

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement
Spécialité Toxicologie Industrielle et Environnementale



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Évaluation de la qualité des eaux
consommées dans la commune de Bejaia**

Présenté par :

Abbaci Dihia & Abbaci Thinhinane

Soutenues le 21 juin 2023

Devant le jury composé de :

M^r. MOUSSAOUI Rabia

M^{lle}. ABDELLI Meriem

M^{me}. DJOUAD Salima

MCB

MCB

MAA

Président

Encadrante

Examinatrice

Année universitaire : 2022 / 2023

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 ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Melle. Abdelli Meriem, on la remercie pour son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent à l'ensemble du personnel du laboratoire d'hygiène communal et de la direction de la santé et de la population (Bejaia) pour leur aide pratique et leur soutien moral et leurs encouragements.

Nous remercions également Mr.Moussaoui Rabia d'avoir accepté de présider notre jury d'encadrement.

Et Mme.Djouad Salima d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions plus particulièrement nos parents et tous les membres de notre famille qui croient en nous et nous soutiennent.



Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail de fin d'études à nos chers parents qui ont été toujours à nos côtés et qui ont fait tout pour notre réussite.

Ainsi que tous les membres de notre famille.

Et tous nos amis, tout particulièrement Sarah, Hayatte, Lydia, Amel, Zahra, Khalida, Sghira, Daya.

Nous remercions également tous nos enseignants et nos collègues de la promotion Toxicologie Industrielle et Environnementale 2022/2023.



Liste des figures

Fig. n° 01	Les différentes nappes d'eau souterraine	05
Fig. n° 02	Bactérie <i>E. colisous</i> microscope (GR 12800x)	24
Fig. n° 03	Image illustrative des Streptocoques fécaux observés sous microscope (GR 1045x643)	24
Fig. n° 04	<i>Clostridium perfringens</i> observée au microscope optique (GR1000x)	25
Fig. n° 05	<i>Salmonella enterica subsp. Enterica ser Typhimurium</i> sous microscope électronique à balayage colorée numériquement (GR 20000x)	25
Fig. n° 06	<i>Vibrio cholerae</i> sous microscope (GR 22371x)	26
Fig. n° 07	Situation géographique de la commune de Bejaia ville et communes à proximité	27
Fig. n° 08	Illustration de la méthode de prélèvement aseptique de l'eau d'un robinet	30
Fig. n° 09	Illustration de la méthode de prélèvement aseptique de l'eau d'un puits ouvert	31
Fig. n° 10	Mesure du pH à l'aide d'un pH mètre	33
Fig. n° 11	Schéma illustratif des étapes de la mesure de la dureté totale	34
Fig. n° 12	Schéma illustratif des étapes de détermination de la dureté calcique par titrage	35
Fig. n° 13	Schéma illustratif de la mesure de TA et TAC par titrage	37
Fig. n° 14	Résidu sec sous forme d'une couche cristallisée après séchage	38
Fig. n° 15	Schéma illustratif des principales réactions du dosage des chlorures	39
Fig. n° 16	Schéma illustratif du protocole de dosage des nitrates	40
Fig. n° 17	Schéma illustratif du protocole de dosage des nitrites	41
Fig. n° 18	Schéma illustratif du protocole de dosage des sulfates	42
Fig. n° 19	Schéma illustratif des étapes du protocole de recherche des coliformes totaux et fécaux	44
Fig. n° 20	Schéma illustratif des étapes du protocole de recherche des streptocoques fécaux	46
Fig. n° 21	Schéma illustratif du protocole de la recherche des ASR	47
Fig. n° 22	Valeurs du pH des échantillons analysés et leur comparaison	51

	avec la norme algérienne	
Fig. n° 23	Valeurs de dureté totale des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	52
Fig. n° 24	Valeurs de D Ca ²⁺ des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	53
Fig. n° 25	Valeurs du TAC des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	54
Fig. n° 26	Teneurs en résidu sec des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	55
Fig. n° 27	Teneurs en chlorures des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	56
Fig. n° 28	Teneurs en nitrates des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	56
Fig. n° 29	Teneurs en nitrites des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	57
Fig. n° 30	Teneurs en sulfates des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne	58

Liste des tableaux

Tableau I	Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines	07
Tableau II	Principales maladies hydriques d'origine bactérienne avec leurs agents responsables et leurs effets et symptômes	11
Tableau III	Principales maladies hydriques d'origine virale avec leurs agents responsables et leurs effets et symptômes	12
Tableau IV	Principales maladies hydriques d'origine parasitaire, agents responsables et symptômes	13
Tableau V	Tableau exemplaire des éléments chimiques et les maladies qui en résultent	13
Tableau VI	Relation entre conductivité électrique, minéralisation et qualité de l'eau	16
Tableau VII	Classification des eaux selon la dureté	17
Tableau VIII	Liste des échantillons étudiés, leur origine et dates de prélèvements	28
Tableau IX	Résultats des analyses physico-chimiques et norme de référence pour chaque paramètre	50
Tableau X	Résultats des analyses bactériologiques des échantillons d'eau collectés dans la commune de Bejaia ville	59

Liste des abréviations

°C	Degré Celsius
°F	Degré français
A. Oufarnou	Adrar Oufarnou
Ag	Argent
AgNO₃	Nitrate d'argent
Ar	Arsenic
ASR	Anaérobies sulfito-réducteur
B. de mer	Brise de mer
BaCl₂	Chlorures de baryum
BCPL	Bouillon pourpre de Bromocresol lactosé
C. Sghir	Cité Sghir
CaCl₂	Chlorures de calcium
CaCO₃	Carbonate de calcium
CaSO₄	Sulfate de calcium
Cd	Cadmium
Cl⁻	Chlorure
CN	Cyanure
CO₂	Dioxyde de Carbone
CO₃²⁻	carbonates
CO₃	Trioxyde de Carbone
Cr	Chrome
CrO₄²⁻	Chromate
D Ca²⁺	Dureté calcique
D. Djbel	Dar Djbel
D. Nacer	Dar Nacer
D/C	Double concentré
DMg²⁺	Dureté magnétique
DSP	Direction de la santé et de la population
DT	Dureté total
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EDTA	Acide éthylène diamine tétra-acétique
Fe²⁺	Ion ferreux
FeS₂	Disulfure de fer
GR	Grossissement
H⁺	Ion d'hydrogène
H₂O	Molécule d'eau
H₂S	sulfure d'hydrogène
HCl	Acide chlorhydrique pure
HCN	Cyanure d'hydrogène
HCO₃	Bicarbonates
Hg	Mercure
K⁺	Potassium

K₂Cr₂O₇³	Dichromate de potassium
K₂CrO₄	Chromate de potassium
KCl	Chlorures de potassium
MES	Matière en suspension
Mg	magnésium
Mn²⁺	Manganèse
Na	Sodium
NaCl	Chlorures de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium
NET	Noir Eriochrome T
NH⁺₄	Ammonium
Ni	Nickel
NO⁻₂	Nitrites
NO⁻₃	Nitrates
O₂	L'oxygène
OH⁻	Alcalis libres
Pb	Plomb
pH	Potentiel hydrogène
PO³⁻₄	Phosphates
R.s.	Résidu sec
S. Ouali	Sidi Ouali
S/D	Simple concentré
SO²⁻₄	Sulfates
TA et TAC	Titre alcalimétrique simple et Titre alcalimétrique complet
TH	Titre hydrométrique
UFC	unité formant colonie
V.F	Viande foie

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

Introduction..... 01

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur l'eau potable

I.1. Qu'est-ce que l'eau potable ?..... 04

I.2. Origines de l'eau potable..... 04

I.2.1. Les eaux souterraines 04

I.2.2. Les eaux de surface..... 06

I.3. Pollution hydrique..... 06

I.3.1. Définition de la pollution hydrique..... 06

I.3.2. Origines de la pollution hydrique..... 06

I.3.2. 1. Pollution hydrique d'origine naturelle..... 08

I.3.2. 2. Pollution hydrique d'origine anthropique..... 08

I.3.3. Types de pollution hydrique..... 09

I.3.3.1. Pollution hydrique radioactive..... 09

I.3.3.2. Pollution thermique..... 09

I.3.3.3. Pollution chimique..... 09

I.3.3.4. Pollution biologique..... 10

I.4. Maladies à transmission hydrique..... 10

I.4.1. Maladies hydrique d'origine bactérienne..... 10

I.4.2. Maladies hydrique d'origine virale..... 11

I.4.3. Maladies hydriques d'origine parasitaire..... 12

I.4.4. Maladies hydriques liées aux éléments chimiques..... 12

Chapitre II : Évaluation de la qualité de l'eau potable

II.1. Paramètres organoleptiques..... 14

II.1.1. La couleur..... 14

II.1.2. L'odeur..... 14

II.1.3. La saveur..... 14

II.1.4. La turbidité..... 15

II.2. Paramètres physico-chimiques..... 15

II.2.1. La température..... 15

II.2.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)..... 16

II.2.3. La conductivité (K)..... 16

II.2.4. La dureté totale ou titre hydrométrique (TH)..... 17

II.2.5. Alcalinité.....	17
II.2.5.1. Titre alcalimétrique (TA).....	17
II.2.5.2. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	17
II.2.6. Le résidu sec.....	18
II.2.7. Les anions et cations.....	18
II.2.7.1. Les chlorures (Cl ⁻).....	18
II.2.7.2. Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	18
II.2.7.3. Les nitrites (NO ₂ ⁻).....	18
II.2.7.4. Les sulfates (SO ₄ ⁻²).....	19
II.2.7.5. Le fer (Fe ⁺²).....	19
II.2.7.6. L'ammonium (NH ₄ ⁺).....	20
II.2.7.7. Les phosphates (PO ₄ ³⁻).....	20
II.2.7.8. Le manganèse (Mn ²⁺).....	20
II.2.8. Les éléments toxiques.....	20
II.2.8.1. L'argent (Ag).....	21
II.2.8.2. L'arsenic (Ar).....	21
II.2.8.3. Le plomb (Pb).....	21
II.2.8.4. Le mercure (Hg).....	21
II.2.8.5. Le nickel (Ni).....	21
II.2.8.6. Le Cadmium (Cd).....	22
II.2.8.7. Le chrome (Cr).....	22
II.2.8.8. Les cyanure (CN).....	22
II.3. Les paramètres bactériologiques.....	22
II.3.1. Les Coliformes totaux.....	23
II.3.2. Les coliformes fécaux.....	23
II.3.3. Les Streptocoques fécaux.....	24
II.3.4. Les Clostridiiums sulfito-réducteurs (ASR).....	24
II.3.5. Les Salmonelles.....	25
II.3.6. Les vibrions cholériques.....	25

Partie pratique

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	27
III.2. Échantillonnage.....	28
III.2.1. Sites de prélèvement des échantillons.....	28
III.2.2. Méthodes de prélèvement des échantillons.....	29
III.2.2.1. Prélèvement d'un robinet.....	29
III.2.2.2. Prélèvement d'un puits ou forage.....	30
III.2.2.3. Prélèvement d'un camion-citerne (distributeurs d'eau vendue au volume).....	31
III.2.3. Conservation et transport des échantillons.....	31
III.3. Évaluation de la qualité des eaux prélevées.....	32
III.3.1. Paramètres organoleptiques.....	32
III.3.2. Paramètres physico-chimiques.....	32
III.3.2.1. Mesure du potentiel hydrogène (pH).....	32
III.3.2.2. Détermination de la dureté totale (TH).....	33
III.3.2.3. Détermination de la dureté calcique (D Ca ²⁺).....	34
III.3.2.4. Détermination de la dureté magnésienne (D Mg ²⁺).....	35

III.3.2.5. Détermination du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC).....	36
III.3.2.6. Détermination du résidu sec.....	37
III.3.2.7. Dosage des chlorures (Cl ⁻).....	38
III.3.2.8. Dosage des nitrates (NO ₃ ⁻).....	39
III.3.2.9. Dosage des nitrites (NO ₂ ⁻).....	40
III.3.2.10. Dosage des sulfates (SO ₄ ⁻²).....	42
III.3.3. Paramètres bactériologiques.....	43
III.3.3.1. Identification des coliformes totaux et fécaux.....	43
III.3.3.2. Identification des streptocoques fécaux.....	45
III.3.3.3. Identification des bactéries anaérobies sulfite-réducteurs (ASR).....	47
III.4. Analyse des résultats.....	48

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Paramètres organoleptiques.....	49
IV.2. Paramètres physico-chimiques.....	49
IV.2.1. Le potentiel hydrogène (pH).....	49
IV.2.2. La dureté totale (TH).....	51
IV.2.3. La dureté calcique (D Ca ²⁺).....	53
IV.2.4. Le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).....	53
IV.2.5. Le résidu sec.....	55
IV.2.6. Les Chlorures (Cl ⁻).....	55
IV.2.7. Les nitrates (NO ₃ ⁻).....	56
IV.2.8. Les nitrites (NO ₂ ⁻).....	57
IV.2.9. Les sulfates (SO ₄ ⁻²).....	58
IV.3. Paramètres bactériologiques.....	58
IV.3.1. Coliformes totaux.....	59
IV.3.2. Coliformes fécaux.....	60
IV.3.3. Streptocoques fécaux.....	61
IV.3.4. A.S.R.....	61
Conclusion et perspectives.....	62

Références

Annexes

Résumé

Introduction

Introduction

L'eau est un enjeu vital, économique et culturel sans laquelle aucune forme de vie ne peut exister (**Mericq, 2009**). Ses propriétés physiques, chimiques, biochimiques ainsi que sa capacité de changement d'état (liquide, solide, gazeux) indépendamment de l'intervention de l'homme ; lui procurent la particularité d'être d'une grande utilité dans un large spectre de domaines, principalement industriel, agricole sans oublier l'usage domestique (**Maizi et al., 2011**). Elle constitue ainsi un élément indispensable et une ressource clé du développement durable.

D'un point de vue biologique, l'eau est considérée comme un nutriment vital impliqué dans maintes fonctions physiologiques essentielles au fonctionnement de l'organisme humain telles que le transport des nutriments aux cellules, la fabrication des ions nécessaires au système nerveux, etc. (**Laurent, 2017**). Sans pour autant oublier son rôle crucial dans la digestion, l'absorption et la thermorégulation (**Gana et Benhamma, 2022**). De même, elle assure la vie des animaux à plus de 80% d'eau notamment les espèces aquatiques qui en dépendent grandement. Même les végétaux ont un intérêt face au mouvement de l'eau qui permet la constitution de leur sève brute (**Laurent, 2017**).

De nos jours, la ressource en eau est rare, chère et sujette aux pollutions (**Olivaux, 2007**) ; contrairement à la vision traditionnelle qui la considérait inépuisable, gratuite et pure. En effet, divers contaminants peuvent être captés par l'eau et transférés subséquentement à l'être humain par voie digestive. Ces contaminants peuvent être des agents chimiques, physiques et biologiques qui risquent de porter atteinte à notre santé. D'ailleurs, de tous les problèmes de santé publique, les intoxications d'origine alimentaire, notamment hydrique, font partie des maladies qui affectent le plus grand nombre d'individus et causent le plus de décès. En effet, des centaines de millions de personnes à travers le monde souffrent de maladies causées par la contamination des aliments dont l'eau (**Panisset et al., 2003**). Et Le problème est aigu dans les pays en voie de développement où plusieurs maladies entériques et parasitoses sont endémiques (**Panisset et al., 2003**).

L'Algérie, de son côté, connaît depuis quelques années une phase de transition épidémiologique importante concernant les maladies à transmission hydrique à l'exemple de la fièvre typhoïde, la dysenterie, l'hépatite virale A et les toxi-infections (**JARA n°14, 2017**). En effet, d'après les statistiques, l'occurrence de ces maladies a connu une nette hausse et le facteur y responsable étant la qualité dégradée des eaux destinées à la consommation (**JARA n°14, 2017**).

Introduction

Les coûts humains et monétaires des maladies associées à la contamination de l'eau sont donc considérables. De ce fait, des mesures réglementaires et un contrôle adéquat sont nécessaires afin de minimiser les risques de contamination de l'eau potable notamment.

Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer la qualité des eaux consommées dans la commune de Bejaia ville. Dans cette dernière, l'accroissement démographique est accompagné d'une hausse demande d'approvisionnement en eau potable.

Le barrage Tichy-Haf qui est l'une des ressources en eau les plus importantes qui alimente la commune de Bejaïa dont la baisse du niveau d'eau de ce barrage observé est à cause du manque de nouveaux apports pluviométriques (**Bensallem, 2022**). Cette situation a incité les autorités publiques à chercher à mobiliser le maximum possible de ressources en eau, dont les eaux souterraines, afin de couvrir les besoins de la population (**Douici, 2023**). De plus, les citoyens consomment de plus en plus des eaux à provenances divers (puits, forages, sources, etc.) et dont la qualité de certaines est douteuse. De ce fait, le contrôle et le suivi qualitatifs de ces ressources deviennent une nécessité.

Dans ce contexte, la présente étude évalue un nombre total de 11 échantillons d'eau prélevés de différentes ressources des plus consommées de la commune de Bejaia. Il s'agit essentiellement d'eaux prélevées de robinets (Algérienne des eaux), de forages privés (puits familiaux) ainsi que des eaux vendues par des privés dans des camions citernes qui parcourent les quartiers et dont la provenance étant les sources à l'exemple de celle de Toudja (d'après l'information communiquée par les vendeurs). La qualité de ces eaux est évaluée au moyen de la quantification de leurs paramètres physico-chimiques, organoleptiques et microbiologiques lors d'un stage pratique effectué au laboratoire d'hygiène communal et le laboratoire de microbiologie de la direction de la santé et de population (D.S.P) simultanément. Les résultats obtenus sont subséquentement analysés et comparés aux normes de référence Algérienne pour les eaux potables.

Ce manuscrit est organisé en chapitres comme suit ;

- ❖ Les deux premiers sont une synthèse bibliographique où sont présentées des notions et généralités sur l'eau. Les paramètres de l'eau sont également expliqués car serviront de modalités d'évaluation de la qualité de l'eau potable ;
- ❖ Le troisième chapitre, quant à lui, est réservé à la description du travail pratique réalisé dont les protocoles analytiques appliqués ;

Introduction

- ❖ Les résultats obtenus à l'issue de l'étude et leurs interprétations sont rapportés en détails dans le quatrième chapitre.

Nous avons fini par une conclusion qui expose une vue d'ensemble de tous les résultats trouvés, suivie de quelques directives à prendre en considération pour une meilleure gestion qualitative des ressources en eau.

Partie
bibliographique

Chapitre I

Généralités sur l'eau potable

L'eau est une substance naturelle, liquide, incolore, inodore, sans saveur et limpide à l'état pure. Elle est chimiquement représentée par l' H_2O avec un état d'agrégation pouvant être solide, gazeux ou liquide et dont ce dernier est le plus répandu sur terre.

L'eau est essentielle à la vie, et son existence maintient la survie et la durabilité des organismes vivants et des écosystèmes entiers (Culligan, 2023). Ses utilisations par l'homme sont multiples et comprennent tous les secteurs ; industriel, agricole et domestique. Elle est entre autre destinée à la consommation, mais le plus souvent après une série de traitements spécifiques visant à obtenir une eau ne présentant aucun risque pour la santé, communément appelée eau potable et à laquelle nous nous intéressons particulièrement dans le présent travail.

I.1. Qu'est-ce que l'eau potable ?

C'est une eau inodore, incolore, agréable à boire, qui ne met pas la santé des consommateurs en danger avec un risque d'attraper des maladies à transmission hydrique suite à la présence potentielle d'impuretés et de microorganismes pathogènes. De plus, c'est une eau dont l'ensemble des paramètres physico-chimiques, toxiques et bactériologiques sont conformes aux normes de potabilité déterminés par différents organismes accrédités et/ou législations en vigueur suivant le pays (**article 57 chapitre 01 du Code Algérien des eaux, 1983 ; Ramband et Dellatre, 1992 ; Coulibaly, 2005**).

L'eau potable peut être à la fois consommée et utilisée à des fins domestiques et industrielles sans aucun risque pour la santé. Elle peut être distribuée sous forme d'eau en bouteille (eau minérale ou eau de source, eau plate ou eau gazeuse), d'eau courante (eau du robinet) ou dans des citernes pour un usage industriel (**Rejseck, 2002 ; Beaulieu, s. d.**).

I.2. Origines de l'eau potable

L'eau potable provient essentiellement du sous-sol à partir des eaux souterraines, mais aussi des eaux de surface (torrents, rivières, lacs).

I.2.1. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent environ 20% des réserves d'eau sur terre, soit environ 1000 millions de m^3 (**Rejseck, 2002**). Ce sont les eaux qui s'accumulent dans les pores et interstices des roches ou des sédiments du sous-sol (**Ferlattem, 2013**) et qui se répartissent

pour former différentes nappes superficielles et profondes (**fig. 01**). Elles peuvent être prélevées par captage à travers des forages, des puits ou des sources.

Bien que la composition de l'eau soit assez constante au sein d'une même nappe ; celle-ci tend cependant à diverger d'une nappe à une autre. Ceci est dû essentiellement à la différence dans la porosité et structure du sol ; la nature des roches ; le mode de circulation souterraine ainsi qu'au temps de séjour variable de ces eaux dans les roches (**OMS, 2000; Viland et al., 2001**).

Cependant, les eaux provenant des nappes souterraines ont pour la plupart d'entre elles plusieurs caractères communs ; comme par exemple une faible turbidité ; une contamination bactérienne moins importante, une température constante ainsi que des concentrations en fer et magnésium très élevées (**Gomella et Gurree, 1978**). De plus, la réaction naturelle se produisant entre les roches et les eaux de ces nappes provoque une modification du caractère minéral de ces dernières leur conférant ainsi une dureté et une salinité spécifiques (**Edmunds et al., 2003**). Ajoutant à tout cela leur richesse en CO_2 contrairement aux eaux de surface qui sont, quant à elles, riches en O_2 et pauvres en CO_2 . Cependant, il convient d'indiquer que, malgré toutes ces caractéristiques communes, les eaux souterraines ne sont pas toutes de la même qualité et ne sont donc pas toutes potables et d'une qualité permettant leur consommation directement après leur puisage.

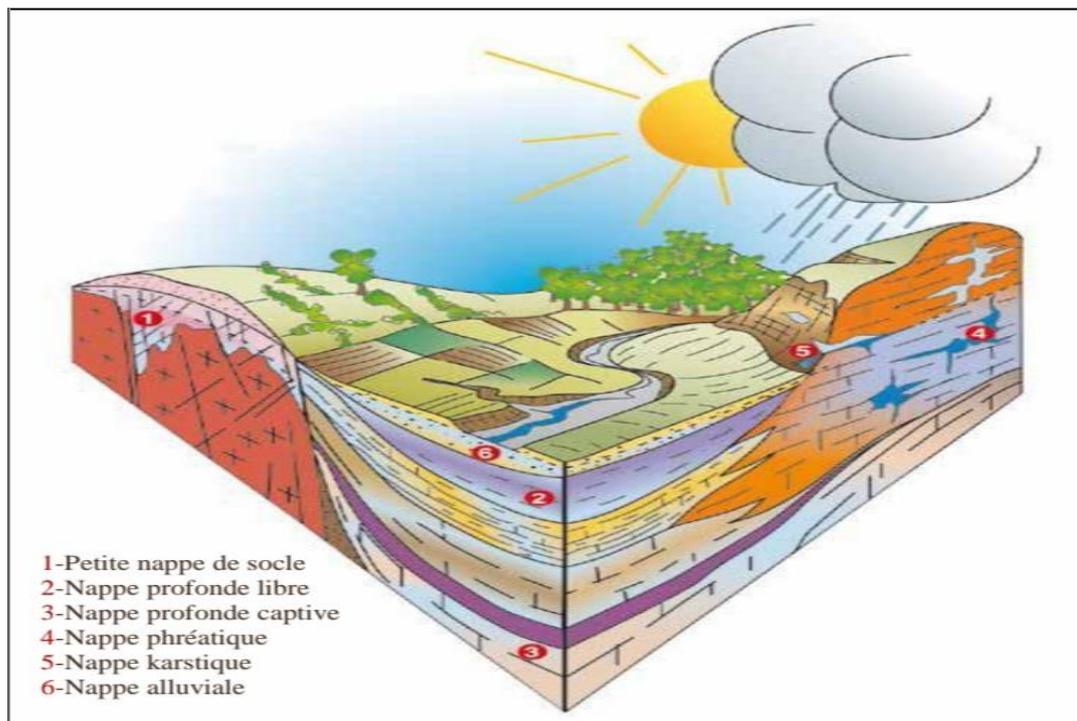


Fig. n°01. Les différentes nappes d'eau souterraine (**AEAG, 2012**)

I.2.2. Les eaux de surface

Les eaux de surface sont toutes les eaux naturellement ouvertes sur l'atmosphère dont les cours d'eau, les lacs, les rivières, les barrages, les mers, les océans, les réservoirs, les fleuves, etc. (Ayad, 2017). Elles peuvent être courantes ou stagnantes et sont particulièrement riches en gaz dissous, matières en suspension, matières organiques et O₂ mais pauvres en CO₂ (Degremont, 2005). Ces eaux sont très sensibles à la pollution minérale et organique notamment par les nitrates et les pesticides d'origine agricole (Claude, 1999). De ce fait, des traitements spécifiques s'imposent avant leur consommation.

Les principales différences entre les eaux de surface et souterraines sont résumées dans le **tableau I**.

I.3. Pollution hydrique

I.3.1. Définition de la pollution hydrique

Selon l'OMS, la pollution de l'eau se définit comme « tout changement dans les propriétés naturelles, chimiques et biologiques de l'eau qui entraîne une modification de son état, directement ou indirectement, de sorte que l'eau devienne moins adaptée aux usages qui lui sont destinés, que ce soit pour boire ou pour la consommation domestique, agricole ou autre » (rapporté par Langevin et al., 1997). Autrement dit, la pollution de l'eau se traduit par la modification de ses propriétés physico-chimiques et biologiques perturbant ainsi les écosystèmes et rendant son utilisation douteuse (Mekkaoui et Hamdi, 2006).

Contrairement aux idées reçues, la pollution hydrique ne concerne pas uniquement les eaux de surface ; mais même les eaux souterraines n'y sont pas épargnées. En effet, celles-ci peuvent être touchées par des contaminants d'origine naturelle (géogéniques), les systèmes d'assainissement, les eaux usées, les engrais et les pesticides, les fuites commerciales et industrielles, la fracturation hydraulique, le lixiviat des décharges, etc. (Guillemin et Roux, 1991).

I.3.2. Origines de la pollution hydrique

Elle a principalement deux origines ; une origine naturelle par les bactéries, les marées noires, la décomposition des matières organiques, l'oxyde d'azote, les poussières issues des volcans et érosions, etc. ; et une origine anthropique à la suite des activités humaines ; agricoles, industrielles et domestiques (Léa, 2016).

Tableau I. Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines (**Bourrier et Selmi, 2011**)

Caractéristique	Eau de surface	Eau souterraine
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevé	Faible ou nulle
Couleur	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces, acides, alcalines et salées	Liée surtout aux matières en solutions (acides humiques)
Minéraux globaux	Variables en fonction des terrains et précipitations	Sensiblement constante en général ; nettement plus élevés que dans les eaux de surface de la même région
Fe²⁺ et Mn²⁺	Généralement absents, sauf en profondeurs des points d'eaux en état d'eutrophisation	Généralement présents
CO₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
O₂ dissous	Plus souvent au voisinage de la saturation	Absent dans la plupart du temps
H₂S	Généralement présents	Souvent présents
NH₄⁺	Présents seulement dans les eaux polluées	Présents fréquemment mais ne sont pas des indices systématiques de pollution bactérienne
Nitrate, nitrite, silice	Peu abondant en général	Teneur souvent élevée
Micropolluants et minéraux organiques	Présents dans les eaux des pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression des sources	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste plus longtemps
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines sont pathogènes), virus, plancton et champignons	Ferro-bactéries fréquentes

I.3.2.1. Pollution hydrique d'origine naturelle

La pollution naturelle de l'eau est induite à travers divers phénomènes dont le plus important étant le réchauffement climatique. Ce phénomène est traduit par une augmentation inhabituelle de la température provoquant une élévation du niveau des eaux sur terre suite à la fonte des glaciers (**Vicent, 2021**). Par conséquent, des modifications dans le cycle de l'eau, notamment les précipitations, sont induites affectant ainsi la quantité et surtout la qualité des eaux (**Vicent, 2021**).

L'activité volcanique étant un autre phénomène naturel pouvant être à l'origine de la pollution des eaux. En effet, à l'issue de cette activité, d'énormes quantités de cendres et de poussières sont émises dans les mers et les eaux douces provoquant non seulement leur pollution ; mais aussi une réduction de l'oxygène dissous qui met en danger la faune aquatique (**Vicent, 2021**).

De leur côté, les matières organiques en décomposition provoquent également la pollution des eaux superficielles et même souterraines par le biais des ruissellements et d'infiltrations des substances toxiques qui en résultent (**Asef, 2010**).

Enfin, il convient de préciser que la pollution hydrique d'origine naturelle s'est accentuée dernièrement notamment suite aux activités intensives de l'homme ayant aggravé l'effet des différents polluants.

I.3.2.2. Pollution hydrique d'origine anthropique

L'origine anthropique ou humaine est considérée comme la source première de la pollution des eaux superficielles et souterraines. Elle est principalement causée par l'agriculture en raison des produits utilisés, principalement les pesticides et les engrais chimiques, qui polluent les eaux souterraines notamment suite à leur infiltration dans les couches du sol et atteignant les nappes phréatiques (**Léa, 2016**).

