

Année Universitaire : 2017-2018



Master Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Caractérisation physicochimiques et bactériologiques de l'eau de Meknès

Présenté par:

Daniel Kenyi Nixon SOMA

Encadré par:

- **Mr. Abdelaziz BOUHLAL** - ONEE-Branche Eau(Meknès)
- **Pr. Raouf JABRANE** -Faculté des sciences et Techniques de Fès

Soutenu le 11 Juin 2018 devant le jury composé de:

- **Pr. Naoual RAISS** -Faculté des Sciences et Techniques de Fès.
- **Pr. Abdelkader El GAROUANI** -Faculté des Sciences et Techniques de Fès.
- **Pr. Raouf JABRANE** -Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

Stage effectué à : ONEE-Branche Eau (Meknès),



Avant-propos

Description générale sur l'ONEE

Généralités sur l'ONEE

L'ONEE (office national de l'électricité et de l'eau potable) est le fruit d'un regroupement (avril 2012) entre deux offices : l'office national de l'eau potable (ONEP), et l'office national de l'électricité (ONE).

La création de l'ONEE par dahir a été en 1929 sous le nom de REIP Régie d'Exploitation Installation et planification ; puis REI Régie d'Exportation Industrielle, sous nom ONEP en 1972 et enfin sous nom ONEE en 2012.

L'ONEE est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

ONEE branche eau, Acteur principal dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement, les missions principales de l'Office sont :

- ↪ Planification de l'approvisionnement en eau potable (AEP) à l'échelle nationale
- ↪ Production de l'eau potable
- ↪ Distribution de l'eau potable pour le compte des collectivités locales
- ↪ Gestion de l'assainissement liquide pour le compte des collectivités locales
- ↪ Contrôle de la qualité des eaux

L'office considéré comme le premier producteur avec 767 millions m³ (soit 80% de la production nationale en eau potable) couvrant les besoins de 96% de la population totale urbaine du Royaume et le premier distributeur avec 1,2 millions de clients répartis sur plus de 500 communes.

En perspective 2011-2015 l'ONEE-BRANCHE EAU a mis au point un programme de développement pour la pérennisation et la sécurisation des infrastructures d'approvisionnement de milieu urbain en eau potable d'un montant de plus de 13,4 Milliards de dirhams :

- ↪ Equiper un débit supplémentaire de 14 m³/s ;
- ↪ Améliorer le rendement des réseaux de distribution à 76% ;
- ↪ Augmenter le taux de branchement individuel à 96%

L'ONEE branche eau, dispose d'un laboratoire central et de 112 laboratoires décentralisés dont 72 laboratoires d'eau potable répartis sur tout le royaume. Ces laboratoires effectuent des contrôles de qualité physiques, chimiques et bactériologiques qui respectent les normes marocaines.

Laboratoire régional de Meknès

A tous les stades de la production de l'eau allant de l'adduction du traitement jusqu'à la distribution, la qualité de l'eau fait l'objet de nombreux contrôles physiques, chimiques et bactériologiques qui respectent les normes marocaines et qui sont assurées par le laboratoire régional de Meknès.

Pour cela le laboratoire régional de Meknès dispose d'une salle d'analyse :

- ☞ physico-chimiques,
- ☞ bactériologique

Résumé

Dans ce travail les paramètres physico chimiques analysés au niveau de laboratoire sont ; la température, la turbidité, le pH, et la conductivité. Le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC), la Dureté totale, le sulfate, l'ammonium, le nitrate, le bore l'oxydabilité.

Les résultats de ces analyses physico-chimiques des eaux analysées montrent que les paramètres tels que les températures, sont presque les même avec une moyenne de 15,8°C, la turbidité de l'eau brute est supérieur à celle de l'eau du robinet. Ceci s'explique par une forte teneur de la matière en suspension dans l'eau brute. Cette turbidité est causée par des particules organiques (végétaux décomposé ou des algues) ou inorganiques (limon, sable ou compose chimique naturels tel que calcium de carbonate), des pluies abondantes, et l'écoulement printanier. Le pH de ces eaux sont neutre ce qui indique que ces eaux sont de qualité bonne. La conductivité mesurée de ces eaux ne dépassent pas la norme marocaine qui de 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ce qui indique ces eaux sont de qualité excellente. L'analyse Alcalimétrique Complet (TAC) et Titre Alcalimétrique (TA) de ces eaux, nous montre que la concentration des ions hydroxydes et des ions carbonates est nulle, et les ions hydrogénocarbonates sont présents mais avec des concentrations très faibles et leur $[\text{HCO}_3^-]$ très proche. Les résultats de la Dureté totale obtenues montrent que ces eaux sont douces et peu chargée en ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} . Concernant le sulfate, l'ammonium, le nitrate, et le bore, les résultats obtenus montrent des faibles concentrations de ces éléments. L'oxydabilité déterminée montre que les matières oxydables dans l'eau brute sont supérieures à celle de l'eau du robinet.

Du point de vue bactériologique, les paramètres déterminés sont, les Coliformes totaux (CT), streptocoques fécaux(SF), les Entérocoques intestinaux, les Spores de micro-organismes anaérobies Sulfito-réducteurs et les Escherichia Coli. Les résultats obtenus montrent qu'il n'existe aucune bactérie dans ces eaux. Cela veut dire qu'il n'existe aucune contamination fécale et que le traitement et le contrôle de notre eau est bien efficace.

Mots clés : Eau Brute ; Eau du Robinet; paramètre bactériologique ; paramètres organoleptiques et physico-chimiques ; traitement de l'eau brute.

Abstract

In this work the physicochemical parameters analysed at the laboratory are; temperature, turbidity, pH, and conductivity, Alkalinity, Total alkalinity, Total Hardness, Sulphate, Ammonium, Nitrate, Boron, Oxidation by potassium permanganate.

The results of these physicochemical analyses of the analysed waters show that parameters such as temperatures are almost the same with an average of 15.8°C, the turbidity of raw water is higher than that of tap water. This is explained by a high content of suspended matter in raw water. This turbidity is caused by organic particles (decomposed plants or algae) or inorganic particles (silt, sand or natural chemical compounds such as carbonate calcium), abundant rainfall, and spring runoff. The pH of these waters is neutral indicating that these waters are of good quality. The measured conductivity of these waters does not exceed the Moroccan standard of 2700 μm which indicates these waters are of excellent quality. The analysis of alkalinity, total alkalinity of these waters, shows us that the concentration of hydroxide ions and carbonate ions is zero, and the hydrogen carbonate ions are present but with very low concentrations and their $[\text{HCO}_3^-]$ are very close. The results of Total Hardness obtained show that these waters are soft. Concerning sulphate, ammonium, nitrate, and boron, the results obtained show low concentrations of these elements. The determined oxidation shows that the materials oxidised in the raw water are higher than that of the tap water.

From a bacteriological point of view, the parameters determined are: total coliforms (TC), faecal streptococci (FS), intestinal enterococci, spores of anaerobic sulphite-reducing microorganisms and Escherichia Coli. The results obtained show that there are no bacteria in these waters. This means that there is no faecal contamination and that the treatment and control of our water is very effective.

Keywords: Raw Water; Tap water; bacteriological parameter; organoleptic and physicochemical parameters; treatment of raw water.

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leur conseil judicieux, j'espère qu'un jour,

Je peux rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que Dieu leur prête du bonheur et longue vie.

A mes frères et sœurs pour leurs affections, encouragement et leurs aides financières.

A tous mes amis, en témoignage de mon grand amour et de l'amitié que je porte Pour vous.

A tous les professeurs qui ont fait de leurs mieux afin de nous offrir de bonne formation et qui se sont montrés très compréhensifs à notre égard.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui nous sont chers.

Remerciement

Je profite de ces quelques lignes pour remercier très sincèrement toutes les personnes qui, d'une façon ou d'une autre, m'ont aidé dans la conception de ce travail.

Je tiens à remercier Mr **LAAOUIMIR Adil**, Directeur régional de la direction centre sud-Meknès pour avoir accepté de m'accueillir dans la dite direction et de mettre à ma disposition tous les moyens nécessaires à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens tout d'abord à adresser mes plus vifs remerciements à Mr **BOUHLAL Abdelaziz**, Chef de service du laboratoire de contrôle de la qualité des eaux, pour m'avoir donné l'accord de travailler sur ce sujet et pour m'avoir encadré tout au long de mon projet de fin d'étude, Je vous remercie sincèrement pour votre écoute permanente et votre patience, ainsi que pour votre simplicité et vos qualités professionnelles et humaines qui font de vous des personnes respectées et appréciées de tous.

J'assure ma profonde gratitude à Mon Encadrant **Pr. Raouf JABRANE**, Professeur à l'FST de Fès pour l'honneur que vous m'avez fait d'être le tuteur de ce thème.

Mes profondes et vives reconnaissances s'adressent aussi aux membres de jury : **Prof. Naoual RAISS**, et **Prof. Abdelkader EL GAROUANI** d'avoir accepté le jugement de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude pour l'intérêt qu'ils m'ont témoigné.

Mon remerciement s'adresse aussi à tous les professeurs du département de l'environnement de la faculté des sciences et techniques de Fès pour leur contribution appréciable pour la réussite de ma formation.

Je tiens à remercier également le responsable de la filière (Géoressources et environnement) qui a fait énormément d'efforts pour me faciliter l'accès à l'information et l'apprentissage, Monsieur Pr. **BINAABIDATE Lahcen**, et Monsieur **Pr. CHAOUNI Abdel-Ali** chef de département de l'environnement.

Au terme de ce projet, je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à Madame **BELKHHADOR Meryem** et à toute l'équipe du laboratoire, notamment, **MAALEM Mohamed**, **AMHAOUCH Zahra**, **ALAOUI Youssef**, **ELMIDAOUI Nada**, pour leurs suivi, leurs explications, leurs conseils qui ont fait de mon stage une expérience enrichissante et pleine d'intérêt.

Liste d'abréviation

- **ONEE** : Office national de l'électricité et de l'eau potable.
- **RADEM** : Régie autonome de distribution d'eau et d'électricité à Meknès
- **SF** : Streptocoques fécaux.
- **EI** : Entérocoque intestinaux
- **EDTA** : Éthylène Diamine Tétra-Acétique.
- **VMA** : Valeur maximale admissible.
- **CT** : Coliformes totaux.
- **CF** : Coliformes fécaux.
- **MOR** : Microorganisme revivifiables.
- **NPP** : Nombre le Plus Probable.
- **EC** : Escherichia coli.
- **MASR** : Microorganismes anaérobies sulfite-réducteurs.
- **pH** : Potentiel d'hydrogène.
- **MR** : Matériaux de références.
- **UFC** : unité formant colonies
- **MES** : Matière en suspension.
- **NM** : Norme marocaine.
- **BEA** : Bile Esculine Azide.
- **TTC** : Triphenyl Tetrazolium Chloride.
- **TSC** : Tryptone sulfite cyclosérine.
- **TSA** : Trypto-Caséine Soja.
- **TA** : Titre Alcalimétrique.
- **TAC** : Titre Alcalimétrique Complet.
- **TH** : Titre Hydrotimétrique.

Sommaire

Avant-propos	i
Résumé	iii
Abstract	iv
Dédicace	iii
Remerciement	iv
Liste d'abréviation	v
Listes des Figures	xi
Listes des Tableaux	xii
INTRODUCTION GENERALE	xiii
CHAPITRE I: INTRODUCTION SUR L'EAU	1
I.1. DEFINITION	1
I.2. LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'EAU	1
I.3. DOMAINE D'UTILISATION DE L'EAU	2
CHAPITRE II: LE TRAITEMENT DE L'EAU BRUTE	3
II.1. PRETRAITEMENT.....	3
II.1.1. Pré-chloration	3
II.1.2. Dégrillage	3
II.1.3. Dessablage.....	4
II.1.4. Débourbage	5
II.2. LE TRAITEMENT CLASSIQUE	5
II.2.1. Coagulation	5
II.2.2. Floculation.....	6
II.2.3. Décantation.....	7
II.2.4. Filtration	7
II.2.5. La désinfection	8
CHAPITRE III: LES PARAMETRES D'ANALYSES DE L'EAU	9
III.1. LES PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES ET PHYSICO- CHIMIQUES DE L'EAU	9
III.1.1. Le goût.....	9
III.1.2. L'odeur	9
III.1.3. La couleur.....	9
III.1.4. Température.....	9
III.1.5. PH.....	10
III.1.6. La Turbidité.....	11

III.1.7.	Conductivité	12
III.1.8.	La dureté totale	13
III.1.9.	Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet	13
III.1.10.	L'oxydabilité au potassium permanganate	14
III.1.11.	Sulfate.....	14
III.1.12.	Bore	14
III.1.13.	Nitrate.....	15
III.1.14.	Ammonium.....	15
III.2.	LES PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES	16
III.2.1.	Les Coliformes fécaux.....	16
III.2.2.	Les streptocoques fécaux.....	16
III.2.3.	Bactéries coliformes (coliformes totaux)	17
III.2.4.	Escherichia coli	17
III.2.5.	Entérocoque intestinaux	18
III.2.6.	Les microorganismes anaérobies sulfite-réducteurs.....	18
III.2.7.	Microorganismes revivifiables	19
CHAPITRE IV: METHODE ET MATERIEL	.....	20
IV.1.	PARAMETRE DE CONTROLE DE QUALITE	20
IV.2.	LES ANALYSE PHYSICO CHIMIQUES DE L'EAU	22
IV.2.1.	pH.....	22
IV.2.2.	La Turbidité.....	22
IV.2.3.	Conductivité	23
IV.2.4.	Chlore résiduel	23
IV.2.5.	Détermination de l'Oxydabilité au permanganate de potassium.....	24
IV.2.6.	Détermination du Sulfate.....	25
IV.2.7.	Détermination de la dureté totale ou Titre hydrotimétrique	26
IV.2.8.	Détermination de l'alcalinité	27
IV.2.9.	Dosage du Bore	29
IV.2.10.	Dosage du Nitrate.....	30
IV.2.11.	Dosage de l'Ammonium.....	31
IV.3.	LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES DE L'EAU	32
IV.3.1.	Analyse bactériologiques d'eau brute.....	33
IV.3.2.	Analyse bactériologiques d'eau traitée.....	36
CHAPITRE V: RESULTATS ET DISCUSSIONS	.....	41

V.1.	LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU DU ROBINET ET DE L'EAU BRUTE	41
V.1.1.	Température.....	41
V.1.2.	pH.....	42
V.1.3.	Turbidité	43
V.1.4.	Conductivité	44
V.1.5.	Chlore résiduel	45
V.1.6.	Bore	45
V.1.7.	Sulfate.....	47
V.1.8.	Ammonium.....	48
V.1.9.	Nitrate	49
V.1.10.	Titre Hydrotimétrique ou Dureté totale	50
V.1.11.	TA/TAC.....	50
V.1.12.	Oxydabilité au permanganate de potassium	51
V.2.	LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU	52
V.2.1.	Les analyses Bactériologiques de l'eau du Robinet	52
V.2.2.	Les analyses Bactériologiques de l'eau brute.....	53
Conclusion	.....	54
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	.....	55
ANNEXE	.....	57
Annexe 1	.....	57
Annexe 3	.....	59
Annexe 4	.....	60

