'eau, association française pour l'étude des eaux. Centre national de documentation et d'information sur l'eau, (75008) Paris.

Grondin P.M., (2005). Chloration en milieu rural dans les pays en voie de développement ; Actes de la réunion organisée par le pS-Eau, Paris, page 3.

H

Hadni T, Ouazar CH., (2017). Caractérisation des sources de la région de Yakouren par des méthodes physico-chimique. Chimie : Chimie de l'environnement, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, page 16.

I

ISO 6058, (1984). Qualité de l'eau, Dosage du calcium ; Méthode titrimétrique à l'EDTA. 1^{ère} édition, page 3.

ISO 9964 3, (1993). Qualité de l'eau, Dosage du sodium et du potassium par spectrométrie d'émission de flamme. 1^{ère} édition, page 5.

ISO 6878, (2004). Qualité de l'eau, Dosage du phosphore ; Méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium. 2^{ème} édition, page 22.

L

Le Gulludec CH., (1995). La désinfection par le chlore des eaux destinées à la consommation humaine: intérêts et limites de cette pratique : bilan d'une enquête effectuée dans le département de l'Isère, Thèse, U.F.R. De Pharmacie : La Merci - La Tronche, Université Joseph Fourier-Grenoble 1, Vol 1, pages 33-58.

M

Meghzili B., (2003). Suivi de la qualité des eaux de la station de traitement Hamdi Krouma (Skikda). Essais d'optimisation, Thèse de Magister, Université de Biskra 77, page 89.

Mercier J., (2000). Le grand livre de l'eau, Edition: La reconnaissance du livre, Collecte art de vivre, page 91.

O

OFFICE OF WATER., (1999). Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, United States Environmental Protection Agency, 346 pages.

OMS., (1986). Directive de la qualité pour l'eau de boisson. 1^{ère} édition, Genève, page 16.

OMS., (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 4^{ème} édition ; Intégrant le premier additif, Vol 1, page 5.

Ondieki J.K., Akunga D.N., Warutere P.N., Kenyanya O., (2021). Bacteriological and physicochemical quality of household drinking water in Kisii Town, Kisii County, Kenya. Heliyon Journal, Vol 7, Issue 5.

P

Phytocontrol Laboratoire d'analyses., (2018). Les différents types d'eau à analyser. <https://www.phytocontrol.com/actualites/les-differents-types-deau-a-analyser/>.

Potelon J. L., Zyman K., (1998). Le guide des analyses d'eau potable, la lettre du cadre territorial.

R

Ravarini P., (1997). La désinfection, IN: Gestion de l'eau dans la collectivité, traitement des eaux de consommation, intervention at the ENGREF (French Institute of Water and Forestry Engineering), 60 pages.

Rodier J., Coll., (2005). L'analyse de l'eau, 8^{ème} édition, Edition Dunod, Belgique, pages 341-745.

Rodier J., Legube B., Merlet N., Coll., (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Edition Dunod, Paris, pages 35-1350.

S

Santé Canada., (2012). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada; document technique, les coliformes totaux. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau...

Senet D., (2003). Les désinfectants existants pour le traitement de l'eau et la désinfection des installations. ENGREF Centre de Montpellier, pages 3-8.

T

Taiwo A., Abayomi T., Umar B., Abubakar N., Iduwo A., Precious Z., Niima D., Ibrahim B., (2020). Assessment of bacteriological quality and physicochemical parameters of domestic water sources in Samaru community, Zaria, Northwest Nigeria, Heliyon Journal, Vol 6, Issue 8.

Tardat Henry M., (1992). Chimie des eaux. 1^{ère} édition. Edition : Le Griffon d'argile, Québec.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Tardat Henry M., Beaudry J. P., (2007). Chimie des eaux, 2^{ème} édition, Edition Le Griffon d'argile 7649, boulevard Wilfrid-Hamel Sainte-Foy, Canada, pages 8-157

V

Valentin N., (2000). Gestion des eaux : Alimentation en eau assainissement, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, page 42.

Vilagines R., (2003). Eau, Environnement et santé publique. 2^{ème} édition, Edition Tec et Doc, Paris, pages 195-198.

