

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTÉ DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE MASTER II

Spécialité : Agronomie

Option : Traitement et valorisation des ressources hydriques

Présenté par : M^{elle} MENAA Wissam

*Les analyses qualitatives et quantitatives des eaux de
distribution à la ville de Bab-Ezzouar*

Soutenu publiquement, devant le jury d'examen composé de :

M ^r SI TAYAB. H	Maître de conférences à l'UMMTO	Président
M ^r METAHRI. M. S	Maître de conférences à l'UMMTO	Promoteur
M ^{me} BERROUANE. N	Chargé de cours à l'UMMTO	Co-promotrice
M ^r BERRADJ. O	Maître de conférences à l'UMMTO	Examineur

Promotion 2015 / 2016

Remerciements

Je remercie mon dieu miséricorde de m'avoir amené à réaliser ce projet et d'avoir la chance d'atteindre le niveau Master II.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements :

À mon encadreur Dr Metahri. M

Pour sa prise en charge et pour avoir

Promener mon travail, et à mon enseignante Mme Berrouane pour m'avoir guidé durant l'élaboration de ce mémoire.

À mon encadreur de stage l'ingénieur Mr Shekhab Amine et le chef de service production Mr Nadri Abd-Essamed et à Mr Zehar Mehdi pour leur aide bénéfique et leur conseils.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants de La faculté des sciences biologiques et agronomiques,

Sans oublier les membres du jury

Pour avoir accepté de juger mon travail.

Enfin, A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la Réalisation de ce projet de fin d'études.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À ma très chère mère, Sans elle rien n'aurait pu être fait.

À mon père

À mon frère Bahaa Eddine.

À mes sœurs Lilia, Phiraz, et Rim.

À mes beaux-frères Haitham et Fares.

À la prunelle de mes yeux Amine.

À ma chère copine Ouarda.

Wissam

Abréviations

°F : Degrés français.

AEP : Adduction des eaux potables.

BGN : Bacilles à Gram négatif.

CA : Charbon actif.

CE : Conductivité électrique.

COA : Carbone organique assimilable.

DBO : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

F : Facteur de dilution.

Fc : Facteur de correction.

INSP : Institut national de la santé publique.

ISO : Organisation Internationale de Standardisation.

MES : Matière en suspension.

MO : Matière organique.

MTH : Maladies à transmission hydrique.

NTU : Néphélometric turbidity unit.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONU : Organisation des Nations-Unies.

QC : Contrôle de qualité.

REUT : Réutilisation des eaux usées traitées.

T.S.A : Trypticase-Soja-Agar.

TA : Titre alcalimétrique.

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

TDS : Taux de salinité.

TH : Titre hydrométrique.

UV : Ultra-Violet.

Listes des figures

Figure N° 1 : Cycle de l'eau (THUAL, 2010).

Figure N° 2 : Schéma de fonctionnement d'une nappe libre et une nappe captive (Bravard et al, 2005).

Figure N° 3 : Schéma du circuit des eaux usées (R. Moletta, 2011).

Figure N° 4 : Schéma de principe de traitement d'une eau potable (R. Moletta, 2011).

Figure N° 5 : Complexe hydraulique de SEAAL El-Harrach.

Figure N° 6 : Laboratoire du complexe SEAAL El-Harrach (SEAAL).

Figure N° 7 : Petit schéma des Méthodes d'analyse physico-chimiques (Anonyme 1, site internet).

Figure N° 8 : Titrettes (SEAAL El-Harrach).

Figure N° 9 : Spectrophotomètre (SEAAL El-Harrach).

Figure N° 10 : pH-mètre (SEAAL El-Harrach).

Figure N° 11 : Conductimètre (SEAAL El-Harrach).

Figure N° 12 : Turbidimètre (SEAAL El-Harrach).

Figure N° 13 : Solutions de l'étalonnage (SEAAL El-Harrach).

Figure N° 14 : Cuves du KIT des étalons et un turbidimètre (SEAAL El-Harrach).

Figure N° 15 : Schéma d'analyse le dénombrement des entérocoques intestinaux (Mode opératoire SEAAL).

Figure N° 16 : Schéma d'analyses le dénombrement des bactéries coliformes et d'Escherichia coli (Mode opératoire SEAAL).

Figure N° 17 : Variation du pH des eaux analysées.

Figure N° 18 : Variation de la température des eaux analysées.

Figure N° 19 : Variation de la conductivité des eaux analysées.

Figure N° 20 : Variation de la matière solide dissoute totale.

Figure N° 21 : Variation de la turbidité des eaux analysées.

Figure N° 22 : Variation des résidus secs pour des eaux analysées.

Figure N° 23 : Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées.

Figure N° 24 : Variation de la teneur en potassium dans les eaux analysées.

Figure N° 25 : Variation de la teneur en chlorure dans les eaux analysées.

Figure N° 26 : Variation de la teneur en chlorure dans les eaux analysées.

Figure N° 27 : Variation de la teneur en magnésium dans les eaux analysées.

Figure N° 28 : Variation de la teneur en sulfate dans les eaux analysées.

Figure N° 29 : Variation de la teneur de l'alcalinité dans les eaux analysées.

Figure N° 30 : Variation de la teneur de la dureté dans les eaux analysées.

Liste des tableaux

Tableau N° 1 : Répartition de l'eau dans la biosphère.

Tableau N° 2 : Salinité des principales eaux de mer.

Tableau N° 3 : Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines.

Tableau N° 4 : Classes de turbidité (NTU : Néphélometric turbidity unit).

Tableau N° 5 : Évolution de la chimie des eaux et du pourcentage de fer particulaire dans des eaux de drainage de tourbières évoluées.

Tableau N° 6 : Échelle de valeurs de DBO₅.

Tableau N° 7 : Étalonage pour turbidimètre à partir des étalons préparés manuellement.

Tableau N° 8 : Étalonage du spectrophotomètre pour le dosage de l'ammonium.

Tableau N° 9 : Étalonage du spectrophotomètre à l'aide des solutions pour le dosage des nitrites.

Tableau N° 10 : Étalonage de spectromètre pour le dosage des nitrates.

Tableau N° 11 : Étalonage du spectromètre pour le dosage des sulfates

Tableau N° 12 : Étalonage du spectromètre pour le dosage du potassium.

Tableau N° 13 : Étalonage du spectromètre pour le dosage du sodium.

Tableau N° 14 : Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau de distribution de Bab-Ezzouar.

Tableau N° 15 : Résultats de l'analyse des paramètres de pollution de l'eau de distribution de Bab-Ezzouar.

Tableau N° 16 : Résultats de l'analyse des paramètres de la minéralisation globale de l'eau de distribution de Bab-Ezzouar.

Tableau N° 17 : Résultats de l'analyse des paramètres bactériologiques de l'eau de distribution à la ville de Bab-Ezzouar.

Table des matières

Introduction	1
Chapitre I : Eaux naturelles	
1. Répartition de l'eau dans la biosphère	2
2. Cycle de l'eau.....	2
3. Composition des eaux naturelles.....	4
a. Matières minérales	4
b. Matières organiques	4
c. Matières dissoutes	4
d. Matières colloïdales.....	4
e. Matières en suspension.....	5
4. Ressources en eau en Algérie.....	5
4.1. Ressources en eau conventionnelles	6
4.1.1. Eaux de surface	6
4.1.1.1 Eaux de rivière.....	6
4.1.1.1.1. Eaux de rivière (partie amont)	6
4.1.1.1.2. Eaux de rivière (partie aval)	6
4.1.2. Les réservoirs d'eaux superficielles	7
4.1.2.1. Lacs	7
4.1.2.2. Barrages-réservoirs.....	7
4.1.3. Eaux souterraines.....	7
4.1.3.1. Nappes	8
4.1.3.2. Puits	8
4.1.3.2.1. Puits individuels	8
4.1.3.2.2. Puits collectifs	9
4.1.3.2.3. Sources.....	9
4.2. Les ressources en eau non conventionnelles.....	9
4.2.1 Les eaux usées	9
4.2.2 Eaux de mer	10
5. Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines	11
6. Pollution des eaux naturelles	12
6.1. Différents origines de pollution	12
6.1.1. Pollution domestique	12
6.1.2. Pollution physique	12
6.1.2.1. Pollution thermique	12
6.1.2.2. Pollution radioactive	13
6.1.3. Pollution chimique.....	13

6.1.3.1 Pollution par les pesticides	13
6.1.3.2. Pollution par les métaux lourds	13
6.1.4. Pollution biologique	13
6.1.4.1 Maladies à transmission hydriques	14
a. Maladies d'origine bactérienne	14
b. Maladies d'origine virale	14
c. Maladies d'origine parasitaire	14
6.1.5. Pollution organique	14

Chapitre II : Traitement des eaux superficielles

1. Traitement de potabilisation.....	15
1.1 Prétraitement	15
1.1.1 Dégrossissage	15
1.1.1.1 Dégrillage	15
1.1.1.2 Macrotamissage	15
1.1.1.3 Dessablage	16
1.1.1.4 Microtamissage	16
1.1.1.5 Dégraissage et déshuilage.....	16
1.1.2 Aération	16
1.1.3 Préchloration.....	16
1.2 Traitement physico-chimique.....	17
1.2.1 Clarification.....	17
1.2.1.1. Coagulation-floculation.....	17
1.2.1.2. Décantation	17
1.2.1.3.Flottation	18
1.2.1.4.Filtration	18
1.2.2. Désinfection	18
a. Chlore et dérivés.....	18
b. Dioxyde de chlore	18
c. Ozone	19
d. Ultraviolet.....	19
1.2.3. Traitement de neutralisation.....	19
1.2.4. Traitement de reminéralisation	19
1.2.5. Traitement d'adoucissement	19
1.3. Traitements secondaire.....	20
1.3.1. Élimination de l'azote	20
1.3.2. Élimination du fer et de manganèse	20
1.4. Traitements spécifiques.....	20
a. Échange d'ions	20
b. Adsorption sur charbon actif.....	20
c. Décarbonatation	21
1. Soude (NaOH)	21

2. Chaux	21
1.5. Techniques membranaires	21
1.6. Fluorures et défluorurations	21

Chapitre III : Paramètre et normes de qualité des eaux potables

1. Les paramètres de la qualité de l'eau	22
1.1 Paramètres organoleptiques	22
1.1.1 Couleur	22
1.1.2 Odeur et goût	22
1.1.3 Turbidité	22
1.2 les paramètres physicochimiques	23
1.2.1 Température	23
1.2.2 Matières en suspension	23
1.2.3 Conductivité	23
1.2.4 pH	24
1.2.5 Alcalinité	24
1.2.6 Équilibre calcocarbonique	24
1.2.7 La dureté (titre hydrotimétrique)	24
1.3 Minéralisation globale	25
1.3.1 Chlorure	25
1.3.2 Sodium	25
1.3.3 Calcium	25
1.3.4 Sulfate	25
1.4 paramètres bactériologiques	26
1.4.1 Les germes anaérobies revivifiables	26
1.4.2 Les coliformes	26
1.4.3 Streptocoques fécaux	26
1.4.4 Clostridium sulfito-réducteurs	26
1.5 Paramètres indésirables	27
1.5.1 Fer	27
1.5.2 Aluminium	27
1.5.3 Cuivre	27
1.5.4 Manganèse	27
1.5.5 Zinc	28
1.6 Paramètres de toxicité	28
1.6.1 Arsenic	28
1.6.2 Cadmium	28
1.6.3 Mercure	28
1.6.4 Plomb	29
1.6.5 Chrome	29
1.7 Paramètres de pollution organique	29
1.7.1 Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	29
1.7.2 Demande chimique en oxygène (DCO)	29
1.7.3 Azote ammoniacal	30
1.7.4 Nitrites	30
1.7.5 Nitrates	30
1.7.6 Matière organique	30

1.7.7 Phosphore.....	30
----------------------	----

Partie expérimentale

Partie I : Mode opératoire

1. Présentation de la zone d'étude.....	31
2. Les méthodes d'analyse physico-chimique	32
2.1. Titrage	33
2.2. Spectrophotométrie	33
2.3. Lecture physique	34
3. Matériels	34
3.1. Appareillage	34
3.2. Verrerie et autres matériels	34
3.3. Milieux de cultures.....	35
4. Analyses physico-chimiques	35
4.1. Mesure du pH : méthode potentiométrique avec électrode en verre	35
4.2. Mesure de la turbidité	36
4.3. Mesure de la conductivité électrique.....	37
4.4. Mesure de taux de salinité (TDS)	38
4.5. Mesure de la salinité	38
4.6. Détermination du résidu sec.....	38
5. Analyses des paramètres de pollution.....	39
5.1. Dosage spectrophotométrique des phosphates.....	39
5.2. Dosage de l'ammonium par spectrophotométrie moléculaire.....	40
5.3. Dosage des nitrites par spectrométrie.....	41
5.4. Dosage des nitrates par spectrophotométrie.....	43
6. Les analyses de la minéralisation globales	44
6.1. Dosage du calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA	44
6.2. Dosage de la somme de calcium et magnésium	45
6.3. Dosage des chlorures, titrage au nitrate d'argent avec du chromate.....	46
6.4. Détermination des sulfates par spectrophotométrie	47
6.5. Dosage du potassium par spectrométrie d'absorption atomique	49
6.6. Dosage du sodium par spectrométrie d'absorption atomique	49
6.7. Détermination de l'alcalinité	50
7. Paramètres bactériologiques.....	52
7.1. Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux (filtration sur membrane)	52

7.2. Recherche et dénombrement des bactéries coliformes et d'Escherichia coli (filtration sur membrane)	53
8. Test de chlore libre	55
Partie II : Résultats et discussions	
1. Détermination de la qualité de l'eau de la ville Bab-Ezzouar	56
1.1 Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau de distribution de Bab-Ezzouar.....	56
1.1.1 Discussion des résultats des analyses physico-chimiques.....	57
1.2 Résultats des analyses des paramètres de pollution	59
1.2.1 Discussion des résultats des paramètres de pollution.....	59
1.3 Résultats de la minéralisation globale.....	59
1.3.1 Discussion des résultats de la minéralisation globale.....	59
1.4 Les paramètres bactériologiques	63
1.4.1 Discussion des résultats des paramètres bactériologiques.....	63
Conclusion	64



Introduction

Introduction

Introduction

L'eau est indispensable à la vie. Elle constitue 70 % du poids du corps humain, elle est utilisée pour de nombreux usages essentiels : la boisson, la préparation des repas, l'hygiène, l'entretien de l'habitation, les loisirs, la fabrication dans l'industrie, l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail (Gillis, 1998). Son accessibilité est variable d'une région à l'autre du fait des phénomènes climatiques, géographiques, socioculturels et économiques. Ce qui peut emmener les populations à utiliser des eaux de qualité douteuse, d'où l'intérêt d'une surveillance et d'un contrôle codifié et rigoureux de la qualité de l'eau de consommation depuis la source d'approvisionnement, quel qu'en soit le type, au consommateur : l'objectif principal étant de préserver la santé de la population (Khamsing, et al, 2014).

Bab-Ezzouar qui est l'une des villes d'Alger, sa population est raccordée au réseau de distribution en eau potable venant de la station de traitement de Boudouaou et les forages de Hamiz. Afin de contribuer au contrôle de la qualité des eaux destinées à la consommation au niveau de cette ville, nous avons réalisé une étude qui a porté sur l'évaluation de la qualité physico-chimique de ces eaux. En mesurant selon les normes nationales décrites par la température, le pH, la conductivité, la dureté totale, les nitrates, le calcium et les chlorures, sur plusieurs échantillons prélevés, et en comparant les résultats aux normes locales et internationales de potabilité de l'eau de manière à déterminer la qualité des eaux de la ville. La problématique posée, l'eau de bab-Ezzouar répond-elle à tous les analyses physico-chimiques, bactériologiques, de pollution en mesurant selon les normes internationales et locales.



Chapitre I

Eaux naturelles

1. Répartition de l'eau dans la biosphère

L'eau douce est un élément plutôt rare à la surface terrestre puisqu'elle ne représente que 3 % du volume total de l'hydrosphère. Les réservoirs d'eau douce les plus importantes se trouvent donc à l'état solide (environ 80 %) et sont techniquement inexploitable. L'eau douce exploitable représente seulement 20 % des réservoirs d'eau douce et 0,6 % du volume totale de l'hydrosphère (Rejsek, 2002).

Le tableau n° 1 montre la répartition de la ressource totale en eau qui se fait, sous trois états physicochimiques (liquide, solide, gazeux) (Nace et Léopold, 1964).

Tableau N° 1 : La répartition de l'eau dans la biosphère.

	Volume en Km ³	% du totale
Eaux liquides		
-Océans	1300 000 000	97,2
-Lacs et mers internes	123 000	0,009
-Cours d'eau	100 000	0,008
-Eau du sol	1 230	0,0001
-Nappes aquifères (jusqu'à 800 m de profondeur)	65 0000	0,005
-Eaux profondes	4 000 000	0,31
Eaux solides		
-Glaciers polaires	32 000 000	2,5
-Autres glaciers	1 000	0,0001
Eaux vapeurs		
-Eau dans l'atmosphère	12 700	0,001
-Eau contenue dans les organismes vivants	400	0,00005

(Genin et al, 2003).

2. Cycle de l'eau

D'après Genin et al, (2003), L'eau est un élément fondamental de la vie, recouvrant 72% de la surface de la terre, et représentant une réserve totale de 1350 milliards de km³ dans la biosphère. L'eau est à la base de toute vie sur terre. La description du cycle de l'eau fait appel à de nombreuses disciplines ou sous-disciplines : thermodynamiques, physicochimique, biologique, mécanique du solide, sociologique et mécanique des fluides (Thual, 2010).



Figure N° 1 : Cycle de l'eau (Thual, 2010).

La circulation de l'eau entre les océans, l'atmosphère et les continents est appelée cycle de l'eau, ce cycle se déroule dans une enveloppe superficielle de la terre appelée hydrosphère (figure N° 1). Le cycle de l'eau débute avec :

- l'évaporation de celle-ci principalement des océans mais aussi des continents.
- Cette eau transite dans l'atmosphère où elle réside en moyenne 8 à 10 jours et retombe sous forme de pluie sur les océans ou forme de pluie ou de neige sur les continents.
- L'évaporation de l'eau à partir des continents porte également le nom l'évapotranspiration.
- Sur les continents l'eau s'évapore directement à partir des lacs, des rivières... des sols humides mais cette évaporation directe s'associe la transpiration des végétaux qui renvoie vers l'atmosphère l'eau de pluie qui s'est infiltrée dans le sol.
- L'infiltration de l'eau dans le sol sert à constituer le stock superficiel alimentant l'évaporation directe et la transpiration des végétaux.
- Les fortes précipitations des périodes hivernales, engendrent une infiltration profonde qui alimente les nappes souterraines.
- Sur les continents, les quantités d'eaux qui s'évaporent (évapotranspiration) sont inférieures aux quantités d'eaux reçues par les précipitations, à l'inverse pour les océans, l'évaporation est supérieure aux précipitations.
- L'excédent en eau des continents retourne aux océans par les rivières, les résurgences des nappes souterraines et le ruissellement côtier. Le cycle de l'eau est ainsi équilibré. (Khamsing et al, 2014)

3. Composition des eaux naturelles

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différents :

- ✓ Suivant leur nature chimique : organique ou minérale ;

- ✓ Suivant leur état physique : matières dissoutes, colloïdales ou en suspension.

Ces distinctions sont arbitraires dans la mesure où, d'une part, une substance peut se trouver soit à l'état dissous, soit en suspension selon les conditions du milieu, et, d'autre part, l'eau est le siège de phénomènes de dégradation biologique qui peuvent transformer des substances organiques en substances minérales (Rejsek, 2002).

a. Matières minérales

Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions et cations, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact. L'eau contient également des gaz dissous ayant une grande importance dans les phénomènes biologiques ainsi que chimiques comme par exemple la corrosion (Rejsek, 2002).

b. Matières organiques

Ce sont, par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se retrouvent dans l'eau. Elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et par l'action des microorganismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples (Rejsek, 2002).

c. Matières dissoutes

Ce sont les matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées. Elles obéissent à des équilibres de dissolution qui sont fonction de la température et de la pression, ce dernier facteur étant très important pour les gaz. Du fait de leur état dissous, ces molécules sont difficiles à éliminer de l'eau à traiter par les procédés physiques classiques, décantation et filtration. Si leur élimination est nécessaire, par exemple pour les nitrates, il faudra utiliser des méthodes chimiques ou biologiques (Rejsek, 2002).

d. Matières colloïdales

L'état colloïdal est un état intermédiaire entre l'état dissous et la suspension. Les matières colloïdales sont constituées d'éléments de petite taille chargés négativement, ce qui explique qu'ils se repoussent et se répartissent de façon dispersée et désordonnée dans la masse liquide. Aussi, leur élimination de l'eau à traiter est difficile car elles ne décantent pas de manière spontanée et sont peu retenues par les filtres. On devra utiliser des réactifs chimiques qui neutralisent les charges négatives superficielles et permettent leur agrégation. Cette étape est appelée coagulation-floculation ; elle est suivie par une décantation pour éliminer les colloïdes agrégés, nommés floccs, qui peuvent alors décanter (Rejsek, 2002).

e. Matières en suspension

Ce sont les particules solides dont la taille est supérieure à 10 μm , dispersées dans l'eau sans être chimiquement liées avec elle. De ce fait, leur élimination est assez simple car, si on fait reposer l'eau, elles décantent de manière spontanée et peuvent être retirées de l'eau par des procédés physiques simples (décantation, filtration) (Rejsek, 2002).