Listes des Figures

Figure II. 1: Dégrielleur	4
Figure II. 2: Dessableur	4
Figure II. 3: Décanteur lamellaire	7
Figure II. 4: Filtre à Sable	8
Figure III. 1: pH-mètre	10
Figure III. 2: Turbidimètre	11
Figure III. 3: Conductivimètre.....	12
Figure III. 4: Les coliformes Fécaux	16
Figure III. 5: les streptocoques fécaux	16
Figure III. 6: Escherichia Coli	17
Figure III. 7: les Entérocoques intestinaux.....	18
Figure III. 8: Clostridia.....	18
Figure IV. 1: Dosage du Bore	29
Figure IV. 3: colonne de la réduction du nitrate en nitrite	30
Figure IV. 4: Dosage de l'ammonium.....	32
Figure IV. 5: Méthode du nombre la plus probable(NPP)	33
Figure IV. 6: Méthode de la membrane filtrante	36
Figure IV. 7: Méthode d'incorporation en gélose	39
Figure V. 1: Variation de la T°C au niveau de l'eau du robinet et brute.....	41
Figure V. 2: Variation de la T°C au niveau de l'eau du robinet et brute.....	42
Figure V. 3: Variation de la Turbidité au niveau de l'eau du robinet et de l'eau brute.	43
Figure V. 4: Variation de la Conductivité au niveau de l'eau du robinet et brute.....	44
Figure V. 5: Variation du chlore résiduel au niveau de l'eau du robinet.....	45
Figure V. 6: la courbe d'étalonnage du Bore	46
Figure V. 7: La courbe d'étalonnage du sulfate	47
Figure V. 8: la courbe d'étalonnage de l'ammonium.....	48
Figure V. 9: la courbe d'étalonnage du nitrate	49
Figure V. 10: Test négative de l'eau brute	53

Listes des Tableaux

Tableau III. 1. Classement de la qualité des eaux selon le pH	10
Tableau III. 2. Classement de la qualité des eaux selon la turbidité NTU	11
Tableau III. 3. Classement de la qualité des eaux selon la Conductivité.....	12
Tableau III. 4. Classement de la qualité des eaux selon la Dureté totale	13
Tableau V. 1. Les étalons du Bore	45
Tableau V. 2. Résultat de l'analyse du bore.....	46
Tableau V. 3. Les étalons du sulfate.....	47
Tableau V. 4. Résultat et de l'analyse du sulfate	47
Tableau V. 5. Les étalons de l'ammonium.....	48
Tableau V. 6. Résultat de l'analyse d'ammonium	48
Tableau V. 7. Les étalons du Nitrate	49
Tableau V. 8. Résultat de l'analyse du nitrate.....	49
Tableau V. 9. Résultat de l'analyse du TH/Dureté totale.....	50
Tableau V. 10. Les concentration des bases d' OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- dans l'eau	50
Tableau V. 11. Résultat de l'analyse du TA/TAC.....	51
Tableau V. 12. Résultat de l'analyse de l'Oxydabilité	51
Tableau V. 14. Résultats de l'analyse bactériologique de l'eau du Robinet	52
Tableau V. 13. Résultats de l'analyse bactériologique de l'eau Brute.	53

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une substance minérale la plus répandue sur la planète, elle constitue l'hydrosphère. Mais l'eau est surtout synonyme de la vie. C'est le constituant majeur de la matière vivante. L'eau est aussi le vecteur privilégié de la vie et de l'activité humaine. Il faut la traiter que ce soit pour la production de l'eau destinée à la consommation ou à usages spécifique industriels ou pour limiter les rejets de pollution dans la nature.

Le Maroc fournit d'importants efforts de mobilisation des ressources en eau pour faire face à l'accroissement démographique et pour soutenir son développement économique et social. Toutefois, en raison de l'urbanisation, de la pression démographique croissante, de l'insuffisance du traitement des eaux usées, de la déforestation au niveau des principaux bassins hydrographiques du pays, les ressources en eau utilisées ou destinées à la production de l'eau potable sont de plus en plus exposées à de multiples sources de pollution d'origine urbaine, industrielle, agricole et accidentelle (Echihabi et al, 2002).

Aux sources de pollution s'ajoutent également les conditions climatiques en particulier les sécheresses récurrentes. Ces diverses pressions auxquelles sont soumises les ressources en eau au Maroc altèrent la qualité de l'eau et portent préjudice à la pérennité des usages de l'eau.

Les deux sources majeures de pollution au Maroc sont :

-Les eaux usées domestiques rejetées, sans traitement préalable ou après un traitement insuffisant, dans le milieu naturel.

-La pollution des ressources en eau par les effluents industriels. Leur impact sur les ressources en eau au Maroc a été fortement ressenti ces dernières années et la production de l'eau potable à partir des points d'eau se trouvant en aval des rejets de ces industries a été sérieusement compromise (Echihabi et al, 2002).

La production de l'eau destinée à la consommation se fait par l'exploitation d'un grand nombre de sources :

■ Les eaux souterraines

L'eau souterraine est contenue dans les aquifères qui est une formation géologique, constituée d'un matériau perméable capable de stocker des quantités importantes d'eau. Les eaux souterraines sont rechargées par l'eau de pluie et la fonte des neiges ou par l'eau qui fuit à travers le fond de certains lacs et rivières.

■ Les eaux de surface

Elles combinent toutes les eaux circulantes ou stockées. Elles ont pour origine, soit des eaux souterraines, soit les eaux de ruissellement. Les eaux de surface sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organiques, ainsi qu'en plancton. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique de type nitrate et pesticides d'origine agricole.

■ Les eaux de mer et eaux saumâtre

L'eau de mer est l'eau des milieux marins. Plus généralement, l'eau de mer est une solution d'eau, faite ou basée, sur l'eau qui rend les océans et les mers de la Terre salés. La concentration des sels minéraux dissous avoisine 0,0035% (35 g/L ou 35ppm) en moyenne. Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer.

Avant que l'eau brute soit une eau potable de bonne qualité, prête à la consommation, et une eau qui conforme à la norme fixée par la réglementation, il doit subir un ensemble des étapes traitement et des contrôles.

A l'office national de l'électricité et de l'eau potable (l'ONEE), l'eau doit subir un ensemble des étapes de traitement et des contrôles d'analyses physiques, chimiques et biologiques pour devenir potable et qui soit aux normes.

Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

L'objectif de présent travail est d'apporter une connaissance sur les étapes de traitement de l'eau brute et de déterminer les paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du robinet distribuée par la régie RADEM au niveau de Meknès et de l'eau brute des sources Ribaa, Bittit et d'autres captages exploités pour l'alimentation en eau potable de Meknès.

CHAPITRE I: INTRODUCTION SUR L'EAU

I.1. DEFINITION

L'eau est un liquide composé de molécules faites d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène (H₂O). À l'état pur, l'eau est incolore, insipide et inodore; elle se solidifie à 0 °C et s'évapore à 100 °C. Elle possède des propriétés physiques et chimiques uniques : on peut la faire geler, fondre, évaporer ou chauffer et la mélanger. Elle a une densité de un gramme par centimètre cube (1 g/cm³) et se classe parmi les meilleurs solvants qui soient. Sans eau, il n'y aurait pas de vie. Plus de la moitié du corps humain est constituée d'eau. Si une personne peut se passer de nourriture pendant plus d'un mois, sans eau, c'est la mort assurée au bout de quelques jours. Tous les organismes vivants, de l'insecte le plus minuscule à l'arbre le plus gigantesque, ont besoin d'eau pour survivre.

I.2. LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'EAU

L'eau contient des gaz dissous essentiellement de l'oxygène et du gaz carbonique mais aussi de l'azote ou encore du méthane. Tous n'ont pas la même solubilité dans l'eau et celle-ci décroît quand la température augmente.

Elle contient aussi, sous forme dissoute ou en suspension, des substances minérales et organiques.

■ Les matières minérales

L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les carbonates, les bicarbonates, les sulfates, les chlorures et les nitrates. Ils proviennent pour l'essentiel du lessivage des sols par les eaux de pluie. Aussi, leur teneur dépend elle directement de la nature des roches du bassin versant. L'eau contient aussi des éléments nutritifs, ou nutriments, que sont l'azote, le phosphore et la silice, mais aussi le fer et le manganèse.

D'autres éléments ne sont présents qu'à l'état de trace comme l'arsenic, le cuivre, le cadmium, le manganèse, le fer, le zinc, le cobalt, le plomb. Ils proviennent des roches mais aussi parfois des activités industrielles et domestiques. L'eau contient aussi des matières minérales en suspension (matériaux argileux, limons, etc.).

■ Les matières organiques

Les matières organiques peuvent être présentes sous forme dissoute (carbohydrates, acides humiques, pigments et composés d'origine artificielle), ou en suspension (déchets végétaux, plancton).

Elles proviennent pour l'essentiel de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux), mais aussi de composés issus de l'activité humaine. Leur concentration infime dans les eaux profondes, mais peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface.

I.3. DOMAINE D'UTILISATION DE L'EAU

L'eau est utilisée dans le diverse domaine tel que ;

- L'agriculture pour l'irrigation ;
- L'utilisation municipale : pour l'arrosage des parcs et les jardins, la lutte contre les incendies ;
- L'industrie : pour le refroidissement industriel comme le réacteur nucléaire et le centre électrique ;
- L'eau, est un élément vital pour l'homme et l'excellente boisson naturelle.

CHAPITRE II: LE TRAITEMENT DE L'EAU BRUTE

II.1. PRETRAITEMENT

Les eaux brutes doivent généralement subir avant leur traitement proprement dit un certain nombre d'opération uniquement physiques ou mécaniques, permettant ainsi l'extraction de plus grande quantité d'éléments qui constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

II.1.1. Pré-chloration

Les eaux brutes issues d'un prétraitement contiennent énormément de bactéries et de microorganismes. L'ajout du chlore est une opération primordiale pour la désinfection qu'elle réalise pendant les heures qu'elles résident dans les décanteurs, en plus de son pouvoir à l'oxydation du fer et manganèse.

Donc les objectifs de ces techniques sont:

- L'Oxydation du fer et du manganèse.
- La décoloration de l'eau.
- L'amélioration de la décantation.
- L'Empêchement de prolifération des algues et des micelles sur la partie des bassins et permet leur élimination par coagulation et floculation.

Cependant, cette technique présente aussi certaine des avantages, les principaux sont :

- Les dosages élevés utilisés augmentent le coût du traitement.
- La réaction du chlore avec certains produits présentent dans l'eau (matière organique) provoque la formation de composés complexes appelés Trihalométhanes (THM).

Ces produits ne sont pas enlevés par la filière conventionnelle coagulation – floculation – décantation – filtration – désinfection. Ces composés sont cancérigènes ne devraient pas se trouver dans une eau de consommation avec des concentrations supérieures à 100 µg/l.

II.1.2. Dégrillage

Le dégrillage est le premier poste de traitement, qui permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans différentes unités de l'installation et aussi de séparer et évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourrait nuire à l'efficacité de traitement suivants, ou compliquer l'exécution.



Figure II. 1: Dégrilleur

II.1.3. Dessablage

Le dessablage a pour but de l'extraction des graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines afin d'éviter les dépôts dans les canaux et conduits et protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion.

Le domaine usuel de dessablage porte sur les particules de granulométrie supérieur ou égal à 200 micromètre, pour une granulométrie inférieure à 200 micromètre est en général du ressort du débouillage ou de la décantation.



Figure II. 2: Dessableur

II.1.4. Débourbage

Le débourbage est une étape de séparation solide-liquide qui procède la clarification des eaux de surfaces particulièrement chargées, lorsque la décantation classique en un seul étage n'est pas plus possible.

Le but de cette pré-décantation est d'éliminer la majorité des matières en suspension de l'eau brute, d'en assurer l'évacuation sous forme de boues concentrées et de fournir à la décantation principale une eau de qualité acceptable.

II.2. LE TRAITEMENT CLASSIQUE

II.2.1. Coagulation

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales à l'aide d'un produit chimique de charge positive comme le sulfate d'alumine ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) appelé coagulant.

II.2.1.1. Principe de la coagulation

Les particules en suspension dans une eau de surface proviennent de l'érosion du sol, de la dissolution de substances minérales et de la décomposition de matière organique. A cet apport naturel, s'ajoutent les eaux d'égouts domestiques, industriels ou agricoles. En général, la turbidité est causée par des particules de matière inorganique, alors que la couleur est imputable aux particules de matière organique et aux hydroxydes de métaux. Dans une eau de surface, les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement collés au colloïde. Il y a donc formation d'une double couche ionique, l'un accompagnant la particule lors de ces déplacements, l'autre se déplaçant indépendamment ou avec un certain retard.

II.2.1.2. Choix du coagulant

Un certain nombre de critères doivent être pris en compte :

- La température de l'eau ;
- Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique) ;
- Paramètre physico-chimique à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité et/ou matières organiques, par exemple) ;
- Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc.) ;
- Coût du produit ;
- Choix imposé ou considération esthétique.

II.2.2. Flocculation

La flocculation est l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de floc par une agitation lente et prolongée de l'eau coagulée. Elle a pour effet de rassembler, en flocons volumineux décantables, les particules déstabilisées.

II.2.2.1. Principe de la flocculation

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La flocculation a justement pour but d'augmenter la probabilité de rencontre.

II.2.2.2. Paramètres influençant l'étape de coagulation-flocculation

■ La Température

Une diminution de la température entraîne une augmentation de la viscosité et par la suite la décantation devient difficile.

■ La vitesse d'agitation et le temps de flocculation

Le temps de flocculation paramètre évolue de la même manière que la vitesse d'agitation. Il faut une durée suffisamment importante pour que toutes les particules se rencontrent et puisse s'agglomérer, mais pas trop grande non plus pour éviter le phénomène inverse, et la remise en suspension de ces particules (Thomas et al, 1999).

■ Le pH

Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation-flocculation ait lieu dans des bonnes conditions, elle est fonction de coagulant, la concentration et la qualité de l'eau à traiter. Pour ramener le pH dans la zone optimale on ajuste soit par la chaux soit par l'acide.

■ La nature des colloïdes

Les caractéristiques des colloïdes en ce que concernent la charge et la capacité d'interaction avec d'autres particules similaires (électronégativité) jouent un rôle très important dans la coagulation.

II.2.3. Décantation

Procédé physique de séparation des matières en suspension dans un liquide, faisant appel à l'action de la pesanteur pour les rassembler en totalité ou en partie et pour les collecter au fond d'un décanteur.