**ANNEXE N°1 : Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine selon le
Journal officiel de la république algérienne N°13 (Décret exécutif n° 14-97 du 2
Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 portant dissolution de l'agence de
gestion du système hydraulique de Béni Haroun) et l'OMS (2017)**

Tableau 1: valeurs limites des paramètres

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES	
			N.A	OMS
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/L	0,2	0,1
	Ammonium	mg/L	0,5	-
	Nitrates	mg/L	50	50
	Nitrites	mg/L	0,2	3

Tableau 2 valeurs indicatives des paramètres

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES	
			N.A	OMS
Paramètres Organoleptiques	Couleur	mg/L platine	15	-
	Odeur à 25 °C	Taux de dilution	4	-
	Saveur à 25 °C	Taux de dilution	4	-
	Turbidité	NTU	5	5
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/L CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou deminéralisées	-
	Calcium	mg/L	200	300
	Magnésium	mg/L	-	500
	Chlorure	mg/L	500	250
	Chlore résiduel	mg/L	-	5
	Concentration en	Unité de	6,5< pH<9	<8

	ions hydrogène	pH		
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800	-
	Dureté (TH)	mg/L en CaCO ₃	500	Non préoccupante pour la santé aux niveaux relevés dans l'eau de boisson
	Fer total	mg/L	0,3	0,3
	Manganèse	µg/L	50	0,1
	Phosphore	mg/L	5	Non préoccupante pour la santé aux niveaux relevés dans l'eau de boisson
	Potassium	mg/L	12	-
	Sodium	mg/L	200	200
	Sulfates	mg/L	400	250
	Température	°C	25	-

ANNEXE N°2 : Correspondance de densité/degré chlorométrique/chlore actif

Manuel Opérationnel Sohyso

ECI-Sohyso Projet

Degré ChL	Chlore actif (g/L)	Densité	%Chlore actif
1	3,17	1,004	0,316
2	6,34	1,009	0,628
3	9,51	1,013	0,939
4	12,7	1,018	1,25
5	15,9	1,022	1,55
6	19	1,027	1,85
7	22,2	1,031	2,15
8	25,4	1,036	2,45
9	28,5	1,04	2,74
10	31,7	1,045	3,03
11	34,9	1,049	3,32

12	38	1,054	3,61
13	41,2	1,054	3,9
14	44,4	1,063	4,17
15	47,6	1,067	4,46
16	50,7	1,072	4,73

ANNEXE N°3 : Méthodes d'analyses et préparation des milieux de culture

Milieux de culture

- Gélose chromogène CCA (Realab Laboratoire. Tala Allam N°3, Tizi Ouzou).
- Gélose chromogène Slanetz & Bartley (ADAM LABO. Vol : 180 ml. Lot : 0079).
- Disque d'oxydase (SIGMA-ALDRICH 70459).

Préparation des milieux de culture

Dans un bain marie à une température de 100°C, faire fondre le flacon contenant la gélose chromogène stérile et laisser refroidir à une température de 45 °C sans retirer du bain-marie. Après refroidissement, couler la gélose dans des boîtes de pétri un volume suffisant et laisser solidifier.

✓ Milieu de culture CCA

La lecture ou l'interprétation des résultats se fait après 24h à partir du jour d'analyse. Après 24 h d'incubation à 37°C, les colonies des coliformes apparaissent de couleur rose sur le milieu si elles existent visibles sur la boîte de pétri. Quant aux colonies d'Escherichia coli apparaissent de couleur bleu foncé.

❖ Dénombrement des coliformes totaux et d'Escherichia coli

Après la période d'incubation, on compte toutes les colonies présentant une réaction β -D-galactosidase positive et une réaction β -D-glucuronidase (couleur bleu foncé) en tant qu'E. Coli. On compte aussi toutes les colonies présentant une réaction β -D-galactosidase positive (couleur rose) en tant que bactéries coliformes présomptives qui ne sont pas d'E. Coli. Cependant, pour confirmer les bactéries coliformes présomptives qui n sont pas des E.Coli, un essai de test de l'oxydase doit être effectué comme suivant :

- Imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile.

- Enlever une colonie rose du milieu gélose CCA.
- Déposer à l'aide d'une pipette stérile à usage unique la colonie.
- Considérer la réaction négative à l'oxydase s'il ya pas changement de couleur de la colonie dans les 30 secondes qui suivent. Donc il s'agit des coliformes (oxydase -).
- Considérer la réaction positive s'il y a apparition d'une couleur bleu foncé dans les 30 secondes qui suivent. Donc il s'agit des E. Coli.