Les rejets industriels et domestiques sont également des sources non négligeables de la pollution des eaux. En effet, les deux résultent en la libération de substances chimiques et de matières organiques qui finissent dans la nature et provoquent ainsi des pollutions importantes des eaux et les phénomènes d'eutrophisation (**Léa, 2016**).

I.3.3. Types de pollution hydrique

La pollution de l'eau, potable notamment, peuvent se présenter sous différentes formes principalement ; radioactive, thermique, chimique ou biologique.

I.3.3.1. Pollution hydrique radioactive

C'est la pollution de l'eau par des substances et déchets radioactifs (**Ramade, 1982**). Ceux-ci peuvent être naturellement contenus dans l'eau notamment dans les zones granitiques et consistent le plus souvent en des émetteurs de rayonnement alpha (Radon²²⁶, Uranium²³⁴, Uranium²³⁸).

La présence d'éléments radioactifs dans l'eau peut également résulter des pratiques humaines, et on parle dans ce cas de « radio contamination » qui résulte des déversements volontaires ou accidentels notamment des émetteurs beta (Strontium⁹⁰, Césium¹³⁴, Iode¹³¹) (**Hartemann, 2013**).

I.3.3.2. Pollution thermique

Résulte des rejets d'eaux initialement utilisées dans l'industrie pour le refroidissement des centrales thermiques ou nucléaires et qui finissent dans les eaux de surface (rivières, réservoirs et cours d'eau) et peuvent atteindre les eaux souterraines (**Hartemann, 2013**). Ceci résulte en des températures supérieures au taux normaux, ce qui perturbe l'équilibre environnemental et cause des dommages à la vie aquatique. De plus, le taux des réactions chimiques double, provoquant ainsi l'extermination des poissons et des plantes et entrave le mouvement dans les cours d'eau (**rapporté dans Badjadi et al., 2022**).

I.3.3.3. Pollution chimique

Il s'agit de la pollution de l'eau par des substances chimiques divergentes telles que les chlorures, les nitrates, les fluorures, les phosphates, le sodium, l'arsenic, le sélénium, le fer, etc. Celles-ci peuvent être naturellement présentes dans les eaux souterraines suite à leur contact avec les roches sédimentaires de différentes natures ; et elles sont considérées polluantes lorsque leurs concentrations dépassent les seuils déterminés.

Cependant, les principales sources de contamination chimique des eaux étant les activités agricoles et industrielles ; respectivement à travers l'infiltration des engrais

chimiques (**Fawell et Mark, 2003**) et l'évacuation des rejets comprenant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables (**Melghit, 2012**).

I.3.3.4. Pollution biologique

C'est le type de pollution le plus usuel touchant fréquemment les eaux destinées à la consommation. Il s'agit de contaminations causées par la transmission de micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites, champignons, etc.) responsables de l'apparition de nombreuses maladies nommées « maladies à transmission hydrique ».

L'action humaine contribue grandement à la propagation de tels micro-organismes par exemple à travers l'enrichissement en nitrates d'un milieu ; la modification de la température d'un milieu par les rejets d'eaux chaudes ; l'introduction d'espèces invasives (**Touati, 2021**), etc.

I.4. Maladies à transmission hydrique

L'eau contaminée et/ou l'insuffisance ou absence des services d'alimentation en eau salubre entraînent la transmission de maladies dont les plus connues ; le choléra, la diarrhée, la dysenterie, l'hépatite A, la fièvre typhoïde et la poliomyélite, appelées maladies évitables (**OMS, 2022**). Ce sont des maladies étroitement liées à la qualité physico-chimique et bactériologique notamment de l'eau, souvent causées par le contact ou l'ingestion d'une eau insalubre (**Julien, 2020**).

En effet, l'**OMS (2022)** estime que, chaque année, plus de 829 000 personnes meurent de diarrhée à cause de l'insalubrité de l'eau potable et du manque d'assainissement et d'hygiène. Bien que la diarrhée soit la maladie la plus connue associée à l'eau contaminée, il en existe d'autres plus graves. Par exemple, en 2017, plus de 220 millions de personnes avaient besoin d'un traitement préventif de la schistosomiase, une maladie aiguë et chronique causée par des vers parasites qui peuvent être présents dans l'eau (**OMS, 2022**).

I.4.1. Maladies hydriques d'origine bactérienne

Ce sont des maladies dues à des germes pathogènes de type bactérien générant des maladies infectieuses, transmissent à l'homme par voie digestive par le biais des eaux contaminées et même des aliments (**Manceur et Djaballah, 2016**).

Dans le **tableau II** sont mentionnées les maladies hydriques d'origine bactérienne les plus répandues notamment dans les pays sous développées, les agents bactériens y responsables ainsi que les symptômes les plus fréquents de chacune.

Tableau II. Principales maladies hydriques d'origine bactérienne avec leurs agents responsables et leurs effets et symptômes (Charline, 2021; Bush et Vazquez-Pertejo, 2022)

Maladies	Agents responsables	Effets et symptômes
Choléra : infection aigue de l'intestin grêle qui se transmet par l'eau ou les aliments contaminées	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarrhées aqueuses, aiguës, sévère, déshydratation rapide, crampes musculaires, vomissement, asthénie, hypotonicité et mort dans les cas extrêmes.
Fièvres Typhoïde et Paratyphoïde : maladies systémiques qui se transmettent par voie entérique ; par les mains sales, les aliments et l'eau	<i>Salmonella typhi</i> et <i>paratyphi</i> respectivement	Fièvre prolongé, maux de tête, fatigue, signes digestifs, complication intestinal, cardiaque, où neurologie, anémie, troubles fonctionnels hépatiques.
Dysenterie ou shigellose : infection aigue de l'intestin grêle/contamination directe par voie oro-fécale ou indirecte par les aliments, l'eau et les objets contaminées.	<i>Shigella Dysentirae</i>	Selles accompagnées de sang et mucus, abcès sur les parois intestinales, gastro entérite aiguë, fièvre, nausées, vomissement, déshydratation rapide.
Gastroentérites : infections intestinales considérées comme maladies infectieuses les plus répandues auprès de la grippe	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella sp.</i> , <i>Shigella sp.</i>	Nausées, vomissement, crampes abdominales, diarrhées, fièvre, céphalées, déshydratation avancée, inflammation de la muqueuse de l'intestin, rectoragés
Légionellose : infection pulmonaire dont l'origine principale étant l'alimentation en eau potable.	<i>Legionella sp.</i>	Maux de tête, fatigue, toux sèche, changement de l'état mental, fièvre, sensation de malaise, douleurs abdominales, nausées, vomissement, insuffisance respiratoire irréversible et rénale aigue.

I.4.2. Maladies hydriques d'origine virale

Ce sont des maladies à transmission oro-fécale la plupart du temps, dont les organismes y responsables des virus se transmettant par l'intermédiaire de l'eau et mêmes des aliments (CFPTSEP, 2017).

Dans le **tableau III** sont mentionnées les maladies hydriques d'origine virale les plus répandues, les virus y impliqués ainsi que les principaux symptômes observés pour chacune.

Tableau III. Principales maladies hydriques d'origine virale avec leurs agents responsables et leurs effets et symptômes (Charline, 2017 ; Charline, 2018 ; Charline, 2022 ; Greenlee, 2022 ; Claire, 2023)

Maladies	Agents responsables	Effets et symptômes
L'hépatites A et E : maladies infectieuses qui touchent le foie et dont la contamination est oro-fécale	Virus de l'hépatite A et E respectivement	-Hépatite A : Fièvre, mauvais état général, diarrhées, nausées, ictère, gêne abdominale, sensibilité à la palpation. -Hépatite B : Perte d'appétit, urticaire
La poliomyélite : maladie infectieuse et contagieuse qui touche principalement le système nerveux et provoque une paralysie/ la contamination est oro-fécale.	Polio virus	-Symptômes du type grippal, paralysie
Méningite virale : inflammation des méninges transmise par la circulation sanguine, le contact avec des selles contaminées, ou les piqures d'insectes selon le virus en cause	Entérovirus	-Céphalées (maux de tête), fièvre, sensibilité accrue à la lumière, vomissements, douleurs musculaires, perte d'appétit

I.4.3. Maladies hydriques d'origine parasitaire

Ce sont des maladies transmises par des vecteurs externes qui infectent un organisme hôte (l'homme ou animal) à travers par une contamination buccale (aliments et eau contaminée) ou par l'intermédiaire d'une piqure d'insectes (**Blaize, 2022**) ; et dont les plus fréquentes sont rapportées dans le **tableau IV**.

I.4.4. Maladies hydriques liées aux éléments chimiques

Maladies liées soit au manque ou à l'excès d'éléments chimiques dans l'eau potable. En effet, la présence de certains de ces éléments, tels le mercure, le plomb, l'arsenic, etc. Dans l'eau potable est nocif pour l'organisme même à faible concentration (**tableau V**). Tandis que, la présence d'autres appelés oligoéléments, tel que le fer, le manganèse, etc. est indispensable mais à des doses infimes (**Asef, 2017**).

Tableau IV. Principales maladies hydriques d'origine parasitaire, agents responsables et symptômes (OMS, 2006 ; Charline, 2018 ; Charline, 2022 ; Chelsea et al., 2022)

Maladies	Agents responsables	Effets et symptômes
Amibiase : maladie intestinale due à la contamination par des kystes <i>Entamoeba histolytica</i> transmis par les mains sales, les mouches, l'eau impure et les aliments souillés	<i>Entamoeba histolytica</i>	-Diarrhées, formation d'ulcère, douleurs abdominales, foie douloureux et augmenté de volume, fièvre élevée, abcès pulmonaires.
Le paludisme (Malaria) : maladie transmise à l'homme par des piqûres d'un moustique contaminé	<i>Plasmodium sp.</i>	-Accès intermittent de forte fièvre, troubles digestifs, maux de tête, vomissements, douleurs musculaires, fatigue, insuffisance rénale
Giardase : maladie intestinale provoquée par le parasite <i>Giardia lamblia</i> qui se transmet par l'eau ou la nourriture et dans des conditions de manque d'hygiène	<i>Giardia lamblia</i>	-Crampes de l'estomac, perte de poids, fatigue, ballonnement, diarrhées aiguës et chroniques, vomissements, mauvaise assimilation des nutriments

Tableau V. Tableau exemplaire des éléments chimiques et les maladies qui en résultent (N'Diaye, 2008 ; officiel prévention, 2014 ; Asef, 2017 ; James, 2021)

Éléments chimiques	Maladies	Éléments chimiques	Maladies
Arsenic	Arsenicisme	Cuivre	Irritations des muqueuses respiratoires et oculaires, troubles digestifs.
Fluor	Fluorose	Manganèse	Troubles du système nerveux central, syndromes neurologiques
Nitrate	Méthémoglobinémie	Fer	Sidérose
Plomb	Saturnisme	Calcium	Hypocalcémie, troubles de la mémoire, dépression, douleurs musculaires.
Toxines de cyanobactéries	Impacts sur le foie ou le cerveau	Magnésium	Hypermagnésémie, insuffisance rénale, altération de la respiration
Cadmium	Troubles rénaux, effets cancérogènes pulmonaire	Phosphate	Hypophosphatémie, troubles du rythme cardiaque

Chapitre II

Évaluation de la qualité de l'eau potable

Avant la consommation d'une eau, quel que soit sa provenance, il est primordial de la soumettre à une série d'analyses visant essentiellement à s'assurer de sa potabilité. Ces analyses portent sur plusieurs paramètres, essentiellement physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent d'évaluer la présence ou non de différentes substances dans l'eau de consommation courante (**Beaulieu, s.d.**).

Les limites de qualité pour chacun de ces paramètres sont établies pour que leur présence dans l'eau n'ait pas d'impact sur la santé ; et ce n'est qu'en s'appuyant sur ces critères qu'il est possible d'établir une évaluation fine et fiable de la qualité sanitaire de l'eau (**Beaulieu, s.d.**).

II.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques d'une eau donnée constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé (**cité dans Bensid et Saidani, 2019**).

II.1.1. La couleur

Une eau destinée à la consommation est limpide et transparente. Et tout changement de sa couleur indique la perturbation de sa qualité suite à une pollution notamment par des taux élevés de minéraux (fer, manganèse, etc.), des algues, des protozoaires, des effluents industriels ou des eaux de ruissellement (**MELCCFP, 2023**); ou simplement suite à une dégradation, dans celle-ci, des matières organiques végétales colorantes tel que l'acide fulvique humique (**Tardet-Henry, 1984**).

II.1.2. L'odeur

L'eau potable doit être inodore, et la présence d'une odeur témoigne de sa contenance éventuelle de matière en décomposition (**Boukhatem et Otsmane, 2022**) ; ou de substances relativement volatiles inorganiques (chlore, hypochlorites, etc.) ou organiques (esters, alcools, etc.) (**Tardet-Henry, 1984**). Ça peut également être le signe d'une éventuelle pollution d'origine anthropique via les rejets des eaux usées industrielles et domestiques (**cité dans Yahiaoui et Belloues, 2020**).

II.1.3. La saveur

L'eau est un mélange de plusieurs molécules et substances qui définissent sa structure chimique et ses caractéristiques organoleptiques (**Proulx et al., 2010**), sa saveur entre autres.

En effet, la saveur d'une eau dépend grandement de la qualité et la nature des corps y dissous. Par exemple, en cas d'absence ou d'une faible concentration en sels habituels et anhydride carbonique sa saveur sera insipide, qui est le cas des eaux à longue durée de stockage (eau de citerne par exemple) (**Dardoura, 2014**). De plus, comme c'est le cas pour l'odeur, l'introduction d'eaux usées industrielles et domestiques peut conférer un goût désagréable à l'eau affectant ainsi sa potabilité (**cité dans Yahiaoui et Belloues, 2020**).

II.1.4. La turbidité

La turbidité d'une eau fait référence à son degré de transparence. Elle est principalement liée à la présence de matières en suspension tels que des composés d'argile, limon, particules organiques, plancton (**CEAEQ, 2016**), débris de roches, micro-organismes, etc. (**Tardet-Henry, 1984**). Celles-ci donnent, non seulement un aspect trouble à l'eau, mais s'opposent également à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique quand elles sont présentes en grandes quantités. De plus, elles peuvent perturber le processus de désinfection de l'eau par le chlore par exemple (**cité dans Yahiaoui et Belloues, 2020**).

II.2. Paramètres physico-chimiques

L'évaluation des paramètres physico-chimiques se réalise par une démarche purement scientifique et vise à vérifier la qualité de l'eau et s'assurer de sa conformité aux normes nationales et internationales (**Claude, 2022**) relatives aux eaux destinées à la consommation humaine.

II.2.1. La température

La température d'une eau est un facteur essentiel influençant la solubilité des gaz comme l'oxygène et la dissociation des sels (**Valérie et al., 2006**). Elle joue également un rôle important dans la détermination du pH et la compréhension de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (**Rodier et al., 2009**) ; comme elle peut agir sur la vitesse des réactions biochimiques et chimiques (**Rodier et al., 2009 ; ENSA Agadir, 2017**).

En outre, une température élevée de l'eau favorise la croissance des micro-organismes, pouvant influencer le goût, l'odeur et la couleur de cette dernière (**OMS, 1994**) modifiant ainsi sa qualité. De ce fait, la température de l'eau destinée à la consommation humaine est généralement fixée à 25°C (**JORA, 2014**).

II.2.2. Le potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH d'une eau est un indicateur de l'acidité de celle-ci et donc de sa concentration en ions (H⁺). Bien qu'il n'ait aucune signification sur le plan hygiénique (**Jean-Eudes et al., 2022**), mais il est considéré comme un paramètre important dans le processus d'analyse de la qualité de l'eau.

En effet, le pH détermine la nature corrosive de l'eau vu qu'il soit positivement corrélé à la conductivité électrique et à l'alcalinité totale (**Gupta et al., 2009**). De plus, il a une signification importante notamment pour les micro-organismes aquatiques. La plupart des bactéries peuvent croître dans des milieux à pH compris entre 5 et 9, avec un optimum situé entre 6.5 et 8.5. Par contre, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 peuvent affecter la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques selon l'OMS (**cité dans Yahiaoui et Belloues, 2020**).

II.2.3. La conductivité (K)

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes, permettant ainsi d'apprécier la qualité des sels y dissous, le degré de minéralisation (**CEAEQ, 2015**) et donc la qualité de cette eau (**tableau VI**). Elle est variable selon la provenance de l'eau (**Bertrand, 2021**).

La mesure de la conductivité est un moyen assez simple de détection d'une anomalie relative à la présence probable d'une pollution vu qu'une charge importante en polluants organiques par exemple tend à faire augmenter la turbidité (**cité dans Yahiaoui et Belloues, 2020**).

Tableau VI. Relation entre conductivité électrique, minéralisation et qualité de l'eau (**Boumedol, 2000**)

Qualité de l'eau	Minéralisation	Conductivité
Excellente qualité	Faible	50 _ 400 µS/cm
Bonne qualité	Moyenne	400 _ 750 µS/cm
Qualité moyenne	Importante	750 _ 1500 µS/cm
Mauvaise qualité	Excessive	> 1500 µS/cm

II.2.4. La dureté totale ou titre hydrométrique (TH)

La dureté de l'eau est la somme des concentrations de calcium et magnésium dans celle-ci. Une dureté élevée résulte en des corrosions qui touchent surtout les canalisations et provoquent ainsi des fuites (**Zaidi et Sklab, 2009**) ; comme elle peut présenter des risques sur la santé humaine à long terme. Le **tableau VII** classe les eaux compte tenu de leur dureté.

Tableau VII. Classification des eaux selon la dureté (**Bahlouli et Laibiad , 2008**)

Dénomination	TH en F°
Eau très douce	0.....5
Eau douce	6.....10
Eau moyennement dure	11.....15
Eau dure	15.....35
Eau très dure	>35

II.2.5. Alcalinité

L'alcalinité de l'eau est son pouvoir de neutraliser un acide. L'alcalinité est associée à la présence des ions carbonates (CO_3^{2-}), ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) et des hydroxydes (OH^-) (**Soudani, 2016**). Par ailleurs, les borates, les silicates, les phosphates et certaines formes de matière organique participent légèrement à son alcalinité (**CEAEQ, 2004**). Elle est déterminée par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

II.2.5.1. Titre alcalimétrique (TA)

Le TA compte la teneur en alcalis libres (OH^-) et en carbonates (CO_3) (**Tardet-Henry, 1984**)

II.2.5.2. Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC compte la somme des alcalis libres (OH^-), des carbonates (CO_3) et des bicarbonates (HCO_3^-) (**Tardet-Henry, 1984**) pour des pH inférieurs à 8.3. La teneur en ions

OH^- et CO_3^{2-} étant négligeable ($\text{TA}=0$), dans ce cas la mesure de TAC correspond au dosage des bicarbonates seuls (**Menad et Metadjer , 2012**).

II.2.6. Le résidu sec

C'est un indicateur de minéralisation. C'est-à-dire qu'il permet de déterminer le taux d'éléments minéraux recueillis après évaporation d'un litre d'eau à une température de 180°C (**LDAL, 2016**).

II.2.7. Les anions et cations

II.2.7.1. Les chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont très répandus dans la nature et se présentent généralement sous forme de sels du sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl_2) et sont considérés, à des concentrations très élevées, comme des indicateurs de pollution (**Abdoulaye et al., 2014**). Ils se trouvent également dans la quasi-totalité des eaux naturelles à des concentrations très variables dépendantes de la nature des terrains traversés. Dans celles-ci les chlorures n'ont ni odeur, ni couleur, mais leur confère un goût salé (**Degremont, 2005**) désagréable à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (**Rodier et al., 2009**).

Les chlorures influencent considérablement la croissance de la flore et la faune aquatique et même celle des végétaux (**Tardart, 1994**) et sont donc des éléments indispensables à des concentrations déterminées.

II.2.7.2. Les nitrates (NO_3^-)

Ce sont des sels de l'acide nitrique résultant d'une nitrification par les bactéries du genre *Nitrobacter* de l'ion d'ammonium présent dans l'eau et le sol (**Santé Canada, 2013**). Elles sont naturellement présentes dans les eaux souterraines et superficielles (**Ayad, 2017**).

La toxicité des nitrates résulte de leur interaction avec l'organisme ; d'où la nécessité de les éliminer des eaux brutes quand leur concentration est supérieure à la norme.

II.2.7.3. Les nitrites (NO_2^-)

Les nitrites proviennent de l'oxydation incomplète de l'azote organique (**Mazara, 2015**). Elles peuvent être présentes à l'état de traces dans les eaux souterraines ou même se

former dans les canalisations où la corrosion est importante (Afssa, 2008). Néanmoins, dans ce dernier cas, elles sont rapidement oxydées en ions nitrates par le chlore libre, de sorte qu'elles ne soient qu'exceptionnellement retrouvées dans les eaux de distribution (Afssa, 2008).

Dans les cas où une eau renferme des quantités élevées de nitrites, on peut suspecter la détérioration de sa qualité microbiologique (Ayad, 2017). Elles sont donc considérées comme éléments toxiques et polluants ayant généralement pour origine les rejets agricoles, urbains ou industriels (Aouissi et Houhamdi, 2014).

II.2.7.4. Les sulfates (SO_4^{-2})

Les sulfates dissoutes dans l'eau proviennent prioritairement de certains minéraux tels le gypse (CaSO_4), la pyrite (FeS_2), les roches magmatiques, etc. (Ghazali et Zaid, 2013) et de l'activité de certaines bactéries (Belghiti, 2013).

Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès de sulfates dans l'eau peut aboutir à des troubles intestinaux et entraîner des déshydratations et diarrhées. Les concentrations admissibles, selon les normes Algériennes, ne devant donc pas dépasser les 400 mg/l (Bouziyani, 2000 ; Hamed et al., 2012).

II.2.7.5. Le fer (Fe^{+2})

Le fer est un oligo-élément indispensable pour l'organisme humain avec un besoin journalier se situant entre 2 et 3 mg/l dont seulement 60 à 70% de la quantité ingérée est métabolisée (Rodier, 2009). Sa présence dans l'eau potable a pour origine essentielle les roches du sous-sol, l'industrie à travers les rejets (OMS, 2003), ou encore la corrosion de l'acier et des tuyaux en fonte pendant la distribution (Bair et Ghemair, 2016).

L'excès de fer dans l'eau n'est pas forcément nocif, mais il peut brunir cette dernière entraînant ainsi des taches désagréables sur le linge (OMS, 2003). Cependant, le sulfate de fer provenant essentiellement des stations de traitement des eaux, où il est utilisé comme floculant, peut résulter en des intoxications qui touchent surtout les enfants (OMS, 2003).

II.2.7.6. L'ammonium (NH_4^+)

L'ammonium se forme suite à la décomposition de la matière organique. Sa présence dans l'eau provient des déchets issus des activités agricoles, industrielles et domestiques ; mais aussi de la réduction des formes azotées, nitrates et nitrites.

L'ammonium en grandes concentrations dans l'eau potable est un indice de la pollution de celle-ci (GLS, 2006). Quant à sa toxicité, il est reconnu que ce n'est pas la forme ammoniacale ionisée qui est toxique, mais celle non ionisée dont la proportion dépend du pH et de la température (Rodier, 1996).

II.2.7.7. Les phosphates (PO_4^{3-})

Le phosphore dans l'eau peut être en suspension ou dissout. Ce dernier comprend le phosphore organique et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les ortho phosphates et les poly phosphates (Rodier, 2009).

Le phosphore dans les eaux de surface provient essentiellement des engrais, pesticides, et des rejets domestiques et industriels (Degremont, 2005). Il est ainsi considéré comme polluant, à des concentrations élevées, qui favorise l'eutrophisation ; stimule le dépôt de la matière organique dans les réseaux de distribution et procure à l'eau une odeur et un goût désagréables (Degremont, 2005).

II.2.7.8. Le manganèse (Mn^{2+})

C'est un oligo-élément indispensable aux organismes vivants. Il est caractérisé par des points d'ébullition, de fusion et de chaleur de vaporisation très élevées (Belabed, 2010). Il est fortement impliqué dans la stimulation de la synthèse du cholestérol (Belabed, 2010).

Les normes Algériennes fixent une valeur maximale de $50\mu\text{g/l}$ de manganèse dans les eaux de consommation (JORA, 2014).

II.2.8. Les éléments toxiques

C'est l'ensemble des éléments chimiques présent dans l'eau, à l'état naturel ou suite aux activités humaines, susceptibles d'avoir une action toxique pour l'homme et les organismes aquatiques, même à des concentrations très faible (de l'ordre de microgramme ou même de nanogramme par litre) (Asef, 2017).

II.2.8.1. L'argent (Ag)

Le minerai étant la forme originale de l'argent, qui est parfois associé à des minerais de plomb, d'or, de cuivre et de zinc (**Anonyme, 2021 a**). L'argent n'existe pas dans l'eau naturellement, et sa présence à l'état de traces dans les accessoires de plomberie mènent à une teneur relativement élevée dans l'eau de robinet (**Anonyme, 2021 a**).

II.2.8.2. L'arsenic (Ar)

Les eaux souterraines à proximité des zones minières ou de quelques formations sédimentaires peuvent contenir des concentrations d'arsenic (**Soudani, 2016**). Celui-ci est néanmoins considéré toxique à des concentrations dépassant les normes préconisées (**Soudani, 2016**).

II.2.8.3. Le plomb (Pb)

C'est un élément métallique de couleur gris bleuâtre souvent associé au zinc sous forme de traces. Il existe sous trois formes différentes ; dissoute, colloïdale et particulaire (**Balabed, 2010**). C'est un élément toxique pour l'organisme, responsable du saturnisme lors de son accumulation. Néanmoins, il peut être facilement éliminé par certains traitements classiques (**Potelon, 1998**).

II.2.8.4. Le mercure (Hg)

Le mercure est un élément rare présent dans la nature dans les trois compartiments. Sa présence dans l'eau provient essentiellement de la combustion de combustibles fossiles ; des exploitations minières ou encore de l'incinération des déchets (**Anonyme, 2021 b**). L'exposition à cet élément peut causer de grands problèmes de santé et présente une menace pour le développement de l'enfant même à de faibles doses (**Anonyme, 2017**). Ceci explique la concentration maximale très basse admise par l'OMS de l'ordre de 1 µg/l d'eau (**Anonyme, 2021 b**).

II.2.8.5. Le nickel (Ni)

Le nickel est un élément métallique très répandu dans la croûte terrestre. Il est principalement émis par les activités volcaniques et les rejets agricoles notamment suite à l'usage des engrais phosphatés (**Anonyme, 2013**). Par voie de conséquence, il se retrouve dans les eaux de surface. Son risque sur la santé humaine réside surtout dans la difficulté de

son élimination à cause de la durée de vie importante des produits contenant cet élément (Anonyme, 2013).

II.2.8.6. Le Cadmium (Cd)

Le cadmium est un élément toxique même à faible dose, et son principal danger réside dans son effet cumulatif (Potelon, 1998). Il est naturellement rare dans l'environnement et sa principale source étant la pollution par les déchets industriels, les ordures ménagères et le cadmiage (Soudani, 2016). Il est caractérisé par sa facilité de circulation dans les eaux et les sols. Les atteintes rénales étant la conséquence de sa très nette toxicité (Soudani, 2016) qui peut toucher les poumons et les os également (Soudani, 2016).

II.2.8.7. Le chrome (Cr)

C'est un élément naturellement insoluble qui peut devenir soluble dans certaines conditions telles que l'érosion, l'oxydation et l'action des bactéries. Son existence dans l'eau nous renseigne sur la présence de rejets d'eaux usées industrielles, vu qu'il soit assez utilisé dans l'industrie de fabrication d'acier et en métallurgie (Bidi et Djidja, 2020).

Le chrome devient toxique et cancérigène lorsque qu'il est sous forme d'Hexavalent, chrome VI (Asef, 2017).

II.2.8.8. Les cyanure (CN)

Les cyanures sont peu communs à l'état naturel. Dans l'eau, ils peuvent se retrouver sous une forme dissociée (HCN et CN^-) ou sous forme complexée avec un métal (CEAEQ, 2016).

La présence des cyanures dans les eaux naturelles est surtout liée aux effluents industriels provenant des installations d'extraction des métaux, des procédés d'électrodeposition, du lessivage des résidus miniers, des fabriques de gaz, ainsi que des différentes usines de produits chimiques (CEAEQ, 2016). Ce sont des poisons toxiques qui peuvent cependant être biodégradables au bout d'un certain temps dans les eaux mobiles.

II.3. Les paramètres bactériologiques

Les paramètres bactériologiques de l'eau nous renseignent sur la présence dans celle-ci de microbes pathogènes ; nous permettant subséquemment de définir les circonstances dans lesquelles cette eau a été éventuellement contaminée pour enfin la désinfecter.

On s'intéresse principalement aux bactéries indicatrices de contamination fécale d'origine humaine, animale ou provenant des eaux usées (FNS, 2013).

II.3.1. Les Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des bactéries aérobies ou anaérobies facultatives en forme de bâtonnets. Elles détiennent une B-galactosidase qui libère un agent chromogène utilisé dans des milieux de culture et qui permet leur identification (Lisa, 2022). Elles forment un grand groupe d'entérobactéries dont certaines vivent dans l'intestin des animaux homéotherme mais aussi dans l'environnement en général (sols, végétation, eau) (Lisa, 2022).