C'est un procédé qui permet la séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc. Après l'étape de coagulation / floculation, si la densité de ces floc est supérieure à celle de l'eau, il y a décantation, l'eau clarifié situé près de la surface est ensuite dirigés vers les filtres, la boue décantée est évacuer a travers des égouts placées en bas du bassin.



Figure II. 3: Décanteur lamellaire

II.2.4. Filtration

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des matières en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. Donc, Pour éliminer les matières en suspensions restantes, l'eau traverse un filtre, lit de sable fin ou un filtre à charbon actif. La filtration sur sable élimine les matières encore visibles à l'œil nu. Les filtres à charbon actif retiennent en plus les micropolluants, comme les pesticides et leurs sous produits, les composés à l'origine des goûts et des odeurs.



Figure II. 4: Filtre à Sable

II.2.5. La désinfection

En fin de traitement, la désinfection permet l'élimination des micro-organismes pathogènes (bactéries et virus). C'est pourquoi on utilise soit un désinfectant chimique comme le chlore ou l'ozone, soit des rayonnements ultraviolets. Il est important que ce traitement persiste tout au long du réseau afin qu'aucun germe ne puisse se développer dans les canalisations où l'eau peut séjourner plusieurs jours.

CHAPITRE III: LES PARAMETRES D'ANALYSES DE L'EAU

III.1.LES PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES ET PHYSICO- CHIMIQUES DE L'EAU

III.1.1. Le goût

Le goût de l'eau est dans la plupart des cas influencé par les molécules organochlorées formées pendant la chloration. Pour remédier à cela on supprime la pré-chloration si nécessaire.

III.1.2. L'odeur

L'odeur chimique est généralement liée à la présence de matières organiques dans l'eau. La présence d'une mauvaise odeur dans l'eau peut être le signe d'une activité biologique accrue et aussi de concentrations élevées de certaines substances chimiques.

III.1.3. La 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 réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité, la couleur est souvent due à la présence de matières organiques colloïdales en solution. Une eau colorée doit faire l'objet de doute sur la potabilité de cette eau. Elle peut être éliminée par pré-chloration ou floculation (Jean Rodier et al, 2009).

III.1.4. Température

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle conditionne les équilibres de dissociations. Elle agit sur la conductivité électrique et le pH, elle influe sur la densité, la viscosité, la tension de vapeur saturante à la surface, la solubilité de gaz, les réactions chimiques et biochimiques, l'effet catalytique des enzymes, la teneur en oxygène dissoute. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement une Sonde de température intégrée.

III.1.5. PH

Le pH représente la concentration des ions hydrogène dans une solution. Cette mesure est importante car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques.

Le pH des eaux naturelles varie normalement en fonction du système bicarbonates-carbonates.

Le pH se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène.

$$\text{pH} = -\log_{10} a_{\text{H}^+}$$

Le pH est mesuré à l'aide d'une électrode de verre dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogène suivant l'équation de Nernst. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé PH-mètre.



Figure III. 1: pH-mètre

Tableau III. 1. Classement de la qualité des eaux selon le pH

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

III.1.6. La Turbidité

La turbidité est la mesure du caractère trouble de l'eau. Elle est causée par les matières en suspension, telles que l'argile, le limon, les particules organiques, le plancton et les autres organismes microscopiques. Une turbidité trop élevée empêche la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et peut ainsi diminuer la croissance des algues et des plantes aquatique ; l'eutrophisation de l'eau cause éventuelle d'asphyxie (par anoxie) du milieu ou de colmatage des branchies des poissons. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre et unité en NTU (nephelometric turbidity unit).



Figure III. 2: Turbidimètre

Tableau III. 2. Classement de la qualité des eaux selon la turbidité NTU

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

III.1.7. Conductivité

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. Cette mesure permet de vérifier la pureté de l'eau distillée ou déminéralisée, d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques.



Figure III. 3: Conductivimètre

Tableau III. 3. Classement de la qualité des eaux selon la Conductivité

50 à 400	qualité excellente
400 à 750	bonne qualité
750 à 1500	qualité médiocre mais eau utilisable
1500	minéralisation excessive

III.1.8. La dureté totale

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les ions fer, aluminium, manganèse, strontium. La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne. Elle s'exprime en milliéquivalents de concentration en CaCO₃. Elle est aussi très souvent donnée en degrés français (Jean Rodier et al, 2009).

Tableau III. 4. Classement de la qualité des eaux selon la Dureté totale

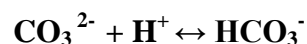
0 à 1.4	Très douce
1.4 à 2.8	Douce
2.8 à 4.4	Moyenne dure
4.4 à 6.4	Assez Dure
6.4 à 8.4	Dure
Plus que 8.4	Très Dure

III.1.9. Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet

L'alcalinité d'une eau se définit comme sa capacité à réagir avec un acide. L'alcalinité est due principalement à la présence des ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes. La mesure de l'alcalinité totale est augmentée par des apports d'origine urbaine (phosphates, ammoniac, matières organiques) ou industrielle (apports de produits basiques ou acides).

▪ Définition

T.A correspond à la neutralisation des ions hydroxydes et à la transformation des ions carbonates en hydrogénocarbonates par un acide fort.



T.A.C correspond à la neutralisation par acide fort des ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates.



III.1.10. L'oxydabilité au potassium permanganate

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances oxydées est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid, suivant l'acidité du milieu et la température, l'oxydation est plus ou moins énergique. Ce test conventionnel permet d'apprécier la teneur en matière organique en même temps que la présence d'autres substances réductrices.

La teneur de permanganate de potassium (KMnO_4) consommée pour l'oxydation des matières organiques d'une eau pendant un temps donné (4 heures à froid ou 10 minutes à l'ébullition) en milieu acide ou en milieu alcalin. Le résultat peut être exprimé en mg/l d' O_2 ou en mg/l de KMnO_4 .

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

III.1.11. Sulfate

Les sulfates (SO_4) peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfates est l'oxydation des minerais de sulfites, la présence de schistes, ou de déchets industriels.

Le sulfate est un composé dissout dans l'eau de pluie. Des concentrations importantes en sulfate dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau. Le sulfate peut être attaqué par une bactérie qui le réduit en sulfure d'hydrogène (H_2S).

III.1.12. Bore

Le bore dans les eaux douces naturelles n'atteint des concentrations excessives que sous des influences naturelles dans certaines régions. Toutefois, l'utilisation généralisée des borates dans les détergents fait évoluer cette situation. Les formes de bore dans l'eau sont principalement représentées par les borates dont la répartition des espèces dépend de la valeur du pH (Jean Rodier et al, 2009).

La concentration en borate naturel des eaux souterraines et des eaux de superficielle est faible. Du fait que les composés du borate sont des ingrédients de produit de lavage domestique, la teneur en borate des eaux superficielle peut être augmentée de façon significative du fait de rejet d'eaux usées.

III.1.13. Nitrate

Le nitrate est un composé inorganique composé d'un atome d'azote et de trois atomes d'oxygène; le symbole chimique du nitrate est NO_3 . Le nitrate n'est normalement pas dangereux pour la santé à moins qu'il soit réduit en nitrite. L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais, aux systèmes septiques, et du stockage des engrais ou des systèmes de diffusions.

Les engrais à l'azote ne sont pas absorbés par les plantes, volatilisés, ou emportés par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate.

Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques éliminent seulement la moitié de l'azote des eaux usées, laissant l'autre moitié dans les eaux souterraines, ceci conduit à une augmentation des concentrations en nitrate.

Des niveaux élevés peuvent causer la méthémoglobinémie et ainsi qu'ils indiquent la présence possible d'autres polluants plus sérieux, tels que des bactéries ou des pesticides.

III.1.14. Ammonium

L'ion ammonium, NH_4^+ , est la forme réduite de l'azote. Il provient principalement de la décomposition des protéines naturelles contenues dans le phytoplancton et les microorganismes. Il peut être aussi issu de l'apport d'effluents urbains épurés, de rejets industriels ou agricoles. Il se trouve dans les eaux naturelles à des concentrations qui peuvent varier de 0,1 à plus de 10 mg/l.

L'ion ammonium ne présente pas un caractère nocif pour la santé, mais sa présence, en particulier dans les eaux de surface, peut être considéré comme un indicateur de pollution. Cependant, il constitue un élément gênant, car il interfère avec la chloration pour former des chloramines modifiant l'odeur et le goût de l'eau (goût de chlore), et il est aussi un aliment pour certaines bactéries qui peuvent ainsi proliférer dans les réseaux de distribution. Il convient donc de l'éliminer de l'eau destinée à la consommation humaine.

III.2.LES PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES

III.2.1. Les Coliformes fécaux(CF)

C'est un groupe de bactéries utilisé comme indicateur de contamination fécale. Ce sont des bacilles à gram négatif, oxydase négative, aérobies ou anaérobie facultatifs, capables de se multiplier et de fermenter le lactose et produisent de gaz, d'acide et d'aldéhyde. On les considère comme bons indicateurs de contamination fécale, ils se cultivent à 44°C.



Figure III. 4: Les Coliformes Fécaux

III.2.2. Les Streptocoques fécaux(SF)

Ces germes colonisent l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur présence dans le milieu hydrique prouve une pollution d'origine fécale de l'eau. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes.

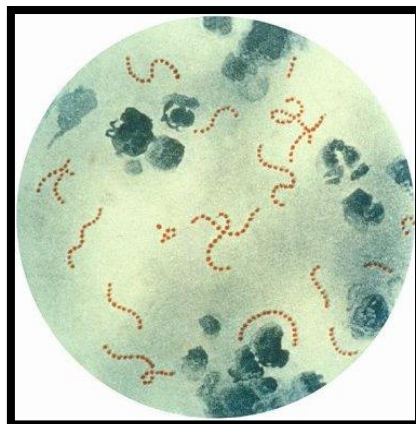


Figure III. 5: Les Streptocoques Fécaux

III.2.3. Bactéries coliformes/Coliformes totaux(CT)

Le terme bactéries coliforme regroupe plusieurs espèces bactériennes de la famille de l'entérobactérie, Les bactéries coliforme sont des bactéries lactose-positives pouvant former des colonies anaérobioses à 37° C sur un milieu de culture lactose sélectif et différentiel avec production d'acide dans les 24 heures. Ce sont des microorganismes aérobies et anaérobies facultatifs, en forme de bâtonnet, gram négatif, non sporogène. L'intérêt de la détection de ces Coliformes, à titre d'organismes indicateurs réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes. De plus, leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales (CHEVALIER et al, 2002).

III.2.4. Escherichia coli(EC)

Les Escherichia coli sont des bactéries coliformes, espèces bactériennes de la famille des enterobacteriaceae. Elles sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale. Leur présence indique une contamination récente par les matières fécales et la possibilité de microorganismes pathogènes tels que bactéries, virus et protozoaires. Les Escherichia coli sont capables de produire de l'indole à partir du tryptophane dans les 24 heures à 44°C.

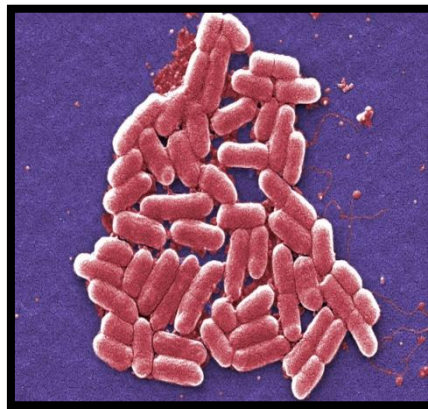


Figure III. 6: Escherichia Coli

III.2.5. Entérocoque intestinaux(EI)

Le terme entérocoque intestinaux regroupe plusieurs espèces bactériennes de la famille des enterocaceae. Les entérocoques intestinaux sont des bactéries en forme de cocci ou ovoïdes, à gram positif, formant généralement des chaînes, ne possédant pas de catalase, capable de réduire le chlorure de 2, 3,5-triphenyl-tetrazolium formazan et d'hydrolyser l'esculine à 44°C sur les milieux de slantet et Bartley et la gélose à la bile à l'esculine et à l'azoture.

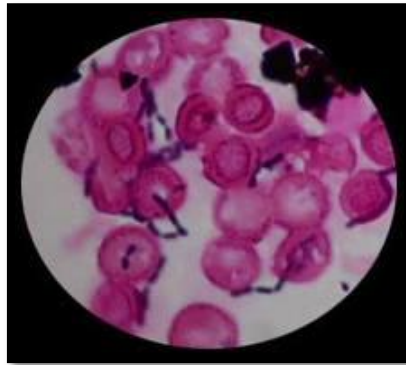


Figure III. 7: Les Entérocoques Intestinaux

III.2.6. Les microorganismes anaérobies sulfito-réducteurs (MASR)

Les microorganismes anaérobies formant des spores et sulfito- réducteurs, appartenant à la famille des bacillacees et au genre clostridium. Les spores des microorganismes anaérobies sulfito- réducteurs (clostridia) sont largement répandues dans l'environnement. Elles sont présentes dans les matières fécales humaines et animales, ainsi que dans les eaux usées et le sol.

A la différence des Escherichia coli et autres organismes coliformes, les spores survivent dans l'eau pendant longtemps, car elle est plus résistante que la forme végétative à l'action des facteurs chimiques et physiques. Elles peuvent même être résistantes à la chloration dans les proportions habituellement utilisées pour le traitement des eaux, et sont donc ainsi, utiles pour les besoins des contrôles.

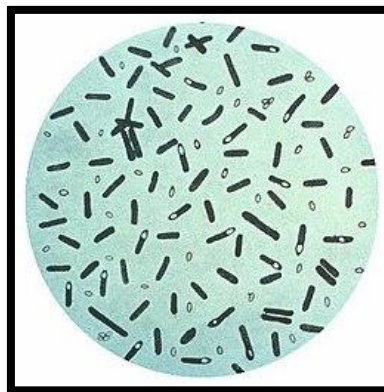


Figure III. 8: Clostridia

III.2.7. Microorganismes revivifiables(MOR)

Le microorganisme revivifiable est toute la bactérie aérobie, levure ou moisissure, capable de former de colonies dans le milieu spécifique. Leur recherche, permet de dénombrer les bactéries qui se développent dans des conditions habituelles de culture et qui représentent la teneur moyenne en bactéries d'une ressource naturelle. Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais sous certaines conditions, ils peuvent générer des problèmes. Ce sont des bactéries aérobies et anaérobies facultatives, elles nécessitent essentiellement de la matière organique comme source de carbone et une température optimale située entre 20°C et 45 °C.

CHAPITRE IV: METHODE ET MATERIEL

Ce chapitre consiste à présenter la méthodologie et les techniques d'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau avec une signification de chaque paramètre étudié.

IV.1. PARAMETRE DE CONTROLE DE QUALITE

L'objectif de ces paramètres est d'assurer la qualité et la fiabilité des méthodes d'analyse que l'on fait au niveau du laboratoire.

a. Blanc de méthode

Cette méthode permet de quantifier le niveau de contamination introduite par le laboratoire au cours de la manipulation et de l'analyse des échantillons.

b. Duplicata

Ils sont deux parties aliquotes, obtenues à partir d'un même échantillon et soumises au même processus analytiques du prétraitement au dosage.