Disque d'oxydase de marque Sigma ALDRICH 70459

❖ Interprétation du test d'oxydase

Toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase sont des bactéries coliformes

$$a = \frac{b}{A} c$$

IV.1

Avec :

a : nombre de bactéries coliformes

b: nombre de colonies répondant positivement au test d'oxydase

c: nombre total des colonies caractéristiques trouvées dans la boîte

A: nombre de colonies repiquées

❖ Expression des résultats

Le dénombrement des bactéries coliformes est la somme de toutes les colonies négatives à l'oxydase de couleur rose et de toutes les colonies de couleur bleu foncé.

✓ Gélose Slanetz & Bartley

Les streptocoques s'identifient dans le milieu Slanetz & Bartley à des colonies rouges visibles sur la boîte maintenue à l'incubation pendant 48h à 37°C. La lecture ou l'interprétation des résultats se fait après 48h à partir du jour d'analyse.

❖ **Dénombrement des streptocoques fécaux**

Après la période d'incubation, un test de confirmation (milieu gélose BEA) afin de pouvoir identifier les streptocoques de couleur rouge doit être obligatoirement effectué comme suivant :

- Prélever stérilement la membrane incubée pendant 48h à 37°C du milieu de culture Slanetz & Bartley.
- Déposer dans le milieu gélose BEA (Bile Esculine Azoture).
- Incuber pendant 2h à 44°C.
- Les streptocoques sécrète une bêta-glucosidase, cette enzyme hydrolyse l'esculine de la BEA et réagit avec les ions ferriques pour former un précipité noir qui diffuse dans le milieu.
- Toutes les colonies ayant virés du rouge au noir sont des streptocoques.
- Compter ces dernières.

Résumé

L'objectif de cette étude est d'examiner la potabilité pour la consommation de l'eau de source après stockage par l'évaluation de sa qualité physico-chimique et bactériologique. Pour cela, la caractérisation physico-chimique et bactériologique de l'eau de source thala Ougelid ciblé est examinée avant, après 10 jours de stockage et après désinfection à l'eau de javel. Le résultat des analyses a montré que l'eau de source est potable à la consommation sur le lieu de point, non potable par rapport à la contamination bactériologique après 10 jours de stockage et potable à la consommation après désinfection à l'eau de javel. Sachant que les résultats physico-chimiques et bactériologiques obtenus ont été comparés avec les normes algériennes et les normes fixées par l'organisation mondiale de la santé.

À l'issue de cette étude, une désinfection à l'eau de javel de l'eau de source stockée est recommandée pour éliminer la contamination bactérienne et protéger la santé humaine.

Mots clés : Eau de source, analyse physico-chimique, analyse bactériologique, désinfection, désinfectant

Abstract

The objective of this study is to examine the potability for drinking source water after storage by evaluating its physicochemical and bacteriological quality. For this, the physicochemical and bacteriological characterization of the targeted thala Ougelid spring water is examined before, after 10 days of storage and after disinfection with bleach. The results of the analyzes showed that the source water is drinkable for consumption at the point, non-drinkable for bacteriological contamination after 10 days of storage and drinkable for consumption after disinfection with bleach. Knowing that the physicochemical and bacteriological results obtained were compared with Algerian standards and the standards set by the world health organization.

Following this study, disinfection with bleach of stored source water is recommended to remove bacterial contamination and protect human health.

Keywords : spring water, physico-chemical analysis, bacteriological analysis, disinfection, disinfectant

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو فحص قابلية مياه الشرب للشرب بعد التخزين من خلال تقييم جودتها الفيزيائية والكيميائية البكتريولوجية. للقيام بذلك ، يتم فحص الخصائص الفيزيائية والكيميائية البكتريولوجية لمياه الينابيع المستهدفة قبل وبعد 10 أيام من التخزين وبعد التطهير بماء جافيل. أظهرت نتائج التحليلات أن مياه المصدر صالحة للشرب عند النقطة وغير صالحة للشرب بالنسبة إلى التلوث الجرثومي بعد 10 أيام من التخزين وصالحة للشرب للاستهلاك بعد التطهير بماء جافيل. مع العلم أن النتائج الفيزيائية والكيميائية البكتريولوجية التي تم الحصول عليها قورنت بالمعايير الجزائرية والمعايير التي وضعتها المنظمة العالمية للصحة.

بعد هذه الدراسة ، يوصى بالتطهير باستخدام ماء جافيل لمياه المصدر المخزنة لإزالة التلوث البكتيري وحماية صحة الإنسان.

كلمات البحث ماء المنبع، التحليل الفيزيائي و الكيميائي، التحليل البكتريولوجي، تطهير، مطهر