4. Ressources en eau en Algérie

L'Algérie est un pays semi-aride. Les 87 % des 2 381 000 Km^2 qui forment sa superficie correspondent à une zone désertique où les précipitations sont quasi nulles. C'est pourtant dans ce Sahara algérien, le désert le plus chaud et le plus aride de la planète, que « dorment » depuis des millions d'années d'importantes ressources en eaux souterraines. Un fabuleux château d'eau constitué de deux nappes dont les réserves théoriques sont évaluées à 60 000 milliards de m^3 (Rebah, 2000).

Ressources très faiblement renouvelables, théoriquement à peine 5 milliards de m^3 sont exploitables par an. Encore faut-il faire preuve de la prudence la plus extrême. Ce n'est pas le cas dans le nord du pays, au climat méditerranéen où les ressources en eau superficielles ou souterraines sont renouvelables, elles sont de l'ordre de 19 milliards de m^3 : 12 milliards de m^3 pour les eaux de surface et 7 milliards de m^3 pour les ressources souterraines. Mais là, les nappes phréatiques sont tarissables à long terme et les eaux de surfaces sont insuffisantes pour les besoins de la consommation domestique, de l'activité industrielle et de l'irrigation (Rebah, 2000).

- Dans le Sahara, les lits d'oueds recèlent quelques nappes phréatiques souvent saumâtre : Ghir, M'zab, Saoura, etc. sinon ce sont des nappes profondes, semi-fossiles ou fossiles, et qui sont très peu utilisées.
- Dans le nord d'Algérie l'apport principal vient du ruissellement, après précipitation. Le régime d'un oued est caractérisé par le fait que durant le mois, voire des années, le lit mal délimité est parcouru par un filet d'eau trompeur et que, tout-à-coup, et pendant un temps bref, il roule jusqu'à 5000 m^3/second provoquant une crue dévastatrice, en effet elles sont croissantes, d'Ouest en Est et affectent successivement les Monts de Tlemcen, le versant nord de l'Ouarsenis, le massif de la Kabylie, le nord Constantinois et enfin le massif des Aurès (Arrus, 1985).

4.1. Ressources en eau conventionnelles

4.1.1. Eaux de surface

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents, elles ont pour origine soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, soit les eaux de ruissellement, ces eaux se rassemblent en cours d'eaux, caractérisés par une surface de contact eau-

atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrage) caractérisées par une surface d'échange eau atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable. (Monod, 1989). On peut répartir les eaux de surface en trois catégories : eaux de rivière (partie amont), eaux de rivière (partie aval) et eaux de lac.

4.1.1.1.Eaux de rivière

On distingue deux types de rivières

4.1.1.1.1. Eaux de rivière (partie amont)

L'amont d'une rivière est en général situé dans une région montagneuse, où la densité de population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous

- a) Turbidité élevée. Le régime des rivières étant torrentiel, les eaux transportent de grandes quantités de matières en suspension.
- b) Contamination bactérienne faible. La pollution causée par l'homme ou l'industrialisation y est pratiquement inexistante.
- c) Température froide. Ces eaux proviennent soit de sources, soit de la fonte des neiges et des glaciers.
- d) Indice de couleur faible. Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre des matières végétales. Principales sources de couleur (Desjardins, 1997).

4.1.1.1.2. Eaux de rivière (partie aval)

L'aval d'une rivière est en général situé dans une région où la population est dense, l'agriculture développée et les industries plus ou moins nombreuses. Les eaux y sont donc habituellement de moins bonne qualité et plus difficile à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous.

- a) Contamination bactérienne élevée. Cette contamination est surtout imputable au déversement des égouts domestiques et agricoles.
- b) Contamination organique et inorganique élevée. Les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles contiennent de grandes quantités de matières organiques et inorganiques.
- c) Indice de couleur pouvant être élevée. Dans beaucoup de cas, les eaux ont eu le temps de dissoudre des matières végétales, qui les colorent (Desjardins, 1997).

4.1.2. Les réservoirs d'eaux superficielles

Selon Desjardins (1997), elles peuvent être naturelles (lacs), ou artificielles (barrages-réservoirs).

4.1.2.1. Lacs

Dans les lacs, la relative stagnation des eaux favorise le développement des algues, tout au moins dans la partie supérieure de la colonne d'eau, où pénètre la lumière. Si le lac est profond, il se produit une stratification verticale des eaux : la couche superficielle est réchauffée et réoxygénée par la surface et la photosynthèse ; en revanche, les eaux plus profondes reçoivent la matière organique morte qui sédimente, et l'oxygène y est rapidement consommé par les hétérotrophes (G. de Marsily, 2009).

4.1.2.2. Barrages-réservoirs

Les barrages sont souvent présentés comme une solution au manque d'eau. La mise en place d'un réservoir à même un cours d'eau, par la construction d'un barrage, permet de parer les soubresauts climatiques et ainsi d'améliorer sa qualité de vie. La majorité des quelque 48 000 grands barrages existants dans le monde ont d'ailleurs été érigés pour soutenir l'agriculture irriguée, comblant à la fois les besoins en eau et en nourriture (Nactil, 2008).

La capacité optimale d'un barrage-réservoir dépend, évidemment du volume de l'eau écoulee dans le cours d'eau en période de sécheresse et du volume de l'eau utilisée dans le même temps dans la région desservie (Vaillant, 1977).

4.1.3. Eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent 22 % des réserves d'eau douce soit environ 1000 milliards de m³. Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles se réunissent en nappes (Cardot, 2010).

La qualité des eaux souterraines peut être excellente, détériorée naturellement (turbidité épisodique et microorganismes, fer et manganèse, ammonium, arsenic, sélénium, fluor, dureté...), ou encore détériorée par des activités d'origine anthropique (nitrates, pesticides, solvants chlorés, additifs pétroliers ou autres micropolluants). Dans tous les cas, une désinfection chimique est pratiquée, le plus souvent par l'eau de javel, parfois par le chlore gazeux, voire plus rarement par dioxyde de chlore, soit enfin de filière, soit comme seule étape de traitement pour les eaux d'excellente qualité (Legube, 2015).

4.1.3.1. Nappes

La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine (figure N° 2).

- Une nappe peut être libre. Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue
- Une nappe peut être captive. Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle est généralement plus profonde.
- Un cas particulier est représenté par les nappes alluviales : ce sont les nappes situées dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de l'eau est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière (Monod, 1989).

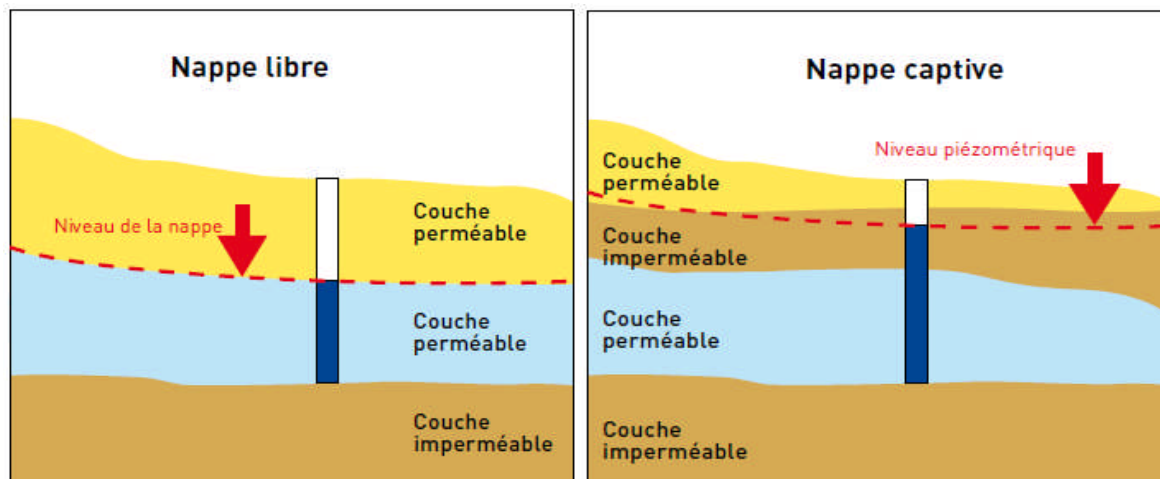


Figure N° 2 : Schéma de fonctionnement d'une nappe libre et une nappe captive (Bravard et al, 2005).

4.1.3.2. Puits

D'après Bouziani (2000), un puits est un procédé de captation des eaux d'une nappe phréatique de moyenne profondeur. On distingue deux types de puits :

4.1.3.2.1. Puits individuels

Ils sont habituellement creusés par piochage en évitant notamment la proximité des fosses septiques. Ils peuvent être maçonnés au fur et à mesure de leur avancement ou encore murillés par enfoncement de buses de ciment. Une variante existe : le puits tubulaire, c'est un tuyau en acier d'un diamètre de 4 à 10 cm, crépiné à son extrémité inférieure et que l'on enfonce directement dans le sol à l'aide d'un « mouton ». Ces puits présentent un meilleur isolement vis-à-vis des contaminations superficielles qui sont toujours à redouter. Le principal problème des puits individuels est qu'ils n'atteignent que la nappe phréatique, pratiquement toujours pollués (Vilaginès, 2003).

4.1.3.2.2. Puits collectifs

Ce sont des ouvrages industriels qui peuvent être à faible profondeur, situés dans les nappes alluviales et munis des pompes, ils peuvent avoir des débits considérables, de l'ordre de 3000 m³/jour. À grande profondeur, le puits perd son nom pour s'appeler forage, ces grandes profondeurs permettent

d'éviter au maximum les risques de pollution et de trouver des nappes ayant un débit suffisant (Vilaginès, 2003).

4.1.3.2.3. Sources

Les sources représentent l'émergence des eaux souterraines, elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses. On distingue trois types de sources :

- Les sources d'affleurement, pour lesquelles l'approvisionnement se fait sur un fond imperméable dans la vallée (au pied de la pente).
- Les sources d'émergence, ou artésiennes, elles sont alimentées par la couche inférieure de la nappe (ces sources sont plus susceptibles de tarissement).
- Les sources de déversement, elles naissent sur les pentes ou des grandes hauteurs (au-dessus du fond de la vallée).

Le débit d'une source artésienne est en principe uniforme et presque constant durant toute l'année, tandis que le rendement des autres types de sources dépend du niveau de la nappe, lequel fluctue selon les saisons (Bouziani, 2000).

4.2. Les ressources en eau non conventionnelles

4.2.1. Les eaux usées

Trois types d'eaux usées sont générés (figure N° 3) : les eaux des collectivités (qui viennent des maisons), les eaux pluviales (qui proviennent des précipitations sur les chaussées), et les eaux industrielles (produites par les industries).

a. Les eaux pluviales peuvent être collectées en même temps que les eaux usées (le système de collecte est dit « unitaire »). S'il existe des systèmes de collectes séparés on a un réseau « séparatif ».

b. Les eaux industrielles peuvent être traitées sur le site même avant d'être rejetées dans le milieu naturel, ou être raccordées à la collecte urbaine avec (ou pas) un prétraitement. (R. Moletta, 2011)

En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes qui constituent le principal danger sanitaire pour la REUT, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (Baumont et al, 2004).

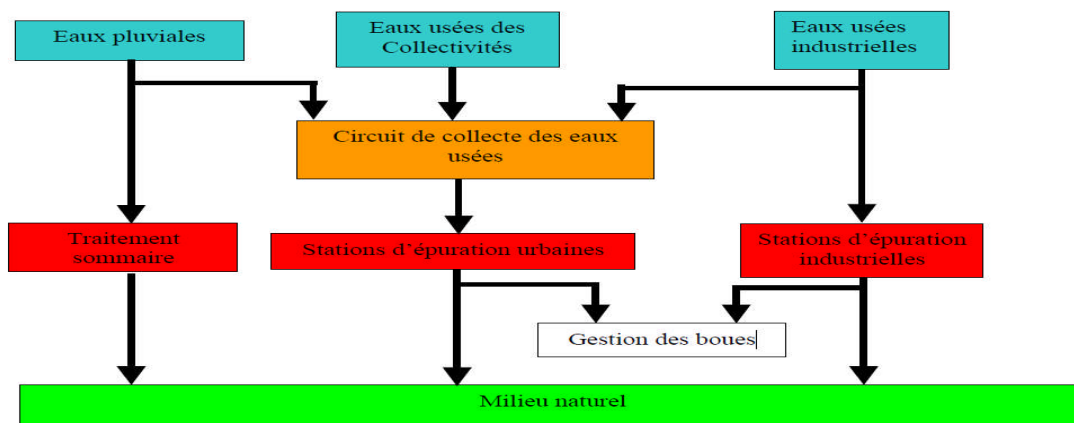


Figure N° 3 : Schéma du circuit des eaux usées (Moletta, 2011).

4.2.2 Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations de sels dessous ; c'est la salinité, elle varie de 33 000 à 37 000 mg/L.

Les données du tableau N° 2 révèlent que la salinité de l'eau n'est pas la même dans toutes les mers. Les salinités indiquées ici constituent des valeurs moyennes pour l'ensemble de chaque mer ou océan. (Desjardins, 1997).

Tableau N° 2 : salinité des principales eaux de mer.

Mer ou océan	Concentration (mg/L)
- Mer rouge	- 43 000
- Golf arabique	- 43 000
- Mer méditerranéenne	- 39 400
- Océan atlantique	- 36 000
- Océan indien	- 33 800
- Océan pacifique	- 33 000
- Mer adriatique	- 25 000
- Mer noire	- 13 000
- Mer baltique	- 7 000

(Desjardins, 1997).

5. Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines

Le tableau N° 3 ci-dessous montre les principales différences entre les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

Tableau N° 3 : Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines.

Caractéristiques	Eaux de surfaces	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleurs	Liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout en matières en solution (acides humiques par exemple)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en états d'eutrophisation	Généralement présents
CO ₂ agressif	Généralement absent	Généralement présent en grande quantité
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plus part du temps
H ₂ S	Généralement absent	Souvent présent
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Pau abondant en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton, (animal et végétal)	Ferrobactéries fréquentes
Solvants chlorés	Rarement présents	Souvent présents
Caractères eutrophe	Fréquent, accentué par les températures élevées	Non

(Monod, 1989).

6. Pollution des eaux naturelles

Le petit Larousse définit la pollution comme « une dégradation du milieu naturel par des substances chimiques, des déchets industriels ». On peut aussi présenter ainsi : « modification physico-chimique ou biologique d'un écosystème par l'introduction d'un élément extérieur qui crée des nuisances voir un danger pour le monde du vivant. » (Moletta, 2011).

Dans le cas le plus général, la pollution dont l'effluent est le vecteur sera donc constituée :

1. De matières dissoutes organiques ou minérales, biodégradables ou non, ionisées ou non, pouvant être toxiques ou inhibitrices pour la microflore et la faune du milieu récepteur,
2. De matières colloïdales ou émulsionnées (graisses, huiles solubles, etc...) ou même associées sous forme de films superficiels (hydrocarbures) ou de mousses (détergents),
3. Des substances en suspension plus ou moins spontanément décantables, minérales ou organiques, certaines pouvant être biodégradables,
4. D'une certaine enthalpie si l'on prend pour référence le milieu récepteur, dans le cas de pollution thermique (Roques, 1979).

6.1. Différents origines de pollution

Il existe plusieurs types de pollution comme :

6.1.1. Pollution domestique

Elle provient des habitations et elle est, en général, véhiculée par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. La pollution domestique se caractérise par la présence de germes fécaux, de fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux et des détergents (Gaujout, 1995). Elle peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau (Faurie et al, 2003).

6.1.2. Pollution physique

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en deux classes : thermique et radioactive (Botta et al, 2001).

6.1.2.1. Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...), ont une température de l'ordre de 70 à 80 °C. Elle diminue jusqu'à 40 à 45 °C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

En outre tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralenti la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces (Botta et al, 2001).

6.1.2.2. Pollution radioactive

Les éléments radioactifs sont relativement rares, les sources provenant des centrales nucléaires et des activités de retraitement, mais aussi en grande partie des eaux résiduaire des hôpitaux ou de certaines roches (radon dans les granits). Ces éléments sont très toxiques puisque les doses de radioactivité correspondent à de faibles nombres d'atomes/L. ils présentent deux propriétés spécifiques : ils se désintègrent au cours du temps et peuvent éventuellement rendre leur entourage radioactif (Atteia, 2005).

6.1.3. Pollution chimique

La pollution chimique est dus essentiellement aux rejets industriels qui apportent de grandes quantités de substances chimiques, perturbant ainsi l'équilibre de l'écosystème aquatique, certains de ces produits, entre autres les métaux lourds, sont non biodégradables et peuvent occasionner des intoxications chez l'homme (Arouya, 2011).

6.1.3.1 Pollution par les pesticides

Dernière source de pollution diffuse agricole, les pesticides posent eux aussi de nombreux problèmes. S'il survient un orage peu après l'application, on retrouve une part importante du produit dans l'eau de ruissellement. De plus, alors que, normalement, les produits appliqués sont aujourd'hui biodégradables et devraient totalement disparaître en quelques semaines ou quelques mois, force et de constater qu'une petite fraction de ces produits et de leurs métabolites de dégradation se trouve dans les nappes et les rivières (G. de Marsily, 2009).

6.1.3.2. Pollution par les métaux lourds

Les métaux se trouvent dans le milieu aquatique sous forme dissoute, colloïdale et particulaire. Parmi ces métaux, certains sont à des concentrations importantes de l'ordre de gramme par litre comme le sodium, le calcium et potassium. D'autre en revanche, à des concentrations beaucoup plus faibles de l'ordre de microgramme par litre, ce sont les éléments traces (Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Hg...) (Arouya, 2011).

6.1.4. Pollution biologique

Les polluants biologiques (bactéries, virus et protozoaires) proviennent essentiellement des excréments animaux ou humains. Leur nature vivante conduit à une toxicité potentielle même en

présence d'un seul germe par litre. En comparaison, le très toxique DDT n'a effet qu'à partir de plusieurs millions de molécules/l (Atteia 2005).

6.1.4.1 Maladies à transmission hydriques

Un peu partout dans le monde, les gens tombent malades. D'autres meurent, surtout les enfants, pour avoir fait confiance à la salubrité d'une eau ou d'un aliment. Parfois, il s'agit d'un simple manque d'hygiène, mais souvent c'est plutôt la dégradation de notre environnement qui en est la cause (Nactil, 2008).

a. Maladies d'origine bactérienne

Les maladies d'origine microbiologique sont les plus graves et constituent un risque à court terme. D'autres maladies sont liées à la carence ou à la surcharge en éléments ou à l'accumulation de micropolluants, et constituent un risque à moyen terme. Les microorganismes provoquant des maladies et véhiculés par l'eau sont nombreux et variés, ce sont : des bactéries, des parasites (protozoaires, vers) ou des virus. Les maladies virales sont mieux connues depuis ces dernières années à cause du développement des techniques d'isolement des virus sur cultures cellulaires (Roux, 1990).

b. Maladies d'origine virale

Considérant qu'une grande partie de l'eau utilisée pour l'alimentation humaine est obtenue à partir des eaux de surface, il est évident que les traitements appliqués à ces eaux devront être parfaitement fiable pour éviter une contamination virale de l'eau livrée à la consommation. Des efforts importants sont réalisés pour mettre en œuvre des techniques capables d'éliminer tous les microorganismes pathogènes (Schwartzbrod, et al, 1982).

c. Maladies d'origine parasitaire

Les parasites sont des organismes protozoaires eucaryotes, toujours unicellulaires et mobiles. Les amibes, les *Giardia* ou les *cryptosporidium* peuvent également affecter l'homme par l'intermédiaire de l'eau d'alimentation, provoquant des gastro-entérites et des dysenteries. (Jestin, 2010).

6.1.5. Pollution organique

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives (Botta, et al, 2001).

A blue graphic element resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a slight shadow effect. The text is centered on the horizontal strip.

Chapitre II

Traitement des eaux superficielles

La qualité des eaux, surtout des eaux superficielles, est telle qu'elle exige la plupart du temps un traitement plus ou moins complexe afin de rendre l'eau propre à l'alimentation. Dans toute cette étude, il s'agit de la désinfection, c'est-à-dire l'élimination des agents pathogènes des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exception des eaux minérales. Depuis que la relation germe pathogènes-eau a été établie, l'eau a été traitée : la désinfection par agent chimique s'est développée dès la fin du siècle dernier et reste le procédé le plus fréquemment utilisé (Cheval, 1982).

1. Traitement de potabilisation

Ce sont les eaux de surface destinées à la consommation domestique qui sont traitées par des procédés mécaniques, et chimiques dans le but de les rendre potables. Le traitement consiste à éliminer les matières solides en suspension et les germes pathologiques d'origine généralement bactérienne, et à corriger les qualités organoleptiques (saveur, odeur, couleur) des eaux brutes (Lamrous, 2012).

Les eaux prélevées contiennent des matières en suspension, des produits organiques ou minéraux, des micropolluants qu'il faut éliminer (Moletta, 2011). Le schéma de principe du traitement est indiqué sur la figure N° 4 :

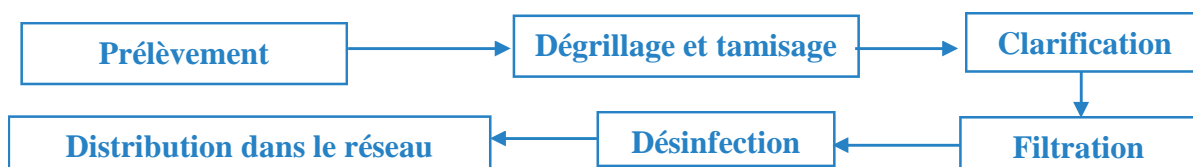


Figure N° 4 : Schéma de principe de traitement d'une eau potable (R. Moletta, 2011).

1.1 Prétraitement

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs (Monod, 1989) :

1.1.1 Dégrossissage

1.1.1.1 Dégrillage

Consiste à retenir les gros déchets solides au moyen de grilles à barreaux verticaux dont l'écartement varie entre 3 et 100 mm en fonction de l'efficacité voulue. Sont ainsi éliminés les bois, plastiques, papiers, bouteilles, feuilles qui sont susceptibles de provoquer des dégâts aux conduites et machines des différentes unités de l'installation (Monod, 1989).