Les résultats de cette analyse donnent une indication de la précision de la méthode d'analyse en considérant l'effet de la matrice des échantillons.

L'écart relatif entre l'échantillon et son duplicata est défini comme suite :

$$\%ER = \frac{|(\text{résultat de l'échantillon} - \text{résultat du duplicata})|}{(\text{Résultat de l'échantillons} + \text{résultat du duplicata})/2} \times 100$$

Le pourcentage d'écart entre les deux résultats doit être inférieure ou égal 20%.

c. Ajout dosé

Un ajout dosé est un échantillon inconnu et choisi au hasard dans lequel une quantité connue d'une ou plusieurs substances chimiques recherchées ont été ajoutées avant les étapes de préparation et d'analyse. Ces substances chimiques sont préparées à partir des solutions d'étalonnage.

Le pourcentage de récupération de l'ajout dosé se calcule généralement comme suit :

$$Réc(\%) = \frac{(X_1 - X_2)}{X_{ajout}} \times 100$$

Le pourcentage de récupération doit se situer entre 80% et 120%.

D'où

Réc(%) : Récupération de l'ajout dosé.

X₁ : Concentration mesurée de l'échantillon non fortifié.

X₂ : Concentration mesurée de l'ajout dosé.

X_{ajout} : Concentration réelle de l'ajout

Le pourcentage de récupération informe sur l'exactitude de la méthode en considérant l'effet de la matrice des échantillons à analyser.

d. Matériaux de référence

Les matériaux de référence (MR) sont utilisés pour mesurer la performance des méthodes et réaliser les cartes de contrôles. Ils informent sur l'exactitude de la méthode sans considérer l'effet de la matrice des échantillons à analyser et permettent de prendre une décision sur l'acceptabilité des résultats analytique.

L'erreur relative du **MR** se calcule comme suit :

$$E.R(\%) = \frac{(X_m - X_{théo})}{X_{théo}} \times 100$$

Le pourcentage d'écart entre les deux résultats doit être inférieure ou égal 20%.

Où :

E.R : erreur relative exprimée en %

X_m : Concentration mesurée du **MR**

X_{théo} : Concentration théorique du **MR**

IV.2. LES ANALYSE PHYSICO CHIMIQUES DE L'EAU

IV.2.1. pH

■ Principe

Le pH se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène.

$$\text{pH} = -\log_{10} a_{\text{H}^+}$$

Le pH est mesuré à l'aide d'une électrode de verre dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogène suivant l'équation de Nernst. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé pH mètre.

■ Appareillage et matériel

- pH mètre
- Bêchers de 50 ml

■ Mode opératoire

- Sortir l'électrode de sa solution de conservation. Rincer l'électrode avec de l'eau distillée et l'éponger doucement avec un papier joseph.
- Plonger l'électrode dans les échantillons. Le temps de stabilisation peut varier de 1 à 3 minutes dépendant de la nature de l'échantillon ; s'assurer que le signal est stable avant de noter la mesure. Le résultat son exprimes en unités de pH.

IV.2.2. La Turbidité

■ Principe

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée par néphélométrie. Le principe de la néphélométrie consiste à mesurer la lumière dispersée par les particules en suspension présentes dans une cellule en verre à 90° par rapport au faisceau de lumière incident.

■ Matériel

- Turbidimètre

■ Mode opératoire

On remplit une cuve de mesure avec l'échantillon d'eau bien homogénéisé puis, on le met dans le turbidimètre en effectuant rapidement la mesure.

IV.2.3. Conductivité

■ Principe

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif.

■ Matériel

- Conductivimètre
- Bêchers de 50 ml

■ Mode opératoire

- Rincer la cellule avec une aliquote d'eau distillée et essuyer
- Verser doucement environ 60 ml de l'échantillon homogène dans un bécher
- Immerger la cellule dans l'échantillon et prendre la mesure de la conductivité.

IV.2.4. Chlore résiduel

■ Principe

Pour déterminer la présence ou pas du chlore résiduel on fait le test de diethyl-paraphénylène diamine (DPD). Ce test consiste à ajouter 1 comprimé de la DPD1. Celle-ci est un indicateur de couleur, cette couleur sera comparée à une échelle de couleur étalon grâce à un comparateur de couleur. Plus la couleur est foncée, plus la quantité du chlore résiduel est grande.

■ Matériel

- Tube à essai
- Comparateur de chlore avec disque

■ Mode opératoire

- Dans un tube à essai, on le remplit à moitié par de l'eau à analyser.
- On ajoute la DPD en poudre.
- A l'aide d'un comparateur, on détermine la quantité du chlore.

IV.2.5. Détermination de l'Oxydabilité au permanganate de potassium

■ Principe

Il consiste à Chauffer un échantillon dans un bain marie bouillant en présence d'une quantité connue de permanganate de potassium et dans un milieu acide pendant un période donnée.

Ainsi que la réduction d'une de permanganate par les matières oxydable de l'échantillon et détermination de l'excès de permanganate par addition d'un excès d'une solution d'oxalate de sodium, suivie par un titrage de l'oxalate en excès par le permanganate.

■ Matériel

- Matériaux du laboratoire
- Bain marie permettant de maintenir les échantillons à une température de 96°C à 98°C

■ Réactifs

- Permanganate de potassium
- Acide sulfurique concentré
- Oxalate de sodium

■ Mode opératoire

- Prélever 100 ml de l'échantillon et transférer dans une erlenmeyer de 250 ml ;
- Ajouter 2 ml d'acide sulfurique concentré et mélanger en agitant doucement ;
- Placer l'erlenmeyer dans le bain marie bouillant pendant 10 ± 2 minutes ;
- Ajouter 10 ml de la solution de permanganate de potassium et laisser à ébullition pendant exactement 10 minutes ;
- Ajouter 10 ml de la solution d'oxalate de sodium 5mmole/l et attendre de la décoloration ;
- Titrer à chaud avec la solution de permanganate de potassium jusqu'à apparition d'une coloration rose persistante environ 30 secondes.

■ Calcule et expression des résultats

L'oxydabilité de l'échantillon exprimé en milligramme d'oxygène par litre est donnée par l'expression :

$$I = 0,8 \times TB$$

Où **TB**: le volume de KMnO_4 versé en ml.

IV.2.6. Détermination du Sulfate

■ Principe

L'ion sulfate est précipité dans l'acide chlorhydrique contenant du chlorure de baryum d'une manière telle qu'il se forme des cristaux de sulfate de baryum de taille uniforme. L'absorbance de la suspension de sulfate de baryum est mesurée au néphélométrie (turbidimètre) ou par transmission au spectrophotomètre. Les matières en suspension ou une eau colorée interfèrent avec la méthode. Les matières en suspension peuvent être enlevées par filtration.

■ Matériel

- Agitateur magnétique :

La vitesse d'agitation doit rester la plus constant possible pendant la période d'agitation.

- Turbidimètre
- Spectrophotomètre ; employé à 420 nm
- Chronomètre

■ Réactifs

- Réactif à l'acide chlorhydrique
- Chlorure de baryum
- Solution standard de sulfate

■ Mode opératoire

- Mettre 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml ;
- Ajouter 5ml de réactif à l'acide chlorhydrique, et mettre l'agitation;
- Tout en maintenant l'agitation, ajouter une pleine spatule (environ 0,5g) de cristaux de chlorure de baryum, Mettre simultanément le chronomètre en route ;
- Ajouter pendant exactement 1 minute à vitesse constante, mesurer la turbidité 30 secondes après. La turbidité obtenue donne la concentration en SO_4 dans la solution grâce à une courbe d'étalonnage faite à partir de la solution standard de sulfate.

IV.2.7. Détermination de la dureté totale ou Titre hydrotimétrique

■ Principe

On fait le titrage complexométrique molaire des ions calcium et magnésium avec une solution disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH 10. Le noir Eriochrome T, qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

■ Matériel

- Fiole jaugée 100ml de classe A
- Pipettes jaugées de 100ml
- pipette graduée

■ Réactifs

- Acide éthylène diamine tétra acétique
- Solution tampon TH
- Indicateur Noir Eriochrome T
- Solution de complexon III 0,02M(EDTA)

■ Mode opératoire

- Prélever l'échantillon dans une fiole de 50ml et transférer dans un erlenmeyer ;
- Ajouter à l'aide d'une pipette 5ml de solution tampon TH, agiter ;
- Ajouter une petite spatule d'indicateur, titrer au moyen de la solution ;
complexométrique 0,02 M jusqu'au virage du rouge au bleu.

■ Expression de résultats

La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) exprimées en milligramme par litre est donnée par la formule suivante :

$$TH = 0,8 \times TB$$

TB= Volume en ml de la solution d'**EDTA** utilisée pour le titrage de 50ml d'échantillon

IV.2.8. Détermination de l'alcalinité

■ Principe

L'échantillon est titré à l'aide d'une solution acide étalonnée à des valeurs fixes en présence d'indicateur coloré de pH spécifiques (phénolphtaléine, méthylorange) de virage de 8,3 et 4,5. Les points de virage, qui sont déterminés visuellement, sont les points d'équivalence sélectionnés pour les déterminations des trois composants principaux : hydrogénocarbonate (HCO_3^-), (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-).

Le point de virage pH 8,3 s'approche par approximation de concentrations équivalentes de carbonates et dioxyde de carbone et représente le titrage de tout l'hydroxyde et de la moitié de carbonate présent.

Soit alcalinité composite = $[\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] = \text{TA}$

Le point de virage pH 4,5 s'approche par approximation du point d'équivalence pour les ions hydrogène et hydrogénocarbonate et permet la détermination de l'alcalinité totale de l'échantillon.

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

■ Matériel

- Burette de précision
- Flacons compte-goutte

■ Réactifs

- Phénolphtaléine
- Solution d'hélianthine (méthylorange)
- Acide chlorhydrique titrisol

■ Mode opératoire

- **Détermination du titre alcalimétrique à pH = 8,3 (T.A) :**

On Prélève 100ml d'échantillon et on la met dans un erlenmeyer de 25 ml, puis ajouter les 2 gouttes de phénolphtaléine. Agiter, Si aucune coloration rose ne se développe, le titre alcalimétrique est nul (cas des eaux naturelles dont le pH <8,3). Si une coloration rose est obtenue, titrer avec l'acide chlorhydrique 0,1N jusqu'à la disparition de la couleur rose, soit V_1 le volume titre.

- **Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) :**

On ajoute 2 gouttes de solution hélianthine à la solution sur laquelle a été déterminée l'alcalinité titrée à pH = 4,5. On continue à titrer avec la solution d'acide jusqu'au changement de couleur de jaune à jaune orange : soit V_2 le volume titre.

■ **Calculs et expression des résultats**

Calcul alcalinité composite TA

$$TA = \frac{c(HCl) \times V_1 \times 1000}{V}$$

D'où:

- **TA** : est la capacité à réagir avec les ions hydrogènes, exprimée en méq/l, d'alcalinité composite titrée à pH = 8,3 correspondant au virage de la phénolphthaléine.
- **C(HCl)** : est la concentration exprimée en mole par litre, de la solution d'acide chlorhydrique.
- **V_1** : est le volume, en millimètres, de la solution d'acide chlorhydrique consommée pour atteindre un pH de 8,3.
- **V** : est le volume, en millimètres de la prise d'essai (100 ml)

Calcul de l'alcalinité totale

$$TAC = \frac{c(HCl) \times V_2 \times 1000}{V}$$

D'où :

- **TAC** : est la capacité à réagir avec les ions hydrogènes, exprimée en méq/l, d'alcalinité composite titrée à pH = 4,5 correspondant au virage de l'Hélianthine.
- **C(HCl)** : est la concentration exprimée en mole par litre, de la solution d'acide chlorhydrique.
- **V_2** : est le volume, en millimètres, de la solution d'acide chlorhydrique consommée pour atteindre un pH de 4,5.
- **V** : est le volume, en millimètres de la prise d'essai (100ml).

IV.2.9. Dosage du Bore

■ Principe

En milieu tamponnée, le bore donne avec l'azomethine H (condensation de l'acide 8 – 0,1-naphtol, 3-6 di sulfonique et de l'aldéhyde silicique) un complexe jaune stérique dont l'intensité est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde 420 nm avec une cuve de trajet optique de 10nm.

■ Matériaux

- Spectrophotomètre d'absorption moléculaire
- Fioles en verres
- Tube jaugée en polyéthylène de type Falcon de 50 et 100mL

■ Réactifs

- Solution d'azomethine
- Solution tampon

■ Mode opératoire

- Transférer 4ml de l'échantillon dans en polyéthylène.
- Ajouter 1ml de la solution tampon et 1ml du réactif de l'azomethine.
- Mélanger et laisser reposer pendant 2 heures à l'obscurité, à la température ambiante ;
- Ensuite mesurer l'absorbance à l'absorption maximale à la longueur d'onde 420nm en utilisant le spectromètre réglé conformément aux instructions du fabricant.



Figure IV. 1: Dosage du Bore

IV.2.10. Dosage du Nitrate

■ Principe

Le nitrate est réduit en nitrites par le cadmium Cd recouvert d'une couche de cuivre après traitement au sulfate de cuivre CuSO_4 . Après il forme avec l'acide sulfanilique un composé diazoïque. Ce dernier s'associe avec le NED (n-1 naphtyle diamine 1,2 éthane) en donnant une coloration rose dont l'intensité est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde 540nm.

■ Mode opératoire

Préparation de l'échantillon

- A l'aide d'une solution mère de NO_3^- , on Prépare les solutions étalons de concentration en NO_3^- : 0,00 -0,20-0,40-0,80-1,00-2,00 mg/l.
- A l'aide d'une solution étalon de NO_3^- on prépare le MR, Ces étalons sont utiles pour tracer la courbe d'étalonnage.

Préparation de l'échantillon

- Verser 50 ml de l'échantillon d'eau dans un erlenmeyer,
- Ajouter 1,25 ml de la solution tampon,
- Faire passer cette solution dans la colonne de réduction,
- Laisser couler les premiers 25 ml et garder les derniers 25ml, Ensuite ajouter 1ml de l'acide sulfanilique sur les 25ml gardés,
- Pour finir ajouter 1ml de la solution NED.



Figure IV. 2: Colonne de la réduction du nitrate en nitrite

IV.2.11. Dosage de l'Ammonium

■ Principe

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution de chlore pour les transformer en monochloramine (NH_2Cl) et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage par spectrométrie d'absorption moléculaire à la longueur d'onde de 630nm.

■ Durée

Après avoir préparé les réactifs, les étalons (pour les courbe d'étalonnage) et les échantillons, on laisse reposer pendant une durée de 4h à 24h dans l'obscurité.