Ce groupe bactérien est très utilisé comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau (CEAEQ, 2015). Leur élimination dans celle-ci est réalisée par l'application de différentes techniques ; à travers la chloration concentrée dans le cas de la décontamination des puits par exemple (OMS, 2017).

II.3.2. Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, encore appelés coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe de coliformes totaux capables de fermenter le lactose à 44,5°C. Bien que certains d'entre eux proviennent des eaux riches en matière organique comme les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire (Lisa, 2022) ; mais leur présence dans l'eau indique généralement une contamination d'origine fécale. De plus, ils sont de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau, mais comme leur nombre est inférieur aux coliformes totaux, ces dernières sont mieux adaptées à cette fonction (Lisa, 2022).

L'espèce la plus communément associée à ce groupe étant l'*Escherichia coli* (fig. 02). C'est la seule espèce de ce sous-groupe qui ne peut pas se développer ou se reproduire naturellement dans l'environnement et doit donc provenir d'une source fécale. C'est pour cela qu'elle est considérée comme un bon indicateur de contamination fécale, et sa présence témoigne même de la présence d'autres bactéries d'origine fécale (Lisa, 2022).



Fig. n°02. Bactérie *E. coli* sous microscope (GR12800x) (Sowers et Carr, 2016)

II.3.3. Les Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux (**fig. 03**) appartiennent à la famille de Streptococcaceae et sont en grande partie d'origine humaine (Amirat et Naciri, 2017).

Certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent se retrouver dans les fèces animales et sur les végétaux et sont très résistantes à la dessiccation. Pour ce, elles sont considérées comme indicatrices d'une pollution d'origine fécale et leur identification dans les eaux confirment absolument le caractère fécal de la pollution (Mehanned *et al.*, 2014).

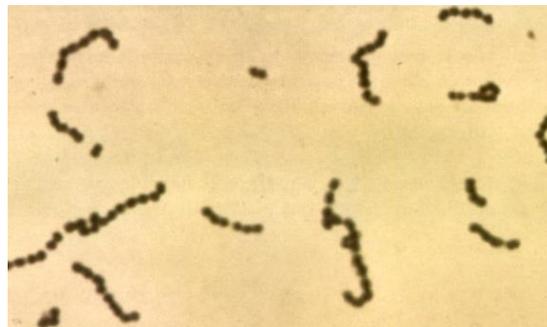


Fig. n°03. Image illustrative des Streptocoques fécaux observés sous microscope (GR1045x643) (Beards, 2014)

II.3.4. Les Clostridiums sulfito-réducteurs (ASR)

Les ASR (**fig. 04**) sont des bactéries qui se développent uniquement en absence d'oxygène et qui possèdent des caractéristiques particulières. Dans le cadre des analyses de l'eau, celles-ci sont utilisées comme témoins de la qualité de filtration ou marqueurs d'une contamination fécale ancienne (Boyer, 2021).



Fig. n°04. *Clostridium perfringens* observée au microscope optique (GR1000x) (**Pourcher, 2007**)

II.3.5. Les Salmonelles

Les salmonelles (**fig. 05**) sont des bactéries gram négative de la famille des enterobacteriaceae. Elles sont divisées en deux grands groupes en fonction, Salmonella typhiques et non typhoïdiques, selon la maladie causée par celles-ci (**NIFCD, 2016**). Elles se transmettent par voie oro-fécale d'une personne à l'autre, par l'eau et aliments crus cuits contaminés par les selles des personnes infectées (**Anses, 2021**).

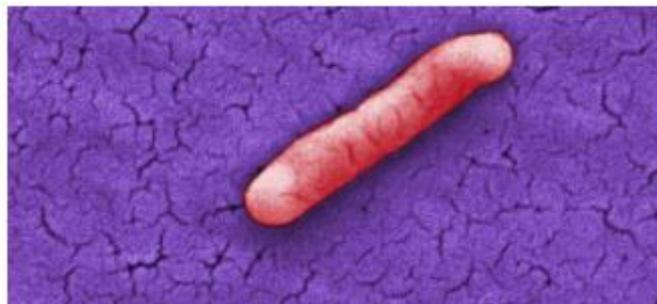


Fig.n°05. *Salmonella enterica subsp. Enterica ser Typhimurium* sous microscope électronique à balayage colorée numériquement (GR 20000x) (**Anses, 2021**)

II.3.6. Les vibrions cholériques

Ce sont des bactéries bacilles (**fig. 06**) isolées à gram négatif et mobiles (**Bueno et al., 2020**). Elles produisent une entéro-toxine qui entraîne des diarrhées et une déshydratation sévère pouvant aboutir à la mort en absence de traitement (**Diop et al., 2012 ; Ivers et al., 2012**).

C'est l'agent responsable de la maladie de choléra, dont le bacille peut être présent dans l'eau ou dans les aliments (**Racault et al., 2019**). La propagation de cette maladie se manifeste essentiellement par une contamination oro-fécale (**Rafique et al., 2016**).

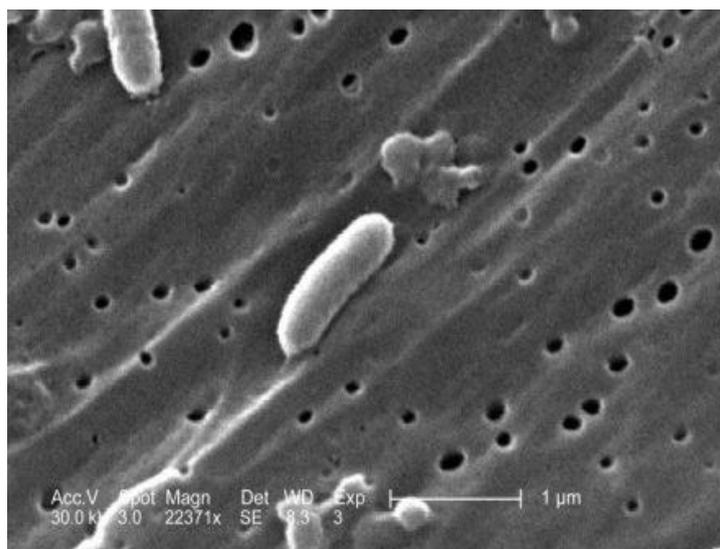


Fig. n°06. *Vibrio cholerae* sous microscope (GR 22371x) (Fernandes, 2016)

Partie pratique

Chapitre III

Matériel et méthodes

Le présent travail consiste en une évaluation de la qualité des eaux consommées dans la commune de Bejaia ville à travers des analyses physico-chimiques et microbiologiques.

Ces analyses ont été réalisées respectivement au laboratoire d'hygiène communal de Bejaia ville et à la direction de la santé et population (DSP) de Bejaia (voir **annexe I** pour une brève description des deux organismes) lors d'un stage pratique d'une durée d'un mois qui s'est étendu du 22/02/2023 au 24/03/2023.

III.1. Situation géographique de la zone d'étude

L'étude a concerné uniquement la commune de Bejaia ville. Celle-ci est une commune algérienne située au bord de la méditerranée, soit à 180 Km à l'Est d'Alger. Administrativement, elle est limitée au Nord/Nord-Ouest par la mer Méditerranée ; Nord-Ouest par la commune de Toudja ; Sud/Sud-est par la commune de Tala Hamza ; Sud/Sud-ouest par la commune d'Oued-Ghir ; et du côté Sud par la commune de Boukhelifa (**fig. 07**) (Yessad et Ouassel, 2017).



Fig. n°07. Situation géographique de la commune de Bejaia ville et communes à proximité (Google Earth)

III.2. Échantillonnage

III.2.1. Sites de prélèvement des échantillons

L'évaluation s'est portée sur 11 échantillons au total obtenus de différents quartiers de la commune de Bejaia ville. Le choix de ceux-ci n'est pas fortuit mais défini après la réalisation d'une brève inspection visant à déterminer la provenance d'eau consommée par les habitants des différents quartiers.

Nous avons finalement retenu 11 sites dont les habitants de chacun consomment des eaux à provenances différentes afin de couvrir toute la commune de Bejaia ville et de collecter à peu près de toutes les sources disponibles dans celle-ci.

Tableau VIII. Liste des échantillons étudiés, leur origine et dates de prélèvements.

Echant.	Lieu d'obtention et origine	Date de prélèvement
Smina	Distributeur privé d'eau en camion-citerne à cité Smina (à provenance de la source Toudja d'après le vendeur)	26/02/2023
D. Djbel	Distributeur privé d'eau en camion- citerne à Dar Djbel (à provenance de la source Toudja d'après le vendeur)	26/02/2023
Taassast	Source Ain Harrar à Taassast	26/02/2023
D. Nacer	Eau de robinet d'une habitation à Dar Nacer	05/03/2023
Ihaddaden	Eau de robinet d'une habitation à Ihaddaden	05/03/2023
A. Oufarnou	Forage privé au village Adrar Oufarnou	05/03/2023
Boulimat	Puits privé à Boulimat	07/03/2023
S. Ouali	Source Dar Ssaqiya à Sidi Ouali	07/03/2023
C. Sghir	Distributeur privé d'eau en camion- citerne à Cité Sghir auprès des résidences universitaires (à provenance de la Source d'Akfadou d'après le vendeur)	07/03/2023
Sqala	Source publique d'eau à Sqala près de la gare routière	19/03/2023
B. de mer	Source publique à la Brise de mer	19/03/2023

III.2.2. Méthodes de prélèvement des échantillons

Le prélèvement d'un échantillon est une étape cruciale qui nécessite le plus grand soin vu que cela influence grandement les résultats analytiques et même l'interprétation qui en sera donnée. En effet, les résultats des tests ainsi que leur interprétation ne pourront être valables que si l'échantillon soumis est représentatif du lot et que l'intégrité du produit est assurée depuis le prélèvement jusqu'à l'analyse.

De plus, et dans le cas de notre étude notamment, le prélèvement aseptique est obligatoire pour tous les échantillons du moment que des essais microbiologiques sont envisagés. Ainsi, il est indispensable d'empêcher toute contamination du matériel d'échantillonnage, des échantillons et de l'équipement soumis à l'échantillonnage. Il est également nécessaire d'appliquer d'une méthodologie de travail spécifique qui garantit un prélèvement dans les meilleures conditions d'hygiène possible.

Dans ce qui suit, nous décrivons les techniques de prélèvement spécifiques auxquelles nous avons optées pour chaque site d'échantillonnage.

III.2.2.1. Prélèvement d'un robinet

Avant de procéder au prélèvement, il est indispensable de se laver les mains (**fig.08a**), bien nettoyer le robinet (**fig.08b**) et de retirer de celui-ci tout accessoire éventuellement présent, qui est susceptible de provoquer des dépôts pouvant modifier les résultats.

Ouvrir ensuite le robinet à son débit maximal et laisser l'eau couler pendant 1 à 2 minutes (**fig.08c**) ; puis le fermer et le stériliser soit en lui soumettant une flamme (**fig.08d**) ou simplement en l'essuyant avec un coton imbibé d'alcool.

Ouvrir encore le robinet et laisser l'eau couler pendant 1 à 2 minutes (**fig.08e**), cette fois à débit normal avant de remplir un flacon en verre (**fig.08f**) préalablement stérilisé et étiqueté (**fig.08g**) (**Brian et al., 2017**).

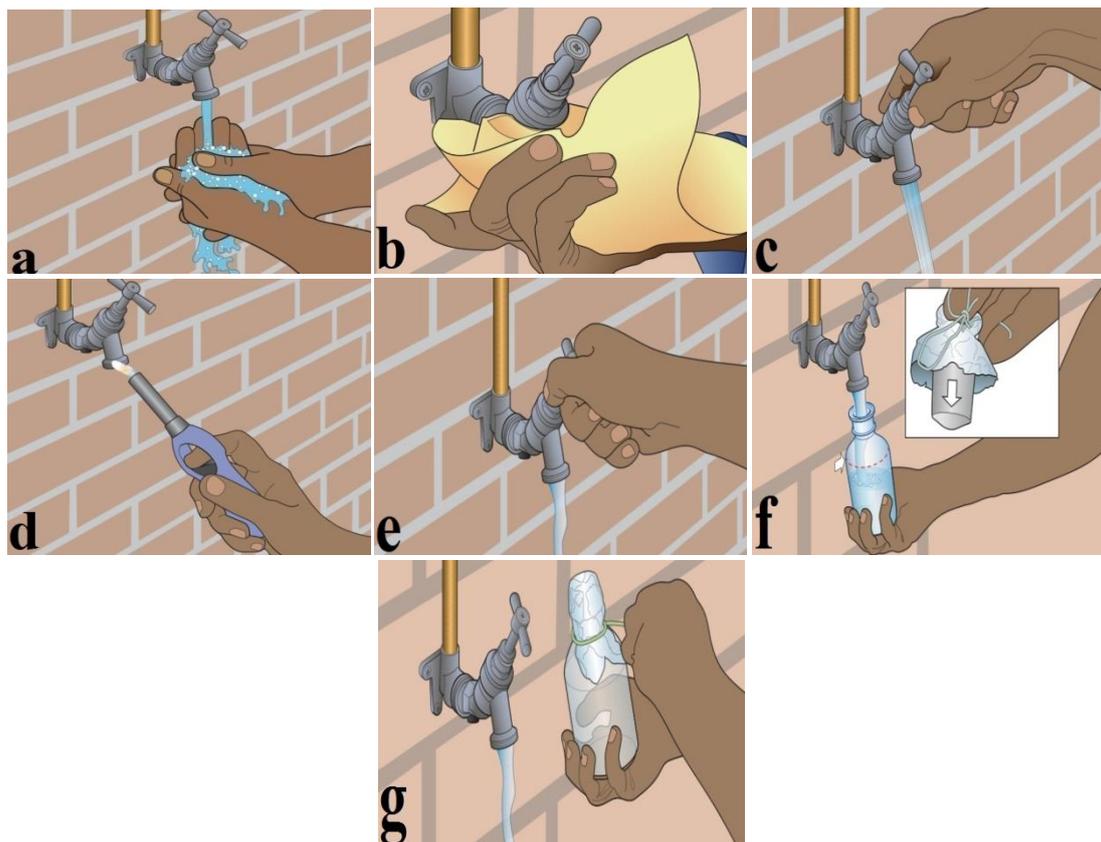


Fig. n°08. Illustration de la méthode de prélèvement aseptique de l'eau d'un robinet (Ken Chatterton *et al.*, 2017)

III.2.2.2. Prélèvement d'un puits ou forage

Pour les puits ou forages équipés de pompe, ce dernier doit d'abord être mise en marche pendant 20 à 30 minutes avant d'être nettoyée et stérilisée. Le prélèvement est ensuite réalisé après stérilisation de la sortie de la pompe et après avoir laissé couler l'eau pendant 2 minutes (Brian *et al.*, 2017).

Dans le cas de notre étude, les puits à partir desquels deux de nos échantillons sont obtenus ne sont pas dotés de pompes. En effet, il s'agit de puits ouverts nécessitant une méthode de prélèvement différente de celle décrite plus haut.

La méthode adoptée fait usage d'un dispositif d'échantillonnage peu profond qui consiste en un flacon en verre stérilisé attaché d'un côté à une pierre et d'un autre à un morceau de bois avec un fil propre (fig.09a).

Procéder ensuite au prélèvement en introduisant le dispositif dans le puits en évitant son contact avec les bordures (fig.09b, c). Une fois rempli le flacon est soulevé du puits, étiqueté et son bouchon remis (fig.09d, e) (Brian *et al.*, 2017).

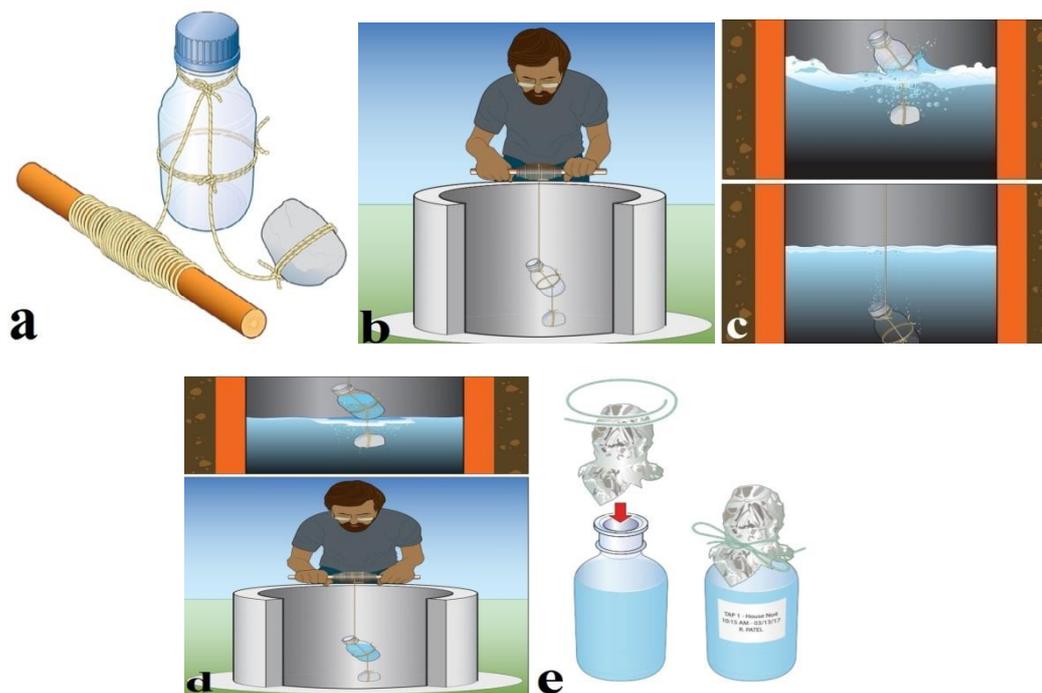


Fig. n°09. Illustration de la méthode de prélèvement aseptique de l'eau d'un puits ouvert (Ken Chatterton et al., 2017)

III.2.2.3. Prélèvement d'un camion-citerne (distributeurs d'eau vendue au volume)

Pour ce type de prélèvement, l'idéal est de d'abord désinfecter le robinet de la citerne à l'intérieur et l'extérieur avec de l'alcool 70%. Au lieu de laisser couler l'eau, car les distributeurs en refusent, attendre 10 minutes puis remplir un premier flacon à disposer avant de remplir le flacon stérilisé et étiqueté destiné à l'analyse (François, 2022).

Néanmoins, pour des raisons inconnues, certains distributeurs refusent la réalisation de ces étapes, ce qui est le cas avec notre échantillon obtenu du distributeur D. Djebel. Dans ce cas, nous avons obtenu l'échantillon dans un bidon stérilisé, éloigné au maximum du robinet de la citerne dont le contenu est immédiatement transféré dans le flacon en verre adéquat.

III.2.3. Conservation et transport des échantillons

A chaque fois qu'un échantillon est prélevé, celui-ci est immédiatement conservé dans une glacière et transporté au laboratoire pour entamer les analyses. Pour effectuer les analyses microbiologiques, une durée de 6 heures entre le moment du prélèvement et la manipulation ne doit pas être dépassée. Tandis que pour les analyses physico-chimiques, cette durée dépend du paramètre à doser, à titre d'exemple 48 heures pour le pH et 24 heures pour les nitrates et nitrites.

III.3. Évaluation de la qualité des eaux prélevées

III.3.1. Paramètres organoleptiques

La détermination des paramètres organoleptiques est subjective car elle fait appel à la sensation pouvant être bonne ou mauvaise selon le sens de consommateur (Sremksi, 2022).

Les paramètres organoleptiques pris en considération dans la présente étude étant la couleur et l'odeur qui sont directement déterminés lors de l'échantillonnage. La couleur est une propriété optique qui informe sur la présence des MES dans l'eau, et l'odeur doit être non désagréable sinon ça pourrait nous informer de la présence éventuelle d'une pollution.

Le goût et la saveur sont également deux paramètres organoleptiques importants mais que nous n'avons pas analysés dans la présente étude en raison de l'absence de goûteurs d'eau au niveau des laboratoires d'accueil.

III.3.2. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres considérés dans la présente étude sont le potentiel d'hydrogène (pH), la dureté totale (DT), la dureté calcique ($D Ca^{2+}$), la dureté magnésienne ($D Mg^{2+}$), le titre alcalimétrique simple (TA), le titre alcalimétrique complet (TAC), les résidus secs (Rs), la teneur en chlorures (Cl^-), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et sulfates (SO_4^{2-}).

Il est à noter que, pour tous les paramètres à doser, la température de l'eau à analyser doit être entre 25°C et 30°C afin d'accélérer les réactions car celles-ci sont très lentes dans l'eau froide.

III.3.2.1. Mesure du potentiel hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène, noté pH, nous permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution et sa valeur est liée à la concentration en ions H_3O^+ dans cette dernière. La valeur du pH est un nombre qui s'exprime sans unité et qui est souvent compris entre 0 et 14.

Le pH est mesuré pour chacun des échantillons à l'aide d'un pH mètre. Après étalonnage de l'appareil avec des solutions tampons à pH=7 puis pH=4, l'électrode est lavé avec l'eau distillé ensuite prolongée dans le flacon contenant l'échantillon et le pH de celui-ci est directement affiché (fig.10).

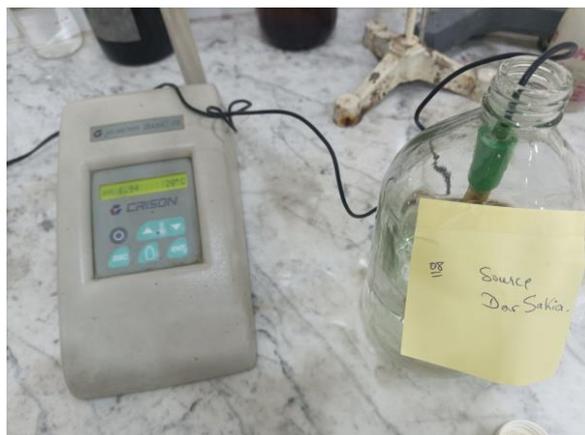


Fig. n°10. Mesure du pH à l'aide d'un pH mètre (photo prise par Abbaci et Abbaci, 2023)

III.3.2.2. Détermination de la dureté totale (TH)

La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Il correspond à l'ensemble des ions alcalino-terreux, principalement les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) sont présents dans l'eau.

La mesure du TH est simplement un dosage volumétrique par un réactif titrant complexant, l'EDTA (sel tétrasodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique). Celui-ci a la propriété de se combiner avec les ions calcium puis magnésium pour former des composés solubles appelés, chélates (Mayet, 1994 ; Rejsek, 2002).

En effet, lors du titrage, l'EDTA réagit tout d'abord avec les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} libres en solution. Au point d'équivalence, il réagit avec les Mg^{2+} et Ca^{2+} combinés avec un indicateur coloré qui est le Noir Eriochrome T (NET), ce qui libère l'indicateur et provoque un virage de couleur de rouge brique (Mayet, 1994 ; Rejsek, 2002).

Mode opératoire

- Rincer une burette à l'eau distillée et la remplir d'une solution d'EDTA (0.02N) (**annexe II**) ;
- Dans un erlenmeyer d'une capacité de 250ml, verser 50ml de l'échantillon, 2ml de la solution tampon à pH=10(**annexe II**) et 10 gouttes de NET (**annexe II**) ;
- Titrer avec l'EDTA jusqu'au virage de la couleur de la violacée au bleu (**annexe III.2.a**);
- Noter le volume qui correspond à la chute de la burette ;
- Calculer la dureté totale (DT) comme suit ;

$$N_{\text{EDTA}} \times V_{\text{burette}} = V_{\text{ech}} \times N_{\text{ech}}$$

$$DT = N_{\text{ech}} = (N_{\text{EDTA}} \times V_b) / V_{\text{ech}} = [(0.02 \times V_b) / 50] \text{ eq/l} = [(20 \times V_b) / 50] \text{ meq/l}$$

Comme la masse molaire de $\text{CaCO}_3 = 100\text{g}$ et la masse équivalente $100/2=50$

$$DT = [(20 \times V_b) / 50] \times 50 \text{ mg/l de CaCO}_3 = [(1000 \times V_b) / 50] \text{ mg/l de CaCO}_3.$$

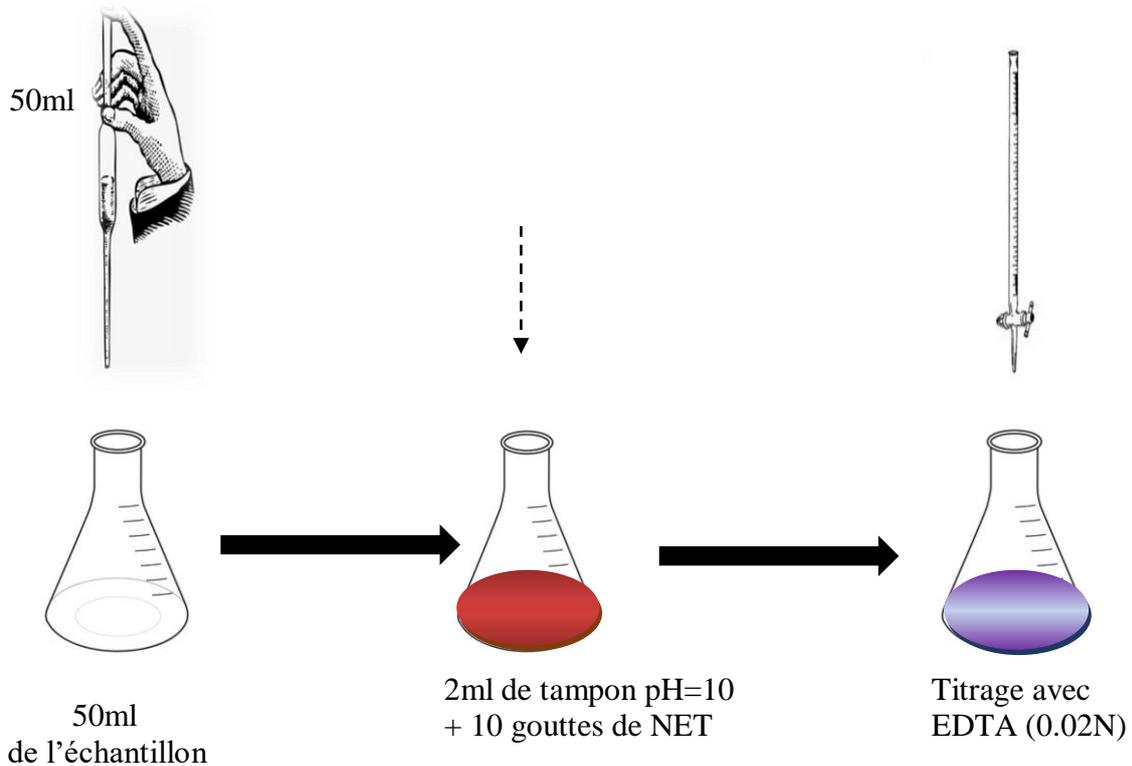


Fig. n°11. Schéma illustratif des étapes de la mesure de la dureté totale.

III.3.2.3. Détermination de la dureté calcique ($D \text{Ca}^{2+}$)

La dureté calcique ($D \text{Ca}^{2+}$) est déterminée par l'ajout à l'échantillon de NaOH (hydroxyde de sodium) et d'indicateur coloré (le murexide) avec un pH alcalin qui favorise la précipitation de magnésium sous forme d'hydroxyde qui n'interfère pas, et ce mélange prend une couleur rose.

La solution obtenue est ensuite titrée par l'EDTA (Éthylène Diamine Tétra Acétate) de concentration connue, ce qui libère une couleur qui tend vers le violet (**The Scientific sentence, 2007 ; Poussin, 2019**).