1.1.1.2. Macrotamisage

Le macrotamisage (mailles supérieures à 0,3 mm) est destiné à retenir certaines matières en suspension, flottantes ou semi-flottantes, débris végétaux ou animaux, insectes, brindilles, algues, herbes, etc. de dimensions comprises entre 0,2 mm et quelques millimètres.

Les appareils de macrotamissage utilisables en prétraitement peuvent être classés en :

- Appareils installés au fil de l'eau, à faible perte de charge : macrotamis rotatifs, tamis fixes raclés et grilles continues à chaîne filtrante auto-nettoyante,
- Appareils nécessairement alimentés par pompage : tamis auto-nettoyants statiques ou rotatifs, filtres mécaniques (Laurent, 1994).

1.1.1.3 Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de perturber les stades de traitement suivants. Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 μm , une granulométrie inférieure est en général du ressort du débouillage ou de la décantation (Monod, 1989).

1.1.1.4 Microtamisage

Le microtamisage (mailles inférieures à 100 microns) réalise les séparations des matières en suspension de très petites dimensions et peut être considéré suivant les cas, comme un traitement partiel ou total (Laurent, 1994).

1.1.1.5 Dégraissage et déshuilage

En effet, ces deux opérations sont réalisées ensemble bien que correspondant à deux phénomènes physiques différents. Le déshuilage correspond à une opération de séparation liquide-liquide, le dégraissage correspond à une opération de séparation solide-liquide (À condition que la température de l'eau soit suffisamment basse pour permettre le figeage des graisses) (Laurent, 1994).

1.1.2. Aération

En prétraitement, l'aération est utilisée pour éliminer les gaz indésirables de l'eau, à savoir le gaz carbonique et l'hydrogène sulfuré qui sont tous deux corrosifs. L'aération intervient également dans l'élimination de fer, du manganèse combinée dans ce cas avec un traitement chimique. (Duvivier, 2006).

1.1.3. Préchloration

Il s'agit d'une chloration à l'hypochlorite de sodium. Les eaux, qu'elles aient subi ou non un traitement préalable, et même si elles sont parfaitement limpides, se trouvent contaminées par des microbes qui peuvent être dangereux pour l'homme. Le chlore, par sa grande efficacité à très faible dose et par sa facilité d'emploi, est le réactif le plus utilisé pour assurer la stérilisation de l'eau (Hydranet, site internet).

1.2 Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique fait appel à des procédés physiques naturels, filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physico-chimiques, tels que la coagulation-floculation.

1.2.1 Clarification

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les MES d'une eau brute ainsi que les polluants (organiques et minéraux) associés à ces MES par adsorption, formation de complexes (Beadry, 1984).

1.2.1.1. Coagulation-floculation

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années. La coagulation consiste à les déstabiliser, il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration (Cardot, 2010).

L'adjonction d'un coagulant à une eau permet :

- l'annulation du potentiel électrostatique des particules : c'est la coagulation totale des colloïdes qui peuvent ensuite flocculer ;
- la Co-précipitation de certaines MO ;
- l'adsorption de certaines MO et de la couleur sur le floc formé.
- Compte tenu de la qualité de l'eau brute dont on dispose, la quantité de coagulant à utiliser peut être importante : il est donc nécessaire d'éliminer la majeure partie de ce floc, lors d'une étape de séparation (par décantation ou flottation) avant filtration. En effet, la capacité de rétention d'hydroxyde par un filtre est limitée, et si l'on cherchait à filtrer l'eau directement sans opération préliminaire, le filtre serait trop rapidement colmaté, entraînant des lavages fréquents, d'où une perte d'eau intolérable économiquement, voire techniquement (Beadry, 1984).

1.2.1.2. Décantation

Les performances de la décantation peuvent être améliorées en cas des eaux potables par l'ajout des produits chimiques (sulfate d'alumine, chlorure ferrique...) qui neutralisent les particules chargées, en augmentant ainsi la probabilité de collision entre les particules (coagulation floculation), ainsi que la formation des floccs par la suite facilement décantables. Cette étape permet d'éliminer 90 % des matières colloïdales (Aussel, et al, 2004).

1.2.1.3. Flottation

La flottation a pour but de faire flotter en surface de l'eau les particules à l'aide de bulles d'air. Elle joue un rôle important en minéralurgie pour extraire les minerais, mais elle est aussi utilisée dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées. De manière analogue à la sédimentation, toutes les particules ayant une masse volumique inférieure à celle de l'eau peuvent être séparées par flottation. Mais en fixant des bulles d'air sur des particules plus lourdes que l'eau, celles-ci peuvent aussi flotter (Sigg, et al, 2000).

1.2.1.4. Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide / liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (le plus courant est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brut e ou l'eau prétraité e (floculée et décantée À mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elles se déposent et absorbent les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement (Kemmer, 1984).

1.2.2. Désinfection

Le but de la désinfection est d'éliminer tous micro-organismes pathogènes présents dans l'eau et maintenir le chlore résiduel dans les conduites afin d'empêcher le développement de maladies hydriques (Mouchet, 1991). Divers agents désinfectants peuvent être utilisés tels que le chlore et ses dérivées, l'ozone, les rayons ultra-violets (Desjardins, 1997).

La désinfection se fait soit par :

a. Chlore et dérivés

En 1774, Carl Scheele faisant réagir de l'HCl sur du bioxyde de manganèse (MnO_4) a découvert le dichlore. Davy (1778- 1829), chimiste anglais démontra la nature élémentaire de ce gaz et l'appela Chlorine. En 1787, Berthollet observa que ce gaz se dissout dans la potasse en donnant une solution douée de propriétés blanchissantes. A Javel, village près de Paris, une usine chimique, la compagnie de Javel, utilisa de la soude à la place de la potasse : l'eau de javel à base d'hypochlorite de sodium était née. Balard (1802- 1876) découvrit l'acide hypochloreux noté $OHCl$ qui se présente sous forme de gaz dissous dans l'eau. La place de l'élément chlore n'a jamais diminué depuis cette époque (Cardot, 2010).

b. Dioxyde de chlore

D'après Jestin (2010), le dioxyde de chlore ou bioxyde de chlore (ClO_2) est un oxydant puissant. Il agit plus rapidement que le chlore sur les matières oxydables et son efficacité décolorante est supérieure. Il ne réagit pas avec l'ammoniaque et ne permet donc pas de l'éliminer. Sa mise en œuvre est délicate : c'est un gaz très toxique qui doit être fabriqué sur place. On le prépare en faisant

réagir de l'acide chlorhydrique (HCl) ou du chlore (Cl₂) sur du chlorite de sodium (NaClO₂) selon les réactions suivantes :



c. Ozone

L'Ozone O₃ est un gaz fortement oxydant, très odorant et à effet bactéricide. Pour le traitement de l'eau, on le produit toujours directement là où il sera employé car il est instable dans le temps (Gillis, 1998). Il améliore la qualité organoleptique de l'eau (goût et odeur), élimine la couleur due au fer, au manganèse et aux matières humiques, oxyde les molécules organiques à longues chaînes, les rendant plus facilement biodégradables (matières organiques, pesticides) et élimine les algues (lutte contre les salissures). À faible dose, il améliore le rendement de la clarification. En revanche, il ne réagit pas avec l'ammoniaque et ne permet donc pas de l'éliminer (Jestin, 2010).

d. Ultraviolet

La lumière ultraviolette (UV) est une forme de lumière invisible pour l'œil humain. Elle occupe la partie du spectre électromagnétique comprise entre les rayons X et la lumière visible. Le soleil émet de la lumière ultraviolette. Contrairement aux méthodes de désinfection de l'eau par les produits chimiques, la lumière UV inactive rapidement et efficacement les micro-organismes par un processus physique (R.I.E.V.R, 2010).

1.2.3. Traitement de neutralisation

Ce procédé repose sur la mise en contact d'un matériau au travers duquel percole l'eau à traiter, à l'intérieur d'un réacteur ouvert ou fermé. L'eau à traiter, au contact du calcaire, le dissout pour neutraliser le CO₂ agressif de l'eau brute. Il s'ensuit une consommation du matériau au fur et à mesure du temps. Selon la teneur en CO₂, la reminéralisation d'une eau trop douce peut être nécessaire avant neutralisation et atteinte de l'équilibre calco-carbonique (Jestin, 2010).

1.2.4. Traitement de reminéralisation

La reminéralisation concerne les eaux douces peu minéralisées mais non agressives, les objectifs recherchés peuvent donc être d'ordre qualitatif – améliorer la qualité organoleptique et sanitaire de l'eau par « ajout » de sels minéraux – ou technique – la reminéralisation en tête de traitements des eaux douces superficielles permet d'ajuster le pH de la coagulation-floculation et d'améliorer l'efficacité de cette étape (Jestin, 2010).

1.2.5. Traitement d'adoucissement

Consiste à faire passer l'eau à traiter sur une résine échangeuse d'ions. Les ions sodium de la résine sont remplacés par les ions calcium et magnésium de l'eau. Ce type de traitement conduit à une

libération d'ions sodium et à une diminution de la dureté de l'eau (une baisse de dureté de 1 °F correspond à la libération de 4,6 mg/l de sodium) (Jestin, 2010).

1.3. Traitements secondaire

Le traitement secondaire (traitement biologique) conduit à un abattement supérieur à celui qui est observé au cours du traitement primaire et variable d'un micro-organisme à l'autre (Anses, 2012). L'utilité des traitements biologiques est essentiellement de réaliser l'élimination des composés organiques oxydables et de l'azote ammoniacal. Certains procédés particuliers permettent également l'élimination de l'azote nitrique et même du phosphore (Laurent, 1994).

1.3.1 Élimination de l'azote

L'élément azote existe principalement sous forme ionique, à savoir NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- . L'ion NH_4^+ fait partie des paramètres indicateurs du fonctionnement des installations et sa concentration maximale est de 0,1 mg.l⁻¹. Les ions NO_2^- et NO_3^- , limites de qualité, présente une teneur maximale respectivement de 50 à 0,5 mg.l⁻¹, et doivent respecter le ratio ($\frac{\text{NO}_3^-}{50} + \frac{\text{NO}_2^-}{3} < 1$) (Cardot, 2010).

1.3.2 Élimination du fer et de manganèse

Le principe est le même que pour l'élimination du fer, et le manganèse s'élimine généralement en même temps que le fer, notons cependant qu'il nécessite un Ph un peu plus élevé et une aération plus longue. Le manganèse doit être éliminé compte tenu de la très faible solubilité de l'oxyde de manganèse (MnO_2), qui se forme lentement et spontanément dans une eau contenant de l'oxygène dissous (Duvivier, 2006).

1.4. Traitements spécifiques

L'eau doit subir ce traitement, même si elle provient d'un réseau de distribution publique.

a. Échange d'ions

C'est un processus réversible d'échange de cations et d'anions entre phase solide et phase liquide ou entre les phases solides présentant un contact étroit. Il s'agit d'un procédé par lequel, une substance insoluble attire un ion positif ou un ion négatif d'une solution et rejette un autre ion de même signe (Desjardins, 1990).

b. Adsorption sur charbon actif

Le CA fait partie d'une gamme de substances présentant une très grande porosité et une surface spécifique importante de l'ordre de 500 à 1500 m² gramme de charbon. Ces qualités confèrent au charbon actif un grand pouvoir d'adsorption. Ce processus physico-chimique est utilisé dans les filières d'eau potable pour fixer les substances impossibles à éliminer par un traitement classique. Les composés retenus sont les adsorbats et le charbon l'adsorbant.

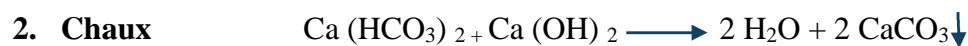
c. Décarbonatation

La décarbonatation consiste à précipiter le carbonate de calcium (Ca CO_3) par voie chimique et l'éliminer par décantation. Les décanteurs utilisés sont du même type que ceux mis en œuvre pour la clarification des eaux de surface. Les réactifs les plus utilisés sont :

1. Soude (NaOH)



La dureté carbonatée, la dureté non carbonatée (calcium lié aux chlorures et aux sulfates) et l'alcalinité diminuent (Jestin, 2010).



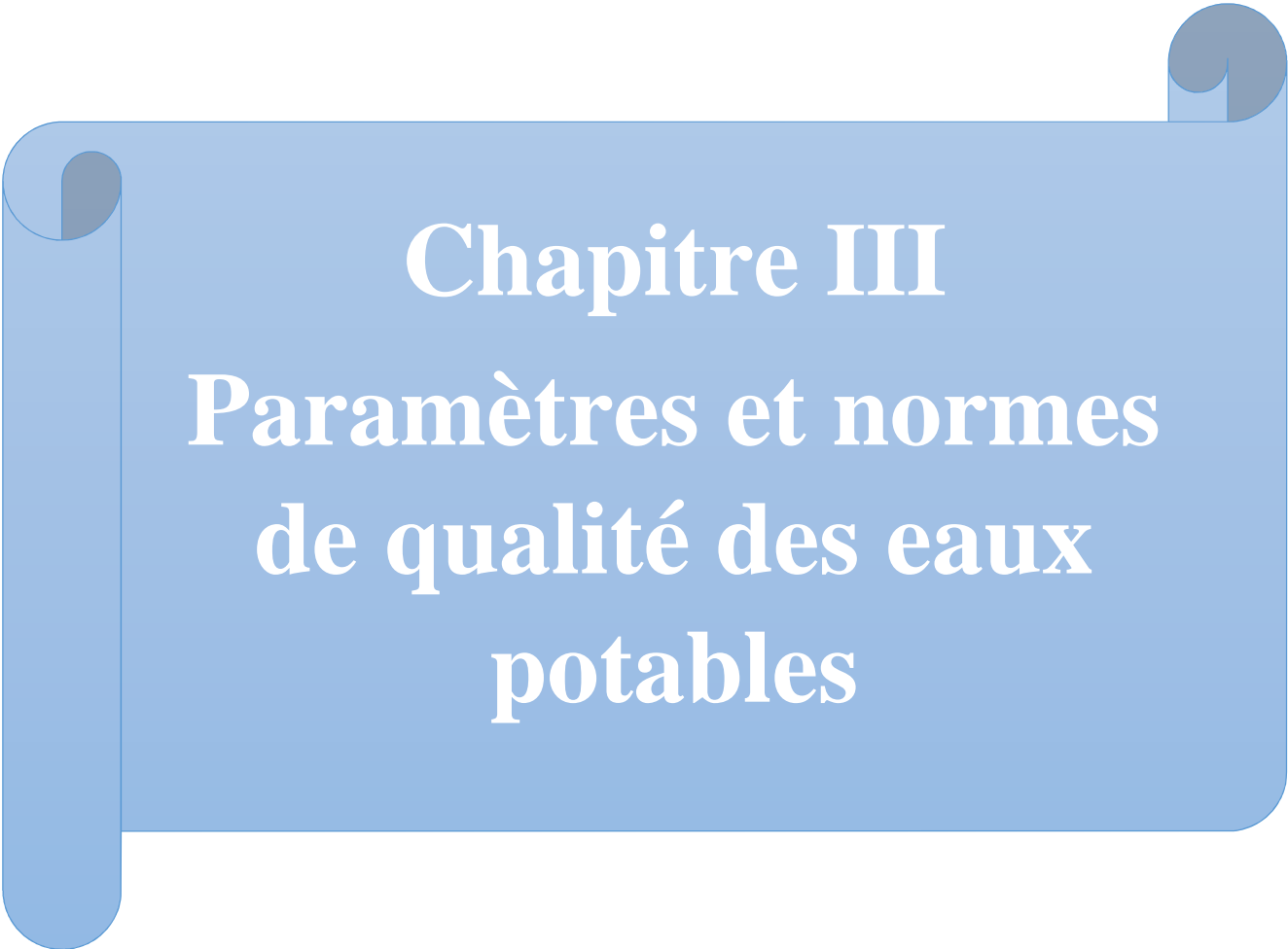
La dureté carbonatée et l'alcalinité de l'eau diminuent. Par contre, la dureté non carbonatée est peu affectée. S'il est nécessaire d'éliminer également cette dureté non carbonatée, il faut adoucir l'eau par voie calco-sodique. Il est généralement nécessaire de corriger le pH de l'eau après décarbonatation, au moyen d'une injection d'acide sulfurique ou chlorhydrique, pour la mettre à l'équilibre calco-carbonique, la décarbonatation catalytique utilise les grains de sables (micro-sables « germes de cristallisation ») pour favoriser la cristallisation du carbonate de calcium, qui se présente sous forme de billes (Jestin, 2010).

1.5. Techniques membranaires

En 1780, l'abbé Nollet mit au point les premières membranes à dialyse. Plus récemment, l'osmose inverse prit son envol dans les années cinquante. Les limites des traitements conventionnels en termes de turbidité, de bactériologie, de goût et de sous-produits de désinfection sont atteintes. Comparativement, les procédés membranaires ont une efficacité exceptionnelle vis-à-vis de ces paramètres (Cardot, 2010).

1.6. Fluorures et défluorurations

Les fluorures font partie des substances indésirables présentes dans certaines eaux destinées à la consommation humaine. Ce classement est lié aux effets toxiques observés lorsque la dose journalière en fluor absorbée par l'homme est trop faible ou trop élevée (Hichour, 1990). La fluoration de l'eau potable est reconnue par la communauté scientifique internationale, dont l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), comme l'un des moyens les plus sécuritaires, efficaces, économiques et équitables pour réduire la carie dentaire (OMS, 2003).

A blue graphic element resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a slight shadow effect. The text is centered within the horizontal strip.

Chapitre III

Paramètres et normes de qualité des eaux potables

La qualité de l'eau de distribution publique repose sur une liste de paramètres établie par des comités d'experts internationaux pour confirmer son innocuité. Ces normes fixées au niveau européen, inspirées des recommandations de l'OMS, et transcrites dans le droit français comportent des paramètres considérés comme des limites de qualité et d'autres comme des références de qualité (Pierre, et al, 2011).

1. Les paramètres de la qualité de l'eau

1.1 Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques (couleur, odeur, saveur), sont des paramètres de confort qui n'ont généralement pas d'incidence directe sur la santé. Une eau peut être trouble, colorée, sentir le chlore et être consommable sans danger. Mais, cette dégradation de la qualité est souvent la cause première d'insatisfaction et de perte de confiance des consommateurs par rapport à l'eau distribuée (Bordet, 2007).

1.1.1 Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire, passant à travers un filtre de porosité égale à 0,45 µm. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes quand les substances sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faibles turbidité (Rodier, et al, 2009).

1.1.2 Odeur et goût

Le goût peut être défini comme étant l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche, et la propriété des produits provoquant ces sensations. L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles, la qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances (Rodier, et al, 2009).

1.1.3 Turbidité

Une eau turbide est une eau trouble. Cet aspect trouble correspond à la présence de matières en suspension dans l'eau. Les origines sont diverses : pollution de la ressource (par exemple par des inondations) ou corrosion dans les réseaux. Les matières en suspension sont d'origine minérale, organique et microbiologique. On y trouve des argiles, limons, sables, microparticules, micro-organismes (Bordet, 2007).

Tableau N° 4 : Classes de turbidité (NTU : Néphélométric turbidity unit).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

(Bordet, 2007).

Les auteurs expliquent que l'apparition de goûts et odeurs dans les réseaux exige plusieurs circonstances :

- La présence de carbone organique assimilable (COA.) en forte concentration (qu'ils ne précisent pas) ;
- Une température élevée ;
- Une faible vitesse de circulation de l'eau ;
- Un temps de séjour supérieur à 48 heures (ce temps de séjour important peut être dû à une stagnation ou un ralentissement localisée de l'eau) (Haslay, et al, 1993).

1.2 les paramètres physicochimiques

1.2.1 Température

La température fait partie des facteurs importants de la vie d'un cours d'eau. Une élévation de température s'accompagne généralement d'une modification de la densité, d'une réduction de la viscosité et d'une diminution de la solubilité des gaz (oxygène). C'est pour cette raison que la mesure de ce paramètre révèle un intérêt considérable pour l'évaluation de la qualité des eaux (Arouya, 2011).

1.2.2 Matières en suspension

Des particules peuvent être d'origine minérale ou organique. Les particules minérales sont généralement inertes du point de vue chimique. Elles augmentent la turbidité de l'eau et font donc obstacle aux phénomènes de réoxygénation dans le milieu naturel. Les particules organiques présentent une certaine DCO et souvent une DBO₅. Dans les zones à faible vitesse d'écoulement du milieu naturel elles ont tendance à sédimenter et donner lieu à des fermentations anaérobies. Lors des hautes eaux leur remise en suspension est génératrice de brusques déficits en oxygènes pouvant avoir des répercussions sur la faune aquatique (Roques, 1979).

1.2.3 Conductivité

La conductivité électrique est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparés l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (Rodier, et al, 2009).

1.2.4 pH

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25 °C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eau acide) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (IBGE, 2005).

1.2.5 Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H^+) qui est du à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}), et hydroxyde (OH^-). La norme ISO 9963 définit différents types d'alcalinité :

- **Alcalinité au virage du rouge de méthyle** (ou de l'orange de méthyle) : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4,5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet (TAC) ;
- **Alcalinité au point de virage de phénolphtaléine** (alcalinité composite) : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Par définition, cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8,3. L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique (TA) (Rejsek, 2002).

1.2.6 Équilibre calcocarbonique

En pratique, on cherche à obtenir un léger dépôt de carbonate de calcium appelé « couche de Tillmans », qui permet d'éviter – dans les réseaux de distribution – les interactions entre l'eau et les matériaux des canalisations, qui peuvent être à l'origine de contaminations par des matériaux (fer et plomb notamment). Lorsque la composition de l'eau permet d'amorcer ce léger dépôt de carbonate de calcium ($CaCO_3$), on dit que l'eau a atteint l'équilibre calco-carbonique (Jestin, 2010).