■ Préparation des réactifs et étalons

Les réactifs :

- **Eau desionisée:** pour préparer des étalons avec aucune trace d'ammonium.
- Solution des lessives de soude 0,34mol/l : dissoudre 13,6g soude dans 100mL de l'eau distillée.
- Solution citrate de sodium.
- **Réactif A** : dissoudre 13,5g de phénol et 0,15g de nitroprussiate de sodium dans 500ml d'eau distillée.
- **Réactif B** : dissoudre 0,1g de dichloroiso-cyanurique dans 500ml de lessive de soude.

Les étalons :

Solution MR de NH_4^+ de 1g/l : préparer à partir de Solution étalon mère de NH_4^+ de 100 mg/l : dissoudre de 0,2965g de NH_4Cl dans l'eau distillée jusqu'à 1000ml.

Préparation de l'échantillon

- Ajouter à 25ml de chaque échantillon 1mL de citrate de sodium et bien mélanger,
- Ajouter 1ml du réactif A et bien mélanger,
- Finalement, ajouter 1ml du réactif B et bien mélanger,
- Laisser reposer pendant la durée,
- Mesure l'absorbant à 630nm des étalons et des échantillons en respectant la série d'analyse,
- Reporter les résultats et tracer la courbe d'étalonnage pour en déduire par la suite les concentrations des échantillons.



Figure IV. 3: Dosage de l'ammonium

IV.3. LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES DE L'EAU

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas de rechercher de toutes les espèces présentes dans l'eau, mais celle qui sont susceptibles d'être pathogènes, et celles qui sont indicatrices de contamination fécale. Les bactéries recherchées sont:

- Les Bactéries coliformes (coliformes totaux)
- Les microorganismes anaérobies sulfite- réducteurs
- Les microorganismes revivifiables
- Les coliformes fécaux
- Les streptocoques fécaux

La raison du choix de ce groupe de bactéries comme indicateur de contamination de l'eau est due aux facteurs suivants:

- On les trouve dans les excréments des animaux à sangs chaud, y compris les humains;
- Leur concentration dans l'eau contaminée à une relation directe avec le degré de contamination fécale de cette dernière;
- Elles ont la durée de survie la plus importante chez les bactéries pathogènes intestinales ;
- Elles sont plus résistantes aux désinfectants et aux agents tensioactifs que les bactéries pathogènes.

IV.3.1. Analyse bactériologiques d'eau brute

Pour les analyses de l'eau brute, on utilise la méthode de fermentation en tubes multiple ou le nombre le plus probable.

1. Méthode du nombre le plus probable (NPP)

■ Principe

La technique du NPP fait appel à la méthode de fermentation en tubes multiples, au cours de laquelle au moins trois dilutions décimales de l'échantillon sontensemencées dans des tubes de bouillon et incubées à une température précise, pendant une période donnée. Elle consiste à interpréter les résultats en comparant les trois essais et leurs résultats. Il s'agit d'une interprétation probabiliste. Cette méthode est applicable aux échantillons ayant une teneur plus ou moins élevée en matières en suspension.

■ Les avantages de la méthode

- C'est relativement simple et moins chère.
- C'est la méthode de choix pour déterminer les densités de coliformes fécaux et le moment de la contamination.
- C'est idéal pour les échantillons d'eaux brutes et les échantillons non potables.

■ Les inconvénients de la Méthode

- Il exige plus de travail au niveau de la manipulation par exemple dans le cas des séries de 5 tubes et aussi beaucoup de matériaux.
- L'impossibilité d'isoler une bactérie de son milieu.

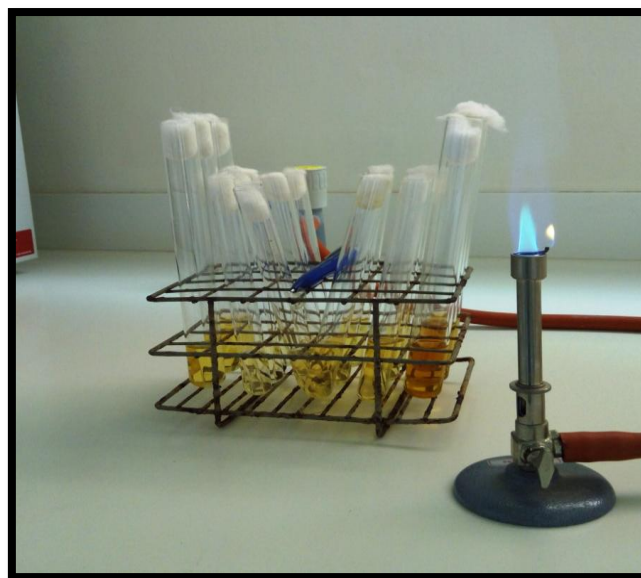


Figure IV. 4: Méthode du nombre le plus probable(NPP)

■ Les milieux des cultures

- **Bouillon de BEA** : pour effectuer le test confirmatif de recherche et de dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux d'alimentation. (BIOKAR).
- **Bouillon de Lauryl** : Ce milieu est utilisé pour le test présomptif des coliformes d'enrichissement sélectif et pour la recherche et le dénombrement des coliformes dans les eaux par la méthode de NPP.
- **Bouillon de Rothe** : est utilisé pour effectuer le test présomptif de recherche et de dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux d'alimentation.
- **Bouillon vert brillant**: pour le Test confirmatif pour les coliformes totaux.
- **Bouillon EC medium**: pour le Test confirmatif pour les coliformes fécaux.

■ Mode opératoire

a) Bactéries coliformes totaux et fécaux

■ Test présomptif

Dans 3 tubes de concentration double du milieu lauryl, on introduit avec une pipette stérile 10ml de l'échantillon, et puis dans les 6 tubes de concentration simple, on transfère 1ml, 0,1ml respectivement de l'échantillon bien homogénéisée et on agit de façon à obtenir une répartition homogène. Enfin les tubes sont incubés à 37°C pendant 48 heures. Les tubes présentant un trouble avec production du gaz dans la cloche sont positifs.

■ Test confirmatif

On procède à la confirmation de chaque culture provenant des tubes qui ont donné une réaction positive. Donc on transfère avec une anse stérile ou une pipette pasteur stérile, une population bactérienne prélevée dans les tubes bouillon lactosé au vert brillant pour les coliformes totaux et l'EC medium pour les coliformes fécaux, suivi d'une agitation lente des tubes.

■ Incubation

- Les coliformes totaux sont incubés à 37°C pendant 48 heures.
- Les coliformes fécaux sont incubés à 44°C pendant 24 heures.

■ Matériel et Equipment

- Tube stériles avec cloche
- Pipette stérile
- Anse stérile
- Etuve de 37°C
- Etuve de 44°C

■ Lecture et expression des résultats

Les tubes présentant un trouble avec dégagement du gaz dans la cloche sont positifs, ils confirment la présence des coliformes. On compte le nombre de séries de tubes positifs et le nombre de tubes négatifs et on obtient les résultats en extrapolant sur la table de MAC GRADY, la formule utilisée est la suivante :

$$N = \frac{NPP}{V_{\text{ensemencé}}} \times FD$$

D'où :

NPP: nombre le plus probable trouvé dans la table de MAC CRADY.

FD : le facteur de dilution : égale à l'inverse de la dilution la plus faible.

N : nombre de bactéries exprimées en coliformes/ml.

Si on travaille sans dilution le N sera égale au NPP trouvé sur la table de MAC GRADY.

b) Streptocoques fécaux

■ Test présomptif

On utilise le bouillon de Rothe et on procède de le même mode opératoire que les coliformes, les tube sont incubé à 37°C pendant 48 heures. Les tube positive présentent un trouble et dépôt au bas de la tube.

■ Test confirmatif

On repique les tubes positifs du test confirmatif sur des boites de milieu BEA et on les incubé à 44°C pendant 48 heures.

■ Matériel et Equipment

- Tube stériles
- Pipette stérile
- Agitateur vortex
- Etuve de 37°C
- Etuve de 44°C

■ Lectures des résultats

Après 48 heures d'incubation, les boites positives présentent de coloration foncée à gélose des colonies et milieu environnant, et après on fait la lecture sur la table de MAC CRADY.

IV.3.2. Analyse bactériologiques d'eau traitée

L'analyse bactériologique de l'eau traitée est effectuée par la méthode de la membrane filtrante et celle de l'incorporation en gélose.

1. Méthode de la membrane filtrante

■ Principe

Il s'agit de filtrer à travers la membrane d'une porosité de 0,45 ou 0,2 μm un volume déterminé de l'échantillon et incuber ensuite cette membrane pendant une période donnée à une température précise sur un milieu sélectif. Après incubation, on compte le nombre de colonies exprimé en UFC/100ml.

Cette méthode est applicable à toutes les eaux et en particulier à celles contenant une faible quantité de matières en suspension et un nombre relativement faible de germes.



Figure IV. 5: Méthode de la membrane filtrante

■ **Les avantages de la méthode**

- Plus de 100 ml d'échantillons peuvent être testés.
- Il mesure seulement les organismes vivants et actifs.
- Moins de risques de contamination, surtout à faible échelle.
- Technique efficace, rapide et acceptable, utilisée pour surveiller l'eau potable dans les laboratoires.

■ **Les inconvénients de la méthode**

- Les membranes ne présentent pas la même capacité de récupérer les bactéries contenues dans les échantillons d'eau.
- Le milieu sélectif utilisé dans cette technique n'est pas favorable pour la croissance et la récupération des bactéries stressées.
- il ne convient pas aux eaux troubles ou usées.

■ **Les milieux de culture**

- **Gélose lactosé au TTC et Tergitol 7**

Ce milieu permet la recherche et le dénombrement des bactéries coliformes et *Escherichia coli* dans les eaux traitées, par la méthode des membranes filtrantes. Les bactéries coliformes donnent des colonies jaunes avec halo jaune.

- **Gélose de Slanetz et Bartley**

Elle permet d'effectuer le dénombrement des entérocoques intestinaux dans les eaux d'alimentation, par la technique de la membrane filtrante. L'azide de sodium permet d'inhiber la croissance des microorganismes à Gram négatif. Le TTC est un indicateur de la croissance bactérienne. Il est réduit en formazan insoluble à l'intérieur de la cellule. Cette réaction se manifeste par l'apparition de colonies de couleur rouge à marron. (BIOKAR).

- **Milieu TSC**

La gélose Tryptone-Sulfite-Cyclosérine (TSC) est utilisée pour l'isolement sélectif et le dénombrement de *Clostridium* dans les eaux destinées à l'alimentation humaine. Ce milieu est également recommandé pour le dénombrement des anaérobies sulfite-réducteurs dans les denrées d'origine animale.

■ Mode opératoire

a) Bactéries Coliformes et Escherichia coli

On filtre 100ml de l'échantillon de l'eau traitée à travers une membrane de porosité 0,45µm et ensuite la membrane est déposée sur un milieu sélectif gélosé Tergitol 7 TTC.

■ Incubation

- Les boîtes des bactéries coliformes, sont incubées à 37°C pendant 48 heures.
- Les boîtes des Escherichia coli, sont incubées à 44°C pendant 24 heures.

Matériel et Equipment

- Membrane filtrantes stérile de porosité 0,45µm et de 47mm de diamètre
- Boîte de pétri
- Rampe de filtration
- Pince
- Etuve de 37°C
- Etuve de 44°C

■ Lecture des résultats

Après incubation, les boîtes ayant des colonies caractéristiques de couleur jaune avec un halo jaune sont considérées comme positives.

b) Entérocoques intestinaux

Le mode opératoire est le même que celui des bactéries coliformes, 100 ml d'eau est filtrée à travers une membrane de nitrocellulose de 0,45µm de porosité et puis la membrane est déposée sur le milieu gélosé Slanetz et bartley. Les boîtes sont incubées à 37°C pendant 48 heures. Toutes les colonies présentant une couleur rouge, rose à marron sont Considérées positives.

c) Microorganisme Anaérobies sulfito-réducteurs

Dans un tube, on filtre un volume d'eau de l'échantillon déterminée et puis on le chauffe à 75°C pendant 15 minutes et puis on le refroidisse dans un bain marie glacée ou avec de l'eau du robinet pour détruire la partie végétative de la spore.

Après on filtre sur une membrane stérile de 0, 2µm de porosité, 100 ml d'échantillon d'eau traitée et on dépose la membrane Sur la boîte de pétri, face renverser sur la gélose, en évitant toute incorporation d'air. Puis on l'incube à 37°C pendant 48 heures.

■ Lecture des résultats

On fait la lecture après 48h, en considérant toute colonie noire comme résultat d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice.

d) Microorganismes revivifiables

Les analyse des microorganismes dans les eaux traitée se fait par la méthode d'incorporation en gélose.

■ Principe

Elle consiste à dénombrer les microorganismes viables dans une portion d'échantillon à analyser. Elle s'effectue en déposant une portion aliquote d'un échantillon d'eau dans une boîte de pétri à laquelle est ajouté un milieu de culture nutritive gélosé maintenue liquéfiée à environ 50°C. Les boîtes de pétri sont ensuite agitées doucement afin de répartir uniformément les bactéries dans tous les volumes du milieu disponible. Les boîtes de pétri sont ensuite laissée sur une paillasse pour la gélose se solidifie. Après les boîtes sont incubés à 22°C pendant 72 heures et 37°C pendant 48 heures. L'incubation dans ces conditions déterminées permet à chaque bactérie de se multiplier et de former une colonie permettant leur dénombrement à l'aide d'un compteur de colonie.

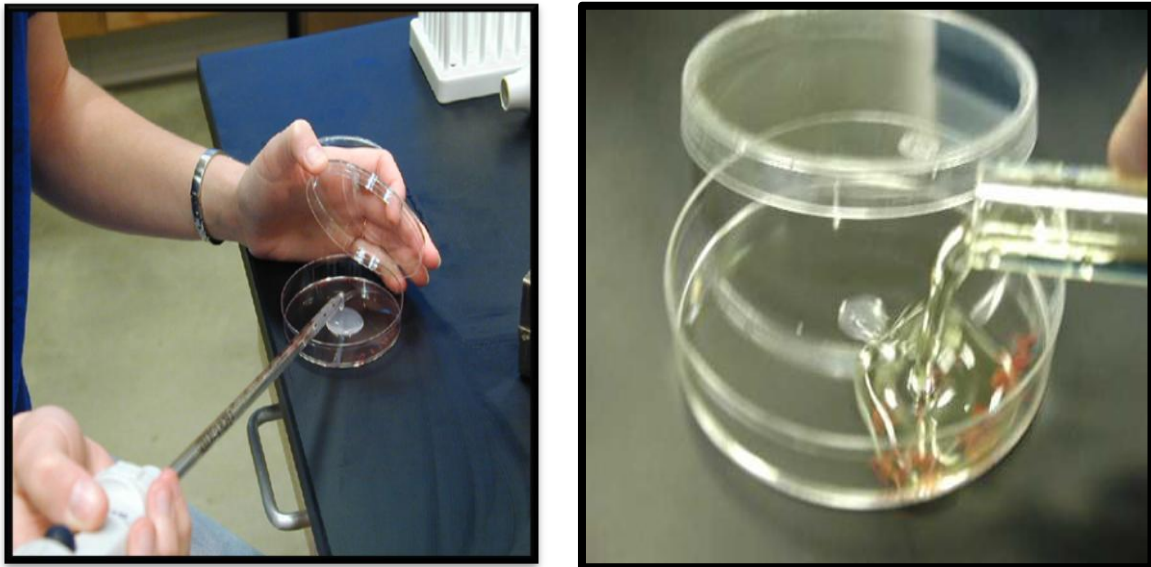


Figure IV. 6: Méthode d'incorporation en gélose

■ Milieu de culture

- La gélose à l'extrait de levure

La gélose pour dénombrement, ou PCA standard (pour Plate Count Agar, en anglais), est un milieu utilisé pour le dénombrement des microorganismes aérobies revivifiables. C'est un milieu nutritif sans inhibiteurs, dont l'intérêt est de favoriser le développement des microorganismes qu'on y a déposés. L'ensemble de tous les micro-organismes s'appelle la flore totale.