Mode opératoire

- Remplir une burette avec la solution d'EDTA (0.02N) ;
- Verser 50ml d'échantillon dans un erlenmeyer d'une capacité de 250ml. ;
- Ajouter 2ml de NaOH (1N) (**annexe II**) et 0.1g de muréxide (**annexe II**) ;
- Une fois que la couleur du mélange devienne rose, Avoir un mélange rose titrer avec l'EDTA jusqu'au virage de la couleur vers le violet (**annexe III.2.b**) ;
- Noter le volume correspondant à la chute de la burette ;
- Calculer la dureté calcique ($D Ca^{2+}$) comme suit ;

$$D Ca^{2+} = (Vb \times 20) / 50 = X \text{ meq/l}$$

Et comme la masse molaire de $Ca^{2+} = 40 \text{ g/mol}$ et la masse équivalente $40/2 = 20$

$$D Ca^{2+} = [(Vb \times 20) / 50] \times 20 = X \text{ mg/l.}$$

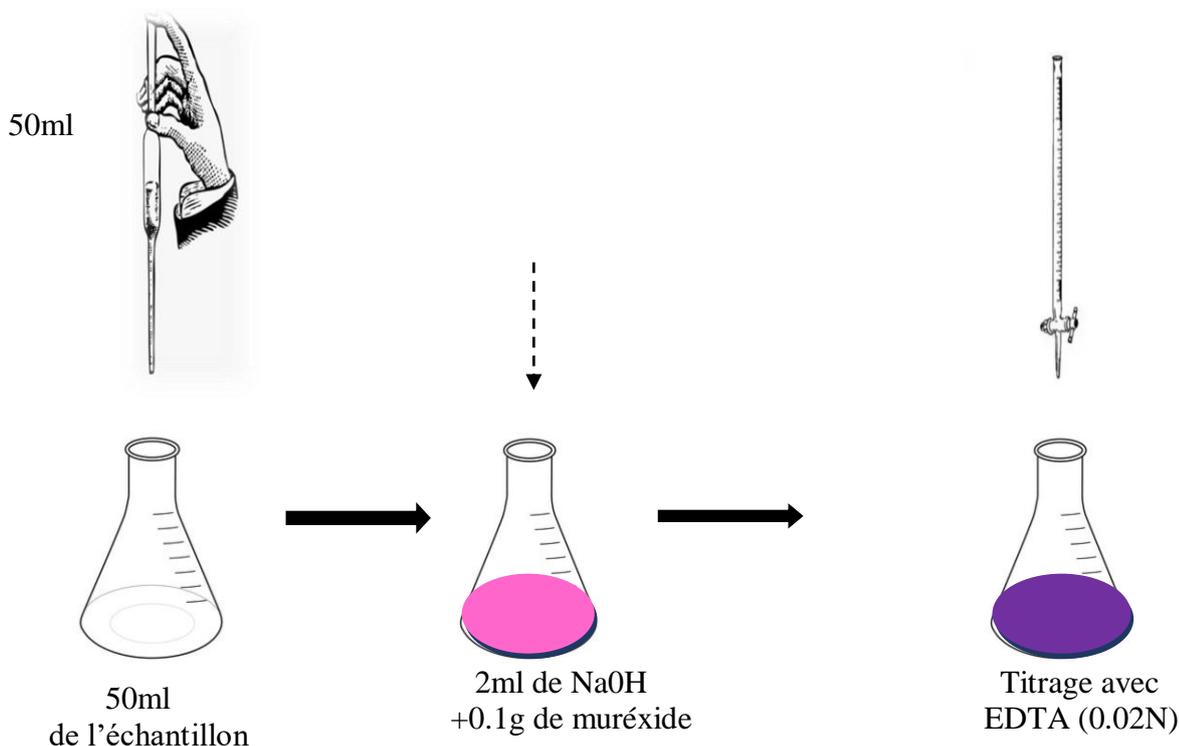


Fig. n°12. Schéma illustratif des étapes de détermination de la dureté calcique par titrage.

III.3.2.4. Détermination de la dureté magnésienne ($D Mg^{2+}$)

La dureté magnésienne ($D Mg^{2+}$) est dosée par EDTA à $pH = 10$ après avoir précipité l'oxalate de calcium et filtré avec l'intervention de l'indicateur NET (**Bataille, 2000**).

Elle peut également être directement déduite de la dureté totale et calcique comme suit ;

$$DT = D Ca^{2+} + D Mg^{2+} \text{ où } D Mg^{2+} = DT - D Ca^{2+}$$

III.3.2.5. Détermination du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TA exprime la teneur en ions carbonates (CO_3^{2-}) et les ions hydroxydes (OH^-) et le TAC quant à lui exprime la teneur en ions bicarbonates et carbonates. Ces deux paramètres sont basés sur la neutralisation de l'eau par un acide minérale dilué à l'aide d'un indicateur coloré (Rodier et al., 2009).

Mode opératoire

- Remplir une burette de HCl (0.02N) (**annexe II**) ;
- Verser dans un erlenmeyer 100ml d'échantillon ;
- Ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine (**annexe II**) ;
 - ✓ **Cas 1.** Après cette étape si l'on observe une couleur transparente cela indique que TA=0 (ne nécessite pas un titrage) ;
 - ✓ **Cas 2.** Après cette étape si l'on observe une couleur, on procède à un titrage avec HCl jusqu'à l'obtention d'une couleur faiblement rosée
- Noter le volume V_b ;
- Calculer TA selon la formule suivante ;

$$TA = (10 \times V_b) \text{ mg/l de } CaCO_3 \text{ et } TAC = (0.2 \times V_b) \text{ meq/l.}$$
 - ✓ Dans le cas ou TA=0, on poursuit la manipulation par l'ajout de quelques gouttes de méthylorange (**annexe II**) ;
 - Titré par HCl (0.02N) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose pâle (**annexe III.2.c**) ;
 - Noter le volume V_b ;
 - Calculer TAC= $(10 \times V_b) \text{ mg/l de } CaCO_3 \text{ et } TAC = (0.2 \times V_b) \text{ meq/l}$

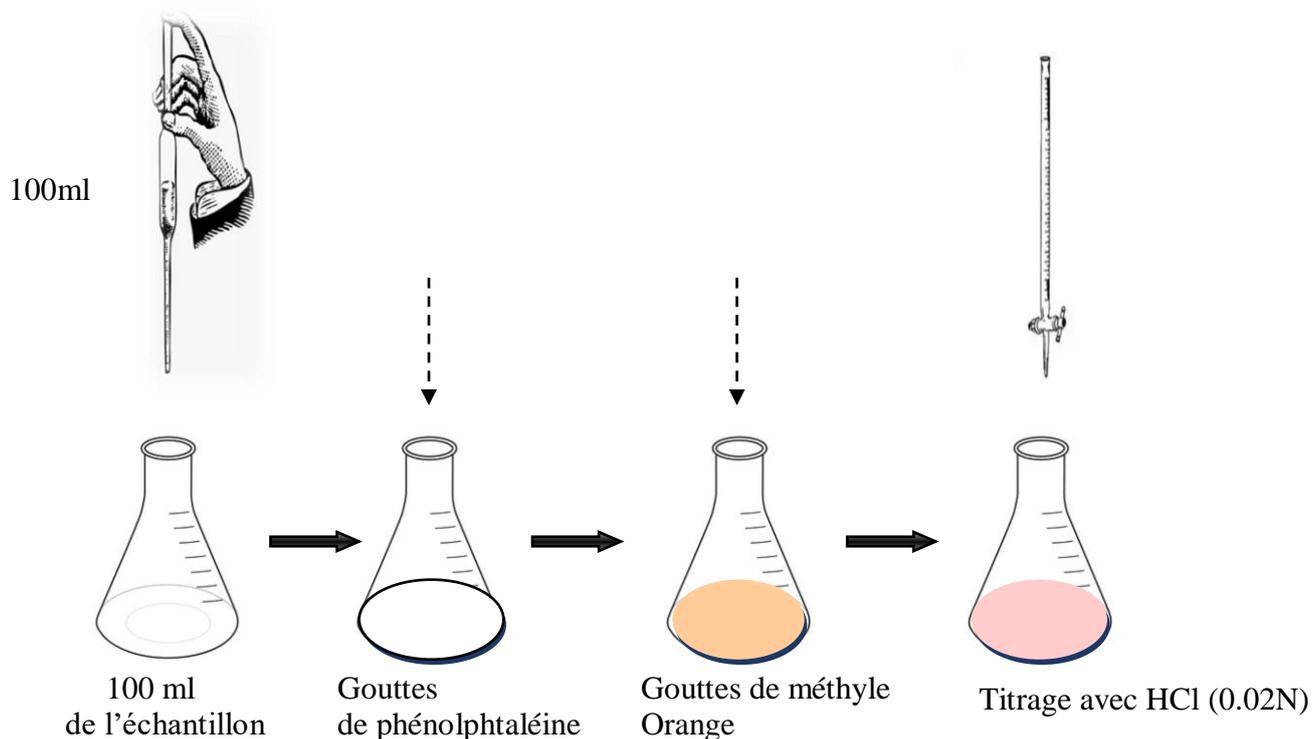


Fig. n°13. Schéma illustratif de la mesure de TA et TAC par titrage.

III.3.2.6. Détermination du résidu sec

Ce paramètre consiste à la détermination, par processus d'évaporation, de la teneur en sels dans une eau sous une forme cristallisée, incluant certaines matières volatiles. Pour ce paramètre également, il est important que la température de l'eau à analyser soit entre 25°C et 30°C car les réactions sont très lentes dans l'eau froide.

Mode opératoire

- Rincer un bécher à l'eau distillée, bien le sécher avant de le peser ;
- Verser dedans 10ml d'échantillon et le mettre dans l'étuve à 180°C pendant 40min. minimum ;
- Après séchage on observe une couche cristallisée (**fig.14**);
- Laisser refroidir pendant 10min puis peser à nouveau ;
- Calculer la différence de poids entre le bécher après séchage et le bécher vide (**annexe III .1**) et transformer le résultat pour obtenir la quantité dans un 1 L.



Fig. n°14. Résidu sec sous forme d'une couche cristallisée après séchage (photos prise par **Abbaci et Abbaci, 2023**)

III.3.2.7. Dosage des chlorures (Cl⁻)

Nous avons opté pour la méthode MOHR pour l'analyse de la teneur en chlorure (Cl⁻) dans nos échantillons d'eau. C'est une méthode réalisée au moyen d'un dosage argent métrique (par une solution de nitrate d'argent AgNO₃) en présence du bichromate de potassium comme indicateur coloré. La teneur d'une eau en chlorures doit être comprise entre 5 et 150 mg/l. En dehors de cet intervalle, la méthode conduit à des résultats erronés. De plus, le pH doit être compris entre 5 et 9 afin d'éviter les transformations des ions Ag⁺ et Cr₂O₇²⁻, ce qui rendrait le dosage impossible (**Rodier, 1996**) et la température de l'eau à analyser comprise entre 25°C et 30°C pour accélérer les réactions.

Mode opératoire

- Introduire 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml ;
- Ajouter 7 gouttes de K₂Cr₂O₇ à 10% (**annexe II**) et une couleur jaune citron apparait ;
- Titrer avec AgNO₃ (**annexe II**) jusqu'au virage de la couleur vers le rouge brique (**annexe III.2.d**) ;
- Noter le volume (Vb) puis calculer la teneur en chlorures comme suit ;

Chlorures = (V × 35.5) mg/l.

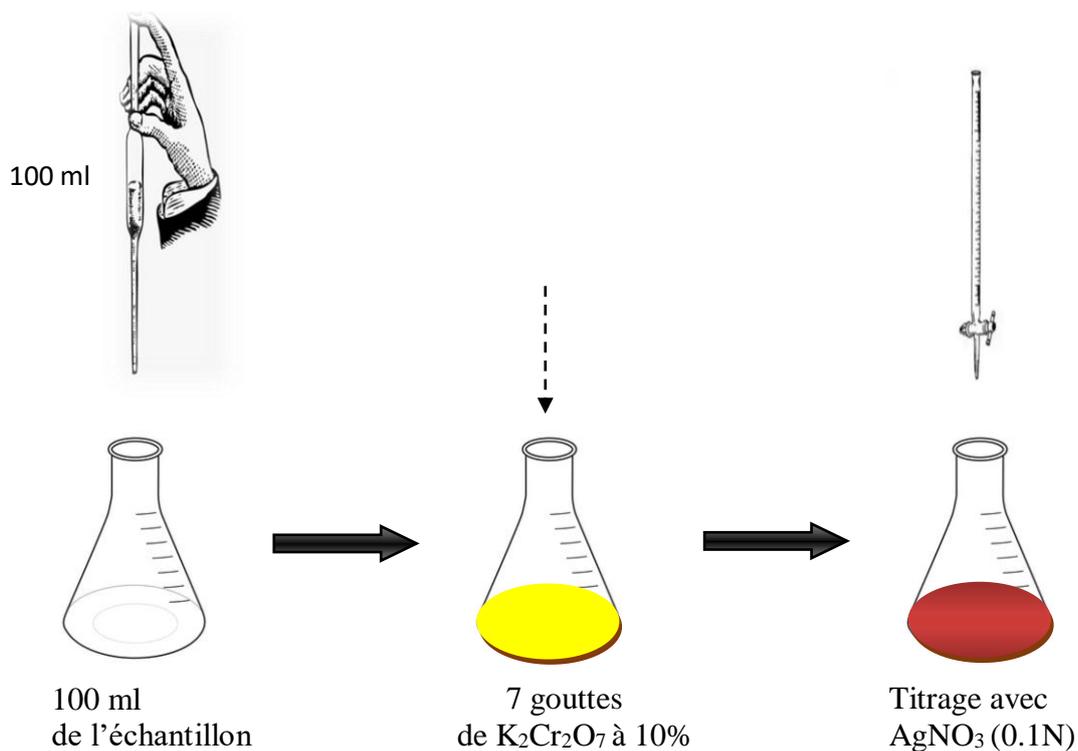


Fig. n°15. Schéma illustratif des principales réactions du dosage des chlorures

III.3.2.8. Dosage des nitrates (NO_3^-)

Nous avons opté pour la méthode par spectrophotométrie d'absorption moléculaire pour le dosage des nitrates. Cette méthode consiste en l'utilisation de la solution de salicylate de sodium qui favorise l'apparition de la couleur jaune lors de la présence des nitrates, et ce après ajout d'autres réactifs, l'acide sulfurique et la solution d'hydroxyde de NaOH+EDTA (Rodier *et al.*, 2009). La température de l'eau à analyser doit être comprise entre 25°C et 30°C pour accélérer les réactions.

Mode opératoire

- Verser 10 ml dans un erlenmeyer de 250 ml et mettre dans l'étuve chauffée à 80°C ;
- Après séchage ajouter 1 ml d'une solution de salicylate de sodium (**annexe II**) et bien mélanger ;
- Evaporer une autre fois pendant 15 à 20 minutes puis laisser refroidir ;
- Ajouter 1 ml d'acide sulfurique, puis 10 ml de l'eau distillés et 10 ml de la solution d'hydroxydes de NaOH+EDTA (**annexe II**) après 10 minutes ;

- Après obtention d'une coloration jaune (**annexe III.2.e**) procéder à la lecture au spectrophotomètre à 415 nm ;
- Traduire les résultats en mg/l sur une courbe d'étalonnage (**annexe IV.2**) avec la formule ;

$$\frac{\text{Absorbance obtenue} - \text{Absorbance de témoin}}{\text{la pente} - \text{la fraction volumique}} \} - \text{absorbance de témoin} = 0$$

-la fraction volumique =1

-la pente =0,1394

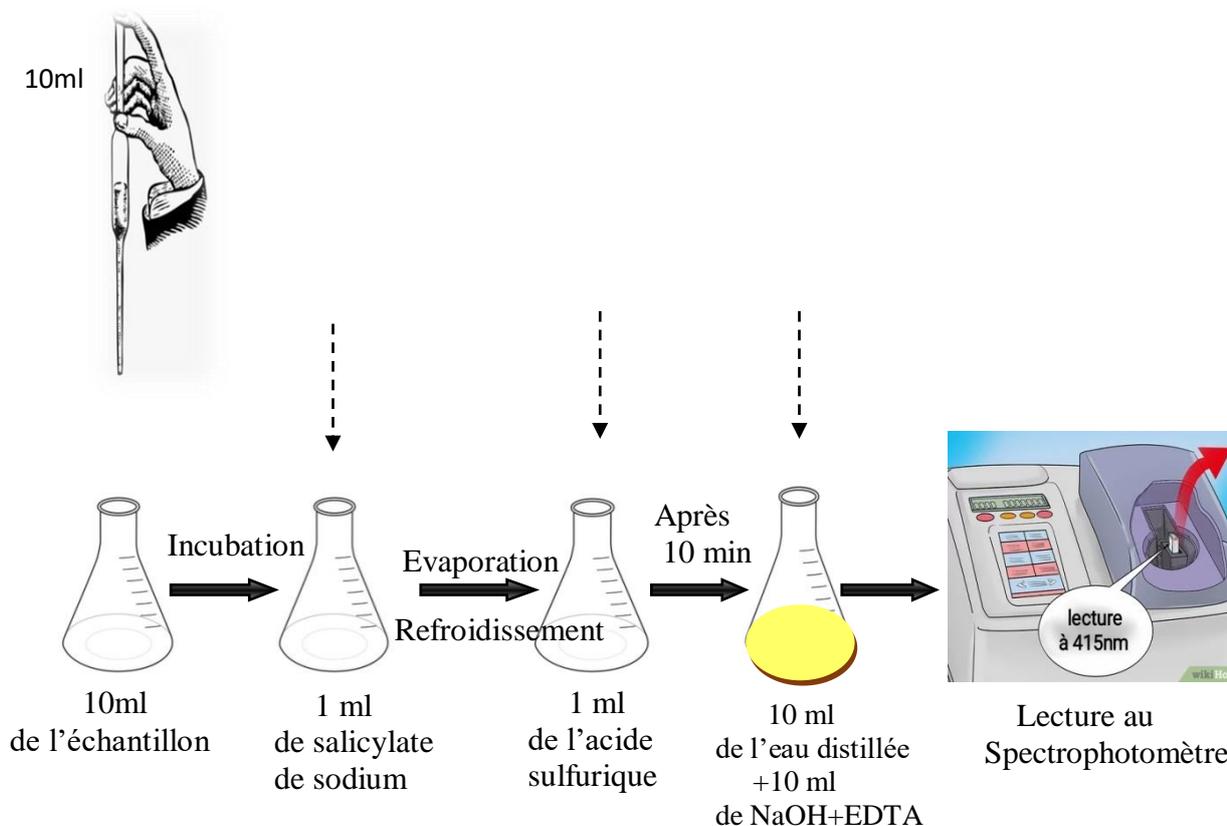


Fig. n°16. Schéma illustratif du protocole de dosage des nitrates.

III.3.2.9. Dosage des nitrites(NO_2^-)

La méthode utilisée pour le dosage des nitrites est celle au réactif de Zambelli, qui consiste en l'utilisation de l'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique en présence d'ion ammonium et de phénol, et en contact avec les ions NO_2^- . Il en résulte un complexe jaune qui est proportionnel à la concentration en nitrite qui est déduite ensuite à partir l'évaluation spectrophotométrique à une longueur d'ondes de 435nm (**Bouabdeli, 2018**). Comme tous les

autres dosages, la température de l'eau à analyser doit être entre 25°C et 30°C car les réactions sont très lentes en eau froide.

Mode opératoire

- Prélever 50 ml d'échantillon auxquelles sont ajoutées 2ml du réactif Zambelli (**annexe II**) ;
- Bien agiter et laisser reposer 10 minutes ;
- Ajouter 2 ml d'ammoniac pur (dureté=0,925) puis faire la lecture au spectrophotomètre à 435 nm ;
- Se référer à la courbe d'étalonnage (**annexe IV.1**) pour traduire le résultat en mg/l ;

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\text{Absorbance obtenue} - \text{Absorbance de témoin}}{\text{la pente} - \text{la fraction volumique}} \end{array} \right\} \begin{array}{l} - \text{absorbance de témoin} = 0 \\ - \text{la fraction volumique} = 1 \\ - \text{la pente} = 0,5879 \end{array}$$

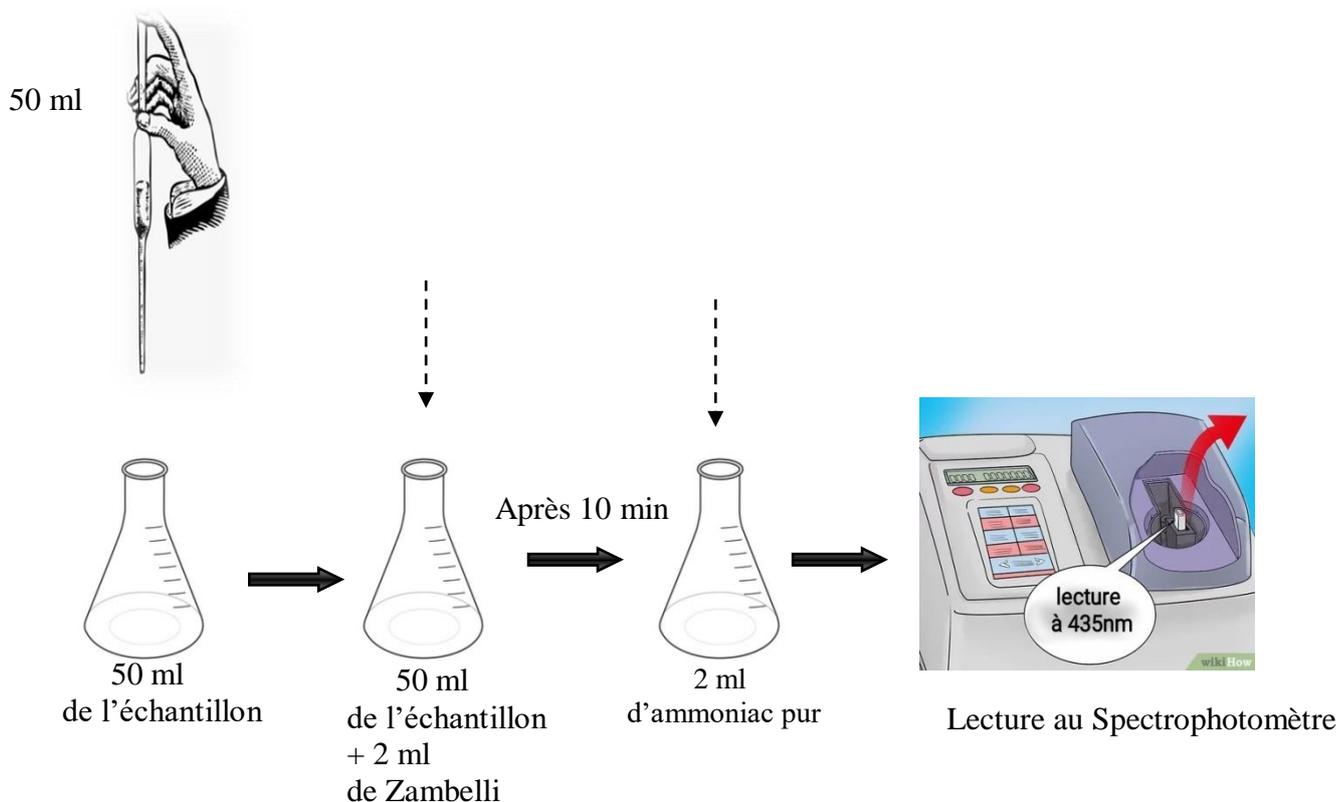


Fig. n°17. Schéma illustratif du protocole de dosage des nitrites

III.3.2.10. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates sont dosés en utilisant du chlorure du baryum (BaCl_2) en milieu acide (solution stabilisante) ; la formation d'un précipité blanc indique la présence des sulfates.

Mode opératoire

- Verser 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer et bien agiter à l'aide d'un agitateur ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante acide (**annexe II**) puis 0,4 g de BaCl_2 et bien agiter pendant une minute ;
- Attendre 3 à 4 minutes puis faire la lecture à 420 nm ;
- Traduire les résultats par la courbe d'étalonnage (**annexe IV.3**) ;

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\text{Absorbance obtenue} - \text{Absorbance de témoin}}{\text{la pente} - \text{la fraction volumique}} \end{array} \right\} \begin{array}{l} -\text{absorbance de témoin} = 0 \\ -\text{la fraction volumique} = 1 \\ -\text{la pente} = 0,0097 \end{array}$$

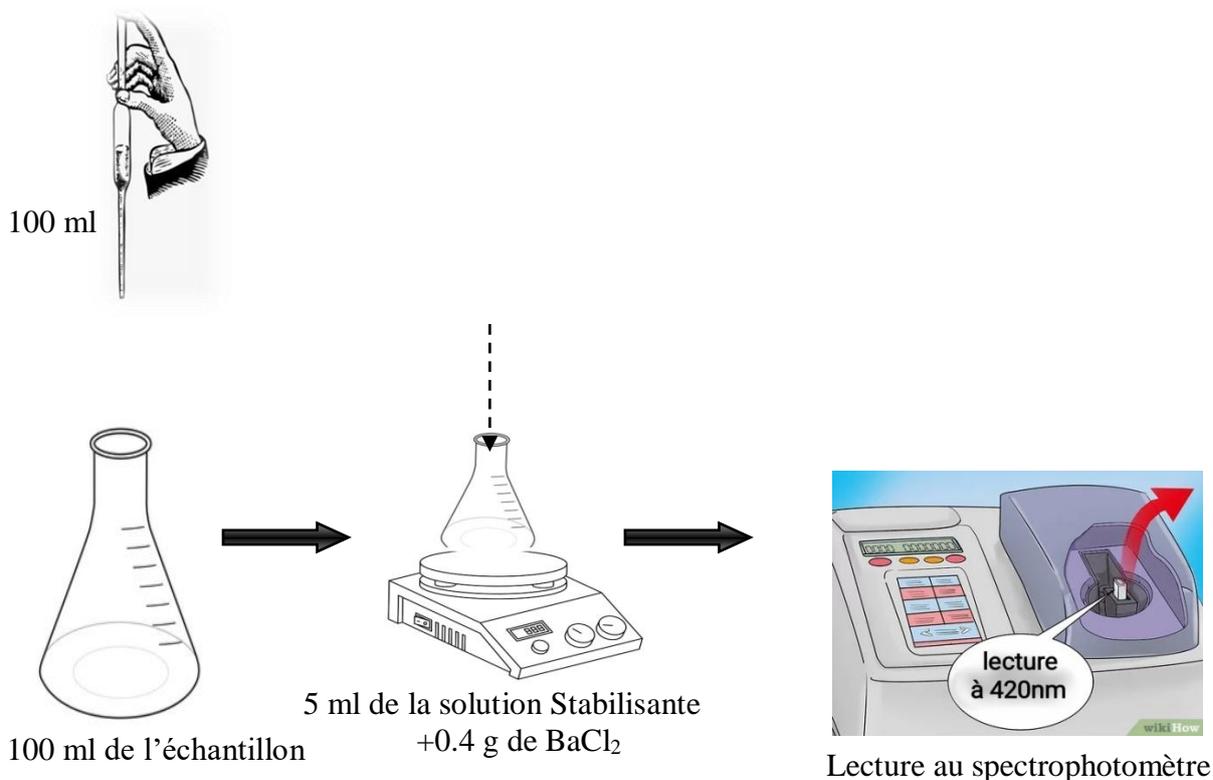


Fig. n°18. Schéma illustratif du protocole de dosage des sulfates.

III.3.3. Paramètres bactériologiques

Les analyses microbiologiques sont indispensables pour s'assurer que l'eau ne soit contaminée par des bactéries pouvant nuire à sa qualité.

III.3.3.1. Identification des coliformes totaux et fécaux

La recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux se sont réalisées sur un bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol (**annexe II**). Il s'agit d'un milieu de culture non sélectif utilisé pour identifier et détecter la présence de certaines bactéries dont les coliformes.

Le principe de la méthode repose sur la capacité du BCPL à virer du pourpre au jaune en cas d'acidification. Celle-ci peut avoir lieu en cas de fermentation du lactose du milieu par des bactéries avec dégagement d'un gaz à l'intérieur des cloches renversées dans les tubes de l'expérimentation. Un tel virage de couleur signifie donc une contamination de l'eau analysée par des coliformes.

Mode opératoire

- Ensemencer auprès d'un bec benzène une série de 06 tubes par 10 ml du milieu BCPL (**annexe III.2.h**), une cloche de Durham renversée à l'intérieur et une quantité variable de l'échantillon d'eau à analyser dont :
 - 02 tubes contenant 10 ml de l'échantillon d'eau (donc double concentré) ;
 - 02 tubes contenant 1 ml de l'échantillon d'eau (donc simple concentré) et ;
 - 02 tubes 0.1 ml de l'échantillon d'eau (donc simple concentré).
- Incuber l'ensemble des tubes à 37°C pendant 48 heures ;
 - ✓ Si la couleur du bouillon vire au jaune avec formation de gaz dans la cloche (au moins un dixième) (**annexe III.2.i**) cela indique la présence des coliformes totaux, et dans ce cas il est nécessaire de réaliser un test confirmatif.

Test confirmatif

- A partir des tubes positifs de BCPL ensemencer quelques gouttes dans un milieu Schubert (**annexe II**) et incuber à 44°C pendant 24 heures ;
- Le trouble éventuel de la couleur avec dégagement de gaz (1/10) nécessite l'ajout de réactif Kovacs ;

- ✓ L'apparition d'un anneau rouge (**annexe III.2.f**) sur la surface des tubes confirme la présence des coliformes fécaux.
- La lecture des résultats bactériologiques se font à l'aide des fiches de lecture (**annexe III.3**).

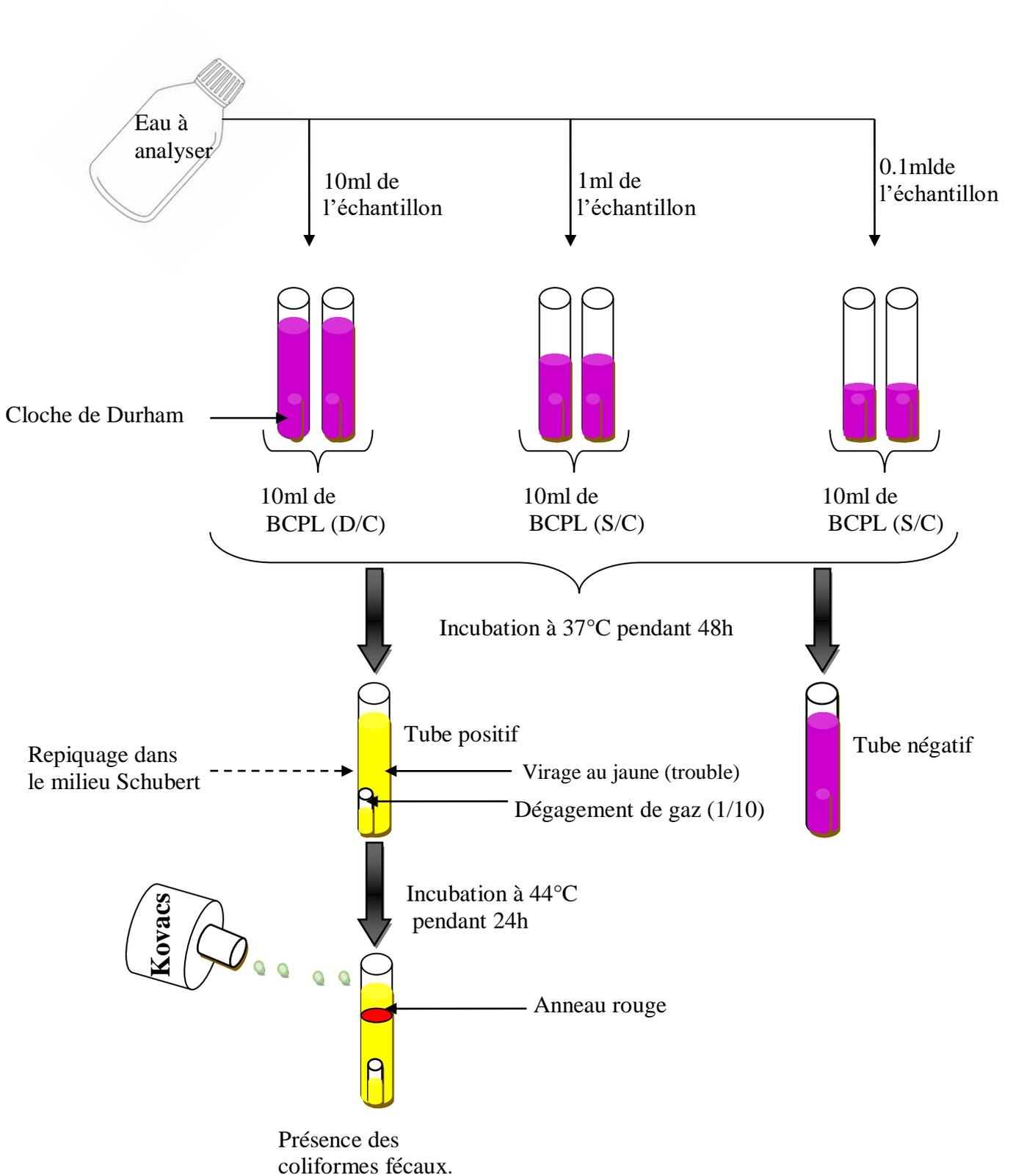


Fig. n°19. Schéma illustratif des étapes du protocole de recherche des coliformes totaux et fécaux. 44

III.3.3.2. Identification des streptocoques fécaux

La recherche et dénombrement des streptocoques fécaux se sont réalisées sur le milieu de Rothe (**annexe II**). Celui-ci est utilisé pour la confirmation lors des recherches et dénombrements des Streptocoques fécaux dans les eaux d'alimentation et résiduaires, les produits surgelés et les autres denrées alimentaires par la méthode du nombre le plus probable.

La technique en milieu liquide s'effectue en deux étapes consécutives ;

- **Le test présomptif** : réservé à la recherche des streptocoques sur milieu de Rothe dont l'agent sélectif étant l'acide de sodium ;
- **Le test confirmatif** : réservé à la confirmation proprement dite sur milieu d'Eva Litsky dont les agents sélectifs étant l'acide de sodium et l'éthyle violet.

Mode opératoire

- Ensemencer auprès d'un bec benzène une série de 06 tubes contenant 10 ml du milieu Rothe (**annexe III.2.j**) dont :
 - 02 tubes avec 10 ml d'échantillon d'eau (donc double concentré) ;
 - 02 tubes avec 1 ml de l'échantillon d'eau (donc simple concentré) et ;
 - 02 tubes avec 0.1 ml de l'échantillon d'eau (donc simple concentré).
- Incuber la totalité des tubes à 37°C pendant 48 heures ;
- L'observation d'un trouble (**annexe III.2.k**) lors de la première lecture indique probablement un résultat positif nécessitant ainsi la réalisation d'un test confirmatif.

Test confirmatif

- A partir des tubes positifs de Rothe ensemencer quelque gouttes dans le milieu d'Eva Litsky (**annexe II**) ;
- Incuber à 37°C pendant 24 heures
- Si lors de la deuxième lecture les tubes sont troubles avec formation d'une pastille violette (**annexe III.2.g**) au fond de tube cela témoigne la présence de streptocoques fécaux.
- La lecture des résultats bactériologiques se font à l'aide des fiches de lecture (**annexe III.3**).

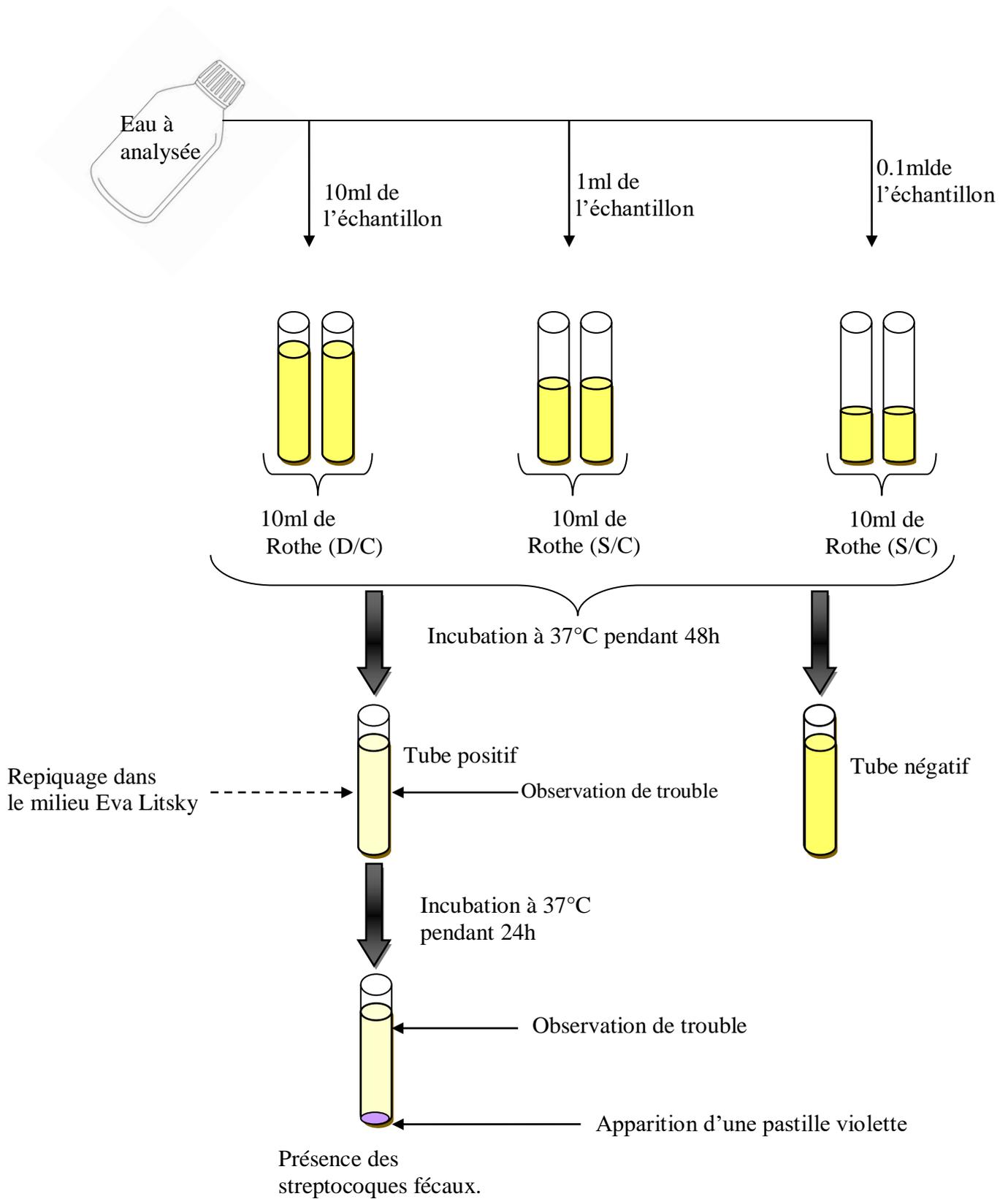


Fig. n°20. Schéma illustratif des étapes du protocole de recherche des streptocoques fécaux.

III.3.3.3. Identification des bactéries anaérobie sulfito-réducteurs (ASR)

- Prélèvement de 10ml d'échantillon dans un tube stérile ;
- Mettre au bain marie à 80°C pendant 10 minutes pour éliminer les formes végétatives et l'activation de la spore ;
- Après 10 minutes, refroidir directement le tube pour provoquer un choc thermique ;
- Ajouter 10 ml du milieu « gélose viande foie » (**annexe II**) auprès d'un bec benzène puis incuber à 37°C pendant 48 heures ;
 - ✓ L'observation d'un noircissement du milieu nous renseigne sur la présence des ASR dont le nombre est déterminé par le dénombrement de colonies noires dans le tube positif.
- La lecture des résultats bactériologiques se font à l'aide des fiches de lecture (**annexe III.3**).

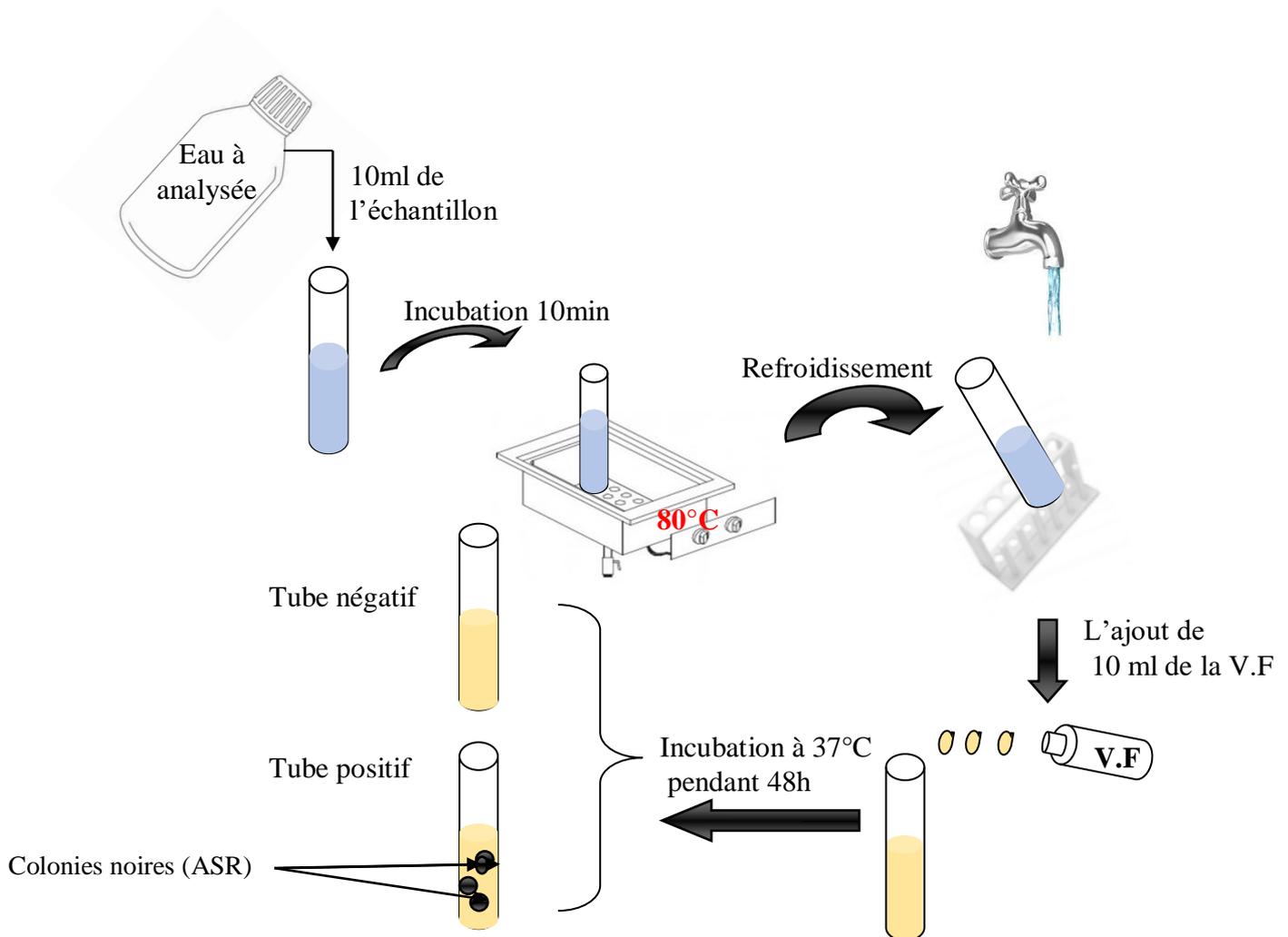


Fig. n°21. Schéma illustratif du protocole de la recherche des ASR.

III.4. Analyse des résultats

Suivant la méthodologie adoptée par le laboratoire d'hygiène communal, les résultats obtenus des analyses physico-chimiques sont comparés aux normes de référence publiées dans le journal officiel de la république algérienne N°13 du 9 mars 2014 (**annexe V.1**) ; à l'exception des résultats du résidu sec qui sont comparés aux normes de référence publiées dans le journal officiel de la république algérienne N°18 du 23 mars 2011 (**annexe V.1**).

Les résultats des analyses bactériologiques, quant à eux, ils sont d'abord interprétés par une lecture sur la table du nombre probable (table NPP) (**annexe VI**) qui permet d'estimer le nombre final de chaque bactérie analysée. Ils sont ensuite comparés aux normes de référence publiées dans le journal officiel de la république algérienne N°35 du 27 mai 1998(**annexe V.2**) qui préconisent l'absence totale des germes en question dans les eaux destinées à la consommation, à l'exception de coliformes totaux dont la présence peut être tolérée mais ne devant pas dépasser une valeur de 10 UFC (jusqu'à cette année 2023).

Chapitre IV

Résultats et discussion

IV.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques pris en considération dans la présente étude étant la couleur et l'odeur. Tous les échantillons analysés sont incolores et inodores ; ce qui signifie l'absence de matières organiques colorées dans ceux-ci (**Medjkoune et Allou, 2019**), à l'exception de l'échantillon provenant de D. Nacer qui dégageait une odeur perceptible d'eau javel. Ceci est sûrement dû au processus de désinfection par l'ajout de chlore lors de la canalisation de l'eau vers les robinets des consommateurs, dans le but d'éliminer la flore microbiologique y contenue.

IV.2. Paramètres physico-chimiques

Les valeurs des différents paramètres physico-chimiques des échantillons analysés sont représentées dans le **tableau IX** avec indication, pour chaque paramètre, de la norme algérienne de référence.

IV.2.1. Le potentiel hydrogène (pH)

Les valeurs du pH des 11 échantillons analysés varient entre 6,31 et 7,02 (**tableau IX, ligne 2**) et sont ainsi conformes aux normes algériennes (**fig. 22**) qui préconisent pour l'eau potable un pH entre 6,5 et 9 (**annexe V.1**). La différence de pH enregistrée dans les différents échantillons d'eau analysés est éventuellement liée à l'origine de ces eaux et donc la nature des terrains traversées par celles-ci avant d'atteindre le point de distribution (**Gasmi et Refice, 2020**).

En analysant les résultats, on constate que le pH est inférieur à 8 et ce dans tous les échantillons analysés. Ceci est considéré comme indice d'une désinfection efficace par le chlore (**OMS, 2017**). À l'inverse, des valeurs extrêmes de pH sont dans la plupart des situations le résultat d'écoulements accidentels et de défaillance de traitement ainsi que le revêtement des conduites par le ciment (**OMS, 2017**).

On constate également que les résultats obtenus pour les deux échantillons provenant de Smina et D. Djbel (**tableau IX, ligne 2**) rejoignent approximativement ceux enregistrés lors d'une étude menée par **Yahiaoui et Boudenna (2021)** portant sur l'évaluation de la qualité de l'eau de la source de Toudja. En effet, le pH de celle-ci était d'environ 7 et est également conforme à la norme algérienne. Ceci nous conduit à confirmer l'origine commune des trois échantillons et aussi l'absence totale de bases fortes dans ces derniers.

Tableau IX. Résultats des analyses physico-chimiques et la norme de référence pour chaque paramètre.

Echantillons Paramètres	Smina	D. Djbel	Taassast	D. Nacer	Iheddaden	A. Oufarnou	Boulimat	S. Ouali	C. Sghir	Sqala	B. de mer	N.A.
pH	6.63	6.74	6.31	6.93	7.02	6.62	6.47	6.94	6.84	6.53	6.45	6.5 - 9
TH	288	224	440	510	530	430	727	184	274	610	660	500 mg/l de CaCO ₃
DCa²⁺	56	52.8	124	120	121.6	128	144	12	60	370	470	200 mg/l
DMg²⁺	22	22.35	31.59	51.03	54.918	26.73	89.18	37.42	30.13	58.08	45.98	-
TA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20 – 100 mg/l
TAC	292	289	432	346	342	529	322	380	234	260	370	200 – 400 mg/l de CaCO ₃
Résidu sec	110	152	54	28	58	53	200	170	290	1370	2230	1500 mg/l
Cl⁻	63.9	60.35	63.9	71	78.1	53.25	202.35	31.95	46.15	117.15	88.75	500 mg/l
NO₃⁻	0.67	1.30	3.26	2.51	1.09	1.076	1.83	2.51	0.68	3.37	2.40	50 mg/l
NO₂⁻	0.107	0.113	0.141	0.2	0.113	0.197	0.163	0.17	1.08	0.163	0.09	0.2 mg/l
SO₄²⁻	22.16	19.38	116.80	175.05	165.56	48.35	157.42	12.783	17.216	194.639	187.65	400 mg/l

Il est néanmoins à noter, qu'une eau à pH acide, peut attaquer les parois des installations et les tuyaux dans les systèmes de distribution provoquant ainsi un phénomène de corrosion et conférant un goût métallique à l'eau en question. En revanche, dans le cas d'une eau à pH alcalin, il en résulte des dépôts de calcaire ainsi qu'un goût bicarbonaté de celle-ci (Yahiaoui et Belloues, 2020).

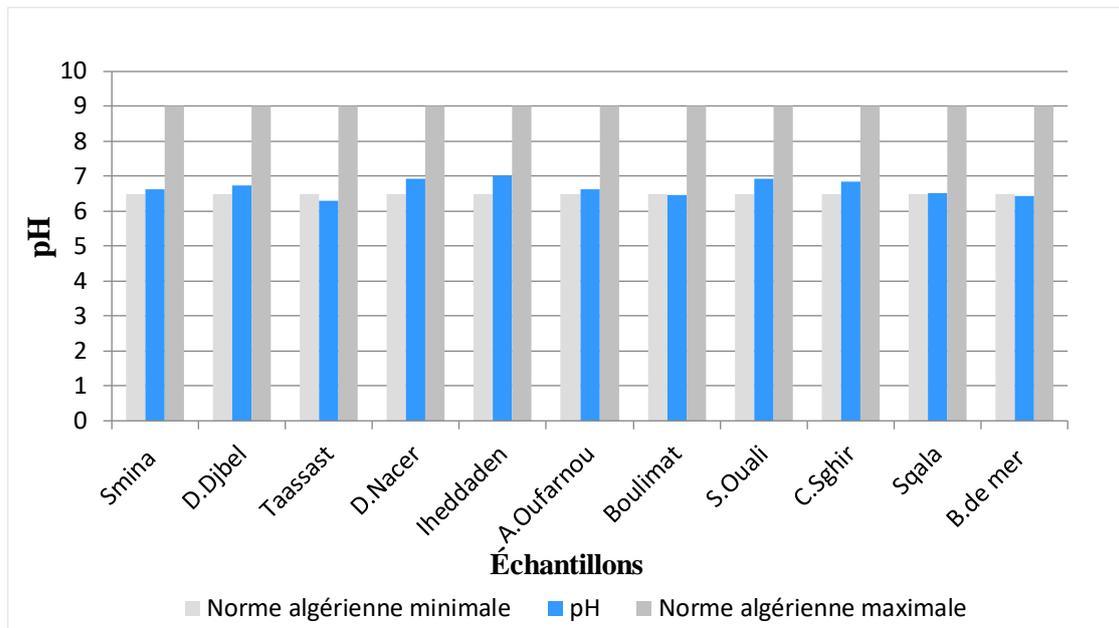


Fig. n°22. Valeurs du pH des échantillons analysés et leur comparaison à la norme algérienne.

IV.2.2. La dureté totale (TH)

Dans la présente étude, la dureté totale est exprimée en mg/l de CaCO_3 et les valeurs enregistrées pour chacun des échantillons analysés sont rapportées dans le (tableau IX, ligne 3). Ces mêmes résultats sont représentés sous forme d'un histogramme (fig. 23) afin de mieux les illustrer et les comparer à la norme algérienne.

D'abord, il convient de noter que la dureté totale d'une eau donnée étant la somme des teneurs en cations calcium et magnésium dans celle-ci. Elle est liée à des concentrations élevées en matières minérales, et on parle dans ce cas d'eau dure, à l'inverse de l'eau qualifiée de douce qui renferme des concentrations très faibles de minéraux comme l'eau de pluie par exemple (OMS, 2017). De ce fait, si le TH d'une eau est supérieur aux seuils préconisés celle-ci est considérée dure et risque d'entartre les canalisations (Yahiaoui et Belloues, 2020). En revanche, si son TH est largement inférieur aux seuils elle est dite très douce et risque d'être agressive et provoquer ainsi la corrosion des conduites (Yahiaoui et Belloues,

2020) comme elle peut présenter des risques sur la santé humaine à long terme (Zaidi et Sklab, 2009).

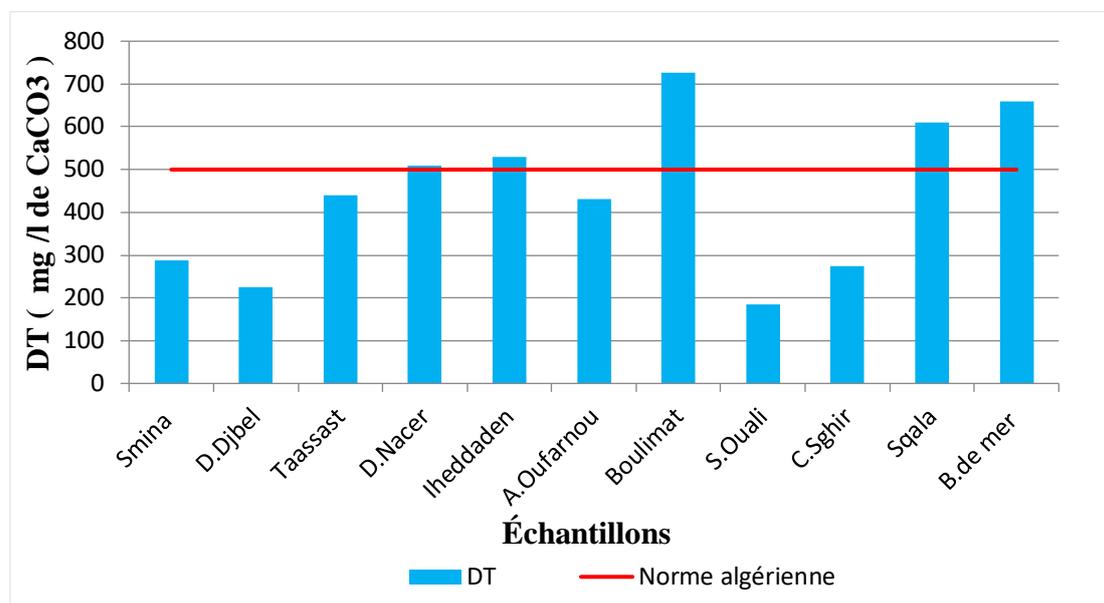


Fig. n°23. Valeurs de la dureté totale des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne.

La dureté des eaux des échantillons provenant de Smina, D. Djbel, Taassast, A. Oufarnou, S. Ouali et C. Sghir est conforme à la norme algérienne ne devant pas dépasser 500 mg/l de CaCO₃ (**fig.23**). De même, les échantillons provenant de D. Nacer et Iheddaden présentant respectivement une dureté de 510 mg/l de CaCO₃ et 530 mg/l de CaCO₃ (**tableau IX, ligne 3**) peuvent être considérés comme conformes à la norme algérienne (**fig. 23**) en prenant en compte les éventuelles erreurs de mesure pouvant se produire aux différentes étapes du processus analytique. Néanmoins, la dureté enregistrée dans les échantillons provenant de Boulimat, Sqala et de la B. de mer est nettement supérieure à la norme algérienne préconisée (**fig. 23**). Ceci signifie que ce sont des eaux dures probablement issues de régions où les roches sont calcaires avec des teneurs très élevées de Ca²⁺ et Mg²⁺ selon la structure géologique des sols traversés (**Gasmi et Refice , 2020**).

Comme c'est le cas pour le pH, la dureté totale enregistrée pour les deux échantillons provenant de Smina et D. Djbel est du même ordre que celle enregistrée dans l'échantillon collecté de la source de Toudja dont la valeur est de 23.55°F (équivalente à environ 235.5 mg/l de CaCO₃) (**Yahiaoui et Boudenna, 2021**). Ceci nous mène à confirmer encore une fois l'origine commune des trois échantillons à savoir la source de Toudja.

IV.2.3. La dureté calcique ($D Ca^{2+}$)

La dureté calcique ($D Ca^{2+}$) d'une eau donnée fait référence à sa concentration en ions calcium (Ca^{2+}). Les valeurs enregistrées pour les échantillons analysés sont rapportées dans le (tableau IX, ligne 4). Celles-ci varient entre 12 mg/l et 470 mg/l avec les concentrations les plus importantes enregistrées dans les eaux provenant de Sqala et la B. de mer avec 370 mg/l et 470 mg/l respectivement.

En guise de comparaison avec la norme algérienne, ces valeurs sont illustrées sous forme d'un histogramme (fig. 24). Il s'avère que tous les échantillons analysés présentent des concentrations en ions calcium conformes aux normes algériennes préconisant une valeur ne devant pas dépasser les 200 mg/l. À l'exception de deux échantillons, ceux provenant de Sqala et de la B. mer, dont les teneurs en ions calcium dépassant largement les normes (fig. 24) les qualifiant ainsi d'eaux dures. Une telle forte teneur en ions calcium est fort probablement le résultat de la dissolution des formations carbonatées ($CaCO_3$) ou gypseuses ; et même des formations carbonatées à forte teneur en oxygène qui sont des sources de magnésium (Marzoug, 2022).

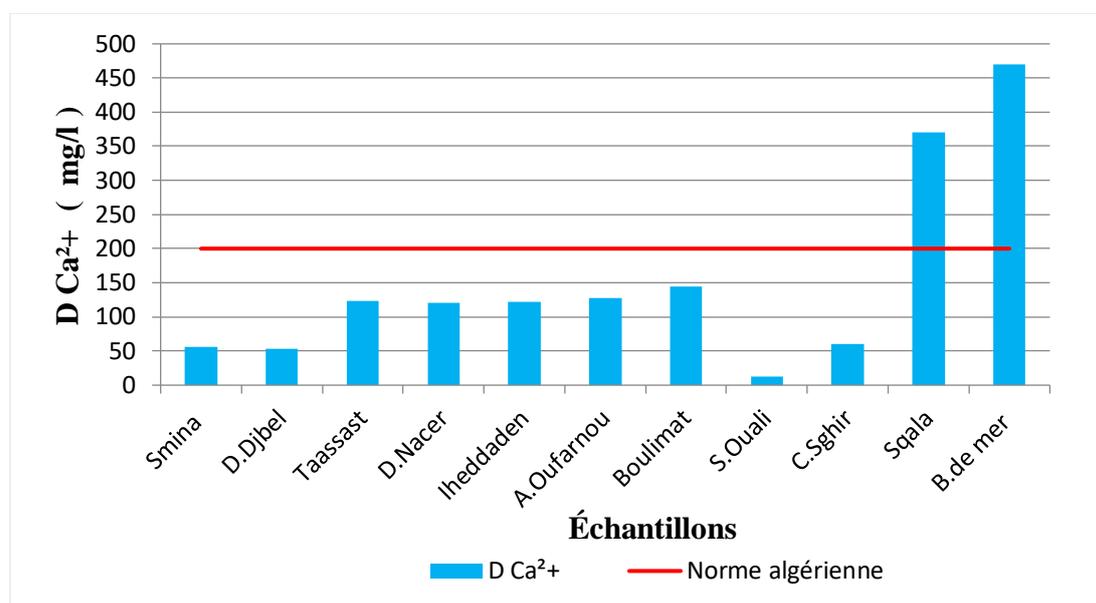


Fig. n°24. Valeurs de $D Ca^{2+}$ des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne.

IV.2.4. Le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC)

Les valeurs du TA obtenues sont nulles pour tous les échantillons analysés ce qui signifie l'absence totale de carbonates dans ceux-ci (tableau IX, ligne 6). Bien que la norme

retenue préconise une valeur minimale d'au moins 20 mg/l, notre résultat reste acceptable en raison des valeurs du pH qui sont inférieures à 8,2 et l'indicateur phénolphthaléine incolore (Enjalbert, 2010).

Les valeurs de TAC, quant à elles, varient de 234 à 529 mg/l de CaCO_3 (tableau IX, ligne 7). En prenant en considération les normes algériennes tolérant des valeurs comprises entre 200 et 400 mg/l de CaCO_3 (fig.25), on constate que tous les échantillons y sont plus ou moins conformes à l'exception de celui provenant d'A. Oufarnou qui présente une valeur de TAC nettement supérieure à la valeur maximale préconisée (fig. 25). Cela indique la présence des teneurs importantes de bicarbonates et carbonates dans cette eau (UAE, 2013).

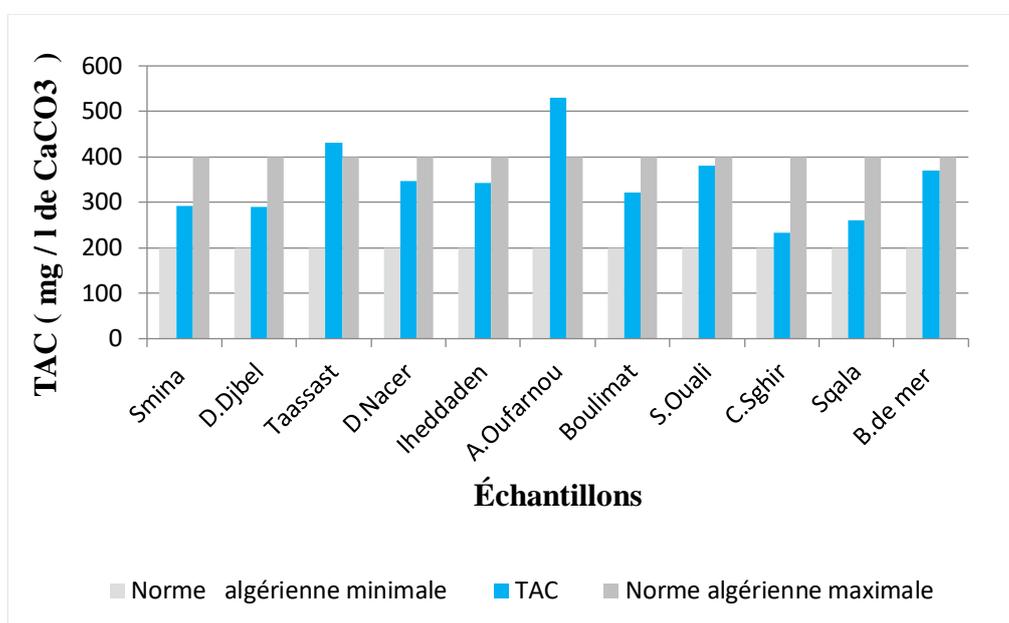


Fig. n°25. Valeurs du TAC des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne.

Pour rappel, le TA et le TAC nous renseignent sur l'alcalinité de l'eau et sont des paramètres importants, en plus du pH et même la salinité totale et la température, pour l'estimation de l'agressivité d'une eau (UAE, 2013). De ce fait, la solution adoptée pour minimiser l'impact des eaux agressives, notamment sur les canalisations, consiste à ajuster leurs acidité et dureté de la sorte à former des carbonates de calcium. Ces dernières forment des pellicules fines de calcaire qui protègent les canalisations en minimisent leur contact direct avec les eaux agressives.

IV.2.5. Le résidu sec

Les résultats pour le taux de résidu sec dans les échantillons analysés indiquent des valeurs très variables allant de 28 mg/l à 2230 mg/l (**tableau IX, ligne 8**). En comparant ces valeurs avec la norme algérienne, préconisant un taux de résidu sec ne devant pas dépasser 1500 mg/l dans l'eau destinée à la consommation humaine, on note que tous les échantillons y sont conformes (**fig. 26**) sauf celui obtenu de la B.de mer. En effet, celui-ci renferme environ 2230 mg/l de résidu sec, une valeur nettement supérieure à la valeur de référence (**fig. 26**). Ceci est un indice d'une minéralisation très importante, c'est-à-dire des teneurs excessivement élevées de sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfate, etc.) (**Afssa, 2008 ; Handi et Ouazar, 2017**). Et il semble qu'une eau très minéralisée puisse contribuer à l'équilibre de différentes constantes physiologiques et même pose des problèmes endocriniens très complexes (**Chouafa et Munjovo, 2022**).

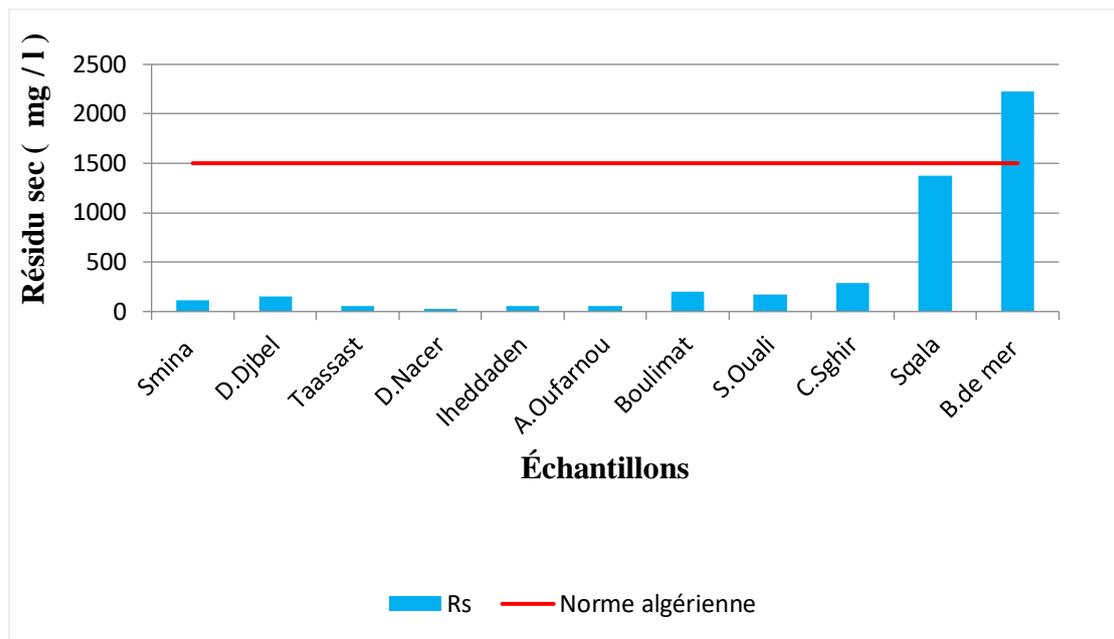


Fig. n°26. Teneurs en résidu sec des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne.

IV.2.6. Les Chlorures (Cl⁻)

Les teneurs en chlorures dans les échantillons analysés se situent entre 31.95 mg/l et 202.35 mg/l (**tableau IX, ligne 9**). En les comparant avec la norme algérienne préconisant la valeur de 500 mg/l comme seuil maximal à ne pas dépasser pour l'eau potable; elles apparaissent toutes largement inférieures (**fig. 27**). Les résultats obtenus pour ce paramètre sont donc tous conformes à la norme algérienne et ce pour tous les échantillons étudiés.

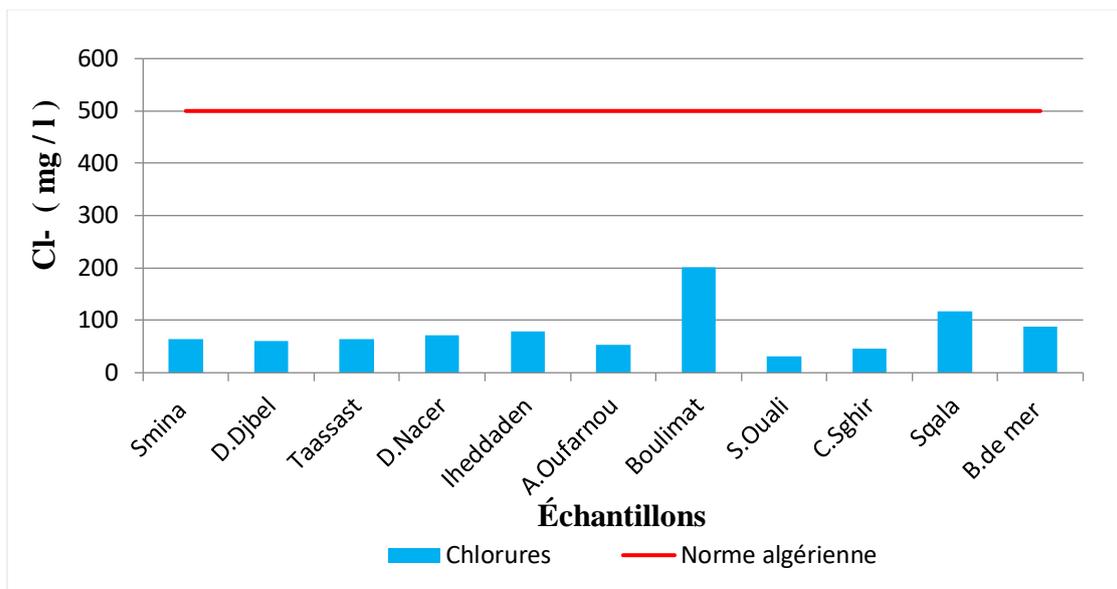


Fig. n°27. Teneurs en chlorures des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne.

IV.2.7. Les nitrates (NO₃⁻)

Les teneurs en nitrates varient entre 0.674 mg/l et 3.378 mg/l dans les échantillons prélevés et analysés (tableau IX, ligne 10) et sont toutes conformes à la norme algérienne préconisant une valeur inférieure à 50 mg/l pour l'eau potable (fig. 28).

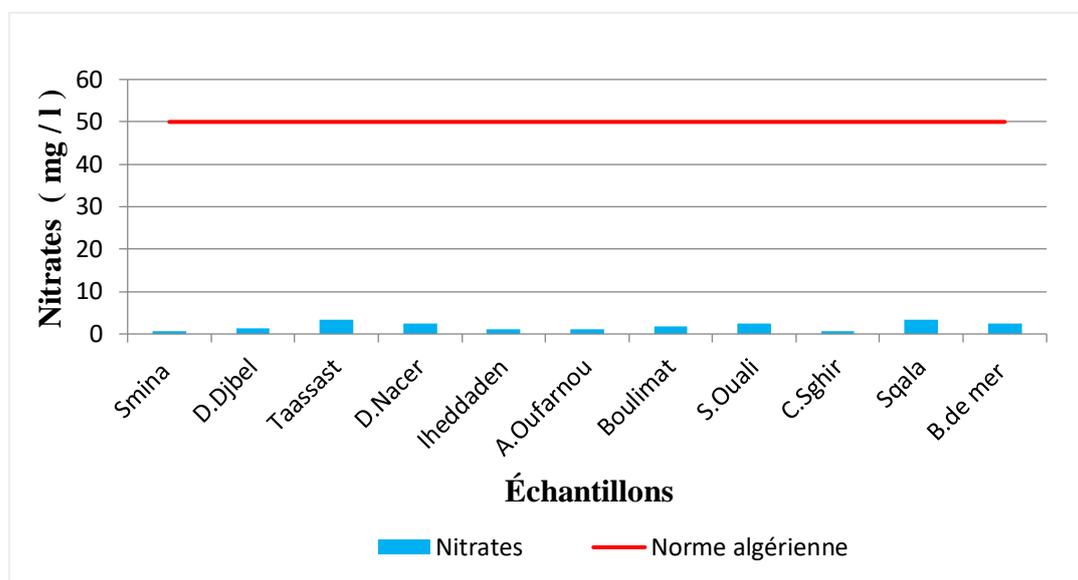


Fig. n°28. Teneurs en nitrates des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne.

Il en ressort donc que ces eaux soient probablement épargnées des lessivages des engrais chimiques et des pollutions par les eaux usées généralement rejetées à la suite des activités industrielles et urbaines et qui semblent être les sources de nitrates (Salomon, 2003).

IV.2.8. Les nitrites (NO_2^-)

Les taux de nitrites enregistrés dans les échantillons analysés sont rapportés dans le (tableau IX, ligne 11) et varient de 0.09 mg/l à 1.08 mg/l. Quant à la conformité de ces valeurs à la norme de référence algérienne ; elles y sont toutes conformes (fig. 29) à l'exception de l'échantillon provenant du camion-citerne privé distribuant l'eau dans la C. Sghir. En effet, celui-ci renferme environ 1.08 mg/l de nitrites ce qui est largement supérieur à la norme préconisée qui est de 0.2 mg/l pour l'eau potable.

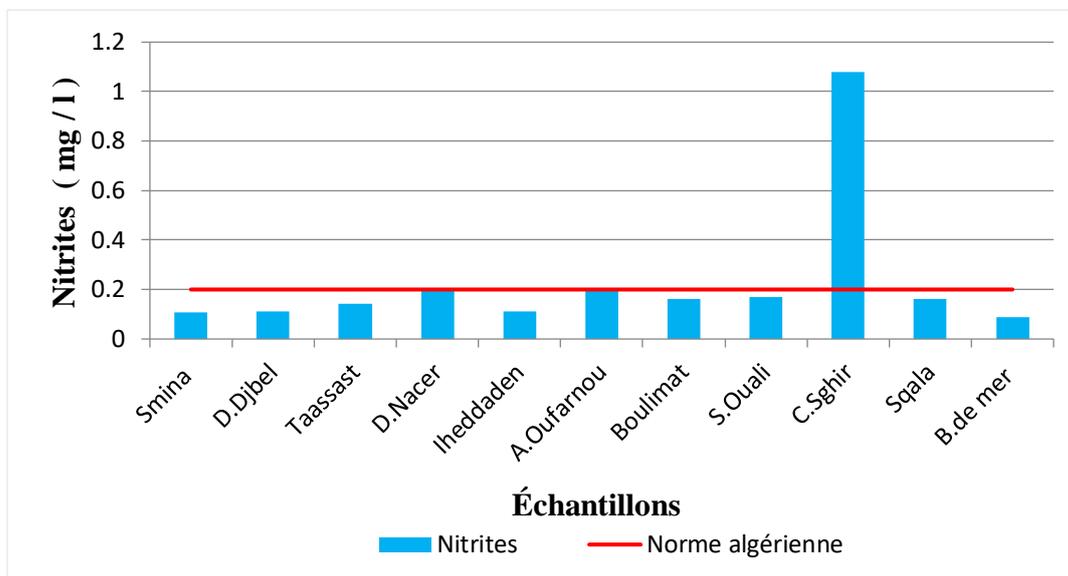


Fig. n°29. Teneurs en nitrites des échantillons analysés et leur comparaison avec la norme algérienne.

Néanmoins, il s'avère difficile de se prononcer sur l'origine de cette teneur élevée de nitrites dans l'échantillon en question vu que l'on ne possède pas des informations sur sa source réelle (Akkfadou d'après le vendeur) ni sur les conditions de son puisage et stockage. Cependant, vu que les nitrites soient considérés comme indicateurs de pollution, cette eau peut être considérée comme pas conforme à la consommation bien que les autres paramètres soient conformes aux normes. Par contre, il convient d'interpréter ce résultat avec précaution surtout que seulement une seule analyse portant sur un seul échantillon a été réalisée.

Les causes d'une surcharge en nitrites peuvent être multiples. Elle peut être liée à une mal gestion ou désinfection des citernes utilisées pour le stockage et la distribution de ces

eaux ; des longues périodes de stockage ou encore une sur-désinfection par le chlore. En effet, d'après l'OMS (2017), la chloramination peut résulter en des concentrations élevées en nitrites dans les réseaux de distribution.

La surcharge en nitrites peut également être due à une éventuelle pollution à la source de l'eau par le processus de l'oxydation incomplète de composés azotés (azotes organiques ou ammoniacal) (Coulibaly, 2005).

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

Le taux de sulfates retrouvé dans chacun des échantillons analysés est rapporté dans le (tableau IX, ligne 12) et qui varient de 12.783 mg/l à 194.639 mg/l.

En comparant ces résultats à la valeur de référence algérienne, il en ressort qu'ils soient tous inférieurs à celle-ci et donc conformes (fig. 30). Il est à noter que l'origine des sulfates dans l'eau peut être naturelle provenant essentiellement des roches du sous-sol et des dépôts atmosphériques ; ou anthropique suite aux rejets industriels principalement (OMS, 2017).

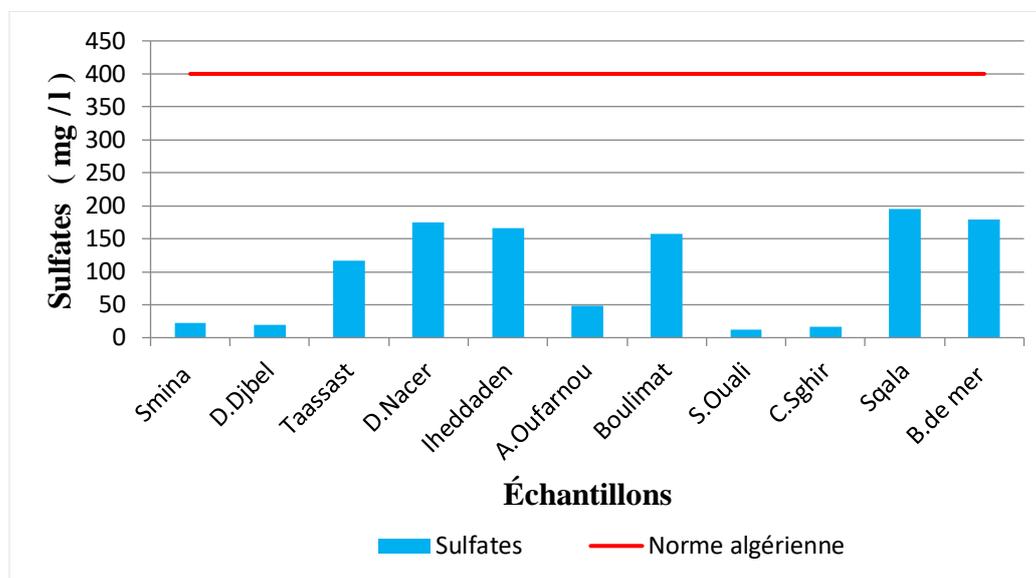


Fig. n°30. Teneurs en sulfates des échantillons analysés et leur comparaison avec à la norme algérienne.

IV.3. Paramètres bactériologiques

Les résultats des analyses microbiologiques des échantillons d'eau analysés sont résumés dans le tableau X.

Tableau X. Résultats des analyses bactériologiques des échantillons analysés avec la norme algérienne de chaque paramètre (UFC =Unité formant colonies, CT = coliformes totaux, CF= coliformes fécaux, SF= streptocoques fécaux, ASR= Anaérobies sulfito- réducteurs).

Paramètres					
Echantillons	CT/100ml	CF/100ml	SF/100ml	ASR	Conclusion
Smina	06UFC	00UFC	00UFC	00UFC	B.Q.B
D. Djbel	06UFC	00UFC	00UFC	00UFC	B.Q.B
Taassast	13UFC*	05UFC*	00UFC	00UFC	M.Q.B
D. Nacer	00UFC	00UFC	00UFC	00UFC	B.Q.B
Iheddaden	00UFC	00UFC	00UFC	00UFC	B.Q.B
A. Oufarnou	00UFC	00UFC	00UFC	00UFC	B.Q.B
Boulimat	130UFC*	20UFC*	250UFC*	00UFC	M.Q.B
S. Ouali	00UFC	00UFC	00UFC	00UFC	B.Q.B
C. Sghir	00UFC	00UFC	00UFC	00UFC	B.Q.B
Sqala	00UFC	00UFC	09UFC*	00UFC	M.Q.B
B. de mer	00UFC	00UFC	05UFC*	00UFC	M.Q.B
N.A.	10UFC	00UFC	00UFC	00UFC	

*L'astérisque indique des valeurs non conformes à la norme algérienne préconisée.

*B.Q.B : Bonne Qualité Bactériologique.

*M.Q.B : Mauvaise Qualité Bactériologique

IV.3.1. Coliformes totaux

Les résultats indiquent la conformité des échantillons provenant de D. Nacer, Iheddaden, A. Oufarnou, S. Ouali, C. Sghir, Sqala, et B. de mer à la norme algérienne précisant le taux de présence toléré de coliformes totaux dans l'eau de consommation (**tableau X, colonne 2**). De même, les échantillons provenant de Smina et D. Djbel peuvent également être jugés conformes même s'ils renferment un taux de coliformes totaux

légèrement supérieur à la norme préconisée mais considérés négligeables (**tableau X, colonne 2**).

L'exemption de ces échantillons de contaminations par les coliformes est principalement due à de bonnes désinfections régulières à la source. On peut également supposer que ces eaux sont soumises à des analyses de qualité régulières ; un bon aménagement des conduites dans le cas des échantillons provenant de robinets ; et même une gestion efficace des conduites d'assainissement proches de ces sources qui sont souvent la source des contaminations fécales.

Par contre, les échantillons de Taassast et Boulimat présentent des taux de coliformes totaux de 13 UFC et 130 UFC respectivement dépassant ainsi la norme tolérée (**tableau X, colonne 2**) et sont donc considérés de mauvaise qualité bactériologique.

Concernant l'échantillon à provenance de Taassast, de la source Ain Harrar plus exactement, la présence de coliformes totaux peut être due à une source de contamination fécale se situant près de celle-ci. Ceci est fort probable vu la présence d'une ferme à proximité ; ce qui peut résulter en une contamination fécale d'origine animal, par d'éventuels déversements de fumier et qui finit dans la source par le processus d'infiltration (**MDDELCC, 2014**). Citons également la localisation de cette source en plein milieu urbain perpétuellement peuplé, ce qui implique la présence massive de conduites d'égouts et de décharges de déchets. Des fuites éventuelles dans ces conduites et les lixiviats provenant des déchets mal gérés peuvent finir dans cette source par pénétration à travers les ouvertures et fuites.

Quant à l'échantillon de Boulimat obtenu d'un puits familial privé, sa contamination par des coliformes totaux est due à l'absence d'entretien et désinfection, ce qui a d'ailleurs été confirmé en s'entretenant avec le propriétaire. De plus, en analysant la situation et les informations fournies par ce dernier, il semble que l'origine la plus probable de cette contamination étant d'origine environnementale (contaminations du sol, végétation, etc.) essentiellement fécale ; en plus de la susception de fosses septiques avoisinant le puits.

IV.3.2. Coliformes fécaux

L'ensemble de nos échantillons ne renferment pas de coliformes fécaux et présentent donc des valeurs nulles, ce qui est conforme à la norme algérienne (**tableau X, colonne 3**) ; à l'exception de ceux provenant de Taassast et Boulimat renfermant respectivement 05 et 20

UFC de coliformes fécaux (**tableau X, colonne 3**). Ces résultats confirment la contamination d'origine fécale de ces derniers, probablement par *E. coli* qui est très répandue dans la flore intestinale humaine et animale et donc d'origine fécale stricte (**MDDELCC, 2014**). Et le fait qu'elle soit très sensible au traitement (**Abrane et Bouchagoura, 2016**) nous mène à supposer le manque voire l'absence de désinfection des sources en question au moins durant la période de l'échantillonnage.

IV.3.3. Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont connus par leur résistance notoire à la chloration, d'où leur considération dans les tests visant à déterminer la qualité de l'eau lors des opérations de réparations et d'installation des conduites de distribution d'eau (**OMS, 2017**).

Dans la présente étude, on note l'absence de streptocoques fécaux dans les échantillons provenant de Smina, D. Djbel, Taassast, D. Nacer, Iheddaden, A. Oufarnou, S. Ouali, et C. Sghir (**tableau X, colonne 4**). Cependant, ceux provenant de Boulimat, Sqala et de la B. de mer renferment des nombres variables de streptocoques fécaux tous dépassant le nombre de référence (**tableau X, colonne 4**). Cette présence de streptocoques fécaux est une preuve d'une contamination fécale d'origine humaine ou animal récente de ces sources ; essentiellement les eaux usées et les déchets à proximité (**OMS, 2017**) à travers les phénomènes de ruissellement et d'infiltration.

IV.3.4. Les A.S.R.

Les ASR sont des germes très résistants grâce au phénomène de sporulation. Les spores produites peuvent se maintenir longtemps dans l'eau faisant ainsi d'eux de bons indices d'une pollution fécale ancienne. De plus, ils sont très utiles dans l'évaluation de l'efficacité des procédés de filtration (**OMS, 2017**).

Tous les échantillons d'eau analysés dans la présente étude ne renferment pas d'ASR (**tableau X, colonne 5**) ; ce qui signifie l'absence de contamination d'origine fécale ancienne dans ceux-ci.

L'absence des ASR dans une eau potable est un indicateur d'un suivi régulier avec une attention particulière pour les analyses bactériologiques ; la prévention et la surveillance des réseaux d'eau potables ; avec un maintien d'une teneur en chlore résiduel lors des traitements des eaux de robinet (**Vincent, 2017**).

Conclusion
et
perspectives

Conclusion et perspectives

L'eau est une ressource vitale indispensable à la vie de l'homme et de tous les organismes vivants. Néanmoins, elle est sujette à des perturbations et contaminations de différentes origines qui nuisent à sa qualité ; présentant ainsi un risque sur la santé du consommateur. De ce fait, il est primordial de contrôler la qualité de l'eau régulièrement avant tout usage notamment lorsqu'il s'agit d'une eau destinée à la consommation.

Dans ce contexte, notre étude s'inscrit dans une démarche d'évaluation de la qualité des eaux consommées dans la commune de Bejaia ville. Pour ce faire, une liste non exhaustive des eaux consommées dans les différents quartiers de la commune en question a été dressée suite à une brève inspection.

D'après nos constatations, la population de la commune de Bejaia ville consomment des eaux à provenance essentielle du robinet (ADE), l'eau minérale embouteillée, ou encore l'eau se vendant dans des camions citernes par des privés et qui provient (d'après les vendeurs) de différentes sources (Toudja et Akfadou majoritairement). Certaines familles ont également recours aux différentes sources aménagées se distribuant dans plusieurs emplacements comme Ain Harrar se situant à Taassast ou encore celle à la gare routière, etc. sans oublier les forages ou puits privés que plusieurs familles en possèdent et utilisent.

Un nombre total de 11 échantillons ont été retenus et qui représentent les provenances d'eau les plus répandues et utilisées par les citoyens de la commune d'intérêt. Ceux-ci sont ensuite soumis à des analyses organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques afin d'évaluer leur qualité. Les résultats trouvés sont ensuite comparés aux normes algériennes apparaissant dans le Journal Officiel de la République Algérienne N°18 (2011), N°13 (2014) et N°35 (1998). Le choix de ces numéros et pas d'autres n'est pas fortuit, mais motivé par le fait qu'ils soient ceux auxquels se réfèrent les organismes étatiques chargés de l'évaluation de la qualité des eaux à l'exemple de la D.S.P et du laboratoire d'hygiène communal qui correspondent aux lieux de notre stage pratique.

A l'issu de notre étude, il en ressort ;

Concernant les paramètres organoleptiques pris en considération, à savoir l'odeur et la couleur ; tous les échantillons analysés sont conformes à la norme algérienne de potabilité. À l'exception de l'échantillon d'eau de robinet ramené d'une maison sise à D. Nacer qui dégage une odeur perceptible d'eau javel qui est probablement le résultat d'une désinfection récente par le chlore. La désinfection par le chlore est une étape obligatoire pour les eaux destinées à

Conclusion et perspectives

la consommation. Elle permet de détruire les micro-organismes éventuellement présents dans celles-ci, et de prévenir leur développement lors du transport de l'eau dans les canalisations.

Par contre, l'échantillon d'Ihaddaden, bien qu'il s'agit également d'une eau de robinet elle ne dégageait aucune odeur d'eau javel. Ceci peut être expliqué par les moments divergents de la collecte des deux échantillons, de sorte à ce que l'échantillon d'Ihaddaden est prélevé au moment où l'odeur du chlore est déjà estompée.

Revenons aux analyses physico-chimiques à l'issue desquelles plusieurs paramètres sont quantifiés, à savoir ; le pH, la dureté totale, la dureté calcique, la dureté magnésienne, le titre alcalimétrique, le titre alcalimétrique complet, le résidu sec, les chlorures, les nitrates, les nitrites et les sulfates.

Après analyse et traitement des résultats obtenus pour chacun des paramètres et échantillons, plusieurs conclusions ont pu être tirées dont nous citons les plus pertinentes et concluantes notamment. Les échantillons provenant de Smina, D. Djbel, Taassast, D. Nacer, Ihaddaden, A. Oufarnou, et S. Ouali peuvent être jugés de bonne qualité physico-chimique, de même que ceux qui proviennent de Boulimat et Sqala. Néanmoins, ces deux derniers peuvent être qualifiés d'eaux dures vu que leurs teneurs en calcium et magnésium sont élevées. Pour rappel, une eau dure provoque un changement de goût de la nourriture cuisinée avec celle-ci ; l'entartrage des appareils et canalisations (**Bouamra et Asmouni, 2016**). De plus, elle entraîne l'inefficacité des détergents, conduisant à augmenter les quantités utilisées ce qui assèche la peau et les cheveux par conséquent (**Bouamra et Asmouni, 2016**).

Inversement, les échantillons obtenus de C. Sghir et de la B. de mer peuvent être qualifiés de mauvaise qualité physico-chimique. En effet, le premier renferme une quantité inadmissible de nitrites considérée comme un micropolluant à dangerosité confirmée. Le second, quant à lui, présente une dureté totale et calcique élevées ainsi qu'un taux de résidus secs nettement supérieur à la norme algérienne.

Les analyses bactériologiques de l'eau s'intéressent notamment à la recherche de bactéries indicatrices d'une pollution ayant une origine fécale éventuelle. De ce fait, les groupes bactériens pris en considération dans la présente étude étant les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et les clostridium anaérobies sulfite-réducteurs. Nos résultats révèlent la conformité des paramètres microbiologiques évalués pour les échantillons provenant de Smina, D. Djbel, D. Nacer, Ihaddaden, A. Oufarnou, S. Ouali, et

Conclusion et perspectives

C. Sghir à la norme algérienne attribuée. En effet, ces échantillons ne renferment aucun, ou un nombre acceptable, de germes indicateurs de pollution fécale les qualifiant ainsi d'une bonne qualité bactériologique. Néanmoins, les échantillons de Taassast, Boulimat, Sqala et B.de mer peuvent être jugés de mauvaise qualité bactériologiques vu qu'ils renferment des nombres dépassant les normes de coliformes totaux et fécaux et de streptocoques fécaux.

En combinant ces résultats et en considérant la nécessité de jouir d'une bonne qualité physico-chimique et bactériologique à la fois pour pouvoir qualifier une eau de potable, les échantillons qui répondent à cette condition étant ceux de Smina, D. Djbel, D. Nacer, Ihaddaden, A. Oufarnou et S. Ouali. Néanmoins, nous considérons ces résultats comme préliminaires, qui nécessitent d'être complétés par des analyses répétitives et d'autres portant également sur d'autres paramètres pour compléter l'analyse. Parmi ceux-ci nous citons le dosage du fluorure, le phosphore, le phosphate, le fer, et autres. Une autre perspective à prendre en compte dans d'éventuelles études à venir, est la réalisation de dosages des paramètres toxiques notamment pour les eaux provenant des forages et sources. Tous ces paramètres et d'autres sont à considérer préférentiellement dans n'importe quelle démarche visant l'évaluation efficace de la qualité des eaux destinées à la consommation. Malheureusement, ce n'était pas possible de les impliquer dans la présente étude vu les moyens limités auxquels nous avons accès.

Pour finir, il convient de suivre et envisager un nombre de règles et stratégies pour une bonne évaluation qualitative et la gestion des eaux potables, nous citons entre autres ;

- ✓ Envisager des analyses de contrôle périodiques dans le but de bien suivre l'évolution de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux destinées à la consommation ;
- ✓ Aménager les conduites de l'eau potable ;
- ✓ Fournir des adoucisseurs au niveau des habitations pour éliminer le calcaire contenu dans l'eau de robinet destinée à la consommation ;
- ✓ Assurer le contrôle des distributeurs d'eau en camions citernes privés ;
- ✓ Surveiller continuellement la qualité des eaux de sources, puits et forages ;
- ✓ Evaluer la qualité des eaux de sources, notamment celles utilisées par les populations, d'une manière routinière et appliquer les mesures adéquats, des éventuels traitements ou interdiction de l'usage de l'eau de la source en question.

Conclusion et perspectives

- ✓ Minimiser l'utilisation des pesticides et produits chimiques à proximité des nappes phréatiques et ;
- ✓ Programmer très souvent des séances de sensibilisation et d'éducation environnementale au grand public.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

Abdoulaye, D. N., Khadijettoumint, M.S., Mohamed, B.E., Mohamed, O. K., Michel, B. (2014). Contribution à l'étude de l'évolution Spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal. *J. Mater. Environ. Sci*, 5(1), 320-329 p.

Abrane, S., Bouchagoura, A. (2016). Etude physico-chimiques et microbiologique des eaux souterraines de la région de Tébessa. [Mémoire de Master, Université de Larbi Tébessi Tébessa] ,77 p.

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (2008). Avis de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité des nitrates et des nitrites dans les eaux destinées à la consommation humaine , 58 p .

Agence française de sécurité sanitaire des aliments (2017). Les métaux lourds-La synthèse de l'ASEF.

Amirat, A., Naciri, S. (2017). Étude de la qualité bactériologique de l'eau de citerne vendue dans la ville d'Ouargla. [Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah, Ouargla], 68 p.

Anonyme. (2013). Nickel synthèse spécifique au secteur d'activité agroalimentaire. INERIS Données technico –économique sur les substances chimiques en France et Agence de l'Eau.

Agence Nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (2021). Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments : *Salmonella spp* .Thématique alimentation et nutrition humaine, 4 p.

Aouissi, A ., Houhamdi, M. (2014). Contribution a l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed (Wilaya de Guelma, Nord-est Algérien) [1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Ecosystèmes Aquatiques, Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras] ,12 p.

Association Santé Environnement France (2010). Pollution de l'eau : Origines et Impacts, 7 p.

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, Université Badji Mokhtar – Annaba] ,156 p.

-B-

Badjadi, C ., Benyoucef, B., Charef, N. (2022). Etude de l'efficacité des plantes (*Juncus effusus*, *Cyperus papyrus*) dans la phytoépuration de l'eau usée dans la région de Touggourt. [Mémoire de Master, Université Echahid Hamma Lakhdar –El OUED], 67 p.

Bair, H., Ghemair, F. (2016). Techniques et méthodes de traitement des eaux primaires. [Mémoire de Master, Université de Bejaia] ,87p.

Behlouli, D.J ., Laibiad, S. (2008). Etude de la qualité des eaux de quelques sources de la région de Djelfa : Etude comparative des paramètres physico-chimiques. [Mémoire de Master, Université de Djelfa] ,11.17p .

Bensalem. N. (2022). Distribution d'eau potable à Bejaia : Une gestion rationnelle pour couvrir les besoins. Le Jeune Indépendant.

Bensid, T., Saidani, S. (2019). Contrôle de la qualité des eaux d'alimentation des chaudières industrielles cas de Cevital. [Mémoire de Master, Université de Bejaia] ,105p.

Belabed, B.E. (2010). La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba : Sources de contamination des écosystèmes aquatiques. [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba] ,199 p.

Belghiti, M.L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., El Moustaine, R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès(Maroc). Larhyss Journal, 14, 21-36 p.

Bidi, Z., Djidja, C. (2020). Analyse de quelques paramètres physico-chimiques d'une source d'eau au niveau de la commune de Mizrana (Tizi Ouzou). [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri (Tizi Ouzou)] ,74 p.

Blaize, A. (2022). Maladies parasitaires : définition, liste, symptômes, diagnostic, traitements. Santé du journal des Femmes.

Boyer, M. (2021). Bactéries anaérobies sulfite-réductrices Clostridium. Laboratoire Vigilab : Fiches microbiologie.

Bouabdelli, H. (2018). Caractérisations physico-chimiques et bactériologiques de quelques puits de la ville de Tiaret. [Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun -Tiaret-] ,47 p.

Bouamra, D.C., Asmouni, H. (2016). Adoucissement de l'Eau des Foggaras par Traitements Ecologique à base de *Moringa sp.* [Mémoire de Master, Université Ahmed Draia Adrar] ,52 p.

Boumedol, A. (2000). Etude des caractéristiques physico-chimiques de certaines sources d'eau potable de Tiaret. [Thèse d'ingénieur, Université de Tiaret], 97p.

Boukhatem, R ., Otsmane, N. (2022). Analyse physico-chimique et biologique des ressources naturelles d'eau de la région de Médéa et leurs impacts sur la sante. [Mémoire de Master, Université Yahia Farès de MEDEA] ,70 p.

Bourrier, R., Selmi, B. (2011). Technique de la gestion et de la distribution de l'eau. Paris, Le Moniteur, 830 p.

Bouziati 2000. Evaluation de la qualité physico –chimique et microbiologique.

Bush, L.M., Vazquez-Pertejo, M.T. (2022). Le manuel MSD pour professionnels de la santé. Maladies infectieuses.

Bueno, E., Pinedo, V., Cava, F. (2020). Adaptation of *Vibrio cholerae* to Hypoxic Environments. *Frontiers in Microbiology*, 11(739), 1–12 p.

-C-

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (2004). Recherche et dénombrement simultanés des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* dans l'eau potable avec le milieu de culture MI : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Ecctmi. 1.0, Ministère de l'Environnement du Québec, 25 p.

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (2011). Détermination de l'alcalinité totale par titrage à l'acide nitrique dans l'eau : méthode par titrateur automatique, MA. 303 – Alc 1.0, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 9 p.

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (2015). Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA. 115 – Cond. 1.1, rév. 1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 9 p.

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (2016). Détermination des cyanures : méthode colorimétrique automatisée avec l'acide isonicotinique et l'acide barbiturique – distillation manuelle, MA. 300 – CN 1.2, Rév. 4, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 26 p.

Chouafa, N., Munjovo, G. M. (2022). Analyse de la qualité de l'eau potable distribuée à Guelma. [Mémoire de Master, Université 8 mai 1945 Guelma] ,60 p.

Chelsea, M., William, A., Petri, J. r. (2022). Le manuel MSD pour professionnels de la santé. Maladies infectieuses : Giardiase.

Claire, P. (2023). Méningite : les signes qui doivent alerter. Marie Claire : santé, maladies.

Claude, B. (2022). L'eau, Le manifeste de l'action -Dynamique de développement uniformisé. Paris : Le lys bleu Editions, 341 p.

Claude, C. (1999). Les traitements de l'eau .Procédés physico-chimiques et biologiques. Paris, Edition Ellipses, 247 p.

Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable (2017). Les virus entériques dans l'eau potable. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : Document technique, 120 p.

Coulibaly, K. (2005). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako. [Thèse de doctorat, université de Bamako] ,69 p.

-D-

Dardoura, S. (2014). Analyse de la qualité de l'eau potable de la ville d'El-Hadjeb. [Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra] ,62 p.

Degrémont (2005). Mémento technique de l'eau Tomes 1et2 (10^{ème} édition).Paris, France, Lavoisier, 1718 p.

Diop, B. M., Gueye, L., Kamara, M., Roche, B., Murtugudde, R. (2012). Cholera Outbreak in Senegal in 2005 : Was Climate a Factor ? Plos One, 7(8), 1–9 p.

Douici, N. (2023). Alimentation en eau potable : Bejaia dispose de 6 mois d'autonomie .El Watan –dz.

-E-

Edmunds, W. M., Shand, P., Hart, P., Ward, R. S. (2003). The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study. The Science of the Total Environment, 310, 25-35 p.

Enjalbert (2010). Contrôle d'une l'eau. [Pdf], 5 p.

-F-

Fawell, J., Mark, J.N. (2003). Contaminants in drinking water: Impact of environmental pollution on health: balancing risk. British Medical Bulletin ,68 (1) ,199-208 p.

Ferlattem (2013). Définition de l'eau souterraine. Réseau québécois sur les eaux souterraines.

Fondation National de la Santé (2013). Manuel pratique d'analyse de l'eau ,4^{ème} édition Brasilia : Funasa, 153 p.

François, B. (2022). Techniques de prélèvements des échantillons pour l'analyse microbiologique des Aliments et de l'eau LEAA-REF-MIC-540. Laboratoire d'expertises et d'analyses alimentaires/Service de microbiologie Accrédité selon la norme ISO/IEC 17025. Gouvernement Québec, 35 p.

-G-

Gana, E., Benhanna, C. (2022). Analyse physico-chimique et microbiologique de l'eau minérale Ovitale. [Mémoire de Master, Université de Bejaia], 75 p.

Gasmi, W ., Refice, M. (2012). Caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable de la région de M'sila (Dréat, Souamaa ,Newara). [Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila] ,85 p.

Ghazali, D., Zaid, A. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama –Jerri (région de Meknès –Maroc).Larhyss Journal, 12, 25-36 p.

GLS. (2006). L'élimination de l'ammonium dans l'eau potable. Memotec 11, 2 p.

Gommella, G ., Gurree, H. (1978). Les eaux usées dans les agglomérations urbaines à la rurales. Paris, Édition Eyrolles, 284 p.

Greelnee , J.E. (2022). Le manuel MSD pour le grand public. Méningite virale.

Guillemin, C., Roux, J.C. (1991). Pollution des eaux souterraines en France, bilan des connaissances, impacts et moyens de prévention. Ed. BRGM, manuels et méthodes, 23, 262 p.

Guptaa, D.P., Sunita ., Saharan, J.P. (2009). Physiochemical Analysis of Ground Water of Selected Area of Kaithal City (Haryana) India. Researcher, 1(2) ,1-5 p.

-H-

Hamed, L., Guettache, A., Bouamer, L. (2012). Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques d l'eau d barrage Djorf-Torba (Bechar). [Mémoire de Master, Université de Bechar] ,134 p.

Hadni, T ., Ouazar, C. (2017). Caractérisation des sources de la région de Yakouren par des méthodes physico-chimique. [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou], 58p.

Hartmenn, P. (2013). Eau de consommation, risque, santé. Sciences eaux et territoires. Edition d'Institut National de Recherche pour l'agriculture, l'alimentation, l'environnement(INRAE), 10,14-21 p.

-I-

Ivers, L. C., Walton, D. A. (2012). The “first” case of cholera in Haiti: Lessons for global health. American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 86(1), 36–38 p.

-J-

James, L.L. (2021). Le manuel MSD pour le grand public. Hypomagnésémie (faible taux de magnésium dans le sang).

JARA (2017). Journal Algérien des Régions Arides n°14. Les maladies à transmission hydrique en Algérie. Division Eau, Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Biskra, Algérie, 83 p.

Jean-Eudes, O.K., Avahounlin, R.F., Kéломé, C.N., Ouassa ,P., Adéké, A.M.H., Vissin,E.W.(2022). Evaluation of the Physico-Chemical Quality and Potability of Groundwater Consumption in Department of Collines at Benin. Journal of Geoscience and Environment Protection,10(1) ,29-48 p.

JORA (1998). Journal officiel de la république algérienne N° 35. Arrêté interministériel du 25 ramadhan 1418 correspondant au 24 janvier 1998 modifiant et complétant l'arrêt du safar 1415 correspondant au 23 juillet 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires. Critères microbiologiques des eaux et des boissons, 17p.

JORA (2011). Journal officiel de la République algérienne N° 18. Décret exécutif n° 11-125 du 17 RabieEthani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, 9 p.

JORA (2014). Journal Officiel de la République Algérienne N°13. Décret exécutif n° 14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. Imprimerie Officielle - Les Vergers, Bir-Mourad Rais, BP 376 - ALGER-GARE, 15-17p.

Julien, L. (2020). Maladie hydrique. Wikiterritorial.

-L-

Laboratoire départemental d'analyses, Lozère (2016). Analyses Physico-chimiques des eaux, 6 p.

Langevin, J., Lefevre, R., Toutant, C. (1997). Histoires d'eaux tout ce que il faut savoir sur l'eau et l'hygiène publique. Montréal, Editions berger. 13(1), 157-159 p.

Laurent, B. (2017). L'accès à l'eau : enjeu majeur du développement durable. Paris, De Boeck supérieur ,205 p.

Léa (2016). La qualité de l'eau. [Pdf] ,5 p.

-M-

Maizi, N ., Gilles, G. (2011). Eau et Energie : destins croisés. Paris, Presses des mines, 322 p.

Manceur, Y ., Djaballah, S. (2016). Analyse microbiologique de l'eau distribuée dans la ville de Tébessa. [Mémoire deMaster, Université Larbi Tébessi – Tébessa] ,75 p.

Mayet J. (1994). Connaissance de l'eau. In : La pratique de l'eau. 2^{ème} édition. Paris, Publication du Moniteur, 30-32 p.

Mazara, Z. (2015). Etude de l'effet de différents coagulants et adsorbants sur la qualité de l'eau potable de la station de Skikda: science de la matière. [Thèse doctorat, Université 20Août 1955, Skikda] ,181 p.

Medjkoune, L., Allou, S. (2019). Analyse physico-chimique et microbiologique de l'eau minérale naturelle embouteillée (IFRI) et sa comparaison avec l'eau de robinet alimenté par le barrage Tichi-Haff. [Mémoire de Master, Université de Bejaia] ,122 p.

Mehanned, S., Zaid, A., Chahlaoui, A. (2014). Caractérisation bactériologique du lac réservoir du barrage Sidi Chahed .Larhyss journal, 17, 215-225 p.

Mekkaoui, Y., Hamdi, D. (2006). Etude de réutilisation des eaux usées traitées de la STEP de Touggourt dans l'irrigation. [Mémoire Ingénieur, Université d'Ouargla] ,60 p.

Melghit, M. (2012). Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments eau, sédiments de l'oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun. [Mémoire magister, Université Mentouri Constantine] ,175 p.

Menad. K., Metadjer. (2012). Traitement des eaux saumâtre par l'osmose inverse cas de l'eau de Khemis Miliana. [Université Khemis Miliana].

Mericq, J.P. (2009). Approche intégrée du dessalement de l'eau de mer : distillation Membranaire sous vide pour la réduction des rejets salins et possibilité de couplage avec L'énergie solaire [thèse de doctorat, Université de Toulouse], 253 p.

Merzoug, A. (2022). Contribution à l'étude qualitative des eaux potables dans la région de Biskra. [Mémoire de Master, Université de Mohamed Khider de Biskra] ,112 p.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (2023). Détermination de la couleur vraie dans l'eau : méthode par spectrophotométrie UV-visible avec le platino-cobalt. Méthode d'analyse MA.103 – Col. 2.0, 8p.

-N-

N'diaye, A. (2008). Etude bactériologique des eaux de boissons vendues en sachet dans quatre communes d'Abidjan. [Thèse de doctorat, Université de Bamako] ,166 p.

NIFCD (2016). National institute for communicable diseases .Salmonella bacteria and salmonellosis frequently asked questions, document FAQ, 2 p.

-O-

Olivaux, Y. (2007). La nature de l'eau. Edition Marco Pietteur. France, 563 p.

OMS (1994). Directives de qualité pour l'eau de boisson; voll, recommandations Organisation mondiale de la Santé, 2^{ème} édition, 202 p.

OMS (2000). Directives de qualité pour l'eau de boisson : programme international sur la sécurité chimique : vol 2 : Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève .Deuxième Edition, 353 p.

OMS (2003). World Health Organization, Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. World Health Organisation.

OMS (2006). Paludisme: Lutte anti vectorielle et protection individuelle : Rapport d'un groupe d'étude de l'OMS, 80 p.

OMS (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4^{éd.} intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum] ISBN 978-92-4-254995-9,540 p.

-P-

Panisset, J-C., Dewailly, É., Doucet, L. H. (2003). Contamination alimentaire : Environnement et santé publique Fondements et pratiques Edisem / Tec & Doc, Acton Vale / Paris, 369-395 p.

Potelon, J.L., Zysman, K. (1998). Guide des analyses de l'eau potable (Nouvelle éd.) Paris, Editions de La lettre du cadre Territorial, 253 p.

Poucher, S. (2007). Apport diagnostique du dénombrement de *Clostridium perfringens* dans l'intestin grêle des ruminants suspects d'enterotoxémie. [Thèse doctorat, Université Claude-Bernard - Lyon I], 148 p.

Poussin, P. (2019). Analyse des eaux de consommation : Mesure de la dureté ou titre hydrotimétrique TH. [Pdf], 4 p.

Proulx, F., Rodriguez, M. et Sérodes, J-B. (2010). Les goûts et les odeurs dans l'eau potable : revue des composés responsables et des techniques de mesure .Revue des sciences de l'eau /journal of water science ,23(3), 303-323 p.

-R-

Racault, M. F., Abdulaziz, A., George, G., Menon, N., Jasmin, C., Punathil, M., McConville, K., Loveday, B., Platt, T., Sathyendranath, S., Vijayan, V. (2019). Environmental reservoirs of *Vibrio cholerae*: Challenges and opportunities for ocean-color remote sensing. Remote Sensing, 11(23), 26 p.

Rafique, R., Rashid, M., Monira, S., Rahman, Z. (2016). Transmission of Infectious *Vibrio cholerae* through Drinking Water among the Household Contacts of Cholera Patients (CHoBI7 Trial). Frontiers in Microbiology, 7(1635), 1–10 p.

Ramade ,F. (1982). Éléments d'écologie (écologie appliquée) .Paris,Mcgraw-Hill, 372 p.

Ramband, A., Delattre, M. (1992). Les eaux conditionnées. Paris, Edition technique et documentation, Lavoisier, 278 p.

Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Scéren (CRDPAQUITAINE). Coll. Biologie technique, Sciences et techniques de l'environnement, 360 p.

Rodier, J. (1996). L'analyse de l'eau. 8e édition : Paris, Dunod, 1434 p.

Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau. Paris, édition DUNOD.

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau. Paris, 9^{ème} édition, Dunod, 1579 p.

-S-

Salomon, J.N. (2003). La pollution des sols et des eaux, Danger pollution. Pessac, Presses Universitaires de Bordeaux, 37-61 p.

Santé Canada (2013). Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique — Le nitrate et le nitrite. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario). (Numéro de catalogue H144-13/2-2013F-PDF), 131 p.

Soudani, S. (2016). Evaluation et caractérisation de l'eau potable dans différents quartiers de la ville de Biskra. [Mémoire de master, Université Mohamed Khider – Biskra], 128 p.

Sremski (2022). Qualité de l'eau et paramètres organoleptiques. Green Hired.

-T-

Tardart, M. (1994). La chimie de l'eau. Québec, Edition Griffon d'argile, 130 p.

Tardet-Henry, M. (1984). Chimie des eaux. Paris, 1^{ere} édition : Griffon d'argile INC, 340 p.

Touati, L. (2021). *Cours de pollution des eaux.* [Pdf].

-U-

Union Française des professionnels de traitement de l'Eau (2013). Différences entre TH, pH, TAC. Avis de la chambre professionnelle. Vol 3, 2 p.

-V-

Valérie, V., Légaré, S., Painchaud, J., Vincen, W. (2006). Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Revue des sciences de l'eau /journal of water science*, 1(4), 259-274 p.

Vicent, B. (2021). Pollution de l'eau : les polluants naturels de l'eau. Projet Ecolo.

Viland, M., Montiel, A., Duchemin, J., Larivière, M., Zarrabi, P. (2001). Eau et santé guide pratique pour les intervenants en milieu rural africain. Paris, Edition du Gret, 109 p.

-Y-

Yahiaoui S., Belloues, Y. (2020). Suivi de la station de traitement des eaux de process et optimisation des paramètres physico-chimiques des eaux glacées au sein de l'unité de Candia. [Mémoire de Master, Université de Bejaia] ,57p.

Yahiaoui, Y., Boudenna, C. (2021). Analyses physico-chimiques et Bactériologiques des eaux potables. [Mémoire de Master, Université de Bejaia] ,83 p.

Yessad, N., Ouassel, A. (2017). Contribution à l'étude des déchets ménagères de la ville de Béjaia par cartographie numérique. [Mémoire de Master, Université de Béjaia] ,79 p.

-Z-

Zaidi, N., Sklab, S. (2009). Étude de l'efficacité de l'inhibiteur d'entartrage Medhybit par la technique de dégazage contrôlé. Effet de la dureté, de la température et du substrat. [Mémoire de DEUA, Université de Bejaia].

Références numériques

Agence de l'Eau Adour Garonne (2012). <https://www.garonne-amont.fr/Les-eaux-souterraines-1.pdf> (consulté le 27 mars 2022).

Anonyme (2017). <https://www.who.int/fr/mercury-and-health> (consulté le 31 mars 2023).

Anonyme (2021 a). <https://www.zerowater.fr/essais-pollution/est-ce-que-zero-water-elimine-largent/> (consulté le 31 mars 2023).

Anonyme (2021 b). <https://www.zerowater.fr/essais-pollution/est-ce-que-zero-water-elimine-le-mercure/> (consulté le 31 mars 2023).

Bataille, X. (2000). <http://lometsciences07.free.fr/plus/eau/TP%20duret%E9.htm> (consulté le 30 mars 2023).

Beards, G. (2014). <http://id.eaufrance.fr/par/5479> (consulté le 27 mars 2023).

Beaulieu, P. (s.d.). <https://www.cieau.com/la-definition-de-leau-potable/> (consulté le 25 mars 2023).

Bertrand (2021). <https://www.echho.org/la-conductivite-electrique-eau-potable.html> (consulté le 25 mars 2023).

Brian, R., Michael, S. et Rod, S. (2017). <https://wedcknowledge.lboro.ac.uk/resources/e/mn/049-Water-sampling.pdf> (consulté le 6 avril 2023).

Charline, D. (2017). <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/maladies-infectieuses/legionellose/> (consulté le 24 mars 2023).

Charline, D. (2018). <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/maladies-parasitaires/amibiase/> (consulté le 24 mars 2023).

Charline, D. (2021). <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/maladies-infectieuses/gastro-enterite/> (consulté le 24 mars 2023).

Charline, D. (2022). <https://www.sante-sur-le-net.com/maladies/maladies-virales/hepatite-a/> (consulté le 24 mars 2023).

Culligan. <https://www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-l-eau/> (consulté le 25 mars 2023).

ENSA Agadir (2017). www.ensa-agadir.ac.ma.

Fernandes, A. (2016). <https://knoow.net/fr/sciences-terre-vie/biologie/vibriocholerae/>(consulté le 27 mars 2023).

Ken, C., Rod, S. (2017). <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/e/mn/049-Water-sampling.pdf> (consulté le 6 avril 2023).

Lisa (2022). <https://www.monreseaudeau.fr/actualites/tout-savoir-coliformes-reseaux-eau/> (consulté le 29 mars 2023).

Ministre de Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (2014). <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/depliant/index.htm> (consulté le 26 mai 2023).

Officiel Prévention (2014). La prévention des risques chimiques des métaux et composés métalliques. (consulté le 16 mai 2023).

OMS (2022). <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (consulté le 19 mai 2023).

Sowers, E et Carr, J.H. (2016). <https://pixnio.com/fr/science-fr/microscopie-images/escherichia-coli-fr/grossie-escherichia-coli-bacteries/> (consulté le 27 mars 2023).

The scientific sentence (2007). https://scientificsentence.net/Chemistry/index.php?key=yes&Integer=_durete (consulté le 10 avril 2023).

Vincent, D. (2017). <https://www.sfm.u.org/toxin/EAU/PARAMETR/BACTERSU.HTM> (consulté le 4 juin 2023).

Annexes

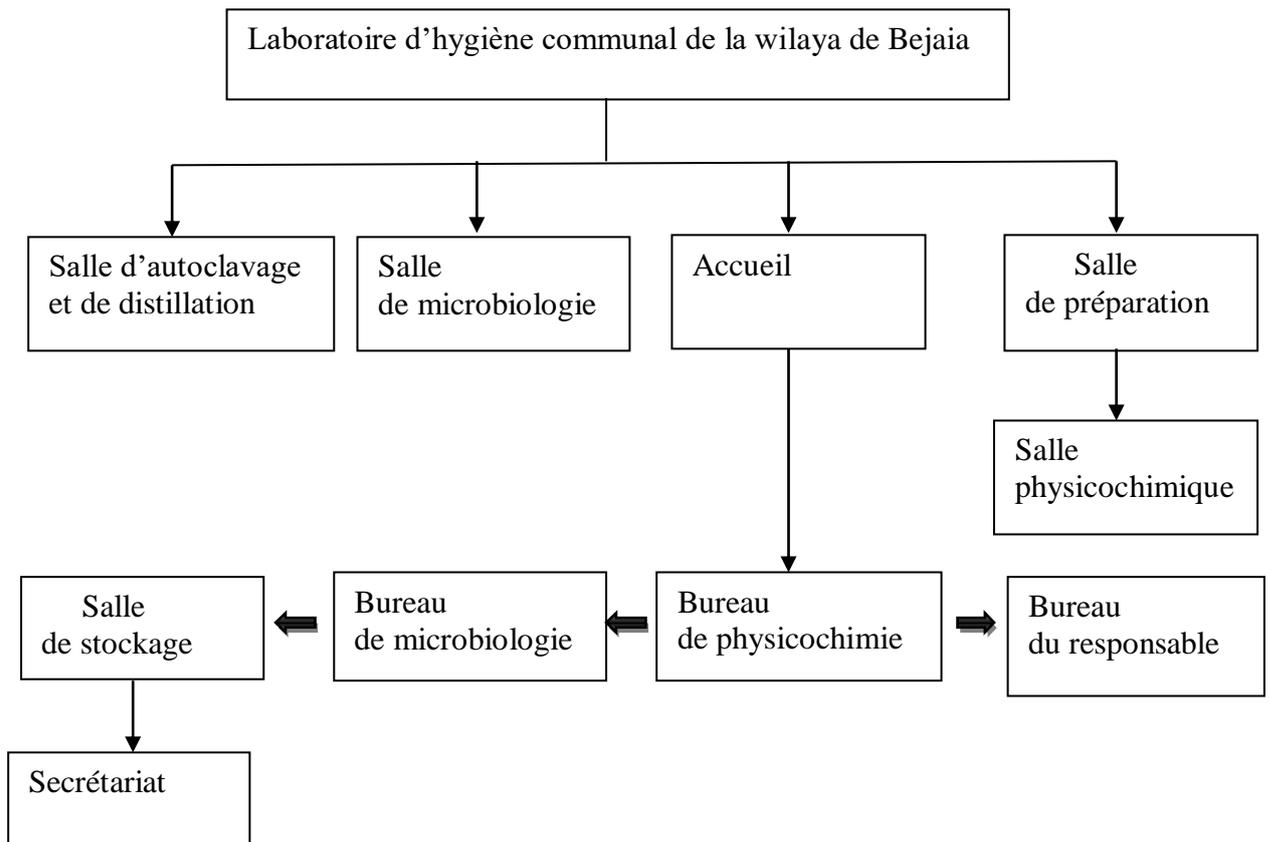
Annexe I. Présentations des organismes d'accueil

I.1. Laboratoire d'hygiène communal de Bejaïa ville

Le laboratoire d'hygiène communal de la wilaya de Bejaïa a officiellement débuté ses activités en date du 03/05/1997 au niveau de la polyclinique de Sidi Ahmed. Il a ensuite été déplacé, en 2010, vers la cité Tobal en face du tribunal de Bejaïa qui correspond qui est son emplacement actuel.

Ses fonctions principales étant l'évaluation de la qualité des eaux de consommation provenant de différentes sources à Bejaïa (puits, sources, robinets) et ainsi la prévention des maladies à transmission hydriques. Leur activité consiste donc en la réalisation de différentes analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux et l'établissement de bilans en se référant aux normes Algériennes correspondantes (**document interne du laboratoire d'hygiène communal, 2023**).

L'organisation générale du laboratoire est illustrée dans l'organigramme suivant.

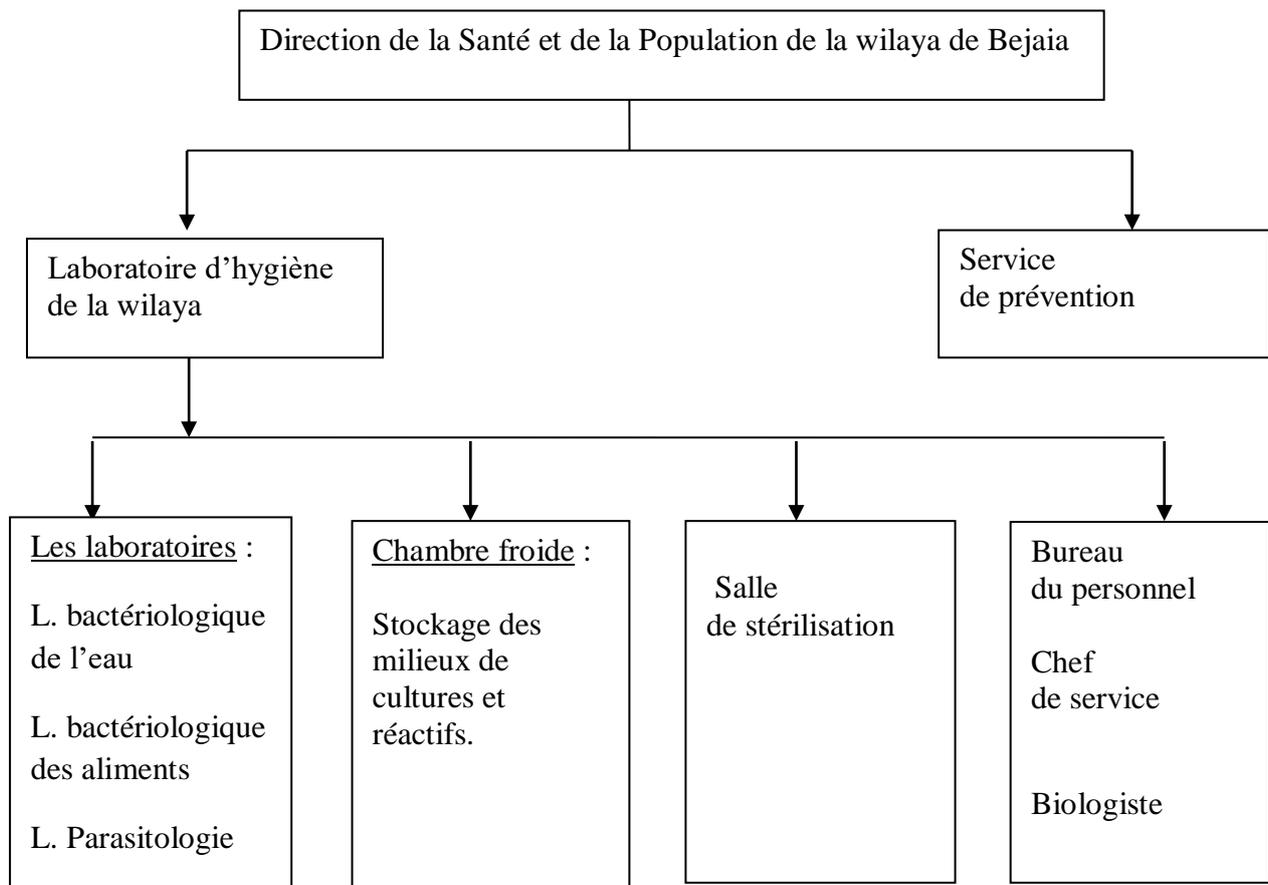


I.2. Direction de la Santé et de la Population de la wilaya de Bejaia (D.S.P.)

Le laboratoire d'hygiène de la wilaya de Bejaïa (D.S.P) se situe au niveau de la cité Smina au-dessus de l'hôpital Khelil Amrane. Il a été créé en 1979 sous la tutelle de la direction de la santé et de la protection sociale pour le dépistage du paludisme initialement. Son activité s'est subséquemment étendue vers la réalisation d'analyses des eaux, des boissons, de quelques aliments.

En effet, en 1985 l'organisme s'est lancé dans l'évaluation de la qualité des eaux marines où il était chargé d'analyser les eaux de baignades provenant de 26 plages de la wilaya de Bejaia. Et c'est en 1987 qu'il s'est lancé dans les analyses alimentaires avec l'ouverture d'un nouveau laboratoire en 1990. En 1993, une nouvelle activité s'est ajoutée à son répertoire et qui consiste en le dosage d'iode dans le sel alimentaire (**document interne de la D.S.P., 2023**).

L'organigramme suivant illustre l'organisation générale de l'organisme.



Annexes

Annexe II. Compositions des solutions et réactifs utilisés.

Solutions & réactifs	Composition
E.D.T.A	C'est un sel di-sodique di-hydraté avec la formule chimique ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) à 0.02N et ($M=372.24$ g/mol) il faut peser 3.723g d'E.D.T. A dans un 1l d'eau distillé.
Solution tampon ammoniacal pH=10	Dissoudre 16.9g de NH_4Cl dans $143cm^3$ de NH_4OH concentré (ammoniaque).
N.E.T	Avec la formule chimique ($C_{26}H_{12}N_3NaO_7P$) et ($M=461.38g/mol$) il faut peser 0.5g de N.E.T dans 100 cm^3 d'isopropanol.
Solution tampon NaOH (1N)	Il faut peser 40 g de NaOH dans un 1l d'eau distillée.
Muréxide	C'est un indicateur solide, on prépare 0.2 g de muréxide dans 100g de NaCl.
Solution HCl	Avec la formule chimique H_2SO_4 à 0.02N on prépare 0.8ml d'HCl dans 500ml d'eau distillée.
Indicateur phénophtaléine	Avec la formule chimique ($C_{20}H_{10}O_4$) et ($M=318.33$ g/mol) il faut mélanger les solutions suivantes : 0.05g de phénophtaléine dans 100ml d'eau distillé et 50ml d'éthanol (C_2H_6O) ajusté à 100ml d'eau distillée.
Indicateur méthyle-orange	Avec la formule chimique ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$) : il faut peser 0.02g de méthyle-orange dans 100ml d'eau distillée.
Solution dichromate de potassium	Avec la formule chimique ($K_2Cr_2O_7$) à 10% et ($M=294.48g/ml$) il faut peser 0.1 g de $K_2Cr_2O_7$ dans 10ml d'eau distillée.
Solution de nitrate d'argent	Avec la formule chimique $AgNO_3$ (0.1N) il faut peser 23.95g de $AgNO_3$ dans 1l d'eau distillé.
Solution d'hydroxyde de Na, NaOH et EDTA	Il faut peser 200g d'hydroxyde de Na + 50g EDTA dans 1litre d'eau distillé : *Dissoudre avec précaution l'hydroxyde de Na dans 800ml d'eau permuté. *Ajouter le sel sodique EDTA. *Après dissolution et refroidissement transverse la solution dans une fiole jaugée. *Ajuster le volume à 1 l. *Conserver cette solution dans un flacon en polyéthylène.
Solution de salicylate de Na à 1%	Peser 0,1g de salicylate de Na dans 10 ml d'eau distillé.

Annexes

Réactif Zambelli	<p>*Introduire dans une fiole jaugée d'un litre 260 ml d'acide chlorhydrique et 1 litre d'eau distillé</p> <p>*Puis y dissoudre 5g d'acide sulfanilique et 7,5g de phénol cristallisé en chauffant légèrement au bain marie</p> <p>*Après dissolution complète ajouter 135 g de chlorure d'ammonium et agiter jusqu'à dissolution</p> <p>*Après refroidissement ajuster s'il y a lieu le volume de la solution à 1 litre avec l'eau distillé.</p>
Solution stabilisante	Peser 30ml de HCL concentré +300 ml d'eau distillé +75 g de NaCl puis ajouter 100ml d'alcool éthanol à 95% ou l'alcool isopropyloque, ensuite 50 ml de glycérine.
Viande foie	30g de peptone viande-foie + 6g d'agar agar bactériologique + 2g Glucose + Alun de fer + Sulfite de sodium.
Eva-litsky	20g de polypeptone + 2,7 g de Phosphate dipotassique + 5g de Glucose + 2,7 gde Phosphate monopotassique + 5g de Chlorure de sodium + 0.2g d'azide de sodium.
BCPL	5g de peptone + pH 7 + 3g d'extrait de viande + 25g de pourpre de bromocrésol +10g de lactose ; ajouter éventuellement une cloche de Durham.
Schubert	10g de tryptone + 0.2g de tryptophane + 0.2g d'acide glutamique +7.5g de mannitol + 0.7g de sulfate de magnésium + 0.4g de sulfate d'ammonium +0.5g de citrate de sodium + 2g de chlorure de sodium + 4.12g de phosphate disodique + 0.58g de phosphate monopotassique.
Rothe	20 g de polypeptone + 5 g de glucose + 5 g de chlorure de sodium + 2.7 g de phosphate monopotassique + 2.7 g de phosphate dipotassique + 0.2 g d'azide de sodium.

Annexes

Annexe III. Détails des résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques des échantillons analysés

III.1. Résultats détaillés de l'analyse des résidus secs

Échantillons	Poids du Becher vide (g)	Poids du Becher après évaporation (g /10 ml)	résidus secs (g/ 10ml)	résidus secs (mg/1l)
Smina	99.6051	99.6062	0.0011	110
D. Djbel	115.5830	115.5982	0.0152	152
Taassast	99.5490	99.5544	0.0054	54
D. Nacer	115.6110	115.6138	0.0028	28
Iheddaden	95.9394	95.9452	0.0058	58
A. Oufarnou	101.1115	101.1168	0.0053	53
Boulimat	115.6100	115.6120	0.002	200
S. Ouali	95.9342	95.9359	0.0017	170
C. Sghir	101.1115	101.1144	0.0029	290
Sqala	21.5948	21.6085	0.0137	1370
B. de mer	21.4497	21.4720	0.0223	2230

III.2. Résultats en images des procédés analytiques de la quantification des paramètres physico-chimiques et bactériologiques



-a-

-b-

-c-

-d-

a. Observation du virage de la couleur violacée au bleue suite au dosage de la DT.

b. Observation du virage à la couleur violette suite au dosage de la D Ca^{2+} .

c. Observation du virage à la couleur rose pâle suite au dosage de TAC.

d. Observation du virage à la couleur rouge brique suite au dosage des Cl^- .



-e-

-f-

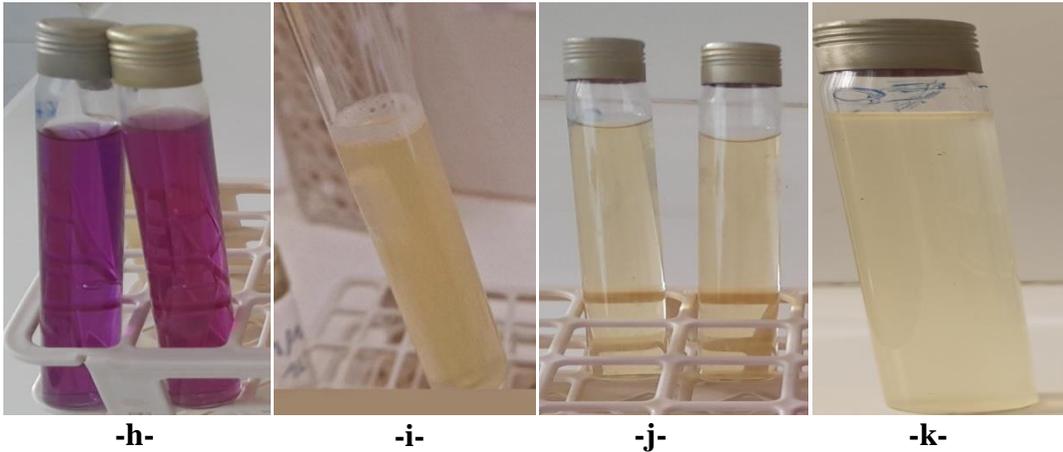
-g-

e. Observation de la couleur jaune lors de dosage des nitrates.

f. Formation de l'anneau rouge témoignant de la présence de coliformes fécaux.

g. Formation d'une pastille violette confirmant la présence de streptocoques fécaux.

Annexes



h. Milieu de culture BCPL avant incubation.

i. virage au jaune avec dégagement d'un gaz après incubation indiquant la présence de coliformes totaux.

j. Milieu de culture Rothe avant incubation.

k. formation du trouble microbien après incubation indiquant la présence de streptocoques fécaux.

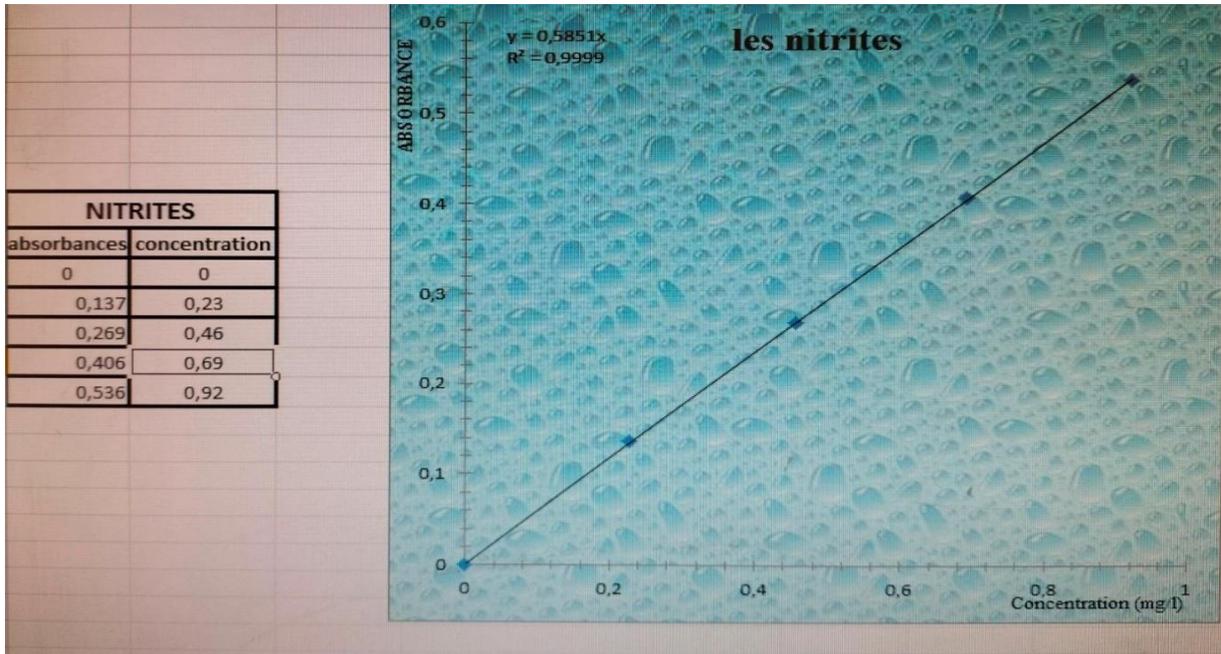
Annexes

III.3. Fiche de la lecture des résultats bactériologiques

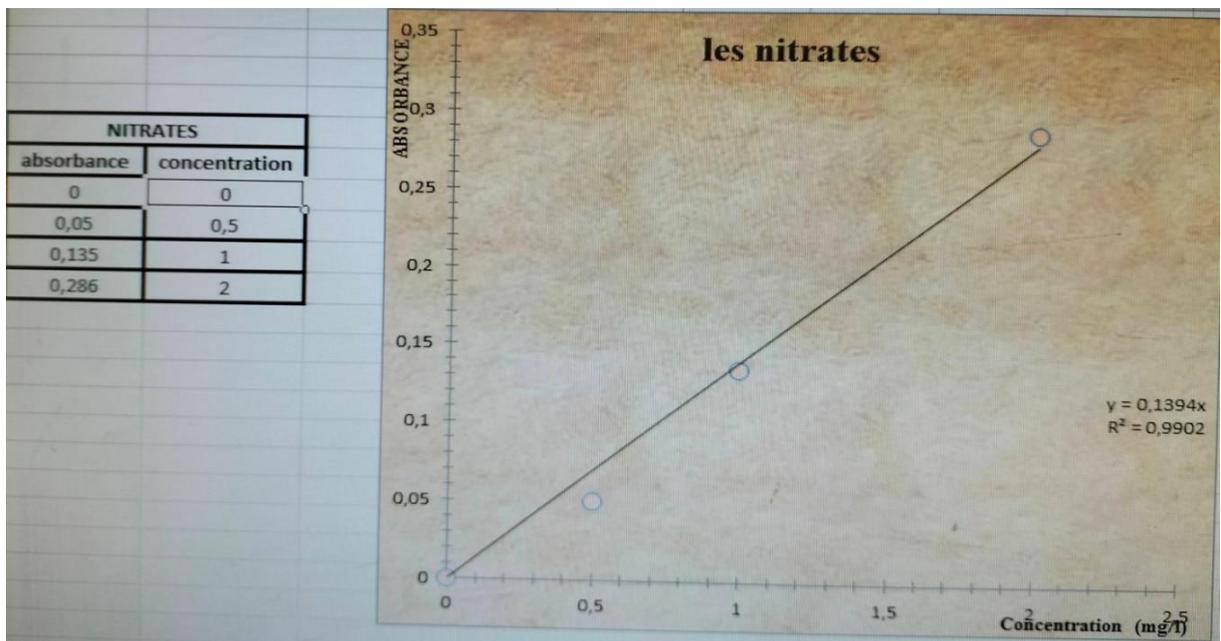
		BCPL	SCH	ROTH	EVA	ASR	OBS
Smina	10ml	+1	-1	-2	-	00	B.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
D. Djbel	10ml	+1	-1	-2	-	00	B.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
Taassast	10ml	+1	-1	-2	-	00	M.Q.B
	1ml	+1	+1	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
D. Nacer	10ml	-2	-	-2	-	00	B.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
Iheddaden	10ml	-2	-	-2	-	00	B.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
A. Oufarnou	10ml	-2	-	-2	-	00	B.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
Boulimat	10ml	+2	+1	+2	+2	00	M.Q.B
	1ml	+1	+1	+2	+2		
	0.1ml	+1	+1	+2	-2		
S. Ouali	10ml	-2	-	-2	-	00	B.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
C. Sghir	10ml	-2	-	-2	-	00	B.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	-2	-		
Sqala	10ml	-2	-	+1	-1	00	M.Q.B
	1ml	-2	-	+2	+1		
	0.1ml	-2	-	+2	+1		
B. de mer	10ml	-2	-	-2	-	00	M.Q.B
	1ml	-2	-	-2	-		
	0.1ml	-2	-	+1	+1		

Annexe IV. Courbes d'étalonnages

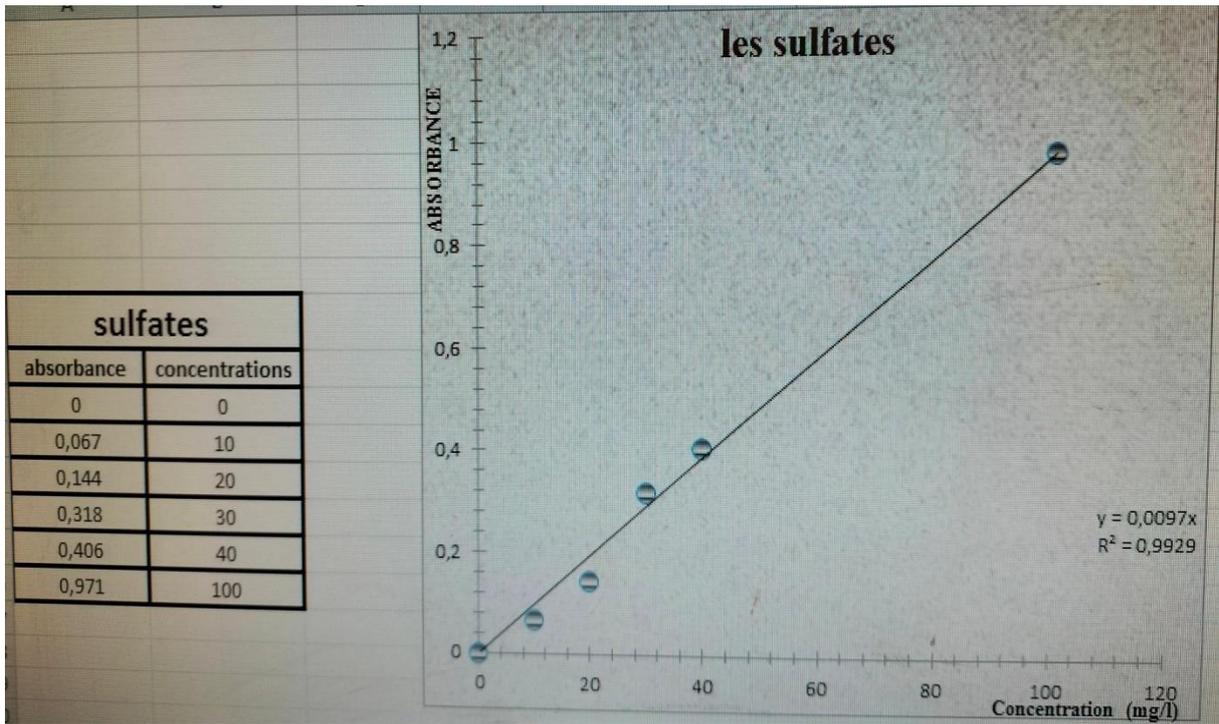
IV.1. Courbe d'étalonnage des nitrites



IV.2. Courbe d'étalonnage des nitrates



IV.3. Courbe d'étalonnage des sulfates



Annexe V. Normes de référence

V.1. Normes de référence des paramètres physico-chimiques (Journal Officiel Algérien, 2011, 2014)

18 Rabie Ethani 1432		9	
23 mars 2011		JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE N°18	
ANNEXE (suite)			
Tableau 2 : Paramètres avec valeurs indicatives			
Groupe de Paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres Organoleptiques	Couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥6,5 et ≤9
	Conductivité à 20°C	μS/cm	2800
	Dureté	mg/len CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Température	°C	25	

ANNEXE

Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine

Tableau1 : paramètres avec valeurs limites

Groupe de Paramètres	Paramétrés	Unités	Valeurs limites
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	-Eaux conventionnelles : 1 -Eaux déssalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	Fluoranthène, benzo(3,4) fluoranthène, benzo(11,12) fluoranthène, benzo(3,4) pyrène, benzo(1,12)pérylène, indéno(1,2,3-cd) pyrène ,		
benzo(3,4) pyrène	µg/l	0,01	
Benzène	µg/l	10	
Toluène	µg/l	700	
Ethylbenzène	µg/l	300	

Tableau 2
Paramètres avec valeurs indicatives

Groupe de Paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l de CaCO ₃	65 pour les eaux déssalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥6,5 et ≤9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/l de CaCO ₃	500
	Fer total	mg/l	0,3
	Manganèse	µg/l	50
	Phosphore	mg/l	5
	Potassium	mg/l	12
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

V.2. Normes de référence des paramètres bactériologiques (Journal Officiel Algérien, 1998)

Aoual Safar 1419 27 mai 1998			
JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°35			
17			
Tableau VII Critères microbiologiques des eaux et boissons			
Produits	n	c	m
1_ Eaux de distribution traitée :			
-Germes aérobies à 37°C/ml	1	--	20
-Germes aérobies à 22°C/ml	1	--	<10 ²
-Coliformes aérobies à 37°C/100ml	1	--	<10
-Coliformes fécaux /100ml	1	--	absence
-Streptocoques D/50ml	1	--	absence
-Clostridium sulfito-réducteurs à 46°C/ml	1	--	absence
-Clostridium sulfito -réducteurs à 46°C/20ml	1	--	<5

Annexes

Annexe VI. Table du nombre le plus probable (NPP)

NOMBRE DU TUBES DONNANT UNE REPONSE +			INDICE NPP
2 tubes de 10ml	2 tubes de 1ml	2 tubes de 0.1 ml	
0	0	0	00
0	0	1	05
0	1	0	05
0	1	1	09
0	2	0	09
1	0	0	06
1	0	1	12
1	1	0	13
1	1	1	20
1	2	0	20
1	2	1	30
2	0	0	25
2	0	1	50
2	1	0	60
2	1	1	130
2	1	2	200
2	2	0	250
2	2	1	700
2	2	2	1100

AVEC 2 PORTIONS DE 10 ml -2 PORTIONS DE 1 ml-2 PORTIONS DE 0.1 ml

Résumé

L'eau est une ressource vitale indispensable à la vie. Néanmoins, elle est sujette aux diverses pollutions pouvant nuire à sa qualité et être ainsi source de maladies. C'est pourquoi un contrôle adéquat est nécessaire afin de minimiser les risques. Dans la présente étude nous évaluons la qualité des eaux consommées dans la commune de Bejaia ville. Au total, 11 échantillons sont prélevés des diverses ressources en eau dans la commune (eau de robinet, forages, eau se vendant dans des camions citernes dans les quartiers, et eau de certaines sources publiques). La qualité de ceux-ci est explorée principalement à travers des analyses physico-chimiques et microbiologiques effectuées respectivement au laboratoire d'hygiène communal et la D.S.P ; et dont les résultats sont comparés à la norme Algérienne en vigueur. Dans l'ensemble, et en considérant la nécessité qu'une eau réjouisse d'une bonne qualité physico-chimique et bactériologique à la fois pour pouvoir la qualifier d'une eau consommée ; les échantillons qui répondent à cette condition étant ceux de Smina, D. Djbel, D. Nacer, Ihaddaden, A. Oufarnou et S. Ouali. Il convient toutefois de compléter et confirmer ces résultats à travers d'autres analyses répétitives et plus poussées.

Mots clés : Eau potable, paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qualité de l'eau, contamination fécale, pollution de l'eau, commune de Bejaia ville.

ملخص

الماء مورد حيوي ضروري للحياة. ومع ذلك، فهي عرضة لأنواع مختلفة من التلوث التي يمكن أن تؤثر على جودتها وبالتالي تكون مصدرًا للأمراض. هذا هو السبب في أن التحكم الكافي ضروري لتقليل المخاطر. في هذه الدراسة قمنا بتقييم نوعية المياه المستهلكة في بلدية بجاية. وفي المجموع تم أخذ 11 عينة من مصادر مائية مختلفة في البلدية (مياه الحنفية، الآبار، المياه المباعة من صهاريج الأحياء، ومياه من بعض المصادر العامة). يتم استكشاف جودة هذه بشكل أساسي من خلال التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية التي يتم إجراؤها على التوالي في مختبر النظافة البلدية ومديرية الصحة و السكان؛ ونتائجها مقارنة بالمعيار الجزائري المعمول به بشكل عام، ومراعاة الحاجة إلى الحصول على جودة فيزيائية وكيميائية وبكتريولوجية جيدة للمياه من أجل تصنيفها على أنها مياه شرب؛ العينات التي تستوفي هذا الشرط هي عينات سميثة، د. الجبل، د. الناصر، احدان، ا. اوفارنو و س. واعي. ومع ذلك، يجب إكمال هذه النتائج وتأكيدتها من خلال تحليلات أخرى متكررة وأكثر تعمقًا.

الكلمات المفتاحية: مياه الشرب، العوامل الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية، جودة المياه، التلوث البرازي، تلوث المياه، بلدية بجاية.

Abstract

Water is a vital resource essential to life. However, it is subject to various pollutions that can affect its quality becoming thus a source of multiple diseases. This is why an adequate control of this is necessary in order to minimize the related potential risks. The present study evaluates the quality of the water consumed in Bejaia city. A number of 11 samples are collected from various water resources in the city of interest including; tap water, wells, water sold in the neighborhoods in tank trucks, and water from some public sources in the city. The quality of these is explored mainly through physico-chemical and microbiological analyzes carried out respectively at the municipal hygiene laboratory and the Direction of Health and Population. The obtained results are compared later to the Algerian applicable standards. According to these, a safe and potable water should be both of good physico-chemical and microbial quality. So, the samples that meet this requirement in the present study are those of Smina, D. Djbel, D. Nacer, Ihaddaden, A. Oufarnou and S. Ouali. However, these results should be supplemented and confirmed through other repetitive and further investigations.

Key words: Potable water, physico-chemical and bacteriological parameters, water quality, fecal contamination, water pollution, Bejaia city.