1.2.7 La dureté (titre hydrotimétrique)

Les eaux lorsqu'elles contiennent des sels de calcium et de magnésium, sont dites dures : il en résulte des propriétés gênantes : possibilité de former des dépôts durs par chauffage de l'eau, gêne dans les opérations de lavage utilisant des savons par précipitations des savons métalliques insolubles, etc... (Duvivier, 2006). La dureté de l'eau se mesure en fonction de sa teneur en calcaire et en magnésium. La dureté ne fait pas l'objet d'une norme, mais elle se mesure en « degrés français » (Lagardette, 2004).

1.3 Minéralisation globale

1.3.1 Chlorure

Les chlorures présents dans l'eau potable proviennent des eaux usées et des effluents industriels. La principale source d'exposition humaine au chlorure est l'ajout de sels aux aliments. L'apport de cette source est généralement supérieur à celui de l'eau de boisson. Les concentrations excessives de chlorure augmentent le taux de corrosion des métaux dans le système de distribution, cela peut conduire à une augmentation des concentrations de métaux dans les systèmes d'alimentation en eau potable (OMS, 2003).

1.3.2 Sodium

Ce métal, très abondant ne se rencontre pas naturellement à l'état natifs mais toujours associé à d'autres éléments chimiques (comme le chlorure de sodium NaCl). Le sodium est ingéré quotidiennement par l'eau et les aliments qui en représentent la principale source (Savary, 2010).

1.3.3 Calcium

Le calcium élément essentiel de la dureté de l'eau, est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Ses sels se rencontrent dans presque toutes les eaux naturelles (Savary, 2010). Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (Rodier, et al, 2009).

1.3.4 Sulfate

Les ions sulfates sont utilisés principalement dans l'industrie chimique, ils sont rejetés dans l'eau à travers les déchets industriels. Cependant, les niveaux les plus élevés se produisent habituellement dans les eaux souterraines et proviennent de sources naturelles. En général, l'apport quotidien moyen de sulfate de l'eau potable, de l'air et de la nourriture étant la principale source. Toutefois, dans les zones où l'approvisionnement en eau potable contenant les niveaux élevés de sulfate, l'eau potable peut constituer la principale source de consommation (OMS, 2003).

1.4 paramètres bactériologiques

La surveillance de la qualité bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine repose sur la recherche des bactéries, indicatrices de contamination fécale, celle-ci constituant les paramètres microbiologiques impératifs rattachée à la limite de qualité de ces eaux, fixées par la réglementation (Camille, et al, 2010).

1.4.1 Les germes anaérobies revivifiables

Les micro-organismes revivifiables, et plus précisément les bactéries revivifiables, ne sont pas des germes indicateurs de contamination fécale ; cependant ils sont recherchés dans certaines eaux à 22 °C et à 37 °C, car ils peuvent parfois exprimer un risque de contamination microbienne au-delà d'un certain seuil. Ils sont encore appelés « germes totaux ou flore totale » (Camille, et al, 2010). Dans les usines de potabilisation, il permet de contrôler l'efficacité des différentes étapes de traitement et en particulier de la filtration, qui pour des raisons techniques fournis des résultats variables (performances moindres après le nettoyage) (Jestin, 2010).

1.4.2 Les coliformes

La définition suivante a été adoptée par l'Organisation Internationale de Standardisation (ISO). Le terme « coliforme » correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, gram négatifs, oxydase négatifs, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaries ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires, et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à 37 °C. Le dénombrement de ces organismes à 35-37 °C est souvent désigné sous l'expression de « dénombrement des coliformes totaux » (Rodier, et al, 2009).

1.4.3 Streptocoques fécaux

D'après Haslay et al, (1993) la classification générale des streptocoques a été considérablement modifiée, au cours de ces dernières années. Ils se répartissent en deux genres *streptococcus* et *entérocooccus*. La plupart des espèces appartiennent au genre *entérocooccus*. Leur recherche dans le milieu hydrique présente un intérêt certain, car leur comportement diffère nettement de celui des coliformes. Leur caractère des bacilles Gram + leur confère une bonne résistance dans les milieux hydriques (eaux douces et marines), ce qui permettrait la mise en évidence de pollutions plus anciennes (Jestin, 2010).

1.4.4 Clostridium sulfito-réducteurs

La recherche des bactéries anaérobies sulfito-réductrices, ou des clostridium sulfito-réducteurs, ou encore de clostridium perfringens, est habituellement prise en compte dans les réglementations destinées à garantir la qualité des eaux d'alimentation. Tous ces germes ont un point commun, celui de réduire le sulfite de sodium en sulfure. Cette propriété est mise à profit, dans les milieux de culture solides préparés à cet effet, en présence de sels de fer, les bactéries qui réduisent le sulfite de sodium produiront des colonies entourées d'un halo noir dû à la formation de sulfure de fer (Haslay, et al, 1993).

1.5 Paramètres indésirables

1.5.1 Fer

Ainsi le fer est présent sous forme de Fe^{2+} dissous. Lorsque ces sols sont mis en culture ils sont généralement drainés afin de limiter la saturation en eau. Dans les drains, l'eau est en contact avec l'atmosphère et donc de l'oxygène. Le fer va donc peu à peu s'oxyder le long du parcours de l'eau. Cette oxydation va conduire à du fer particulaire, souvent sous forme de d'hydroxyde amorphe. Dans le cas des tourbières (voir le tableau N° 5), la présence de matières organique en concentration élevée conduit aussi à une complexation de quantité non négligeable de fer^{II} et de fer^{III} avec la matière organique (Atteia, 2005).

Tableau N° 5 : Évolution de la chimie des eaux et du pourcentage de fer particulaire dans des eaux de drainage de tourbières évoluées.

Les eaux	pH	conductivité μs/cm	O ₂ %	COT (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe (μg/l)	Fe part %
tourbes	4,2	42	0	60,7	5,2	0,08	170	7
Drain	6,4	124	48	31	31	0,4	902	22
Rivière	7,6	646	86	9,6	121	4,7	428	70

(Atteia, 2005).

1.5.2 Aluminium

Très abondant dans l'écorce terrestre (8 % de sa masse), l'aluminium est peu présent dans les eaux, car très peu soluble. Dans les eaux traitées, sa présence est principalement due aux coagulants, tel que le sulfate d'aluminium, utilisé pour la clarification des eaux de surface. En effet des dépôts de coagulants dans le réseau de distribution peuvent se produire, si le pH de la coagulation ou le dosage des sels d'aluminium sont mal ajusté, ou encore si l'étape de la filtration sur sable présente un dysfonctionnement (Jestin, 2010).

1.5.3 Cuivre

Le cuivre est un métal très courant car il est utilisé dans de nombreuses applications industrielles et dans la vie courante. Dans l'environnement, il est épandu en grande quantité comme fongicide (bouillie bordelaise ou autres produits dérivés), et il est présent aussi généralement autour des sites sidérurgiques ou d'activités métallurgiques. Les sites d'électrolyses sont aussi des grands consommateurs de cuivre (Atteia, 2005).

1.5.4 Manganèse

Le manganèse n'est pas un polluant majeur et son ingestion ne présente pas de danger pour l'homme. Cependant, il est nécessaire de limiter sa concentration dans les eaux de consommation, car

il influence la qualité organoleptique de l'eau (aspect, couleur, goût métallique) et peut être à l'origine du développement de micro-organismes initiant des phénomènes de corrosion (Jestin, 2010).

1.5.5 Zinc

Le Zinc est un oligo-élément qui intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques et joue un rôle important dans le métabolisme des protéines, des glucides et des lipides. La carence en zinc peut entraîner un retard de croissance, des anomalies de la maturation sexuelle, des troubles du goût, des problèmes immunitaires, des problèmes de peau et cicatrisation (Chappuis, 1991).

1.6 Paramètres de toxicité

De nombreux métaux sont mis en évidence dans l'eau, généralement à l'état de trace (de l'ordre de quelques μg) : plomb, cadmium, mercure, zinc, nickel, chrome, cobalt, etc. ce sont des éléments de la croûte terrestre. Leur concentration dans l'eau dépend essentiellement de leur solubilité. Certains d'entre eux sont toxiques. Aussi, la réglementation en limite la concentration dans les eaux brutes et en distribution (Jestin, 2010).

1.6.1 Arsenic

Il est généralement présent à concentration faible dans les eaux de surface, exceptionnellement, certaines eaux d'Amérique latine ou du Pacifique occidental contiennent des teneurs élevées atteignant ou dépassant 1 mg/l. On leur a associé des intoxications humaines endémiques caractérisées essentiellement par une mélanodermie du pied et une sclérose de membres inférieurs. En outre, cet élément est capable de s'accumuler dans des organismes marins comme les crevettes et les palourdes qui peuvent en contenir jusqu'à 100 mg/kg (Vilaginès, 2003).

1.6.2 Cadmium

Le cadmium est un des métaux les plus toxiques, il n'a aucun effet bénéfique connu. Ce métal est présent en concentration de plusieurs dizaines de ppm dans les phosphates et dans certains calcaires, il peut aussi être trouvé dans des schistes bitumineux ou des argiles. L'usage industriel du cadmium est assez limité. Dans certains cas les « contaminations » d'origine naturelle peuvent aussi conduire à un certain risque (Atteia, 2005).

1.6.3 Mercure

Le mercure est élément très rare dans la croûte terrestre. Son cycle est perturbé par les activités humaines (Sigg, et al, 2000). Le mercure peut se trouver dans l'eau, fixé sur les matières en suspension et (ou) à l'état dissous, sous forme de composés organiques et (ou) à l'état minéral. Le cas échéant, il pourra être nécessaire de procéder à une filtration avant minéralisation (Rodier, et al, 2009).

1.6.4 Plomb

La norme de potabilité pour le plomb était, jusqu'en 2003, de 50 µg/l. La France a introduit en décembre 2001 une nouvelle norme, imposée par l'Europe, qui est 25 µg/l de décembre 2003 à décembre 2013, puis de 10 µg/l au-delà. Cette norme est destinée à réduire l'exposition au plomb, en particulier pour les jeunes enfants et les femmes enceintes (De Marsily, 2009).

1.6.5 Chrome

Dans les eaux de surface et les eaux potables, la répartition du Chrome sous ses différentes valences est encore imparfaitement élucidée. En fonction des problèmes techniques, de la réglementation ou des risques toxicologiques, il conviendra de choisir la méthode la plus adaptée au problème posé. Le Chrome hexavalent sera susceptible d'être individualiser par spectrométrie d'absorption moléculaire ou par spectrométrie d'émission à l'aide d'un générateur inductif de plasma (Rodier, et al, 2009).

1.7 Paramètres de pollution organique

1.7.1 Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques par les micro-organismes du milieu, mesurée par la consommation d'oxygène à 20 °C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé (voir le tableau N° 6), temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées (Rodier, et al, 1996). Les substances consommant de l'oxygène sont notamment : carbone organique, ammoniac, nitrites, acide sulfhydrique et d'autres composés réduits – en majeure partie des substances facilement dégradables (OFEV, 2010).

Tableau N° 6 : Échelle de valeurs de DBO₅.

Situation	DBO ₅ (mg/l d'O ₂)
Eau naturelle pure et vive	< 1
Rivière légèrement polluée	1 < C < 3
Égout	100 < C < 400
Rejets station d'épuration efficace	20 < C < 40

(OFEV, 2010).

1.7.2 Demande chimique en oxygène (DCO)

C'est une méthode qui consiste à mesurer la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement et totalement les matières de l'effluent. La matière organique sera transformée en gaz carbonique (CO₂) et en eau (H₂O) d'après la norme NF-T-90-101 (Moletta, 2011).

1.7.3 Azote ammoniacal

L'ammoniac est un gaz, qui dissous dans l'eau, produit des solutions alcalines. Il est formé par la décomposition des matières organiques et on sent sa présence à proximité des installations sanitaires mal conçues. En se combinant avec d'autres gaz, il forme rapidement des sels qui se déposent sur les surfaces, ce qui peut changer les conditions d'acidité locales. Il n'est par conséquent pas susceptible de parcourir de longues distances dans son état primitif (UNESCO, 1988).

1.7.4 Nitrites

Les nitrites sont ré pondus dans les sols, dans les eaux et dans plantes, mais en quantité relativement faibles. Les nitrites non liées à une pollution, se trouvent parfois dans les eaux pauvres en oxygène. Leur présence a également été signalée dans les eaux de pluie et dans celles provenant de la fonte des neiges. En effet, la pollution atmosphérique favorise l'augmentation de la teneur en nitrate (Savary, 2010). Les nitrites sont présents dans les eaux de surface à raison de 0,03 à 1 mg/l, leur valeur doit être inférieur à 0,1 mg/L en sortie des installations de traitement, la limite de qualité est de 0,5 mg/l (Jestin, 2010).

1.7.5 Nitrates

Les nitrates constituent le stade final d'oxydation d'azote organique. Les nitrates sont très ré pondus dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Ils se retrouvent naturellement en faibles concentrations dans les eaux superficielles et souterraines. Les nitrates sont employés dans la fabrication des explosifs, dans l'industrie chimique comme oxydant et comme conservateurs dans les denrées alimentaires (Savary, 2010).

1.7.6 Matière organique

La matière organique est présente dans l'eau sous forme particulaire (solide) ou dissoute. La forme particulaire, constitue une partie des MES, la forme dissoute, est en général directement accessible aux bactéries qui la dégradent. La matière organique est principalement composée d'atome de carbone, auxquels sont associés des atomes d'hydrogène, d'oxygène et d'azote (Jestin 2010).

1.7.7 Phosphore

Le phosphore provient dans les eaux de manière diffuse par lessivage de terres agricoles et, ponctuellement, par les rejets d'eaux usées et les déversoirs d'orage. Les apports de phosphore dans les eaux superficielles ont diminué grâce aux progrès de l'épuration des eaux usées et à l'interdiction, en 1986, de l'utilisation des phosphates dans les produits de lessive. Le phosphore est un nutriment vital pour les organismes aquatiques, les eaux n'en reçoivent que de faibles quantités dans un environnement naturel (OFEV, 2010).



Partie I
Partie expérimentale

Les analyses de l'eau constituent une étape fondamentale du programme de surveillance des qualités de l'eau. Elles permettent d'identifier et de mesurer les différents paramètres physico-chimiques et d'évaluer le niveau de pollution biologique sur un échantillon d'eau (BOUZIANI, 2000).

1. Présentation de la zone d'étude

Le complexe hydraulique El-Harrach est l'un des sites stratégiques pour l'AEP des zones centre d'Alger qui transite presque 10 % des besoins en eau de la totalité de la wilaya d'Alger. Il s'agit d'un site qui était et est le poumon de la production, constitué d'un réseau complexe de canalisations et d'ouvrages, ce dernier appelé communément « prise d'eau » date de l'époque coloniale et a été créé en 1840. Il se situe dans la forêt de la commune de Bourouba, longe Oued El-Harrach et s'étale sur une surface totale de plus de 12 ha (voir la figure N° 5). Il est alimenté en eau à partir de SPIK (station de traitement de Boudouaou) et le champ de captage de Baraki.



Figure N° 5 : le complexe hydraulique de SEAAL El-Harrach.

Il est constitué de quatre usines de pompes :

Usine N° 2 : équipée de 08 groupes électropompes de 500 m³/h par GEP. Refoulement vers distribution Kouba 117 avec une quantité journalière maximale 48 000 m³/j.

Usine N° 3 : équipée de 10 groupes électropompes de 300 m³/h par GEP. Refoulement vers réservoir Badjarrah, distribution gué de Constantine. Distribution lotissement Michel (Kouba) et distribution Hussein Dey.

Usine N° 5 : équipée de 03 groupes électropompes de 5000 m³/h par GEP. Refoulement vers réservoir 04*20 000 m³ Kouba 97 avec une quantité journalière maximale 120 000 m³/j.

Usine N° 6 : équipée de 08 groupes électropompes de 800 m³/h par GEP. Refoulement vers réservoir 04*20 000 m³ Kouba 97 avec une quantité journalière maximale 70 000 m³/j.

Partie expérimentale

Laboratoire du centre production El-Harrach est un laboratoire de contrôle de la qualité de l'eau (voir la figure N° 6), avec une surveillance 24h / 24h qui est assurée par le service de quart. Il contrôle les eaux qui arrivent aux réservoirs du complexe (Arrivée champ Baraki et Arrivée SPIK), ainsi que les eaux sortantes (Usines 2, 3, 5 et 6). Ce laboratoire effectue environ 3450 tests par mois : turbidité et chlore libre, paramètres physico-chimiques, paramètres de pollution, Bactériologie.



Figure N° 6 : Laboratoire du complexe SEAAL El-Harrach (SEAAL).

Les échantillons ont été analysés au laboratoire de contrôle à SEAAL El-Harrach. Ces analyses étaient axées sur la détermination qualitative et quantitative de l'eau analysée. Nous avons déterminés les paramètres physico-chimiques, paramètres de pollution, minéralisation globale, et les paramètres bactériologiques.

2. Les méthodes d'analyse physico-chimique

Les analyses physico-chimiques font appel à des techniques d'analyses très variées fondées sur les propriétés intrinsèques des molécules ou des atomes recherchés, (Spectrométrie, chromatographie...), ou encore sur leur aptitude à réagir avec des réactifs particuliers (dosages complexométriques ou d'oxydoréductions...). La figure N° 7 ci-dessous représente les méthodes d'analyse les plus utilisées aux laboratoires de contrôle et de production d'eau potable :

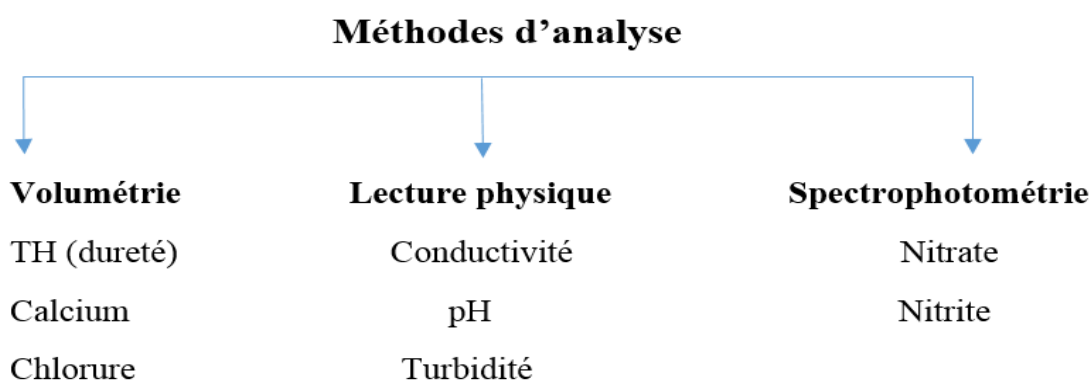


Figure N° 7 : Petit schéma des Méthodes d'analyse physico-chimiques (Anonyme 1, site internet).

2.1. Titrage

Les titrages volumétriques les plus répandus sont les titrages acide-base (titrages acidimétriques) : l'opérateur fait couler goutte à goutte un acide dans un volume déterminé de base (figure N° 8). Ainsi les réactifs réagissent mole à mole. Les titrages base-acide (titrages alcalimétriques) sont possibles. Le point de neutralisation est connu entre autres, grâce à un indicateur coloré ajouté dans la solution inconnue (Anonyme 1, site internet).



Figure N° 8 : titrettes (SEAAL El-Harrach).

2.2. Spectrophotométrie

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert. (Anonyme 1, site internet).

- **Spectrophotomètre**

Un spectrophotomètre est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance d'une solution homogène à une longueur d'onde donnée ou sur une région spectrale donnée (figure N° 9). Selon la loi de Beer-Lambert, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à la concentration des substances en solution, à condition de se placer à la longueur d'onde à laquelle la substance absorbe les rayons lumineux (Anonyme 1, site internet).



Figure N° 9 : Spectrophotomètre (SEAAL El-Harrach).

2.3. Lecture physique

C'est pour les paramètres physico-chimiques, où on utilise les différents appareils tels que : Le conductimètre (figure N° 11), le turbidimètre (figure N° 12), le PH-mètre (Figure N° 10), l'oxymètre, etc. Pour analyser l'eau, on met notre échantillon dans l'un de ses appareils, généralement on attend quelques secondes avant que le résultat de notre analyse s'affiche dans l'écran, et comme ça, on fait notre lecture physique.



Figure N° 10 : pH-mètre
(SEAAL El-Harrach).



Figure N° 13 : Solutions de l'étalonnage
(SEAAL El-Harrach).



Figure N° 11 : Conductimètre
(SEAAL El-Harrach).



Figure N° 12 : Turbidimètre
(SEAAL El-Harrach).

3. Matériels

3.1. Appareillage

- pH-mètre HACH sension 3 ;
- conductimètre Mettler Tolédo ;
- turbidimètre HACH ;
- Étuve réglable à 105-110 °C ;
- Spectrophotomètre HACH ;
- Agitateur magnétique ;
- Incubateur ;
- Étuves (22 °C, 37 °C, 44 °C) ;
- Pince stérile ;
- Rampe de filtration à trois postes ;
- Comparateur ;
- Dosimat (burette automatique) ;
- Dispositif de filtre sous vide (sous pression)

3.2. Verrerie et autres matériels

- Tubes à essais stériles ;
- Pipettes graduées stériles ;
- Pipettes pasteurs ;
- Fioles (coniques, jaugées) ;

Partie expérimentale

- Flacons 250 ml, 500 ml, 1000 ml ;
- Burettes ;
- Béchers ;
- Erlenmeyer
- Thermomètre ;
- Tubes de centrifugation ;
- Boites de pétri en plastiques ;
- Spatules ;
- Pincés ;
- Bec-bunsen ;
- Pissettes ;
- Coton ;
- Réfrigérant ;
- Agitateur.

3.3. Milieux de cultures

❖ Coliformes totaux et coliformes fécaux

- Gélose lactosée au TTC et au tergitol 7 ;
- Gélose TSA ;
- Milieu de Schubert
- Bouillon au pourpre de bromocresol ;
- Bouillon lactosé bilié au vert brillant ;
- Disques d'oxydase ;
- Réactifs de Kovac

❖ Streptocoques fécaux

- Gélose SLANETZ et BARTLEY ;
- Gélose bilié à l'esculine et l'azoture (B.E.A) ;
- Bouillon glucosé à l'azide de sodium (Rothe) ;
- Milieu litsky (E.V.A).

4. Analyses physico-chimiques

4.1. Mesure du pH : méthode potentiométrique avec électrode en verre

Ce protocole opératoire décrit la méthode de mesure du pH en utilisant un pH-mètre sension+pH3 HACH par une méthode potentiométrique à l'aide d'une électrode combinée à une sonde de température pt 1000.

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre ou en plastique, la durée de conservation est de 24 heures.

- ✓ Une vérification de l'appareil se fait chaque matin par un pH 7, la valeur est reportée directement sur la carte de contrôle.
- ✓ Rincer l'électrode avec de l'eau distillée ou avec l'échantillon à analyser ;
- ✓ Transvaser l'échantillon à analyser dans un récipient propre (bécher) ;
- ✓ Immerger l'électrode dans l'échantillon ;
- ✓ Appuyer sur « pH » pour lancer le test, attendre la stabilité de la valeur du pH.
- ✓ Noter la valeur du pH ainsi que la température de l'échantillon au cours du mesurage.

❖ Étalonnage du pH-mètre

Se fait mensuellement à l'aide des solutions d'étalonnage (voir figure N° 13) :

- ✓ Utiliser le premier tampon (4), le pH se stabilise en affichant sa valeur ;
- ✓ Rincer l'électrode et l'introduire dans le tampon (7), le pH se stabilise en affichant sa valeur ;
- ✓ Retour en mode mesure et vérification avec le tampon pH 7.

4.2. Mesure de la turbidité

Son principe consiste en la mesure de la turbidité par néphélométrie, en utilisant un turbidimètre optique : (le HACH 2100 N), sur une plage de mesure allant de 0 à 4000 NTU.

❖ Mode opératoire

a- Étalonnage

L'étalonnage de l'appareil se fait mensuellement, selon les instructions du fournisseur (sauf en cas de dérive du QC lors de la vérification quotidienne), et peut se faire avec deux types d'étalons (selon leurs possibilités) :

a-1 Étalonnage automatique par KIT STABCAL

- ✓ Vérifier que les boutons « auto » et « signal AVG » sont bien allumés ;
 - ✓ Appuyer sur « CAL » pour sélectionner SO (l'appareil se met en mode ratio automatiquement) ;
 - ✓ Homogénéiser puis insérer, un à un les cuves du KIT des étalons du plus faible au plus élevé (figure N° 14) :
- <0,1 NTU ;
 - 20 NTU ;
 - 200 NTU ;
 - 1000 NTU ;
 - 4000 NTU.



Figure N° 14 : Cuves du KIT des étalons et un turbidimètre (SEAAL El-Harrach).

Partie expérimentale

- ✓ Pour chaque étalon inséré, fermer le capot et appuyer sur « ENTER » ;
- ✓ Attendre la fin du décompte de 60 secondes (procéder de la même façon pour les cinq étalons) ;
- ✓ À la fin de l'étalonnage, l'appareil indique un trait après avoir fait sa ligne de base ;
- ✓ Appuyer sur « CAL » une deuxième fois (l'appareil revient alors au mode mesure).

a-2 Étalonnage à partir d'étalons préparés manuellement :

La préparation des cinq paliers d'étalonnage se fait en diluant un étalon de formazine de 4000 NTU (solution du commerce) comme suit :

Dans une série de fioles de 100 ml, à l'aide de pipettes, y verser les volumes notés dans le tableau N° 7 qui représente la méthode d'étalonnage à partir des étalons préparés manuellement.

Tableau N° 7 : étalonnage pour turbidimètre à partir des étalons préparés manuellement.

paliers-Étalon (NTU)	volume de l'étalon 4000 NTU (ml)	Eau de dilution (ml)
20	0,5	v.s.p 100
200	5	v.s.p 100
1000	25	v.s.p 100

L'étalon 4000 NTU est sans dilution.

(Mode opératoire SEAL).

b- Mesure de turbidité

L'échantillon est conservé dans un flacon en verre ou en plastique, l'analyse est effectuée dans les 24 heures qui suivent le prélèvement, avant l'analyse, il faut s'assurer que la cuve de mesure soit propre.

- ✓ Rincer la cuve de mesure avec l'échantillon à analyser (avant mesure) ;
- ✓ Remplir la cuve sans faire de bulle, visser le bouchon et sécher la cuve ;
- ✓ Insérer la cuve dans le puits de mesure en plaçant la flèche de la cuve face au repère ;
- ✓ Fermer le capot de l'appareil ;
- ✓ Attendre l'affichage automatique d'une valeur. Si la valeur n'apparaît pas au bout de quelques secondes, appuyer sur « ENTER » et lire la valeur affichée ;
- ✓ Retirer la cuve de mesure, la vider et la rincer.

4.3. Mesure de la conductivité électrique

Conductimètre : METTLER TOLEDO Seven Easy équipé d'une électrode de mesure, d'une sonde de température et d'un convertisseur fournis par le fabricant. Cet appareil a la propriété de compenser la température de l'eau, pour se ramener à des conditions normales de mesure (25 °C).

❖ Mode opératoire

• Étalonnage

La conductivité électrique du contrôle qualité est de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C. Cette solution est disponible dans le commerce, elle est utilisée pour l'étalonnage selon une fréquence définie, et aussi pour le contrôle qualité. La mise en marche se fait quotidiennement :

- ✓ Plonger l'électrode de la conductivité dans la solution étalon (1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et presser la touche « Cal »
- ✓ Lors de l'étalonnage l'appareil s'arrête au point final, pour l'arrêt manuel, presser la touche « Read ».
- ✓ L'afficheur se fige sur la valeur nominale de l'étalon.

• Mesure de conductivité

- ✓ Remplir un bécher avec une quantité d'eau suffisante pour l'immersion de l'électrode de la conductivité ;
- ✓ Mettre l'électrode dans le bécher, puis appuyer sur la touche « Read », la valeur de la conductivité s'affiche sur l'écran de l'appareil avec une unité de micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou bien milli siemens par centimètre.

4.4. Mesure de taux de salinité (TDS)

La méthode de mesure de taux de salinité en utilisant un conductimètre électrique METTLER TOLEDO Seven Easy.

- ✓ Prendre un échantillon conservé dans de bonnes conditions (T° ambiante, hygiène...);
- ✓ Remplir le bécher avec une quantité d'eau suffisante ;
- ✓ Mettre l'électrode dans le bécher puis appuyer sur la touche « TDS » la valeur de taux de salinité s'affiche sur l'écran de l'appareil avec une unité de mg/l.

4.5. Mesure de la salinité

On utilise toujours un conductimètre électrique METTLER TOLEDO Seven Easy pour mesurer la salinité :

- ✓ Poursuivre la mesure comme pour le taux de salinité ;
- ✓ Mettre l'électrode dans le bécher puis appuyer sur la touche « SAL » la valeur de taux de salinité s'affiche sur l'écran de l'appareil avec une unité de mg/l ;

4.6. Détermination du résidu sec

❖ Principe

Résulte de l'évaporation au bain marie d'un volume d'échantillon choisi en fonction des quantités de matières en suspension présentes. Séchage à l'étuve à 105 °C (la totalité de l'eau occluse est éliminée). Dessiccation et pesée du résidu.

❖ Application

- Nettoyer la capsule avec de l'aide de l'acide chlorhydrique ou acide nitrique dilué puis rincer avec de l'eau distillée ;
- la sécher par passage à l'étuve, puis la calciner pendant 1 heure dans un four à moufle réglé à 525 °C. Laisser refroidir jusqu'à la température ambiante puis la placer dans un dessiccateur pendant ¼ heure environ et peser. soit M_0 la masse de la capsule vide.
- Prélever dans une fiole jaugée, un volume d'échantillon, préalablement débarrassé des matières en suspension (papier filtre). Il est recommandé de ne remplir celle-ci que jusqu'à mi-hauteur.
- Remplir la capsule de prise d'essai avec l'échantillon. Placer celle-ci au bain marie (couvercle ouvert). Une fois l'eau de l'échantillon évaporée, placé la capsule à l'étuve à 105 °C comme suit :
 - Placer la capsule dans l'étuve à 105 °C pendant une heure ;
 - Retirer la capsule et laisser refroidir à température ambiante ;
 - Placer celle-ci dans un dessiccateur pendant ¼ heure environ et peser ;
 - recommencer le cycle chauffage à 105 °C pendant une heure – refroidissement – pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de 0,5 mg. Soit M_1 la masse trouvée.

❖ Expression des résultats

$$RS = (M_1 - M_0) \times 1000/V \text{ (mg/l)}$$

Soient :

V : est le volume, en millilitres, de la prise d'essai (jusqu'à mi hauteur de la capsule).

M₀ : est la masse, en milligramme, de la capsule vide.

M₁ : est la masse, en milligramme, de la capsule et de son contenu après séchage à 105 °C.

5. Analyses des paramètres de pollution

5.1. Dosage spectrophotométrique des phosphates

❖ Mode opératoire

Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouté sans attendre entre chaque ajout : 1 ml d'acide ascorbique à 100 g/l et 2 ml d'heptamolybdate d'ammonium.

Agiter quelques secondes, Après un temps compris entre 10 et 30 min (temps nécessaire au développement de la couleur) :

- ✓ Si aucune couleur n'est apparue, il n'y a pas de phosphate (PO_4^{3-}),
- ✓ Indiquer alors comme résultat : < 0.09 mg/l de phosphates.

Partie expérimentale

- ✓ Si une coloration bleue est apparue, effectuer la mesure au spectrophotomètre à longueur d'onde de 880 nm.

❖ Détermination de la concentration de PO_4^{3-}

La détermination de la concentration de PO_4^{3-} se fait de la manière suivante :

- Allumer l'appareil.
- Appuyer sur « programme utilisé ».
- Introduire le numéro du programme correspondant à PO_4^{3-} .
- Insérer la cuve avec le blanc (eau distillée), et appuyer sur « zéro ».
- Remplir la cuve avec l'échantillon à analyser et appuyer sur « lire ».
- La concentration des PO_4^{3-} Est affichée sur l'écran en mg/l.

Si la concentration dépasse 1.5 mg/l, réaliser une dilution de manière à se ramener à une concentration comprise entre 0.009 et 1.5 mg/l, refaire la mesure au spectrophotomètre et multiplier le résultat obtenu par le facteur de dilution.

5.2. Dosage de l'ammonium par spectrophotométrie moléculaire

Son principe consiste en un mesurage du composé formé par réaction d'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

❖ Réactifs

- Réactif coloré : Dissoudre 130 g de salicylate de sodium et 130 g de citrate trisodique dihydraté dans 1000 ml d'eau purifiée. Ajouter 0.97 g de nitroprussiate de sodium.
- Solution de dichloro-isocyanurate de sodium
- Solution mère étalon d'ammonium de concentration 100 mg/l :
- Solution fille étalon d'ammonium 1 mg/l

L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé comme suit (voir le tableau N° 8) :

Tableau N° 8 : l'étalonnage du spectrophotomètre pour le dosage de l'ammonium.

Volume de la solution fille d'ammonium (ml)	Volume de l'eau purifiée (ml)	Concentration en NH_4^+ (mg/L)	Volume de la fiole (ml)
0	50	0	50
1,5	48,5	0,03	50
2,5	48	0,05	50
4	47	0,08	50
5	46	0,1	50
10	45	0,2	50

(Mode opératoire SEAAL).

Partie expérimentale

Après avoir compléter au volume, bien homogénéiser chaque étalon puis enlever 10 ml de chacun (pour ne laisser que 40 ml comme prise d'essai). Puis rajouté dans l'ordre :

- 4 ml de réactif coloré ;
- 4 ml de réactif de dichloro-isocyanurate de sodium.
- Compléter ensuite chaque fiole à 50 ml. Attendre le développement de la couleur après au moins 60 mn.
- Effectuer la lecture au spectrophotomètre à 655 nm.

❖ **La préparation de la solution du contrôle qualité (Qc)** : se fait à partir de la solution fille et doit être utilisée le jour même. La concentration du contrôle qualité est 0.5 mg/l. les valeurs d'acceptation sont mentionnées sur la carte de contrôle du paramètre.

- **Analyse**

Les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre ou polyéthylène, l'analyse se fait après le prélèvement dans un délai n'excédant pas les 24 heures.

Prélever 40 ml de l'échantillon à analyser puis ajouter successivement :

- 4 ml de réactif coloré ;
- 4 ml de réactif de dichloro-isocyanurate de sodium.
- ❖ Compléter à 50 ml. Attendre le développement de la couleur après au moins 60 mn et effectuer la lecture au spectromètre à 655 nm.

5.3. Dosage des nitrites par spectrométrie

❖ Principe

Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, à pH 1,9 avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'aide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlor-hydrate de N-(naphtyl-1) diamino -1,2 éthane (ajouter avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide) mesurage de l'absorbance à 540 nm.

Réactifs

- **Réactif coloré** : Dissoudre 40 gr d' amino-4 benzène sulfonamide ($\text{NH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NH}_2$) dans un mélange formé de 100 ml d'acide orthophosphorique et 500 ml d'eau. Ajouter 2 gr de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1.2 éthane ($\text{C}_{10}\text{H}_7\text{-NH-CH}_2\text{-NH}_2\text{-2 HCl}$) compléter le volume à 1000 ml avec l'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle conservée entre 2 et 5 °C.

Partie expérimentale

- **Solution étalon mère de nitrites 100 mg/l** : Dissoudre 0.15 g de nitrite de sodium (séché à 105 °C durant au moins 2 h) dans 1000 ml d'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5 °C.
- **Solution étalon fille de nitrites 1 mg/l** : Prélever à l'aide d'une pipette 1 ml de la solution étalon de nitrites de concentration 100 mg/l, la transvaser dans une fiole de 100 ml et compléter au volume avec de l'eau distillée. Cette solution est préparée le jour de l'emploi.

❖ Préparation et conservation de l'échantillon

Prélever les échantillons pour laboratoire dans des flacons en verre, conserver entre 2 et 5 °C et analyser dans les 24 heures.

• Application des solutions étalon

L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé une fois par mois à l'aide de solution étalons comme elles sont présentées au tableau N° 9.

Tableau N° 9 : L'étalonnage du spectrophotomètre à l'aide des solutions pour le dosage des nitrites.

Volume de solution étalon fille de nitrites en ml	Concentration de NO ₂ ⁻ en mg/l	Volume de la fiole en ml
Eau distillée	0,00	50
1	0,02	50
2	0,04	50
3	0,06	50
4	0,08	50
5	0,1	50
25	0,5	50
50	1	50

(Mode opératoire SEAAL).

Prélever 40 ml de chacune des solutions obtenues, ajouter dans l'ordre 1 ml du réactif coloré. Homogénéiser immédiatement et compléter à 50 ml, le pH à ce stade doit être de 1,9. Laisser reposer au moins 20 minutes, effectuer la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm.

• Dosage et mesure

Prélever 40 ml de chacune des solutions obtenues, ajouter dans l'ordre 1 ml du réactif coloré. Homogénéiser immédiatement, le pH à ce stade doit être de 1,9. Laisser reposer au moins 20 minutes, effectuer la mesure spectrométrique à la longueur d'onde 540 nm.

- **Détermination de la concentration de NO_2^-**

La détermination de la teneur en NO_2^- se fait de la manière suivante :

- allumer l'appareil.
- Appuyer sur « programme utilisé ».
- Introduire le numéro du programme de NO_2^- .
- insérer la cuve avec le blanc « eau distillée », et appuyer sur « zéro ».
- Remplir la cuve avec l'échantillon à analyser et appuyer sur « lire ».
- La concentration des NO_2^- est affichée sur l'écran en mg/l.

Si la concentration dépasse 1 mg/l, réaliser une dilution de manière à se ramener à une concentration comprise entre 0,02 et 1 mg/l. refaire la mesure au spectrophotomètre et multiplier le résultat obtenu par le facteur de dilution.

5.4. Dosage des nitrates par spectrophotométrie

Les nitrates sont les sels de l'acide nitrique. La formule de l'ion nitrate est NO_3^- .

❖ Réactifs

- Solution de salicylate de sodium.
- Solution de tartrate double de sodium et de potassium.
- Solution d'acide sulfurique Solution d'hydroxyde de sodium à 30 %.
- Solution mère de nitrate de potassium à 100 mg/l de nitrate Solution fille à 5 mg/l de nitrate.

❖ Application

- **Préparation des solutions étalons :**

Pour les nitrates le domaine de travail est de 0,5 mg/l et 5 mg/l, l'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé une fois par mois à l'aide de solutions étalons. Dans une série de capsules de 60 ml, introduire successivement comme elle est présentée au tableau N° 10 :

Tableau N° 10 : L'étalonnage de spectromètre pour le dosage des nitrates.

Volume de solution fille de nitrates en ml	Complément eau distillée (ml)	Concentration de NO_3^- en mg/l	Volume de la fiole en ml
Eau distillée	10	0	10
1	7,5	0,5	10
2	5	1	10
5	2,5	2,5	10
10	0	5	10

(Mode opératoire SEAAL).

- Évaporer à sec au bain marie ou dans une étuve portée à 75 °C - 80 °C (ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps) ;
- Laisser refroidir ;
- Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Attendre 10 mn, ajouter 15 ml d'eau distillée, puis 15 ml de la solution de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

Toutes les solutions d'étalonnage doivent être préparées juste avant mesure.

❖ Dosage

- Diluer l'échantillon (au demi) afin d'obtenir un volume 10 ml de l'échantillon et cela afin d'optimiser au mieux le dosage.
- Introduire 10 ml de l'échantillon à analyser dans une capsule de 60 ml ;
- Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium ;
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium ;
- Poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage ;
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm.

6. Les analyses de la minéralisation globales

6.1. Dosage du calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA

❖ Principe de la méthode

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de sels de sodium d'acide éthylène diamine tétra acétique à un pH compris entre 12 et 13, le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium est utilisé comme un indicateur, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas lors du dosage. Lors du titrage, l'indicateur réagit d'abord avec les ions calciums libres, ensuite avec les ions calcium combinés à l'indicateur qui vire de la couleur rose vers le violet.

❖ Mode opératoire

- Diluer l'échantillon (au cinquième ou au demi) selon le type d'eau à analyser afin d'obtenir un volume 50 ml de l'échantillon et cela afin d'optimiser au mieux le dosage et noter le facteur de dilution F.
- Ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2N et une pincée de l'indicateur, bien mélanger : la prise d'essai doit se colorer en rose.
- Titrer immédiatement à l'aide de la solution EDTA, en versant lentement tout en agitant constamment jusqu'au virage violet. La couleur ne doit plus changer par addition d'une goutte supplémentaire de la solution de l'EDTA.

❖ Expression des résultats

La concentration totale en ion calcium Ca^{2+} , exprimée en mg/l le plus proche, est donnée par la formule :

$$[\text{Ca}^{2+}] = \left[\frac{(C_1 \times V_1 \times A)}{V_0} \right] \times F_c \times 1000 \times F \dots (\text{mg/l})$$

Avec :

$[\text{Ca}^{2+}]$: la teneur en calcium exprimé en (mg/l) ;

C_1 : concentration de la solution EDTA (0,01 mol/l) ;

V_0 : est le volume, en millilitres, de la prise d'essai (50 ml) ;

V_1 : est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA utilisé pour le dosage ;

A : est la masse molaire en calcium (40,08 g/mol) ;

F_c : facteur de correction du titre ; $F_c = \frac{\text{volume versé}}{\text{volume théorique}(12,475 \text{ ml})}$ (si $0,96 \leq F_c \leq 1,04$, alors la solution d'EDTA peut être utilisé pour le dosage) ;

F : facteur de dilution.

6.2. Dosage de la somme de calcium et magnésium

❖ Principe de la méthode

Titration par complexométrie du calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel di sodique d'acide éthylène diamine tétra acétique à un pH 10, lors du titrage, EDTA réagit d'abords avec les ions calcium et magnésium libres, puis au point d'équivalence, avec les ions calcium et magnésium combinés à l'indicateur ce qui libère l'indicateur et provoque un changement de couleur.

❖ Mode opératoire

- Une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon est utilisée. Diluer les échantillons (au cinquième ou demi) selon le type d'eau analysée afin d'optimiser au mieux le dosage et noter le facteur de dilution F .
- Ajouter 4 ml de solution tampon pH 10 et une pincée de l'indicateur, bien mélanger jusqu'à ce que la prise d'essai se colore en rouge brun.
- Titrer immédiatement en à l'aide de la solution d'EDTA, en versant lentement tout en agitant constamment jusqu'au virage bleu. La couleur ne doit plus changer par addition d'une goutte supplémentaire de la solution de l'EDTA.

❖ Expression des résultats

La concentration totale en ions calcium et magnésium. Le TH exprimé en °F, est donné par la formule

$$TH = V_2 \times 2 \times F_c \times F \dots (\text{°F})$$

Partie expérimentale

La concentration totale en ions magnésium, exprimée en mg/L le plus proche est donné par la formule :

$$[Mg^{2+}] = [(C_1 \times (V_2 - V_1) \times A')/V_0] \times F_c \times 1000 \times F \dots (mg/l)$$

Avec

TH : Dureté exprimé en °F ;

Mg²⁺ : La teneur en magnésium exprimé en mg/L ;

V₂ : est le volume de l'EDTA en (ml), après dosage de l'échantillon pour la détermination de TH ;

V₁ : est le volume de l'EDTA en (ml), après le dosage de l'échantillon pour la détermination du calcium selon le mode opératoire précédent « Dosage du calcium par la méthode titrimétrique à l'EDTA » ;

F_c : facteur de correction de l'EDTA ;

F : facteur de dilution ;

A' : est la masse molaire du magnésium ;

V₀ : est le volume en (ml), de la prise d'essai (50 ml) ;

C₁ : concentration de la solution EDTA (0,01 mol/L).

6.3. Dosage des chlorures, titrage au nitrate d'argent avec du chromate

❖ Principe de la méthode

Le principe est le suivant : Réactions des ions de chlorures avec des ions d'argent pour former du chlorure d'argent (AgCl) insoluble qui précipite, ce précipité réagit avec l'indicateur (K₂CrO₄) pour former du chromate d'argent, brun rouge (Ag₂CrO₄). L'application de la coloration brun-rouge (virage) marque la fin du titrage.

❖ Mode opératoire

Les réactifs utilisés :

- Solution de nitrate d'argent 0,02 mol/L ;
- Chromate de potassium (indicateur) à 10% ;
- Solution référence de chlorure de sodium à 100 mg/l ;
- Solution référence de chlorure de sodium à 710 mg/l.

$$F_c = \frac{\text{volume versé}}{\text{volume théorique (10 ml)}}$$

Si : $0,96 \leq F_c \leq 1,04$, alors la solution d'AgNO₃ peut être utilisé pour le dosage.

- **Pour ce qui est du blanc**

100 ml d'eau distillée à la place de l'échantillon pour l'essai. La valeur de l'essai à blanc ne devrait pas dépasser 0.2 ml d'AgNO₃, dans le cas contraire, vérifier la pureté de l'eau, noter le V_B.

- **Le dosage de l'échantillon**

Le dosage des échantillons se fait comme suit :

- Introduire, au moyen d'une fiole, 100 ml de l'échantillon (volume V_a), dans un bécher conique, placé sur un fond blanc ;
- Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium ;
- Titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brun rougeâtre ;
- Noter le volume V_s de nitrate d'argent versé.

❖ **Expression des résultats**

La concentration en chlorure C_{Cl⁻}, exprimée en milligramme par litre, est donnée par la formule suivante :

$$[Cl^-] = \frac{(V_s - V_b) \times C \times F \times F_c}{V_a}$$

V_s : est le Volume en millilitres de la solution de nitrate d'argent utilisé pour le dosage de l'échantillon.

V_b : est le volume en millilitres de la solution de nitrate d'argent utilisé pour le dosage du blanc.

V_a : est le volume en millilitres, de l'échantillon pour essai (prendre en compte des dilutions s'il y en a).

C : est la concentration réelle exprimée en mole par litre, de la solution de nitrate d'argent, éventuellement corrigée du coefficient correcteur.

F : 35453 (masse molaire du Cl x 1000, exprimé en mg/mol).

F_c : facteur de correction de la solution d'AgNO₃.

6.4. Détermination des sulfates par spectrophotométrie

❖ **Principe**

Les ions de sulfate, en présence de chlorure de baryum (BaCl₂), précipitent à l'état de Sulfate de Baryum.

❖ **Réactifs**

- Solution mère de sulfate de sodium, concentration 1 g/l.
- Solution stabilisante.

Partie expérimentale

- Solution de chlorure de baryum, 0,01 N.

L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé une fois par mois à l'aide de solution étalons comme elles sont présentées au tableau N° 11.

Tableau N° 11 : L'étalonnage du spectromètre pour le dosage des sulfates.

V de solution mère de sulfate à 1 g/l (ml)	Solution stabilisante (ml)	chlorure de baryum (ml)	Eau distillée (ml)	Concentration finale de SO ₄ (ml)
0	5	2	93	0
1	5	2	92	10
2	5	2	91	20
3	5	2	90	30
4	5	2	89	40
5	5	2	88	50
6	5	2	87	60
7	5	2	86	70

(Mode opératoire SEAAL).

❖ Mesure de l'échantillon

- Allumer l'ordinateur ;
- Allumer l'appareil ;
- Cliquer sur l'icône « spectra-manager » ;
- Cliquer sur file, puis open ;
- Cliquer sur méthode ;
- Choisir le programme SO₄²⁻ ;
- Cliquer sur mesurer ;
- Insérer la cuve avec le blanc (eau distillée) ;
- Appuyer sur auto-zéro

La détermination de la teneur de SO₄²⁻ se fait de manière suivante :

- Prendre 20 ml d'échantillon à analyser ;
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante ;
- Agiter quelques secondes (agitation mécanique lente) ;
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum ;
- Compléter avec 100 ml d'eau distillée ;
- Laisser pendant 1 minute sous agitation mécanique rapide ;
- Remplir rapidement la cuve avec l'échantillon à analyser ;
- insérer sans perdre de temps dans l'appareil ;
- appuyer sur « Start » ;
- La concentration des SO₄²⁻ est affichée sur l'écran en mg/l.

6.5. Dosage du potassium par spectrométrie d'absorption atomique

❖ Principe

Aspiration directe de l'échantillon dans la flamme d'air/acétylène d'un spectromètre d'absorption atomique. Mesure de l'absorbance à une longueur d'onde de 330,2 nm.

❖ Réactifs

- Acide nitrique : C (HNO₃) = 16 mol/l, d = 1,41 g/ml, P = 69,5%
- Acide chlorhydrique : C (HCl) = 11 mol/l, d = 1,18 g/ml, P = 37%
- Chlorure de césium : Dissoudre 25 g de chlorure de césium dans une solution de 50 ml d'acide chlorhydrique à 11 mol/l et 450 ml d'eau distillée. Diluer avec de l'eau distillée jusqu'à 1L.
- Potassium, solution mère (1000 mg/l)
- Potassium, solution fille 50 mg/l

❖ Préparation de la gamme d'étalonnage

Dans une série de fioles de 100 ml, mettre les volumes cités dans le tableau N° 12 ci-dessous :

Tableau N° 12 : L'étalonnage du spectromètre pour le dosage du potassium.

Solution fille 50 mg/l (ml)	Correspondance en mg k/l	Volume d'eau distillée en (ml)	Acide nitrique 16 mol/l (ml)	Chlorure de césium (ml)
0	0	89,5	0,5	10
0,2	0,1	89,3	0,5	10
1	0,5	88,5	0,5	10
4	2	85,5	0,5	10
10	5	79,5	0,5	10
20	10	69,5	0,5	10
40	20	49,5	0,5	10

(Mode opératoire SEAAL).

❖ Préparation des échantillons d'essais

Procéder de la même manière que pour la gamme d'étalonnage.

6.6. Dosage du sodium par spectrométrie d'absorption atomique

❖ Principe

Aspiration directe de l'échantillon dans la flamme d'air/acétylène d'un spectromètre d'absorption atomique. Mesure de l'absorbance à une longueur d'onde de 330,2 nm.

❖ Réactifs

- Acide nitrique : C (HNO₃)=16 mol/l, d=1,41 g/ml, P=69.5%
- Acide chlorhydrique : C(HCl) =11 mol/l, d= 1,18 g/ml, P=37%

Partie expérimentale

- Chlorure de césium : Dissoudre 25 g de chlorure de césium dans une solution de 50 ml d'acide chlorhydrique à 11 mol/L et 450 ml d'eau distillée. Diluer ensuite avec de l'eau distillée jusqu'à 1L.
- Sodium, solution mère (1000 mg/l).

❖ Préparation de la gamme d'étalonnage

L'étalonnage du spectrophotomètre est réalisé mensuellement à l'aide de solution étalons comme elles sont présentées au tableau N° 13.

Tableau N° 13 : L'étalonnage du spectromètre pour le dosage du sodium.

Solution mère 1000 mg/l	Correspondance en mg Na/l	Volume d'eau distillée en (ml)	Acide nitrique 16 mol/l (ml)	Chlorure de césium (ml)
0	0	89,5	0,5	10
0,5	5	89	0,5	10
2	20	87,5	0,5	10
4	40	85,5	0,5	10
8	80	81,5	0,5	10

(Mode opératoire SEAAL).

❖ Préparation des échantillons d'essais

Procéder de la même manière que pour la gamme d'étalonnage.

6.7. Détermination de l'alcalinité

Ce protocole opératoire a pour objet de déterminer l'alcalinité d'une eau par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et de titre alcalimétrique complet (TAC).

Cette méthode est applicable pour tout type d'eau de pH supérieur à 4,5. Cependant elle n'est pas applicable en présence de substances qui tamponnent les ions hydrogène dans les zones de pH comprises entre 4,5 et 8,3.

- **Degré français** : Le degré hydrotimétrique. $1^{\circ}f = 1/5$ de milliéquivalent de n'importe quel ion.

$$\text{Par exemple : } 1^{\circ}f = \frac{1}{5} \times \frac{40,08(g/l)}{2 \times 1000}$$

- $1^{\circ}f = 3,4 \text{ mg/l OH}^-$ (hydroxyde)
- $1^{\circ}f = 6,0 \text{ mg/l CO}_3^{2-}$ (carbonate)
- $1^{\circ}f = 12,2 \text{ mg/l HCO}_3^-$ (bicarbonate)

Partie expérimentale

Le principe est de déterminer des concentrations en ion bicarbonates HCO_3^- , carbonates CO_3^{2-} et hydroxydes OH^- par mesure de l'acide chlorhydrique nécessaire pour amener à pH 8,3 et 4,5 l'échantillon à analyser.

La première détermination (pH 8,3) sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde (pH 4,5) sert à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).



Réactifs:

- Acide chlorhydrique de concentration 1 N (Solution de commerce).
- Acide chlorhydrique de concentration 0,1 N.

❖ Mode opératoire

- Prendre 100 ml de l'échantillon à analyser et mesurer le pH ;
- Si le pH est supérieur à 8,3, verser lentement de l'acide chlorhydrique 0,01 N pour obtenir. Noter le volume V_1 (ml) d'acide lu au dosimat.
- ✓ Continuer à verser doucement de l'acide chlorhydrique 0,01 N jusqu'à obtenir un pH de 4,5. Noter le volume d'acide versé pour amener le pH à 4,5.
- ✓ Si le pH est inférieur à 8,3 verser lentement de l'acide chlorhydrique 0,01 N pour obtenir 4,5. Noter le volume V_2 (ml) d'acide lu au dosimat.

❖ Calcul et expression des résultats

Le titre alcalimétrique TA et le titre alcalimétrique complet TAC, exprimés en °f sont donnés respectivement par les expressions :

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{(V_1 \times N \times 1000) M_1}{v} \text{ (Mg/L)}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{(V_2 \times N \times 1000) M_2}{v} \text{ (Mg/L)}$$

$$TA = V_1 \times 10 \text{ (°f)}$$

$$TAC = V_2 \times 5 \text{ (°f)}$$

Avec :

M_1 : est la masse molaire des carbonates = 60 g.

M_2 : est la masse molaire des bicarbonates = 61 g.

V : est en millilitre, de la prise d'essai (100 ml).

V_1 : est le volume de l'acide chlorhydrique lu au Dosimat pour amener le pH à 8,3.

V_2 : est le volume total d'acide chlorhydrique en millilitre lu au Dosimat.

7. Paramètres bactériologiques

7.1. Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux (filtration sur membrane)

- T.T.C : Chlorure de 2, 3, 5-triphenyl-tetrazolium (additif).
- B.E.A : Gélose bile esculine azide.

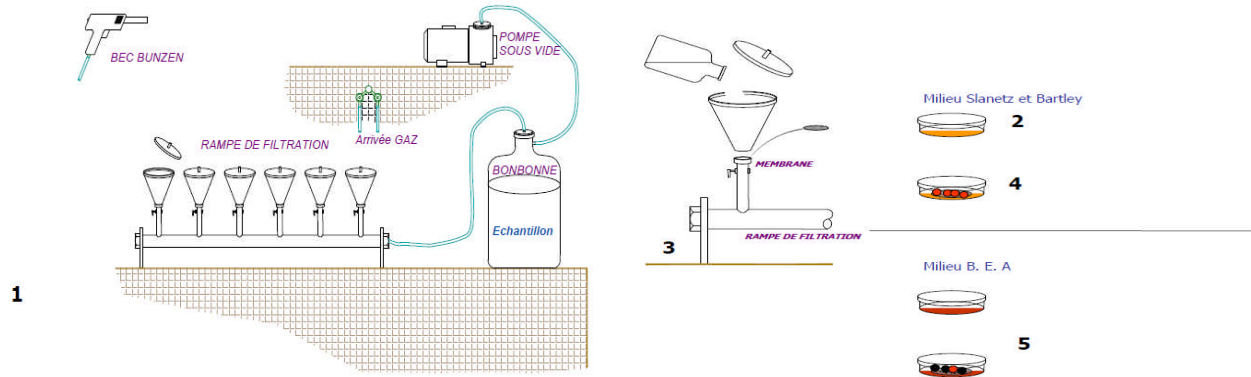


Figure N° 15 : Schéma d'analyse le dénombrement des entérocoques intestinaux (Mode opératoire SEAAL)

❖ **Principe** : est bien schématisé dans la figure ci-dessus (figure N° 15)

❖ **Milieux de culture et réactif**

- Gélose de Slanetz et Bartley.
- Additif T.T.C (Chlorure 2, 3, 5 triphenyl-tetrazolium).
- Gélose Bile Esculine Azoture (B. E. A).

❖ **Filtration sur membrane et incubation : déroulement de la filtration**

- Stériliser la rampe de filtration à l'aide d'un Bec Bunsen.
- Prendre le filtre stérile à l'aide d'une pince stérilisée à l'alcool (flambée).
- Placer le filtre, face quadrillée dessus, au centre de la membrane poreuse de la rampe.
- Fermer l'entonnoir et verser l'échantillon à analyser (100 ml).
- Attendre que la totalité de l'échantillon soit filtré pour retirer le filtre.
- Placer le filtre dans la boîte de Pétri contenant la gélose Slanetz et Bartley avec TTC.
- S'assurer que le filtre adhère bien sur la surface de la gélose (absence de bulles d'air).
- Mettre la boîte de Pétri dans l'incubateur à 36 ± 2 °C pendant 44 ± 4 h, couvercle vers le bas.

❖ **Dénombrement**

Après incubation, les entérocoques intestinaux typiques donnent des colonies bombées de taille moyenne, rouge, marron ou rose au centre ou sur l'ensemble de la colonie.

❖ Confirmation et expression des résultats

- Si des colonies typiques se présentent sur le filtre, transférer le filtre au moyen d'une pince stérile, sans retournement, sur la boîte de Pétri contenant la gélose B.E.A qui a été préchauffée au préalable à 44 °C pendant au moins 20 minutes.
- Faire incuber à $44 \pm 0,5$ °C pendant 2 heures. Retirer la boîte de Pétri et compter les colonies entourées d'un halo noir indiquant l'esculine positive.

7.2. Recherche et dénombrement des bactéries coliformes et d'Escherichia coli (filtration sur membrane)

❖ **Principe** : est bien présenté dans la figure N° 16 ci-dessous :

- Filtrer 100 ml de l'échantillon à travers une membrane filtrante d'une porosité de 0,45 µm.
- Pose de cette membrane sur un milieu sélectif : la gélose lactosée au tergitol et au T.T.C. Incubation à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 3 h.
- Après incubation, 5 à 10 colonies caractéristiques jaunes lactose positive (présentant une coloration jaune sous la membrane) seront prélevées pour confirmation.
- Pour les bactéries coliformes, la confirmation est basée sur la recherche de l'enzyme oxydase :
 - Repiquage sur gélose T.S.A., incubation à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 2 h, puis test à l'oxydase.
- Pour les E. coli, la confirmation est basée sur la production d'indole et sa mise en évidence :
 - Repiquage sur bouillon au Tryptophane, incubation à $44 \pm 0,5$ °C pendant 21 ± 3 h, mise en évidence de la production d'indole en ajoutant quelques gouttes du réactif de Kovac (apparition d'un anneau rouge brique à la surface).

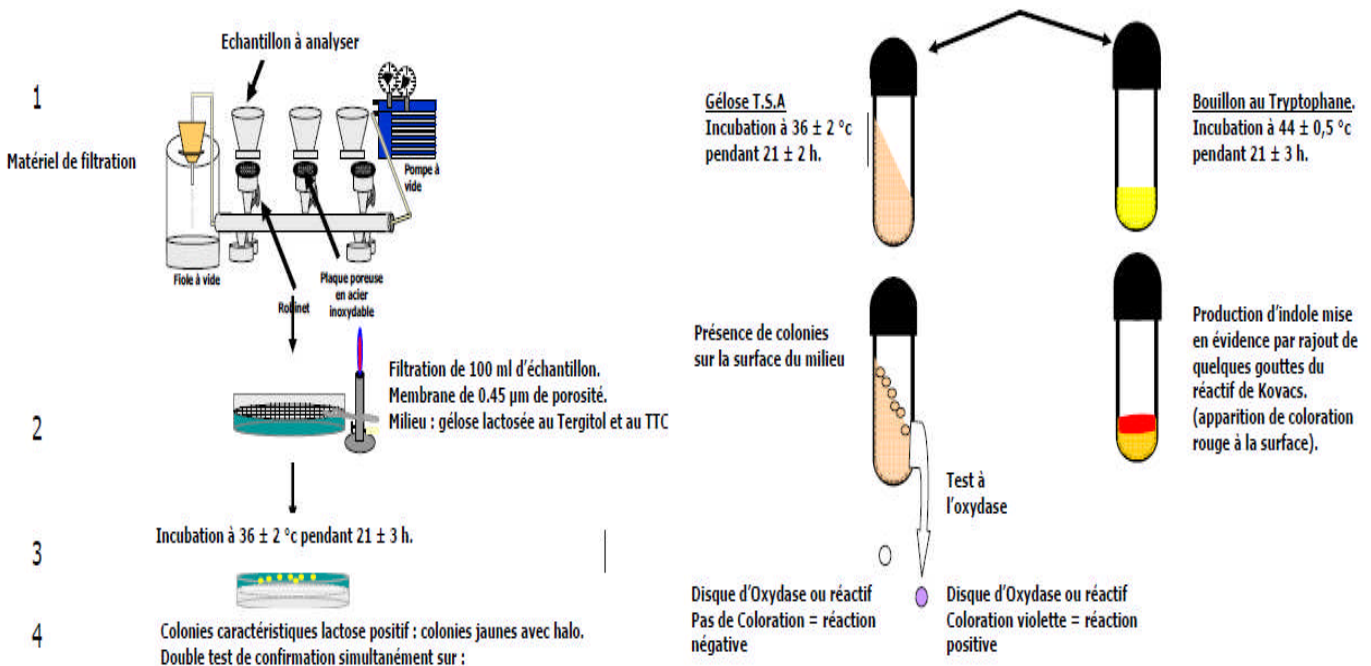


Figure N° 16 : Schéma d'analyses le dénombrement des bactéries coliformes et d'Escherichia coli (Mode opératoire SEAAL).

❖ Filtration sur membrane et incubation : déroulement de la filtration

- Stériliser la surface supérieure de la rampe de filtration ainsi que la plaque poreuse (en ouvrant le robinet pour aspirer la flamme), et laissez refroidir.
- Prélever une membrane de son emballage à l'aide d'une pince stérile.
- Déposer la membrane, face quadrillée au-dessus, sur la plaque poreuse de la rampe de filtration.
- Agiter soigneusement le flacon d'eau à analyser.
- Verser stérilement (dans la zone de stérilité du Bec Bunsen) la quantité d'eau désirée (100 ml, 250 ml pour l'eau minérale ou les eaux de surface pour lesquelles il peut être nécessaire de ne filtrer que 10 ml voir 1 ml).
- Ouvrir le robinet de la rampe pour laisser l'eau s'écouler.
- Dès que la quantité d'eau est filtrée, prélever la membrane avec une pince stérile en la saisissant par son bord.
- Déposer la membrane sur le milieu sélectif (gélose lactosée au Tergitol et au T.T.C.) en prêtant attention à ne pas piéger de bulles d'air.
- Incubation à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 3 h, le couvercle vers le bas.

❖ Dénombrement, confirmation et expression du résultat

- Après la période d'incubation, on dénombre (nombre c) les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentées en jaune quelle que soit leur diamètre.
- Repiquer au moins 10 colonies caractéristiques (nombre A) bien déterminées respectivement sur :
 - **Le milieu T.S.A. :** Déposer la colonie en stries sur toute la surface du milieu. Incubation à 36 ± 2 °C pendant 21 ± 3 h.
 - **Un bouillon au Tryptophane :** Incuber à 44 ± 0.5 °C pendant 21 ± 3 h. Après la période d'incubation effectuer le double test de confirmation suivant :

- **Sur le milieu T.S.A., un des deux essais à l'oxydase suivants**

Essai avec disque : imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile puis déposer à l'aide d'une pipette stérile la colonie.

Essai avec réactif : verser sur un papier filtre 2 à 3 gouttes de réactif à l'oxydase puis étaler dessus à l'aide d'une pipette stérile la colonie. Dans les deux cas, considérer la réaction positive s'il y a apparition d'une couleur violette dans les 30 secondes qui suivent.

- **Sur le bouillon au Tryptophane, une recherche d'indole comme suit**

- Ajouter 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs.
- L'apparition d'une coloration rouge brique à la surface du bouillon confirme la production d'indole.

❖ Interprétation du test de confirmation

Toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase sont des Bactéries coliformes. Toutes les colonies ayant une réaction négative à l'oxydase, mais positive à l'indole, sont des Escherichia coli.

Calcul de la valeur a du nombre de bactéries coliformes ou des Escherichia coli :

Le résultat final sera exprimé selon l'équation mathématique suivante :

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

b : nombre de colonies répondant positivement aux critères du test de confirmation.

A : nombre de colonies repiquées (dix colonies).

C : nombre total de colonies caractéristiques (jaunes) trouvées dans la boîte.

Le résultat est exprimé en nombre de bactéries coliformes et d'Escherichia coli dans 100 ml d'eau.

8. Test de chlore libre

❖ Mode opératoire

1. laisser l'eau au point de prélèvement couler 2 à 3 minutes pour obtenir un échantillon représentatif.
2. Rincer soigneusement le tube avec l'eau à analyser. Le remplir jusqu'au repère 10 ml, le fermer au moyen du bouchon et l'essuyer avec du papier.
3. Placer le tube dans le compartiment gauche comparateur (analyses à blanc).
4. Rincer soigneusement un autre tube avec l'eau à analyser et le remplir jusqu'au trait inférieur avec l'eau à tester.
5. Ajouter directement, sans le toucher, un comprimé DPD N° 1.
6. Écraser le comprimé avec un stick propre.
7. Parfaire le niveau jusqu'au repère 10 ml, fermer avec le couvercle et agiter pour bien mélanger :
 - Agiter le tube à essai pour s'assurer de la dissolution totale du DPD, en évitant les bulles d'air.
 - Tapoter doucement les parois du tube à essai en présence de bulles d'air.
8. Placer immédiatement cette éprouvette dans le compartiment droit du comparateur.
9. comparer la couleur du tube à essai avec la palette de couleur du comparateur. Faire tourner le disque jusqu'à égalité des teintes entre le tube à essai et la palette de couleur.
10. Reporter le résultat sur un carnet ou un formulaire adapté à chaque structure.
11. Jeter immédiatement l'échantillon, rincer la cuve pour éviter que le verre conserve les traces de couleur.
12. Ranger le comparateur ainsi que les tubes une fois que l'analyse est terminée.

A blue graphic element resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a slight shadow effect.

Partie II

Résultats et discussions

Les concentrations des différents paramètres sont représentées dans les tableaux ci-après, ces résultats déterminent la qualité de l'eau de distribution à la ville de Bab-Ezzouar, wilaya d'Alger. L'interprétation de ces résultats est effectuée selon les normes du journal officiel de la république algérienne correspondant au 4 mars 2014, portant dissolution de l'agence de gestion du système hydraulique de Beni Haroun (Tableau A1 en annexe), et le guide de la qualité de l'eau commercialisé déterminé dans le contrat d'achat de l'eau. Ce guide a été établi selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé 2003 et 2006 (OMS 2003, 2006) (Tableau A2 en annexe).

1. Détermination de la qualité de l'eau de la ville Bab-Ezzouar

1.1 Résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau de distribution de Bab-Ezzouar

Ces résultats sont représentés dans le tableau N° 14 (tableau A 3 de l'annexe).

1.2 Discussion des résultats des analyses physico-chimiques

- pH

Les mesures du pH qui ont été effectuées au sein de laboratoire SEAAL El-Harrach montrent une variation entre 7,34 et 8,26. Le pH de l'eau de distribution à la ville de Bab-Ezzouar est conforme aux normes algériennes du journal officiel 2014 ($6,5 < \text{pH} < 9$) (voir Annexe A 1), et aussi ces résultats répondent aux exigences de la norme selon OMS 2003 et OMS 2006 relative à la qualité de l'eau ($6,5 < \text{pH} < 9,5$) (Voir Annexe A 2).

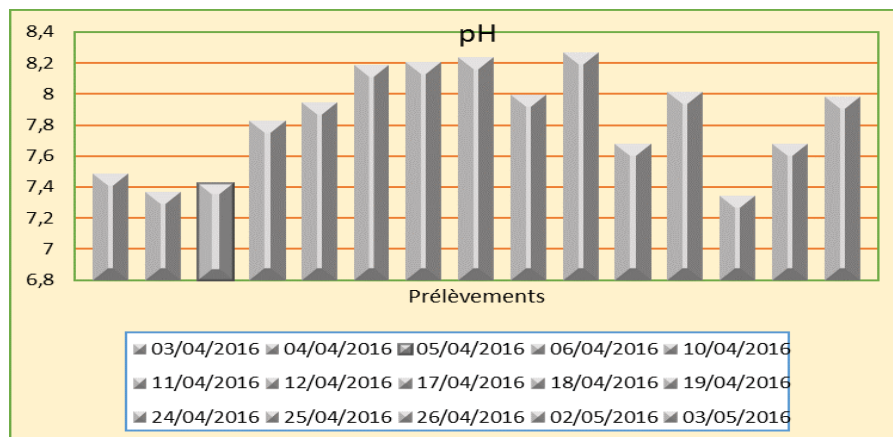


Figure N° 17 : Variation du pH des eaux analysées.

Selon les résultats obtenus (Figures 17,18, 19), il s'avère aussi que le pH, la conductivité électrique des eaux de distributions ainsi que leur températures sont dans les normes, dont la mesure où les textes réglementaires locaux exigent respectivement pour ces trois paramètres dans le cas des eaux potables les valeurs suivantes : $6,5$ à 9 ; ≤ 25 °C et ≤ 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ça explique le bon fonctionnement de la station de traitement.

- **Température**

Les mesures obtenues montrent que la température de l'eau varie d'un échantillon à un autre durant la période de prélèvement. Les résultats varient de 16,8 jusqu'à 20,3 °C, en fonction du climat, et de transport et de l'heure du prélèvement.

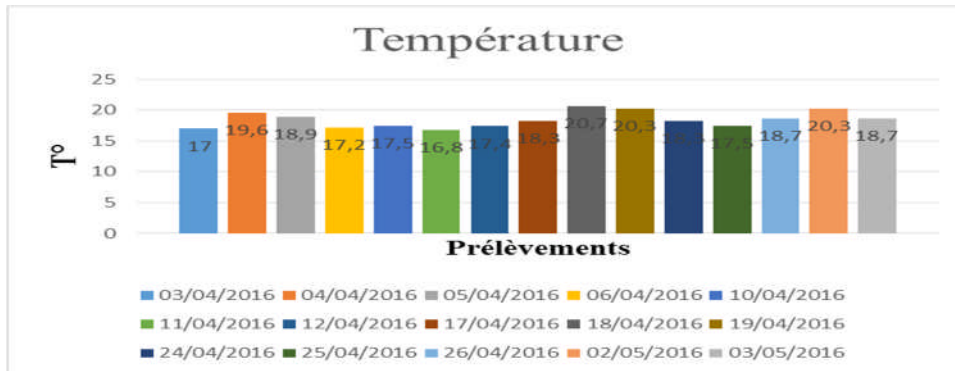


Figure N° 18 : Variation de la température des eaux analysées.

- **Conductivité électrique (CE)**

Pour la conductivité électrique, les résultats des analyses montrent une variation entre 1022 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1081 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces résultats sont conformes aux normes algériennes, et inférieures à la valeur limite fixée par ces normes.

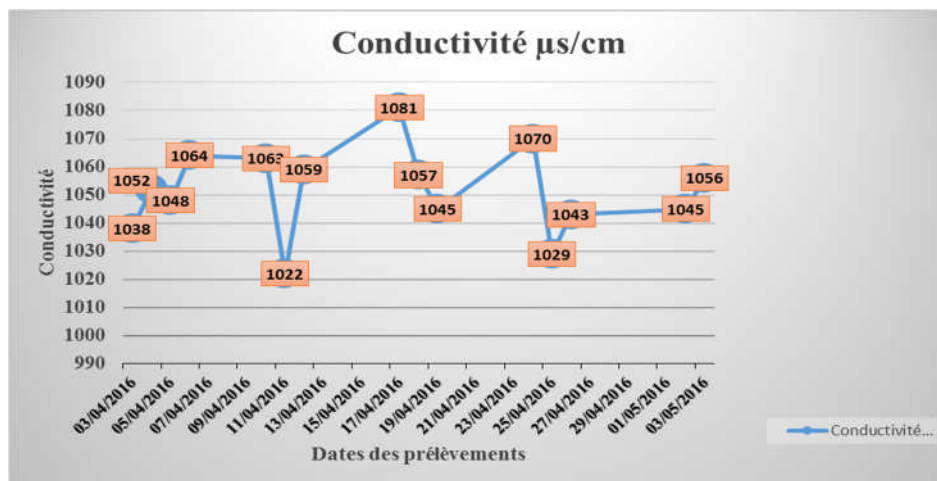


Figure N° 19 : Variation de la conductivité des eaux analysées.

- **Matière solide dissoute totale (TDS) et salinité**

Les résultats des analyses de la salinité montrent une variation très légère entre 0,5 et 0,53 ppt, et pour les concentrations présentées dans le tableau ci-dessus, pour TDS, montrent une variation entre 511 mg/l et 533 mg/l (voir la figure N° 20). Ce qui signifie que la teneur en matière solide dissoute des échantillons analysés respecte les qualités de l'eau potable souhaitée (OMS 2003, <1200 mg/l et OMS 2006, <1000 mg/l).

Résultats et discussions

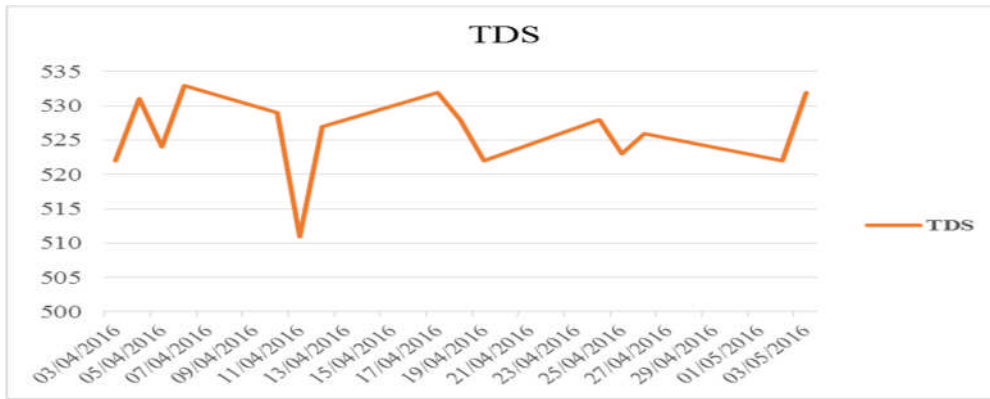


Figure N° 20 : Variation de la matière solide dissoute totale.

- **Turbidité**

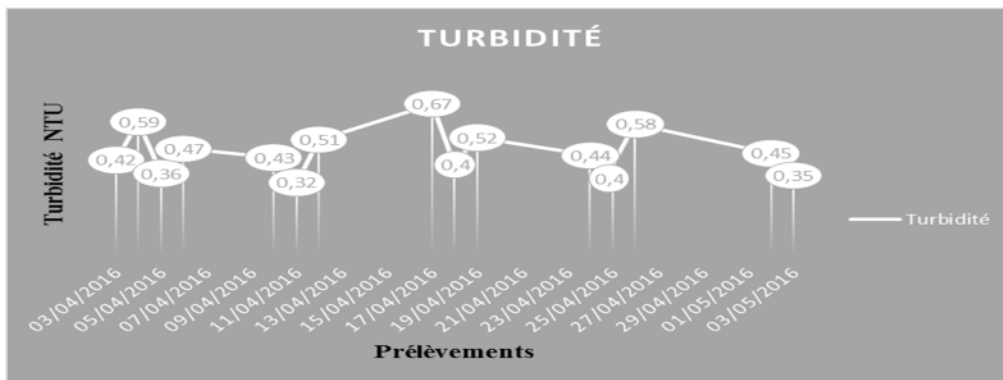


Figure 21 : Variation de la turbidité des eaux analysées

Les résultats des analyses à l'aide d'un turbidimètre déterminent une variation entre 0,32 NTU et 0,67 NTU (voir la figure N° 21), toutes les valeurs trouvées restent toujours inférieures à la valeur indicative (5 NTU) par la norme algérienne relative à la qualité de l'eau potable (Annexe A 1).

- **Résidu sec**

La figure N° 22 montre que les résultats obtenus varient entre 690 mg/l et 801 mg/l, ils restent toujours inférieurs à la valeur indicative par la norme algérienne (2000 mg/l) (voir annexe A 1).

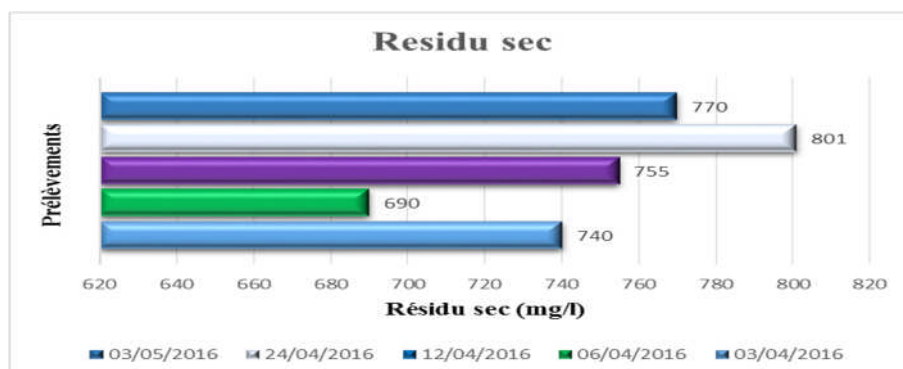


Figure N° 22 : Variation des résidus secs pour des eaux analysées.

1.2 Résultats des analyses des paramètres de pollution

Les résultats obtenus dans le tableau N° 15 (tableau A 4 de l'annexe) sont représentés en mg/l :

1.2.1 Discussion des résultats des paramètres de pollution

Les résultats obtenus montrent que les concentrations en ammonium, en nitrites et en phosphates dans les échantillons analysés sont très faibles, les résultats sont inférieurs à 0,5 mg/l pour l'ammonium et les phosphates, et 0,2 mg/l pour les nitrites, donc ils restent toujours conformes aux normes de potabilité.

La figure N° 23 montre la concentration des nitrates qui se trouve diminuée, rien d'anormal car elle est comprise entre 10,28 et 15,77 mg/l. Alors que la concentration maximale admissible pour les nitrates est de 50 mg/l, donc les nitrates dans les eaux analysées sont conformes aux normes de potabilité (voir annexe A1). Ça explique le bon fonctionnement de la station de traitement réalisé soit par traitements biologiques : dénitrification hétérotrophe ou autotrophe, soit par traitements physico-chimiques : échanges d'ions, procédés membranaires.

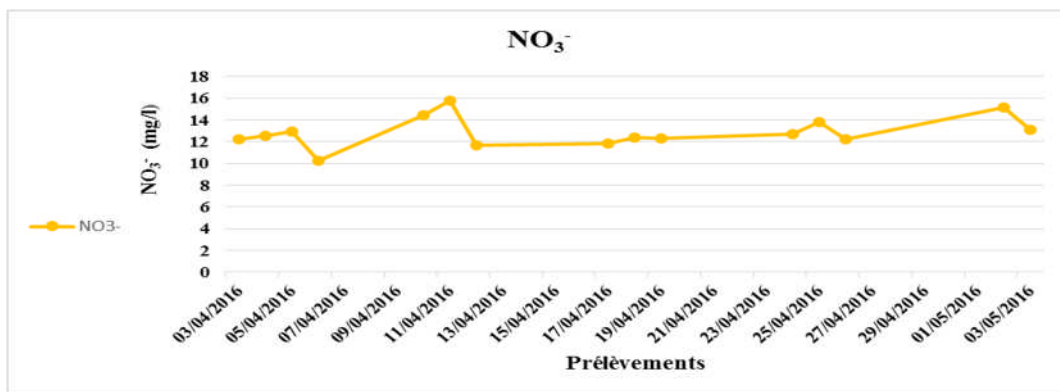


Figure N° 23 : Variation de la teneur en nitrates dans les eaux analysées.

1.3 Résultats de la minéralisation globale

Pour interpréter les résultats de la minéralisation, nous avons jugé plus compréhensible de prendre séparément les ions les plus importants et d'étudier leur influence sur la qualité de l'eau analysée, les résultats des analyses sont montrés au tableau N° 16 (tableau A 5 de l'annexe).

1.3.1 Discussion des résultats de la minéralisation globale

- les ions potassium

Les valeurs de concentration en potassium enregistrées pour l'eau analysée sont comprises entre 2,69 mg/l et 3,21 mg/l, d'après la figure N° 24, les teneurs en potassium des échantillons analysés sont toutes inférieures à la valeur maximale prescrite (12 mg/l) (voir tableau A 1 de l'annexe).

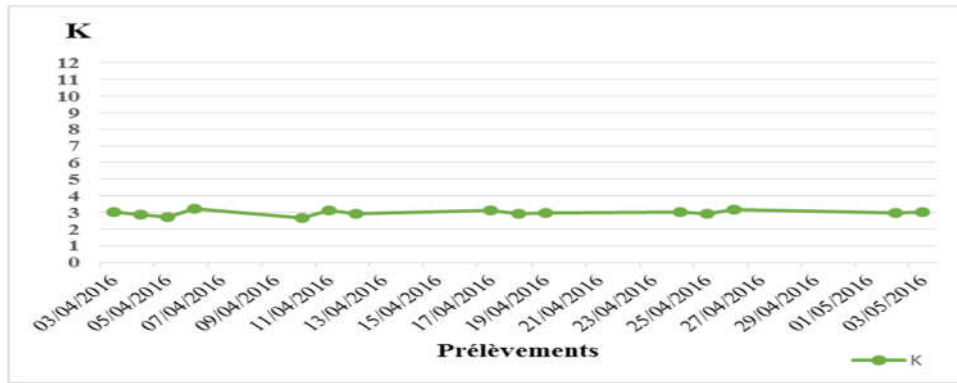


Figure N° 24 : Variation de la teneur en potassium dans les eaux analysées.

- **Chlorures**

D'après les résultats obtenus, les teneurs de l'eau traitée en chlorure varient entre 103,65 mg/l et 119,47 mg/l, et d'après la figure N° 25, ces concentrations avec cette variation restent dans les valeurs souhaitées pour une eau destinée à la consommation humaine et inférieures à la valeur maximale (500 mg/l) (voir annexe tableau A 1).

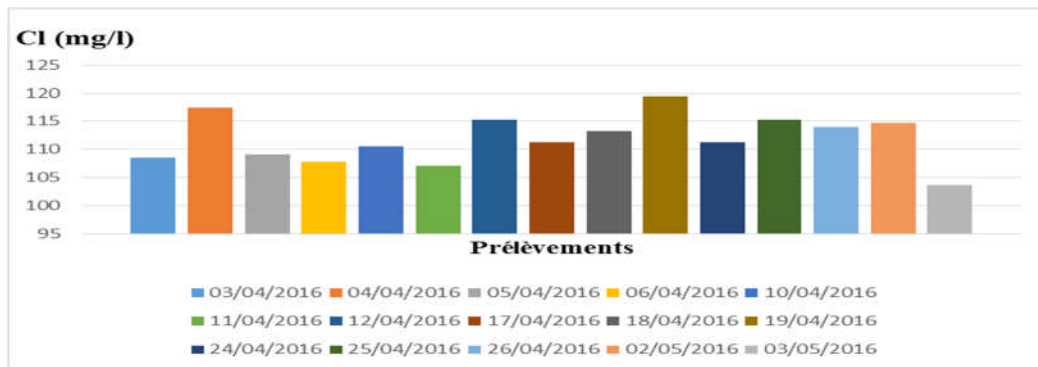


Figure N° 25 : Variation de la teneur en chlorure dans les eaux analysées.

- **Calcium et sodium**

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (Rodier et al, 2009). Les teneurs en calcium et en sodium des eaux contrôlées (Figure N° 26) de tous les échantillons étudiés sont toutes inférieures à la concentration maximale admissible est de 200 mg/l (Normes algériennes, 2014) pour l'eau potable, ça explique le bon fonctionnement de la station de traitement.

Les concentrations du calcium varient entre 90,34 mg/l et 99,37 mg/l, et celle du sodium enregistrée pour les échantillons analysés varient entre 67,65 mg/l et 74,71 mg/l.

Résultats et discussions

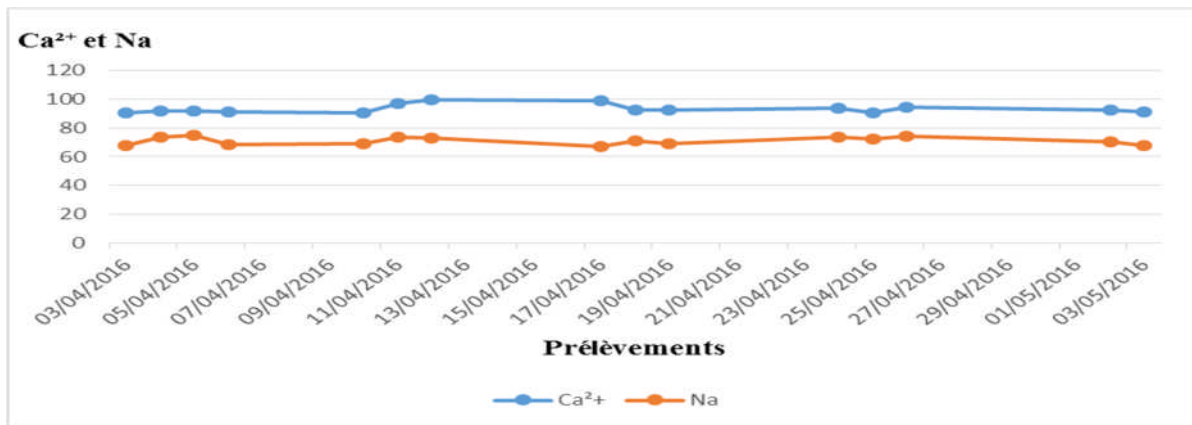


Figure N° 26 : Variation de la teneur en chlorure dans les eaux analysées.

- Magnésium

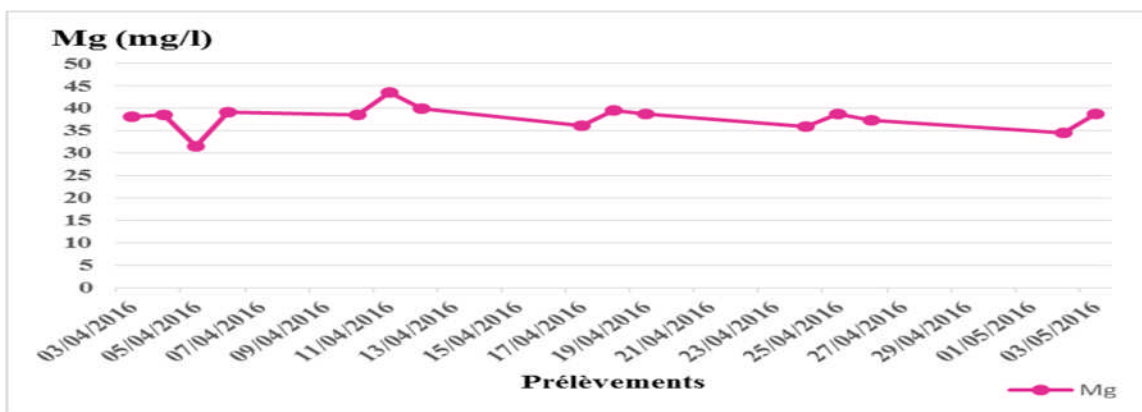


Figure N° 27 : Variation de la teneur en magnésium dans les eaux analysées.

La même chose pour ce qui concerne les concentrations du Magnésium, elles sont conformes aux normes prescrites. Leurs teneurs varient entre 31,42 mg/l et 43,53 mg/l, sont toujours inférieures à la valeur limite (voir figure N° 27).

- Sulfates



Figure N° 28 : Variation de la teneur en sulfate dans les eaux analysées.

Résultats et discussions

Les valeurs représentées dans la figure N° 28 ci-dessous montrent une variation des concentrations des ions sulfates entre 49 mg/l et 69 mg/l, sont inférieures à la valeur limite (400 mg/l) selon les normes algériennes (tableau A 1 de l'annexe) et (250 mg/l) selon l'OMS 2003 et (500 mg/l) selon l'OMS 2006.

- **Alcalinité**

L'alcalinité des échantillons analysés varie de 20,374 mg/L en CaCO₃ et 24,644 mg/L en CaCO₃. Ces valeurs comme elles sont présentées dans la figure N° 29 restent toujours inférieures à la valeur indicative des normes algériennes.

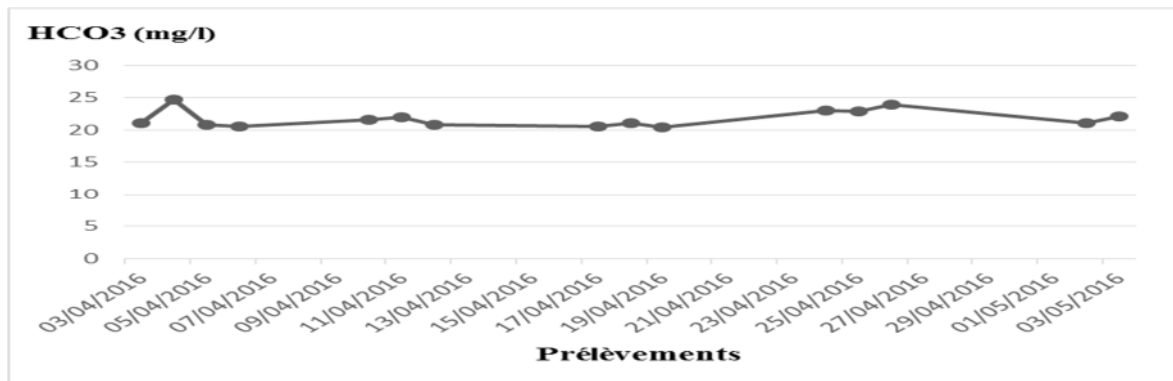


Figure N° 29 : Variation de la teneur de l'alcalinité dans les eaux analysées.

- **Titre hydrométrique (TH)**

La dureté totale de l'eau analysée reste dans les normes fixées en Algérie et selon l'OMS, sa teneur varie entre 37,63 mg/l en CaCO₃ et 44,096 mg/l en CaCO₃. La figure N° 30 montre que ses valeurs sont conformes aux normes de potabilité et restent toujours inférieures à la valeur limite selon les normes algériennes (500 mg/l en CaCO₃).

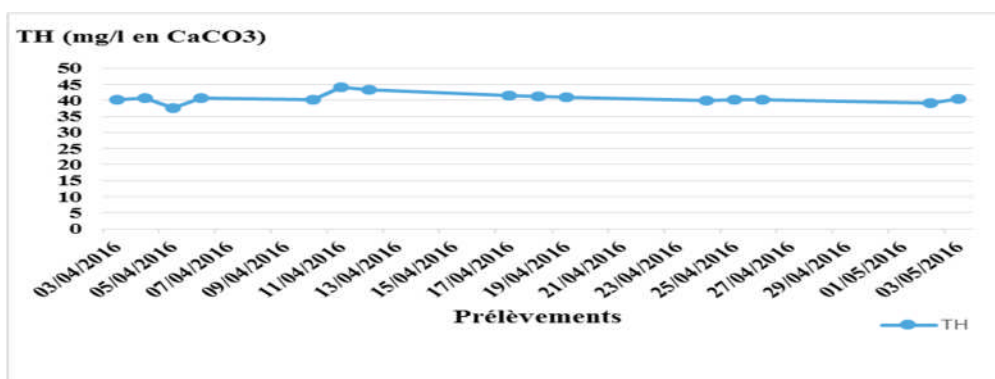


Figure N° 30 : Variation de la teneur de la dureté dans les eaux analysées.

- **Chlore libre**

La désinfection par l'hypochlorite de sodium est une étape indispensable dans le traitement de l'eau, ainsi la présence du chlore libre avec des concentrations inférieures à la valeur limite est

largement souhaitée. Les teneurs en chlore libre dans les quinze échantillons analysés varient entre 0,2 mg/l et 0,4 mg/l, et d'après le SEAAL le réseau de distribution : la concentration en chlore libre comprise entre 0,1 mg/L et 0,6 mg/L pour la wilaya d'Alger.

1.4 Les paramètres bactériologiques

1.4.1 Discussion des résultats des paramètres bactériologiques

Les résultats obtenus dans le tableau N° 17 (tableau A 6 de l'annexe) montrent une absence totale des entérocoques intestinaux, bactéries coliformes, et Escherichia coli, ce qui signifie une bonne qualité bactériologique des eaux analysées aussi ces résultats répondent aux exigences de la norme algérienne relative à la qualité de l'eau potable (Tableau A1 de l'annexe).

A blue scroll graphic with the word "Conclusion" written in white serif font. The scroll is positioned horizontally across the middle of the page, with its ends curled up. The background is white with a black border.

Conclusion

Conclusion

La partie expérimentale nous a permis de faire la lumière sur le mode expérimental concernant notre étude ainsi que les appareils et les réactifs utilisés. On a d'abord décrit la préparation des solutions nécessaires à nos analyses, ensuite le mode opératoire utilisé par le laboratoire de SEAAL El-Harrach et enfin déterminer les paramètres de potabilisation des eaux de distribution à la ville de bab Ezzouar. Vu les risques de contaminations, on a opté pour un contrôle de la qualité de l'eau avec plusieurs paramètres de potabilité afin de s'assurer du bon fonctionnement de la station de traitement Boudouaou et les forages de Hamiz et de la conformité de la qualité de l'eau selon les normes internationales.

En conclusion l'eau de bab-Ezzouar répond aux normes de potabilité exigées par la norme algérienne et internationale selon OMS 2003 et OMS 2006, on déduit que c'est une eau saine qui assure la salubrité et la sécurité de la population.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A. Cheval (1982)** : la désinfection des eaux de consommation. Office international de l'eau.
- A. GILLIS (1998)**. Le livre bleu de Belgaqua : Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'eau potable et l'assainissement des eaux usées 1^{ère} édition.
- Alain BOTTA, Laurence BELLON (2001)** : Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogéni-toxicologie et mutagenèse environnementale.
- Anses, (2012) : agence national de sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail** : réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries. Edition scientifique.
- ARRUS R. (1985)**. L'eau en Algérie de l'impérialisme au développement (1830- 1962).
- Baumont S., Camard J.-P., Lefranc A., Franconi A. (2004)** Réutilisation des eaux usées épurées : considérations sanitaires et intérêts pour l'Île-de-France.
- BERNARD LEGUBE, (2015)** : production d'eau potable : filières et procédés de traitement
- Brigitte Genin, et al (2003)** : cours d'eau : pollutions, méthodes, IBGN et indices biologiques 2^{ème} édition
- C. Faurie, C. Erra, P. Médorie, J. Devane, J. L. Remptime (2003)** : écologie, approche scientifique et pratique. 5^{ème} édition LAVOISIER.
- C. HASLAY, H. LECLERC (1993)** : microbiologie des eaux d'alimentation. Edition TEC & DOC.
- CLAUDE CARDOT, 2010** : Les traitements de l'eau pour l'ingénieur : procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus. 2^{ème} édition.
- D. Gaujout, (1995)** : la pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire, 2^{ème} édition TEC & DOC DUNOD. Paris
- Dégréement (1998)** : Mémento technique de l'eau.
- Delarras Camille, Bernard Trébaol, Joëlle Durand (2010)** : Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux : réglementation, micro-organismes, prélèvement, analyses. 2^{ème} édition Lavoisier.
- Emmanuel Jestin, 2010** : la production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et la préparation de denrées alimentaires. Agence de l'eau Seine-Normandie.
- European Food Safety Authority (EFSA)** : le cadmium dans l'alimentation. Janvier 2009.
- F. N. KEMMER, 1984** : Manuel de l'eau, Ed. NALCO.
- FRANCK Rejsek (2002)** : analyses des eaux : aspects réglementaires et techniques.
- François ANCTIL (2008)** : l'Eau et ses enjeux. Edition De Boeck.

Frédéric Khamsing, Yacine Barhoumi-Andreani, Benoît Gerbe, Julien Gaudremeau, Yoann Rabatel (2014) : Eau ressource et menace.

Ghislain de Marsily, (2009) : l'eau un trésor en partage : préface d'Erik Orsenna.

Henri Aussel, Graziella Dornier (2004) : Le traitement des eaux usées (institut national de recherche et de sécurité. Paris).

HENRI Roques (1979) : fondement théorique du traitement biologique des eaux.

IBGE : Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, 2005 : Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général.

J. R. Vaillant (1977) : Accroissement et gestion des ressources en eau. Éditions EYROLLES. Paris

Jacques Bordet (2007) : l'eau dans son environnement rural. Edition JOHANET.

Jean Paul Beadry (1984) Traitement des eaux. Les éditions le griffon d'argile. Quebec. Canada.

Jean-Luc LAURENT, (1994) : L'assainissement des agglomérations : Techniques d'épuration actuelles et évolutions. Les agences de l'eau et le ministère de l'environnement.

Jean-Luc Martin Lagardette (2004) : l'eau potable et l'assainissement, édition JOHANET.

Jean-Paul Bravard et Anne Clemens, (2005) : le Rhône en 100 questions

Journal officiel de la république algérienne 2014 : Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine (Annexe).

Khalid AROUYA (2011) : pollution des eaux : impact des eaux usées sur la qualité des eaux de surface.

L. Schwartzbrod, J. C. Block (1982) : Analyse virologique des eaux. Lavoisier

Laetitia CITEAU (2004) : étude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires des sols contaminés. Unité de science du sol. Versailles et INA-PG.

Lamrous Rachid : l'eau d'alimentation en Algérie : problèmes actuels. Edition N° : 764-12/80

Léon Duvivier, (2006) : traitement des eaux de refroidissement. Edition TEC & DOC.

M. HICHOIR, F. PERSIN, J. SANDEAUX, J. MOLENAT, et C. GAVACH (1990) : Défluoruration des eaux par dialyse de Donnan et électrodialyse. Revue des sciences de l'eau.

M. Roux (1990) : analyses biologique de l'eau.

M'hamed REBAH (2000) : l'écologie oubliée : problèmes d'environnement en ALGÉRIE.

Memento technique des eaux (1989) : Traitement des eaux de consommation.

Mode opératoire SEAAL El-Harrach : guide de mode opératoire SEAAL.

Monod jérôme, (1989) : memento technique de l'eau 9^{ème} édition/ tome 1.

Mustapha BOUZIANI (2000) : l'eau de la pénurie aux maladies. Edition IBN-KHALDOUN

OFEV, (2010) : l'Office Fédéral de l'Environnement : Méthodes d'analyses et d'appréciation des cours d'eau : Analyses physico-chimiques, nutriments. Office des publications universitaires. Presses universitaires de Grenoble.

Olivier Atteia (2005) : Chimie et pollutions des eaux souterraines. Edition Lavoisier.

OLIVIER THUAL, (2010) : Hydrodynamique de l'environnement

OMS (W.H.O.) : WORLD HEALTH ORGANISATION. (2003) Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. World Health Organisation.

P. Chappuis (1991) : les oligo-éléments en médecine et biologie. Lavoisier

P. SAVARY (2010) : Guide des analyses de la qualité de l'eau. Edition Territorial Voiron.

Pierre Pène, Yves Levi (2011) : les eaux de consommation humaine et santé publique. Commission santé-environnement, Académie nationale de médecine.

R. OUDJEHANE et al (2008). Rapport sur la surveillance de la qualité de l'eau potable en Algérie

R.I.E.V.R, Régie Intermunicipale de l'Eau de la Vallée du Richelieu (2010) : Traitement de l'eau destinée à la consommation humaine.

Raymond Desjardins (1990) : Le traitement des eaux. Edition de l'école polytechnique de Montréal. Canada.

Raymond Desjardins (1997) : le traitement des eaux. 2^{ème} édition revue et améliorée. Edition de l'école polytechnique de Montréal.

René Moletta (2011) : l'Eau, sa pollution, et son traitement.

Rodier jean, Bernard Legube, Nicole MERLET, et coll (2009) : l'analyse de l'eau. 9^{ème} édition.

RODIER Jean, et al, (1996) : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} édition. DUNOD. Paris.

ROLAND Vilaginès, (2003) : eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie, 2^{ème} édition.

Sigg Laura, Philippe Behra, Werner Stumm (2000) : Chimie des milieux aquatiques : chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement. 3^{ème} édition.

UNESCO, (1988) : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science, et la Culture : la pollution de l'environnement et ses effets sur les documents d'archives : une étude RAMP.

Hydranet, <http://www.hydranet.net> (site internet).

Annexe

Tableau A1 : paramètres avec valeurs limites (Normes Algériennes, journal officiel 2014).

groupe de paramètres	Paramètres	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 dessalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome totale	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 Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1, 2,3) pyrène,	µg/l	0,2
	benzo (3,4) pyrène,	µg/l	0,01
	Benzène	µg/l	10
	Toluène	µg/l	700
	Ethylbenzène	µg/l	1000
	Xylènes	µg/l	500
Styrène	µg/l	100	
Agents de surfaces régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2	
Epychlorehydrine	µg/l	0,4	
Microcystine LR	µg/l	1	
Pesticides par substance individualisée -Insecticides organochlorés persistants -Insecticides organophosphorés et carbamates -Herbicides -Fongicides -P.C.B -P.C.T	µg/l µg/l µg/l	0,01 0,01 0,01	

	-Aldrine	µg/l	0,01
	-Dieldrine	µg/l	0,01
	-Heptachlore	µg/l	0,01
	-Heptachlorépoxyde	µg/l	0,03
		µg/l	0,03
		µg/l	0,03
		µg/l	0,03
	Pesticides	µg/l	0,05
	Bromates	µg/l	10
	Chlorite	µg/l	0,07
	Trihalométhanes par substances individualisée :		
	-chloroforme	µg/l	200
	-bromoforme	µg/l	100
	-dibromochlorométhane	µg/l	100
	-bromodichloromethane	µg/l	60
	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
	1,2-Dichloroéthane	µg/l	30
	1,2-Dichlorobenzène	µg/l	1000
	1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300
	Tetrachloroéthylène	µg/l	40
	Trichloroéthylène	µg/l	20
Radio-nucléides	Particules alpha	Picocurie/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli	n/100 ml	0
	Entérocoques	n/100 ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20 ml	0
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	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux dessalées ou deminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
structure naturelle des eaux	Conductivité à 20° C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	Mg/l en CaCO ₃ mg/l	500
	Résidu sec (séchage à 105 °C)		2000
	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

TABLEAU A2 : Lignes directrices de l'OMS 2003 et OMS 2006 en ce qui concerne la qualité de l'eau potable.

Elément/ substance	Symbole	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices OMS 2003	Lignes directrices OMS 2006
Aluminium	Al		0,2 mg/l	0,2 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l	0,01 mg/l
Baryum	Ba		0,7 mg/l	0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l	Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l	2 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l	1,5 mg/l
Dureté	mg/l en CaCO ₃		500 ppm	200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L	0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l	0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l	0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃		50 et 3 mg/l (exposition à court terme)	50 et 3 mg/l (exposition à court terme)
	NO ₂		0.2 mg/l (exposition à long terme)	0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée	Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5	Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	< 0,1 mg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	< 200 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		250 mg/l	500 mg/l
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1200 mg/l	Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l	3 mg/l

Tableau A 3 : Tableau N° 14 : résultats de l'analyse physico-chimique de l'eau de distribution de Bab-Ezzouar.

Paramètres physico-chimique	pH	Conductivité	TDS	T°	Turbidité	Salinité	Résidu sec
		µs/cm	mg/l	°C	NTU	Ppt	mg/l
03/04/2016	7,48	1038	522	17	0,42	0,5	740
04/04/2016	7,36	1052	531	19,6	0,59	0,53	/
05/04/2016	7,42	1048	524	18,9	0,36	0,52	/
06/04/2016	7,82	1064	533	17,2	0,47	0,53	690
10/04/2016	7,94	1063	529	17,5	0,43	0,52	/
11/04/2016	8,18	1022	511	16,8	0,32	0,5	/
12/04/2016	8,2	1059	527	17,4	0,51	0,52	755
17/04/2016	8,23	1081	532	18,3	0,67	0,53	/
18/04/2016	7,99	1057	528	20,7	0,4	0,52	/
19/04/2016	8,26	1045	522	20,3	0,52	0,52	/
24/04/2016	7,67	1070	528	18,3	0,44	0,5	801
25/04/2016	8,01	1029	523	17,5	0,4	0,53	/
26/04/2016	7,34	1043	526	18,7	0,58	0,5	/
02/05/2016	7,67	1045	522	20,3	0,45	0,52	/
03/05/2016	7,98	1056	532	18,7	0,35	0,53	770

Tableau A 4 : Tableau N° 15 : résultats de l'analyse des paramètres de pollution de l'eau de distribution de Bab-Ezzouar.

Paramètres De pollution	PO ₄	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
03/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	12,23
04/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	12,58
05/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	12,94
06/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	10,28
10/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	14,44
11/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	15,77
12/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	11,7
17/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	11,87
18/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	12,4
19/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	12,32
24/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	12,67
25/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	13,83
26/04/2016	<0,09	<0,02	<0,02	12,23
02/05/2016	<0,09	<0,02	<0,02	15,15
03/05/2016	<0,09	<0,02	<0,02	13,11

Tableau A 5 : Tableau N° 16 : résultats de l'analyse de la minéralisation globale de l'eau de Bab-Ezzouar.

échantillon	Minéralisation globale							TH	Clöre libre
	Ca ²⁺	Mg	Cl	Na	K	HCO ₃	SO ₄		
3-avr.	90,34	38,12	108,46	67,8	3,01	21,106	59	40,068	0,2
4-avr.	91,91	38,37	117,41	73,82	2,87	24,644	49	40,598	0,2
5-avr.	91,51	31,42	109,15	74,71	2,7	20,74	59	37,63	0,4
6-avr.	91,12	39,15	107,78	68,35	3,21	20,496	61	40,704	0,4
10-avr.	90,73	38,38	110,53	68,9	2,69	21,594	52	40,28	0,2
11-avr.	97,01	43,53	107,08	73,77	3,13	21,96	55	44,096	0,4
12-avr.	99,37	39,92	115,34	73,2	2,91	20,862	59	43,248	0,2
17-avr.	98,98	36,06	111,22	67,18	3,11	20,496	69	41,552	0,2
18-avr.	92,3	39,41	113,28	71,12	2,9	21,106	53	41,128	0,4
19-avr.	92,69	38,64	119,47	68,98	2,97	20,374	60	40,916	0,2
24-avr.	93,48	35,8	111,22	73,35	3,04	23,01	54	39,962	0,2
25-avr.	90,34	38,64	115,34	72	2,9	22,895	52	40,28	0,4
26-avr.	94,27	37,35	113,97	74,55	3,2	23,9	61	40,174	0,4
2-mai	92,3	34,52	114,65	70,12	2,99	21,09	58	39,114	0,4
3-mai	91,12	38,64	103,65	67,65	3,01	22,06	69	40,492	0,2

Tableau A 6 : Tableau N° 17 : résultats de l'analyse des paramètres bactériologiques de l'eau de distribution à la ville de Bab-Ezzouar.

Paramètre recherché	Date de prélèvement	Résultat
Entérocoques intestinaux	00 C /100 ml	00 C /100 ml
Bactéries Coliformes	00 C /100 ml	00 C /100 ml
Coliformes fécaux : E. Coli	ABSENCE	ABSENCE