■ Mode opératoire

Premièrement on liquéfie la gélose à 45-50°C, et on introduit avec une pipette stérile, 1ml d'échantillon d'eau à analyser dans les boîtes de pétri stérilisées puis on coule la gélose dans ces dernières et les laissent solidifier, après une agitation lente.

■ Incubation

Les boîtes sont ensuite incubées à :

- 22°C pendant 72 heures,
- 37°C pendant 24 heures,
 - A 22°C : on trouve les bactéries adaptées à la température de l'eau.
 - A 37°C : on trouve les bactéries pathogènes, qui se développent à la température du corps humain.

■ Matériel et Equipment

- Boîte de pétri stériles de 90mm
- Pipette stérile
- Anse stérile
- Etuve de 37°C
- Etuve de 44°C

■ Lecture des résultats

Après incubation, les boîtes ayant un nombre de colonies entre 30 et 300 sont seulement prises en considération, Le dénombrement des colonies est effectué par un compteur des colonies à affichage numérique. Les résultats sont exprimés en unité formant colonie UFC/1ml.

CHAPITRE V: RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre consiste à présenter et interpréter les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du robinet et de l'eau brute obtenues au niveau du laboratoire.

Nos échantillons de l'eau du robinet sont de l'eau distribuée par la régie RADEM au niveau de Meknès et pour l'eau brute ce sont de l'eau des sources Ribaa, Bittit et d'autres captages exploités pour l'alimentation en eau potable de Meknès.

V.1. LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU DU ROBINET ET DE L'EAU BRUTE

V.1.1. Température

Pour la température on remarque presque les mêmes degrés de température pour les eaux brutes que pour les eaux du Robinet car ce sont des eaux de surface qui gardent la température de l'air ambiant. La température de l'eau du robinet varie entre 15,2 et 15,8°C (Figure V.1). La température moyenne entre les cinq échantillons est de 15,54 °C. La variation est en dent de scie comme d'ailleurs l'eau brute dont la température moyenne est de 15,58°C (Figure V.1). Ces mesures indiquent que la qualité des eaux est bonne.

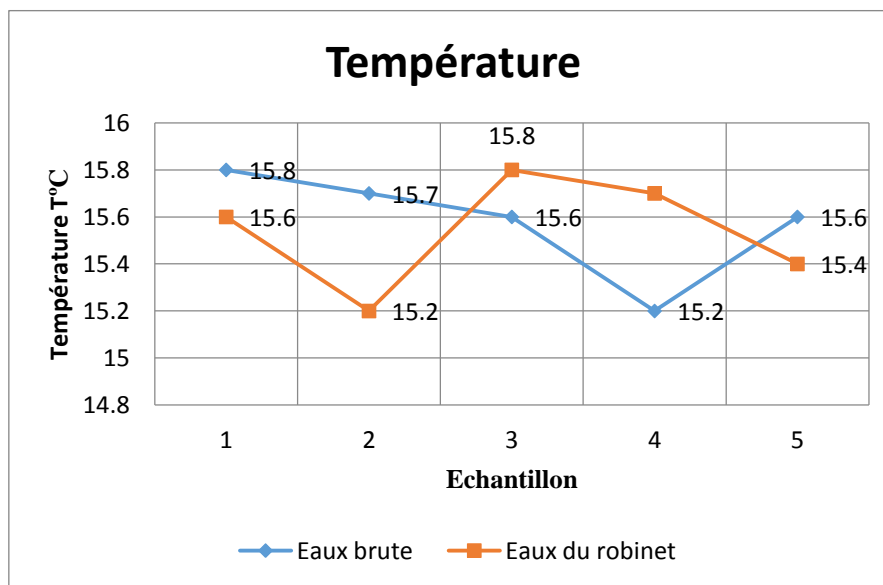


Figure V. 1: Variation de la T°C au niveau de l'eau du robinet et brute

V.1.2. pH

Pour le pH on remarque presque le même pH pour l'eau brute et pour l'eau du robinet qui est neutre.

Pour les eaux du robinet, les valeurs du pH varient entre 7,08 et 7,26 avec une valeur moyenne de 7,14 qui traduit une qualité des eaux très bonne.

Pour l'eau brute, les valeurs de pH varient entre 7,05 et 7,18 (Figure V.2). La moyenne est de 7,1 qui correspondent à un pH neutre.

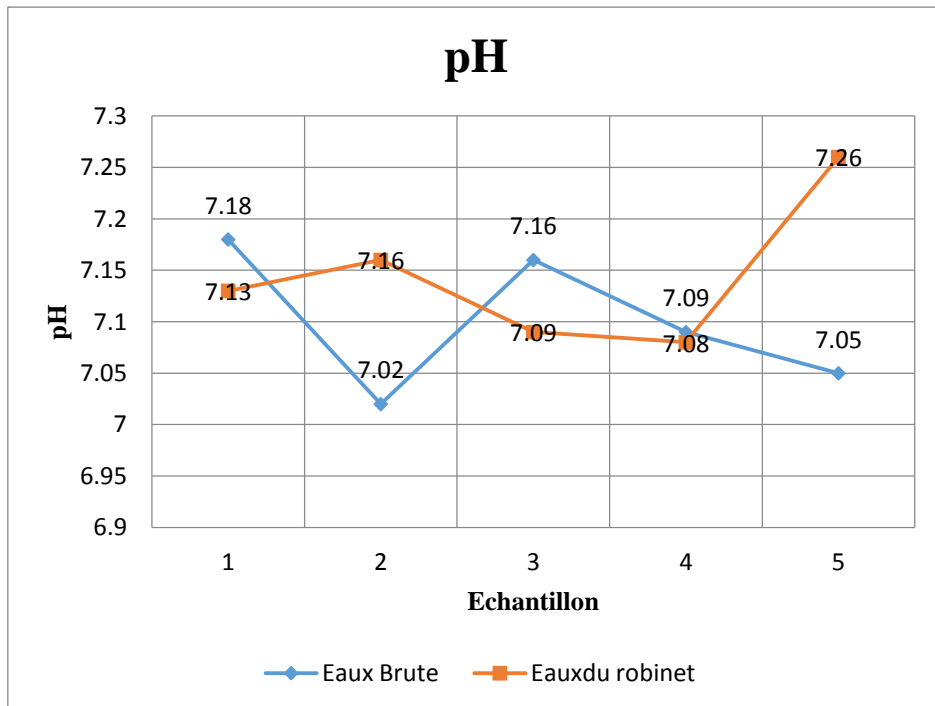


Figure V. 2: Variation du pH au niveau de l'eau du robinet et brute

V.1.3. Turbidité

Les valeurs de l'eau du robinet varient entre 0,1 et 0,16 NTU avec une moyenne de 0,12 NTU ce qui indique que les eaux sont claires et que les valeurs sont dans la norme qui est de 0,5 NTU (Norme Marocaine). Cette diminution est liée à l'injection de sulfate d'alumine et chlore pendant coagulation, floculation et pré-chloration. (Figure V.3).

Pour l'eau brute, les valeurs varient entre 8,23 et 11,2 NTU avec une moyenne de 9,44 NTU ce qui indique les eaux sont légèrement troublées. Ces teneurs élevées de la turbidité sont dû à une forte teneur en matières en suspension qui contient des argiles et d'autres substances d'origine biologique microscopiques. (Figure III.2). La différence des moyennes entre les deux types d'eaux est de 9,32 NTU.

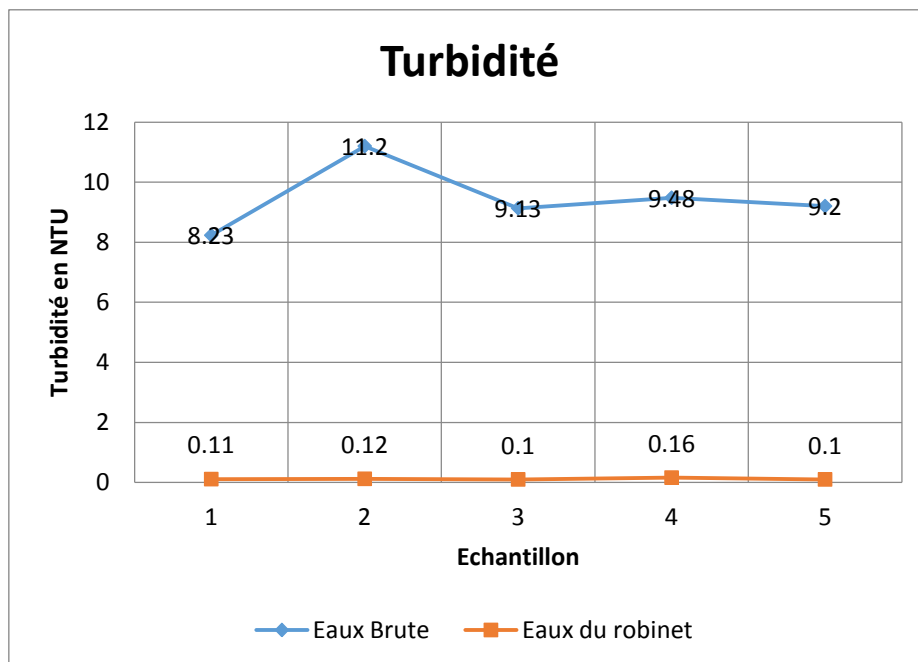


Figure V. 3: Variation de la Turbidité au niveau de l'eau du robinet et de l'eau brute.

V.1.4. Conductivité

Les valeurs de la conductivité de l'eau du robinet varient 474 et 483 (Figure V.4), qui signifie que l'eau est de bonne qualité (Figure III.3). Pour l'eau brute, les valeurs de conductivité varient 580 et 600, qui signifie que l'eau est de bonne qualité. Les résultats de ces deux eaux ne dépassent pas la norme qui est de 2700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Norme marocaine). Ces valeurs peuvent être variées selon la présence des ions dans l'eau brute et selon la dose de réactifs de traitement injecté.

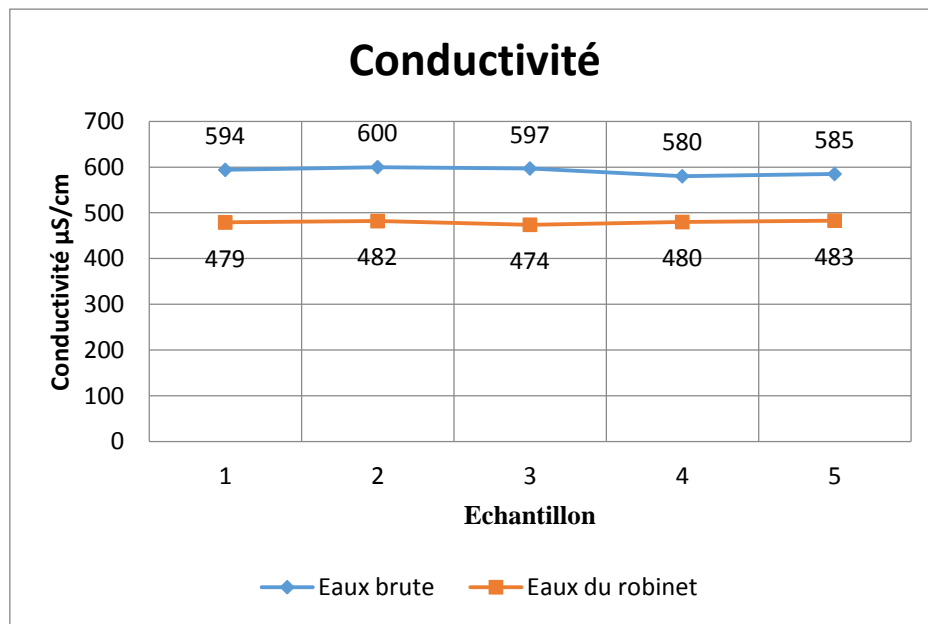


Figure V. 4: Variation de la Conductivité au niveau de l'eau du robinet et brute

V.1.5. Chlore résiduel

La teneur en chlore résiduel de l'eau traitée est comprise entre 0,5 et 1 mg/l, fixée par la norme marocaine alors que l'eau brute ne contient pas de chlore.

Les valeurs de l'eau du Robinet varient entre 0,7 et 0,8 avec une moyenne de 0,76 ce qui signifie que le chlore utilisé pour la désinfection est dans la norme. (Figure V.5)

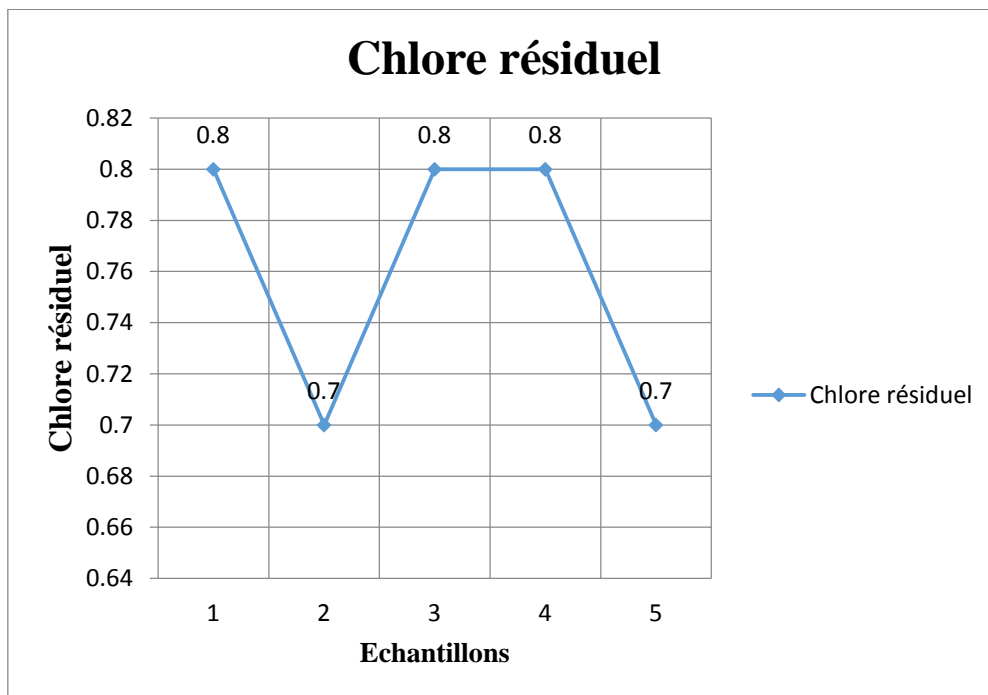


Figure V. 5: Variation du chlore résiduel au niveau de l'eau du robinet

V.1.6. Bore

- Une courbe d'étalonnage est un procédé utilisée pour corriger les erreurs éventuelles de l'appareil de mesure (dans ce cas le spectromètre), à partir d'un échantillon ou plusieurs échantillons témoins.

Tableau V. 1. Les étalons du Bore

Etalons	Absorbance	Concentration en mg/l
Blanc	0	0
Etalon 1	0,303	0,5
Etalon 2	0,541	1
Etalon 3	0,867	1,5
Etalon 4	1,138	2
Etalon 5	1,378	2,5

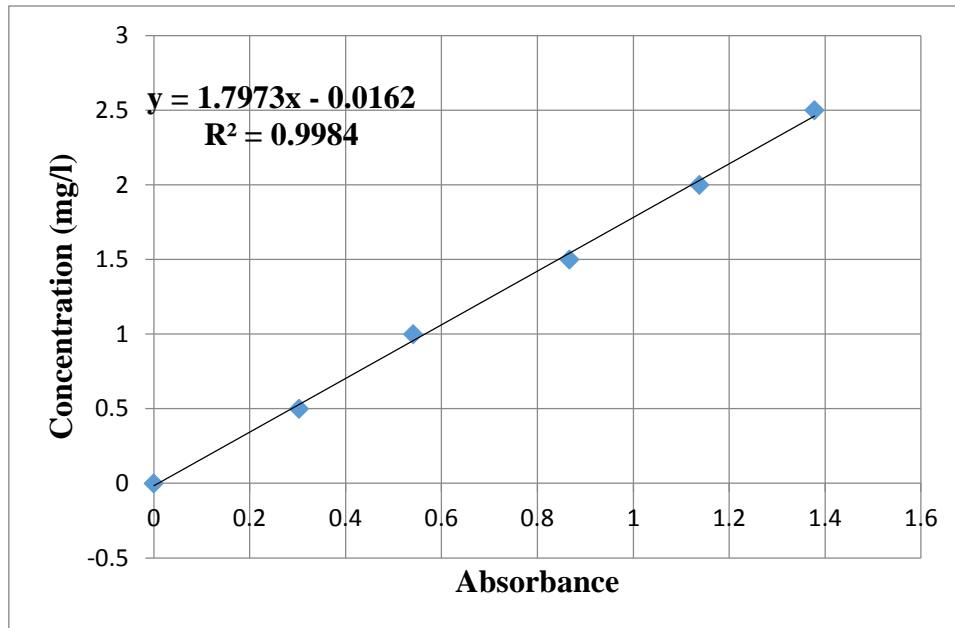


Figure V. 6: La courbe d'étalonnage du Bore

■ **Résultat et interprétation**

Tableau V. 2. Résultat de l'analyse du bore

Echantillons	Absorbance	Concentration en mg/l	Norme Marocaine (VMA)
Eau du robinet	0,035	0,05	0,3mg/l
Eau Brute	0,080	0,13	

Les concentrations du bore dans l'eau du robinet est de 0,05mg/l et dans l'eau brute de 0,13mg/l qui sont dans la norme Marocaine qui est de 0,3mg/l (Tableau V.2). Ces valeurs signifient que ces eaux ne contiennent pas une grande concentration du bore et qu'elles sont propres à la consommation.

V.1.7. Sulfate

Tableau V. 3. Les étalons du sulfate

Etalon	Concentration en mg/l	Turbidité en NTU
Blanc	0	10,8
Etalon 1	20	74,2
Etalon 2	50	84
Etalon 3	100	389

L'ion sulfate peut être précipité par le chlorure de baryum dans un milieu acide chlorhydrique. La mesure de la diffusion de la lumière de la suspension résultante est déterminée à l'aide d'un Turbidimètre et la concentration en sulfate est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage préparée à partir d'une solution de sulfate standard.

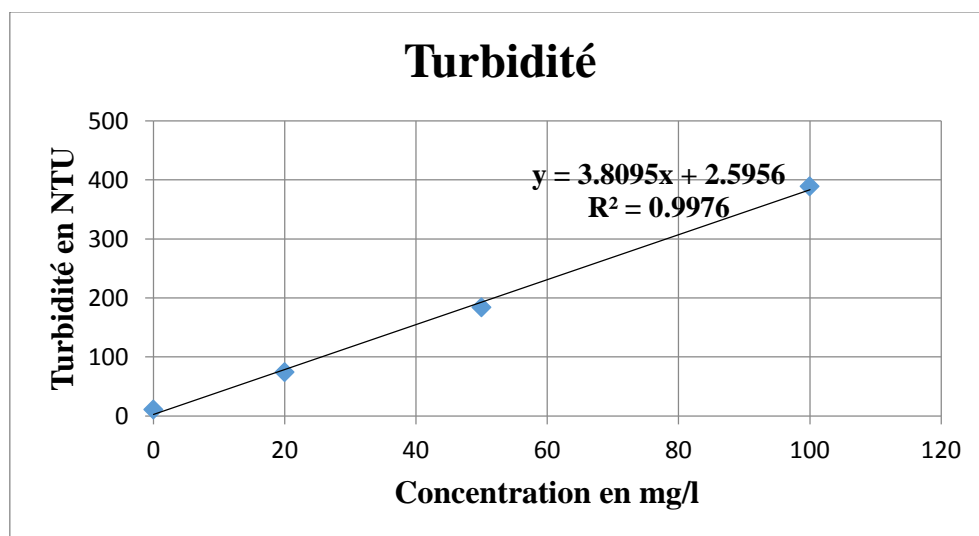


Figure V. 7: La courbe d'étalonnage du sulfate

■ Résultat et interprétation

Tableau V. 4. Résultat et de l'analyse du sulfate

Echantillons	Turbidité en NTU	Concentration en mg/l	Norme Marocaine (VMA)
Eau du robinet	23,7	6,90	400mg/l
Eau Brute	44,3	12,31	

La teneur en sulfate de ces deux eaux est très faible, pour l'eau du robinet, elle est de 6,90 mg/l et de 12,31 pour l'eau brute qui est dans la norme marocaine qui est de 400mg/l (Tableau V.4). Il indique que ces eaux sont de qualité bonne. Une teneur élevée de sulfate peut causer un mauvais gout aux eaux, une purgation et irritation gastro-intestinaux.

V.1.8. Ammonium

Tableau V. 5. Les étalons de l'ammonium

Etalon	Concentration en mg/l	Absorbance
Blanc	0,00	0,0000
Etalon 1	0,05	0,0310
Etalon 2	0,10	0,0720
Etalon 3	0,20	0,1440
Etalon 4	0,50	0,4190

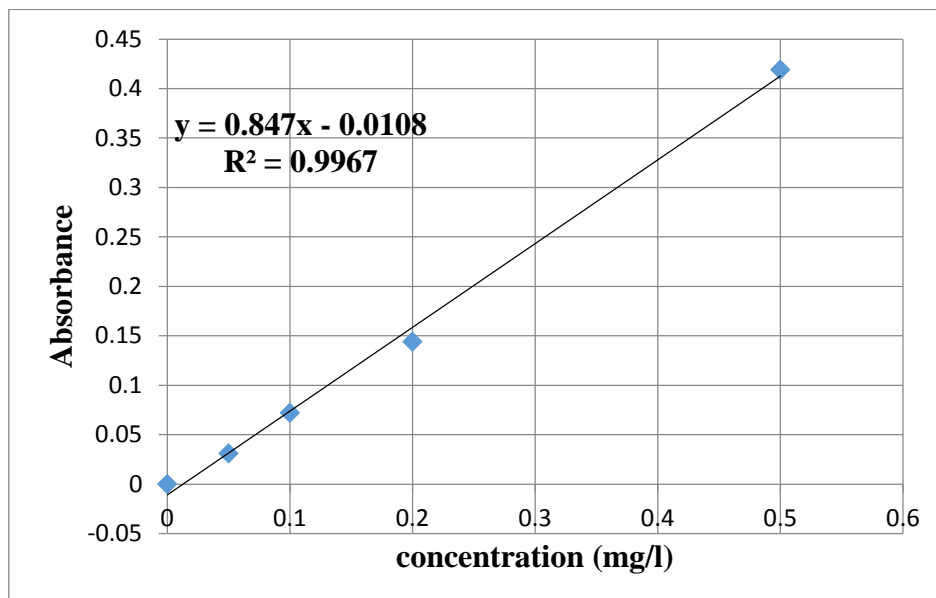


Figure V. 8: La courbe d'étalonnage de l'ammonium

■ Résultat et interprétation

Tableau V. 6. Résultat de l'analyse d'ammonium

Echantillons	Absorbance	Concentration en mg/l	Norme Marocaine (VMA)
Eau du robinet	0,069	0,094	0,5mg/l
Eau Brute	0,12	0,154	

Les teneurs en Ammonium présentes dans les eaux analysées varient très peu ; pour l'eau du robinet ; elle est de 0,094 et 0,154 mg/l pour l'eau brute qui corresponde aux faibles concentrations de l'ammonium (Tableau V.6). Ces valeurs sont très faibles par rapport à la valeur maximale admissible en Ammonium indiquée par la norme marocaine qui est de 0,5 mg/l. Donc ces eaux présentent une qualité excellente.

V.1.9. Nitrate

Tableau V. 7. Les étalons du Nitrate

Etalon	Concentration en mg/l	Absorbance
Blanc	0,0	0,018
Etalon 1	0,2	0,12
Etalon 2	0,4	0,273
Etalon 3	0,8	0,505
Etalon 4	1,0	0,66

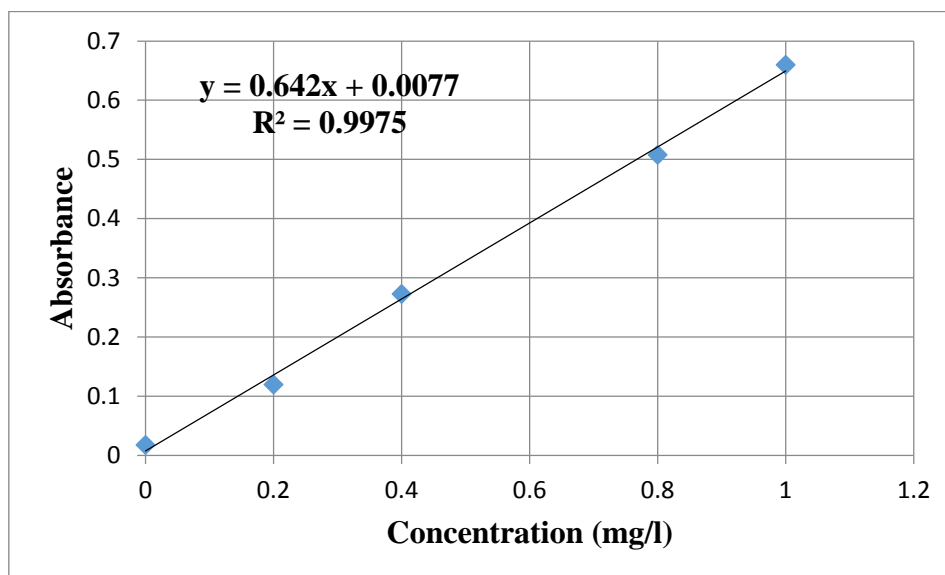


Figure V. 9: La courbe d'étalonnage du nitrate

■ Résultat et interprétation

Tableau V. 8. Résultat de l'analyse du nitrate

Echantillons	Absorbance	Concentration en mg/l	Norme Marocaine (VMA)
Eau du robinet	0,085	6,02	50 mg/l
Eau Brute	0,145	10,69	

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé dans l'eau. Toutefois, la teneur en nitrates dans l'eau est liée à l'apport des engrais. La concentration du nitrate pour l'eau du robinet est de 6,02mg/l et pour l'eau brute de 10,69mg/l qui est dans la norme marocaine qui est de 50mg/l (Tableau V.8). Ce qui indique que ces eaux sont de bonne qualité, propre à la consommation et ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates.

V.1.10. Titre Hydrotimétrique ou Dureté totale

Résultat et interprétation

Tableau V. 9. Résultat de l'analyse du TH/Dureté totale

Echantillons	Teneur en Ca^{2+} (mg/l)	Titre hydrotimétrique(TH)
Eau du robinet	40	3.2
Eau Brute	42,2	3,24

Le titre hydrotimétrique TH ou la dureté totale d'une eau a pour but la détermination de la concentration des ions magnésium et calcium dans l'eau. Elle est directement liée à la nature géologique des terrains traversés par l'eau. La concentration en ion calcium qui est de 40 mg/l pour l'eau du robinet, et de 42,2 mg/l pour l'eau brute signifie que ces eaux sont douces (Tableau V.9). La dureté totale de ces eaux sont très proche qui est de 3,2 pour l'eau du robinet et 3,24 mg/l pour l'eau brute. Ça signifie ces que eaux sont peu chargée en ion de Ca^{+} et Mg^{2+} (Tableau V.9).

V.1.11. TA/TAC

Le tableau suivant présente les formules permettant de calculer les concentrations des bases (OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^-) dans l'eau analysée, elles dépendent du volume V_{TA} et V_{TAC} versé de l'acide chlorhydrique. (Tableau V.10).

Tableau V. 10.Les concentration des bases d' OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- dans l'eau

Ion	OH^- mg/l	CO_3^{2-} mg/l	HCO_3^- mg/l
TA	0	0	12,2*TAC
TA<TAC/2	0	12*TAC	12,2(TAC-2*TA)
TA=TAC/2	0	6*TAC	0
TA>TAC/2	3,4*(2*TA-TAC)	12*(TAC-TA)	0
TA=TAC	3,4*TAC	0	0

■ Résultat et interprétation

L'analyse d'alcalimétrie de ces eaux, nous montre que la concentration des ions hydroxydes et des ions carbonates est nulle, et les ions hydrogénocarbonates sont présents dans ces eaux mais avec des concentrations très faibles et leur $[\text{HCO}_3^-]$ très proche (Tableau V.11).

Tableau V. 11. Résultat de l'analyse du TA/TAC

Echantillons	TAC	TA
Eau du robinet	1,18 méq/l	0
Eau Brute	1,2 méq/l	0

V.1.12. Oxydabilité au permanganate de potassium

■ Résultat et interprétation

L'oxydabilité nous permet d'estimer la concentration en matières organiques présentes dans les eaux de surface et les eaux potables. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. Pour l'oxydabilité, on constate que la quantité d'oxygène libérée par l'ion permanganate par ces eaux est inférieure à la norme marocaine qui est de $5\text{mgO}_2/\text{l}$. C'est l'eau brute qui contient plus de matières oxydables puisqu'il a une quantité d'oxygène qui est égal à $0,45\text{ mg/l}$ plus élevée que celle de l'eau du robinet qui est de $0,2\text{ mg/l}$. La valeur de l'eau du robinet est inférieure car les matières oxydables sont oxydées dans l'étape de pré-chloration (Tableau V.12).

Tableau V. 12. Résultat de l'analyse de l'Oxydabilité

Echantillons	Résultat	Norme Marocaine (VMA)
Eau du robinet	0,2	5mg O ₂ /l
Eau Brute	0,45	

V.2. LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU

V.2.1. Les analyses Bactériologiques de l'eau du Robinet

■ Résultat et interprétation

Pour les analyses bactériologiques de l'eau du robinet, il n'existe aucun test positif pour les **CT**, **EC**, **EI**, **MASR**, et **MOR** (Tableau V.13). Ça signifie que cette eau n'est pas contaminée ou bien, qu'il n'y a pas de contamination fécale et ainsi que la dose de chlore ajouté à la station de traitement est best bien suffisante et notre traitement est bien efficace : Tous les résultats sont dans la norme marocaine.

Tableau V. 13. Résultats de l'analyse bactériologique de l'eau du Robinet

EAUX DU ROBINET		
TYPE DE BACTERIE RECHERCHE	RESULTAT EN UFC/ml	Norme Marocaine (VMA)
Coliformes Totaux	0 UFC/100ml	0/100ml
Escherichia Coli	0 UFC/100ml	0/100ml
Entérocoques Intestinaux	0 UFC/100ml	0/100ml
microorganismes Anaérobie Sulfite Réducteurs	0 UFC/100ml	0/100ml
Micro-organismes Revivifiable (37°C)	0UFC/100ml	20/1ml
Micro-organismes Revivifiable (22°C)	0 UFC/100ml	100/1ml

V.2.2. Les analyses Bactériologiques de l'eau brute

■ Résultat et interprétation

Les résultats obtenus pour l'eau brute nous montrent qu'il n'y a aucun test positif pour les trois volumesensemencés, pour les **CT**, **CF** et **SF**, Ça nous indique qu'il n'y a pas de contamination fécale et cette eau est de qualité bonne (Tableau V.14 et Figure V.10). Les résultats sont dans la norme qui de 0/100ml pour les **CT**, **CF**, **SF** (Norme marocaine).

Tableau V. 14. Résultats de l'analyse bactériologique de l'eau Brute.

EAUX BRUTE				
	Nombre de tubes positifs			Résultat en NPP/100ml
Volumeensemencé en ml	10	1	10⁻¹	
Coliformes Totaux	0	0	0	0/100ml
Coliformes fécaux	0	0	0	0/100ml
Streptocoque fécaux	0	0	0	0/100ml

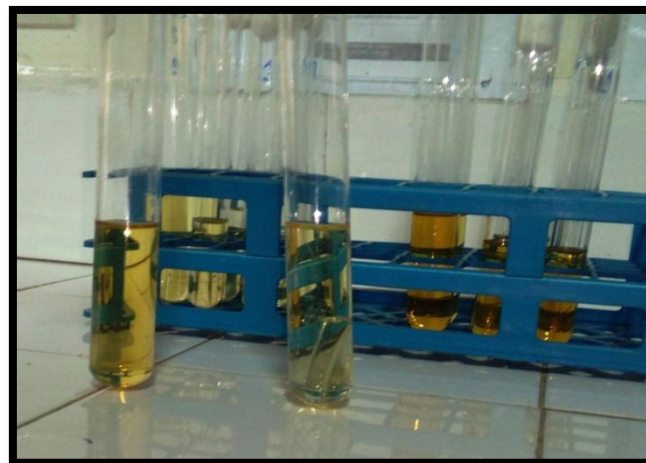


Figure V. 10: Test négative de l'eau brute

Conclusion

Les résultats relevés de différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont conduit aux conclusions suivantes :

- Les valeurs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques comparée aux normes marocaines relatives aux eaux de consommation indiquent que l'eau du robinet est de qualité bonne et propre à la consommation. Elles se témoignent par les paramètres physicochimiques tels que la température, le pH, la conductivité la turbidité, le titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet, la dureté totale l'oxydabilité, le sulfate le bore, le nitrate, l'ammonium et les paramètres bactériologiques tels que les Coliformes totaux (**CF**), les Escherichia coli (**EC**), les Entérocoques intestinaux(**EI**), les Microorganismes anaérobies sulfite réducteurs (**MASR**) et les Microorganismes revivifiables (**MOR**) qui sont dans la norme.
- Les valeurs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau brute des sources Ribaa et bittit et d'autres captages de Meknès obtenues, montrent que tous les paramètres répondent aux normes sauf la turbidité qui dépasse la norme, à cause des particules organique (végétaux décomposé ou des algues) ou inorganique (limon, sable ou compose chimique naturels tel que calcium de carbonate), des pluies abondantes, et l'écoulement printanier. Tous les paramètres bactériologiques répondent aussi aux normes et ils montrent qu'elle n'existe aucune bactérie pathogène ou une contamination fécale dans l'eau brute de sources ribaa et bittit et d'autres captages de Meknès. Pourtant ces eaux sont exemptées des pollutions agricole et domestique desquelles elles doivent être protégées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alberta Water & Wastewater Operators Association 22th Annual Seminar March 11- 14, 1997.
- **Alcamo, E, 1984.** Fundamentals of Microbiology, Addison-Wesley publishing Company, Inc.
- **APHA** - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th Edition (March 1999).
- **Aramini, J., McLean, M., Wilson, J., Holt, J., Copes, R., Allen, B., Sears, W. 2000.** Qualité de l'eau potable et utilisation des services de santé pour des troubles gastro-intestinaux dans le Grand Vancouver. Santé Canada.
- **AWWA (1990).** Water quality and treatment. American Water Works Association, 4e Edition, 1194p.
- **BENABDALLAH S., 2000.** Evaluation de qualité bactérienne des eaux. Germes à rechercher selon le type et l'usage de l'eau, ONEE. Rabat, 3-21.
- Bernadette Picot, 2010 cours eau et santé.
- Biokar diagnostic microbiology 5th édition « choix et préparation des milieux de culture »
- **Chevalier P., 2002.** Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine: Entérocoques et streptocoques fécaux. Institut national de santé publique du Québec, 5 p.
- Cooperative Research Centre for Water Quality and Treatment. December 2006. Consumer's Guide to Drinking Water.
- COURS TRAITEMENT DES EAUX 2éme année MST-GRE Responsable : Pr. A. LHASSANI.
- **Deltawerken 2004 ;** l'eau et l'environnement, la pollution de l'eau.deltaworks.org.
- **Dr.R.SALGHI.** Cours. Différents filières de traitement des eaux. Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir ENSA. Université IBN ZOHR.
- **Desjardins, R. 1997.** Le Traitement des eaux. 2e éd. Montréal; Presses internationales Polytechnique.
- **Echihabi, L. / Foutlane, A. / Bouchich, L.2002:** Développement durable : réponses technologiques suisses aux besoins environnementaux des pays émergents-Problèmes majeurs de pollution et leurs impacts sur les ressources en eau au Maroc, P75.

- **EnHealth**, 2004-EnHealth. La sous comité de partenariat de santé nationale publique du Gouvernement australien.
- Fanny Demay – BTS BioAnalyses & Contrôles.
- Journal of Water Sustainability, Volume 1, Issue 1, June 2011, 45–57.
- Health Canada. August 2009. Water Quality.
- **LENNTECH, 2008**. Traitement de l'eau et de l'air.
- **L'environnement en France octobre 2006, IFEN**; Les pesticides dans l'eau, décembre 2007 IFEN.
- **Nebel, J.B and Wright, TR.1996**. Environnement Science The way the World Works. Prentice Hall.
- NF T 90-040 Septembre 1986. Eaux d'alimentation humaine - Détermination des nitrites. Méthode à la sulfanilamide.
- Normes Marocaine NM 03.07.2001 qualité des eaux d'Alimentation Humaine.
- **OMS, 2004**. Guidelines for drinking water quality.
- **OMS, 2005**. Water safety plans, Management drinking water quality from catchment to consumer. Water, Sanitation and Health protection and the Human Environnement, Genève, Suisse.
- Prévost, M. 2010. Traitements physico-chimiques. Notes du cours CIV8210. École Polytechnique de Montréal.
- **Tardat- Henry, M**, .Chimie Des Eaux, 2ème Edition, Les éditions du griffon d'Argile, 1992, pp 213-215.
- Registre des analyses physicochimiques et bactériologiques de l'**ONEE-Branche Eau**.
- **Rodier, J, (1996)**. Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer, Edition Dunod, Paris, 1384p.
- **Rodier J, Legube B, Merlet N, 2005**. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- Water management consulting 2008.
- World Health Organization. 2007. Water Treatment.

Site Web:

<https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/compoChim.html>

<http://www.vedura.fr/environnement/eau/eau-potable>

ANNEXE

Annexe 1

Tableau I: Variation du pH

Echantillon	Eaux du robinet	Eaux brute
(1)	7,13	7,18
(2)	7,16	7,02
(3)	7,09	7,16
(4)	7,08	7,09
(5)	7,26	7,05

Tableau II: variation de la Conductivité

Echantillon	Eaux du robinet	Eaux brute
(1)	479	594
(2)	482	600
(3)	474	597
(4)	480	580
(5)	483	585

Tableau III: Variation de la Température

Echantillon	Eaux du robinet	Eaux brute
(1)	15,6	15,8
(2)	15,2	15,7
(3)	15,8	15,6
(4)	15,7	15,2
(5)	15,4	15,6

Tableau IV: Variation de la Turbidité

Echantillon	Eaux du robinet	Eaux brute
(1)	0,11	8,23
(2)	0,12	11,2
(3)	0,1	9,13
(4)	0,16	9,48
(5)	0,1	9,2

Tableau V : Variation du chlore résiduel au niveau d'eau du robinet

Echantillon	Chlore résiduel
(1)	0,8
(2)	0,7
(3)	0,8
(4)	0,8
(5)	0,7

Tableau V: concentration des différents paramètres déterminés

Paramètre	Eau du robinet	Eau brute
Bore	0,04mg/l	0,13mg/l
Sulfate	6,9mg/l	12,31mg/l
Ammonium	0,094mg/l	0,154mg/l
Nitrate	6,02mg/l	10,69mg/l
Dureté Totale	3,2mg/l	3,24mg/l
Dureté calcique	40mg/l	42,4mg/l
TAC	59mg/l	60mg/l
Oxydabilité	0,2 mgO ₂ /l	0,45 mgO ₂ /l

Annexe 2



Compteur de colonie



Agitateur Magnétique



Flacon de Prélèvement



Bain-Marie



Boites de Pétri



Conductivimètre

Annexe 3

Norme Marocaine relative aux eaux d'alimentation humaine**Paramètres organoleptiques et physico-chimiques de l'eau**

PARAMETRES	EXPRESSION DES RESULTATS	VMA	COMMENTAIRES
Odeur	Seuil de perception à 25 °C	3	
Saveur	Seuil de perception à 25 °C	3	
Couleur réelle	Unité Pt mg/l	20	
Turbidité	Unité de turbidité néphélométrique (NTU)	5	Turbidité médiane ≤ 1 NTU et Turbidité de l'échantillon ≤ 5 NTU.
Température	°C	Acceptable	
Potentielle hydrogène	Unités pH	6,5 < pH < 8,5	Pour que la désinfection de l'eau par le chlore soit efficace, le pH doit être de préférence < 8
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$ à 20 °C	2700	
Chlorure	Cl : mg/l	750	
Sulfate	SO ₄ : mg/l	400	
Ammonium	NH ₄ : mg/l	0,5	
Oxydabilité au KMnO ₄	O ₂ : mg O ₂ /l	5	La valeur de 2 mg O ₂ /l doit être respectée au départ des installations de traitement
Bore	B : mg/l	0,3	
Nitrites	NO ₂ : mg/l	0,5	Somme des rapports : (NO ₃)/50 + (NO ₂)/3 ne doit pas dépasser 1.
Nitrates	NO ₃ : mg/l	50	0,1mg/l de NO ₂ doit être respectée au départ des installations de traitement

Paramètre Bactériologique

PARAMETRES	V MA	COMMENTAIRES
Escherichia coli	0/100 mL	Les teneurs en chlore résiduel doivent être comprises entre : 0,1 et 1 mg/l à la distribution 0,5 à 1,0 mg/l à la production
Entérocoques intestinaux	0/100 mL	
Coliformes	0/100 mL	Pas de coliformes dans 95 % des échantillons prélevés sur une période de 12 mois - Pas de résultats positifs dans deux échantillons consécutifs
Spoires de micro organismes anaérobies sulfito-réducteurs (clostridia)	0/100 mL	Ce paramètre doit être mesuré lorsque l'eau est d'origine superficielle ou influencée par une eau d'origine superficielle.
Micro-organismes revivifiables à 22 °C et 37 °C	20/1 mL à 37 °C 100/1 mL à 22 °C	Variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle

Annexe 4

Tableau de MAC CRADY

10mL tubes Positifs	1-mL tubes positifs	0.1 mL tubes positifs	MPN/100 mL
0	0	0	0
0	0	1	2
0	0	2	4
0	1	0	2
0	1	1	4
0	1	2	6
0	2	0	4
0	2	1	6
0	3	0	6
1	0	0	2
1	0	1	4
1	0	2	6
1	0	3	8
1	1	0	4
1	1	1	6

Classification de la qualité des eaux

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état			
	Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Bilan de l'oxygène				
Oxygène dissous (mg O ₂ /l)	8	6	4	3
Taux de saturation en O ₂ dissous (%)	90	70	50	30
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	3	6	10	25
Carbone organique dissous (mg C/l)	5	7	10	15
Température				
Eaux salmonicoles	20	21,5	25	28
Eaux cyprinicoles	24	25,5	27	28
Nutriments				
PO ₄ ³⁻ (mg PO ₄ ³⁻ /l)	0,1	0,5	1	2
Phosphore total (mg P/l)	0,05	0,2	0,5	1
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ /l)	0,1	0,5	2	5
NO ₂ ⁻ (mg NO ₂ ⁻ /l)	0,1	0,3	0,5	1
NO ₃ ⁻ (mg NO ₃ ⁻ /l)	10	50	*	*
Acidification¹				
pH minimum	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum	8,2	9	9,5	10
Salinité				
Conductivité	*	*	*	*
Chlorures	*	*	*	*
Sulfates	*	*	*	*

¹ acidification : en d'autres termes, à titre d'exemple, pour la classe bon état, le pH min est compris entre 6,0 et 6,5 ; le pH max entre 9,0 et 8,2.
* : les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite.