

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université a. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés
Laboratoire des

Mémoire

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie chimique

Présenté par

M^{elle} : BOUKIR Katia

M^{elle} : MELLIKEUCHE Megdouda

Thème

Suivi du traitement de l'eau de forage utilisée pour la fabrication des sodas et eau fruitée de la SARL IFRI et contribution à l'étude de ses propriétés physico-chimiques et microbiologiques.

Soutenue le 14/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
M ^{me} ROUBA N	MCB	Université de A. MIRA	Présidente
M ^{me} IHAMOUCHE N CH	MCA	Université de A. MIRA	Examinatrice
M ^{me} AGUERSSIF N	MCB	Université de A.MIRA	Promotrice

Année Universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENT

Nos profonds remerciements au bon dieu qui a éclairé notre chemin et qui nous a donné la patience et le courage pour réaliser ce modeste travail.

*Nous tenons à remercier en premier, notre promotrice **M^{me} Aguerssif N.** d'avoir accepté de nous encadrer et orienter, ainsi que pour son aide et ses précieux conseils tout au long de ce travail.*

*Nos profonds remerciements s'adressent aussi aux membres du jury **M^{me} Rouba N.** et **M^{me} IHAMOUCHEH CH.** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.*

On tient également à remercier :

***Mr CHABOUR H.** chef du département de control et qualité, de nous avoir Accueilli au sein de l'entreprise, ainsi que notre Co-encadreur **Mr Bensalama K.** et à tout l'ensemble du personnels du laboratoire et de la station des traitements des eaux de IFRI : Djahida, Nassira, Adem, Mokhtar, Mohamed, Houari, Azzedine, Boualem, Djillali, Lydia, Zindine pour leurs conseils, leurs orientations et les moyens qu'ils ont mis à notre disposition au cours de la période de notre stage.*

Enfin, nos remerciements sont adressés à toutes les personnes que nous avons rencontrées au cours de ce travail.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

Dédicace

En signe de respect et de reconnaissance je dédie ce modeste travail

à :

Mes très chers parents que Dieu me les garde

Mes chers frères : Kamel, Toufik, Sofiane, Massi, M'hand

Ma petite sœur : mayssa

Ma grande mère et toute ma famille

À toutes les personnes que j'aime et je tiens beaucoup. Merci à vous

tous et merci d'être toujours aussi présents.

DOUDA

Dédicace

Avec l'aide du Dieu le tout puissant

Je dédie ce travail

À mes très chers parents aucune dédicace ne peut exprimer mon respect et l'amour éternel pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être.

À ma chère sœur Lydia et son mari hacene

À mes frères : racim et yanis

*À tous mes amis (es) que j'ai connu durant mon cycle d'étude
Enfin à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.*

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I.1 Eau, structure et propriétés	3
I.2 Différentes sources d'eau.....	5
I.2.1 Eaux de surface	5
I.2.2 Eaux souterraines	6
I.2.3 Eaux de pluie.....	8
I.2.4 Eaux de mer	8
I.3 Composition de l'eau	8
I.3.1 Matières en suspension	8
I.3.2 Matières colloïdales	9
I.3.3 Matières organiques	9
I.3.4 Matières dissoutes	9
I.4 Les paramètres de qualité des eaux.....	9
I.4.1 Les Paramètres organoleptiques.....	9
I.4.2 Les paramètres physico-chimiques	10
I.4.2.1 Les paramètres physiques	10
I.4.2.2 Les paramètres chimiques.....	14
I.4.3 Paramètres microbiologiques.....	17
I.4.4 Paramètres indésirables et toxiques	19

Chapitre II : procédés membranaires pour le traitement de l'eau

II.1 Généralité sur les membranes	22
II.1.1 Définition de la membrane	22
II.1.2 Classification des membranes	23
II.1.2.1 Membranes organiques.....	23

II.1.2.2 Membranes inorganiques (minérales)	24
II.1.2.3 Membranes composites	24
II.1.2.4 Membranes échangeuses d'ions	25
II.1.3 Caractéristiques des membranes.....	25
II.1.3.1 Taux de conversion.....	25
II.1.3.2 Durée de vie.....	25
II.1.3.3 Seuil de coupure	25
II.1.3.4 Sélectivité	25
II.1.3.5 Perméabilité	26
II.2 Configuration des modules.....	26
II.2.1 Les modules plans	26
II.2.2 Les modules tubulaires	26
II.2.3 Les modules spiralés.....	27
II.2.4 Les modules à fibres creuses	28
II.3 Mode de fonctionnement des systèmes membranaires.....	28
II.3.1 Écoulement frontal	28
II.3.2 Écoulement tangentiel	29
II.4 Les procédés membranaires.....	29
II.4.1 La microfiltration (MF)	29
II.4.2 L'ultrafiltration(UF)	29
II.4.3 La nanofiltration (NF)	30
II.4.4 L'osmose inverse	30

Chapitre III: Matériels et méthodes

III.1 Présentation de l'entreprise	32
III.1.1 Situation géographique.....	32
III.1.2 Historique de l'entreprise	32
III.1.3 Mission de l'entreprise	33
III.1.4 Principales activités.....	33
III.1.5 Les filiales et les chaînes de production.....	34
III.1.6 Organisation générale de l'entreprise IFRUIT.....	34
III.2 Traitement de l'eau au niveau de l'entreprise IFRUIT	36
III.2.1 Pompage et stockage « eau brute »	37

III.2.2 Filtration et stockage dans la cuve « eau filtrée »	38
III.2.3 Ultrafiltration	39
III.2.4 Filtre de sécurité	39
III.2.5 Osmose inverse	40
III.3 Méthodes d'analyses	41
III.3.1 Matériels et méthodes d'analyses physico-chimiques de l'eau.....	41
III.3.1.1 Mesure de potentiel hydrogène (pH).....	43
III.3.1.2 Mesure de la conductivité électrique.....	44
III.3.1.3 Mesure de la dureté totale (TH)	45
III.3.1.4 Mesure de l'alcalinité	47
III.3.1.5 Mesure de la concentration des chlorures (Cl ⁻).....	51
III.3.2 Matériels et méthodes d'analyse microbiologiques de l'eau.....	53
III.3.2.1 Recherche et dénombrement des coliformes totaux.....	55
III.3.2.2 Recherche et dénombrement des streptocoques.....	57
III.3.2.3 Recherche et dénombrement de Pseudomonas aeruginosa	57
III.3.2.4 Recherche et dénombrement des germes totaux (aérobies revivifiables).....	58

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1 Résultats et interprétation des paramètres physico-chimiques	59
IV.1.1 Potentiel hydrogène (pH)	60
IV.1.2 La conductivité électrique	62
IV.1.3 Titre hydrotimétrique totale TH (dureté totale)	63
IV.1.4 Le titre alcalimétrique (TA)	64
IV.1.5 Le titre alcalimétrique complet(TAC).....	64
IV.1.6 La teneur en Chlorure Cl ⁻	65
IV.2 Les résultats et l'interprétation des paramètres microbiologiques.....	67
IV.2.1 Interprétation des résultats.....	67
Conclusion.....	69

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figure I.1 : La molécule d'eau.....3

Figure I.2 : Les différents états d'eau.....4

Figure I.3 : Cycle de l'eau.....5

Figure I.4 : Pseudomonas aeruginosa.....18

Figure II.1 : Procédé de séparation membranaire tangentiel.....23

Figure II.2 : Schéma d'une membrane organique plane et asymétrique.....24

Figure II.3 : Module plane.....26

Figure II.4 : Module tubulaire.....27

Figure II.5 : Module spiralé.....27

Figure II.6 : Schéma de la filtration frontale.....28

Figure II.7 : Schéma de la filtration tangentiel.....29

Figure II.8 : Schéma du principe de l'osmose inverse.....31

Figure III.1 : Situation géographique.....32

Figure III.2 : Organigramme générale l'entreprise « IFRUIT ».....35

Figure III.3 : Diagramme de fabrication de l'eau osmosée.....37

Figure III.4 : Carter du filtre à poche.....38

Figure III.5 : Filtre à poche.....38

Figure III.6 : Modules d'ultrafiltration.....39

Figure III.7 : Filtre de sécurité 5µm.....40

Figure III.8 : Osmoseurs.....41

Figure III.9 : Les échantillons.....42

Figure III.10 : pH-mètre (WTW pH 3210).....44

Figure III.11 : Conductimètre (WTW cond 3110).....	45
Figure III.12 : Solution avant et après titrage.....	47
Figure III.13 : Absence de couleur rose.....	49
Figure III.14 : Solution avant et après le titrage.....	49
Figure III.15 : Solution avant et après le titrage.....	51
Figure III.16 : solution avant et après le titrage.....	53
Figure III.17 : Les étapes d'analyse bactériologique des Coliformes totaux.....	56
Figure III.18 : Rampe de filtration membranaire.....	56
Figure III.19 : Recherche de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	57
Figure IV.1 : Variation de pH des eaux analysées en fonction de temps.....	61
Figure IV.2 : Variation de la conductivité des eaux analysées en fonction du temps.....	62
Figure IV.3 : Variation des valeurs de TH totale des eaux analysées en fonction de temps...	63
Figure IV.4 : Variation des valeurs de TAC des eaux analysées en fonction du temps.....	65
Figure IV.5 : Variation des teneurs en chlorures des eaux analysées en fonction du temps...	66

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principales différences entre les eaux de surface et les eaux de souterraines....7

Tableau I.2 : Classe de turbidités usuelles (Unité de Turbidité Néphélométrique UTN).....11

Tableau I.3 : Classification des eaux selon leurs pH.....12

Tableau I.4 : Grille normative concernant le pH pour estimer la qualité de l'eau en Algérie.....13

Tableau I.5 : Classification des eaux selon la conductivité14

Tableau I.6 : Classification des eaux en fonction de leur dureté.....15

Tableau IV.1 : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau brute.....59

Tableau IV.2 : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau filtrée.....60

Tableau IV.3 : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau osmosée.....60

Tableau IV.4 : Les résultats microbiologiques obtenus des eaux analysées.....67

Liste d'abréviations

ABS : Absence.

°C : Degré Celsius.

Cm : Centimètre.

Cm² : Centimètre carré.

DBO : Demande biochimique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

°f : Degré français.

ISO : International Standardisation Organisation (Organisation Internationale de la normalisation).

g/mol : Gramme par mole.

°K : Kelvin.

Km³ : Kilomètre cube.

m³ : Mètre cube.

m³/h : Mètre cube par heure.

még/l : Milliéquivalent par litre.

mg : Milligramme.

mg/l : Milligramme par litre.

MES : Matières en suspension.

MF : Microfiltration.

NET : Noir Eriochrome Toluène.

NF : Nanofiltration.

N /m² : Newton par mètre cube.

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique .

OMS : Organisation Mondiale de la santé.

PET : Polyéthylène téréphtalique.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

PPm : Partie par million.

SARL : Société à Responsabilité Limitée.

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

TDS : Taux des solides dissous.

TH : Titre hydrométrique.

TH Ca : Dureté calcique.

TH Mg : Dureté magnésienne.

THp : Dureté permanente ou non carbonatée.

UF : Ultrafiltration.

µm : Micromètre.

µS/cm : Micro-siemens par centimètre.

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est un élément essentiel dans la vie. Chaque personne devrait se sentir concernée par cette ressource qui de plus en plus apparait comme rare et dont la qualité doit être préservée ou amélioré [1].

Le monde contient un volume estimé à 1.4 milliards de km³ d'eau, couvrant plus de 70% de la surface de la terre, de tout cet énorme volume, seule une petite quantité est convenable pour les usages domestiques, industriels et agricoles (presque 2.53% de toute l'eau de planète). Cette petite fraction d'eau douce doit pourtant satisfaire l'ensemble des besoins de l'humanité [2].

Parmi les sources en eaux exploitées, les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable car sont plus à l'abri des polluants que les eaux de surface.

L'industrie agroalimentaire est l'un des principaux consommateurs d'eau, qui est utilisée comme matière première dans nombreux processus de fabrication, et afin de répondre à leur besoin, ces eaux doivent être suffisamment traitées par différentes techniques mises en œuvre successivement suivant l'eau de process voulue. Les industries paramètrent l'eau recherchée par une ou plusieurs étapes successivement afin d'obtenir une eau traitée qui n'endommage pas leurs installation lors de son passage, ces traitements peuvent être physiques, chimiques, physico chimiques ou encore biologiques.

Pour assurer le bon fonctionnement de traitement et que l'eau traitée réponde aux normes, elle doit subir une chaine d'analyses physico-chimiques et bactériologiques avant, après et au cours de traitement.

Le présent travail a pour objectif de faire un suivi de traitements des eaux brutes et des eaux traitées de l'entreprise IFRUIT, qui exploite les eaux traitées pour la fabrication de boissons fruitées et sodas, et ce en évaluant leurs propriétés physico- chimiques et bactériologiques. Le but est de détailler toutes les procédures que l'eau de forage va subir dès le captage et le prélèvement

jusqu'à sa potabilisation et enfin son acheminement vers la fabrication des boissons fruités et des sodas.

Notre travail structuré en quatre chapitres :

- ☞ Le premier chapitre consiste à présenter des généralités sur l'eau. Il aborde dans un premier temps, la définition de l'eau, ses différents états et origines et dans un second temps, les principaux paramètres de contrôle de qualité de l'eau et les paramètres de pollution.
- ☞ Le second chapitre est entièrement consacré à l'étude bibliographique concernant les procédés membranaires
- ☞ Le troisième chapitre est consacré à une présentation succincte du cadre physique de l'étude en termes de localisation géographique et s'attache à présenter le matériel et méthodes qui ont été utilisés pour conduire cette étude.
- ☞ Le quatrième chapitre sert à présenter et discuter les résultats obtenus des analyses physico-chimiques et bactériologiques.
- ☞ Enfin, une conclusion met en exergue les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE I
Généralités sur l'eau

Chapitre I : Généralités sur l'eau

I.1 Eau, structure et propriétés

L'eau est un corps liquide à la température et à la pression ordinaires, incolore, inodore, insipide, dont les molécules sont composées d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène.

Ce corps liquide, contenant en solution ou en suspension toutes sortes d'autres corps (sels, gaz, Micro-organismes, etc.) est très répandu à la surface terrestre (eau de pluie, eau de mer, eau de Robinet, etc.)[3]. La figure I.1 représente la molécule d'eau.

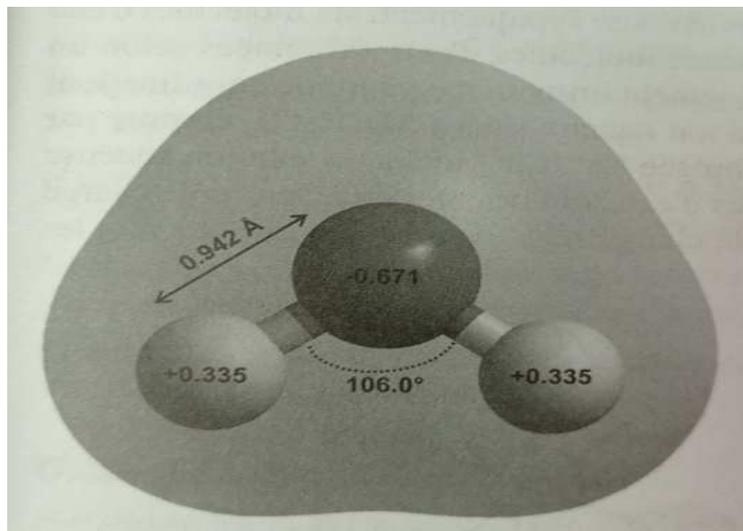


Figure I.1 : La molécule d'eau [4].

L'eau bout à 100°C à la pression atmosphérique et solidifie à 0°C. Sur la terre : l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ces trois phases à l'état naturel [5].

- **État solide** : à basse température, l'eau est appelée glace et possède des structures cristallines régulières.
- **État gazeux** : caractérisé par une absence de forme et de limite physique, il n'y a pas de liaisons entre les molécules, et sont indépendantes les unes des autres.
- **État liquide** : caractérisé par une forme non définie. Les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais elles restent proches car elles sont liées par des forces intermoléculaires. La figure I.2 représente les trois états d'eau.

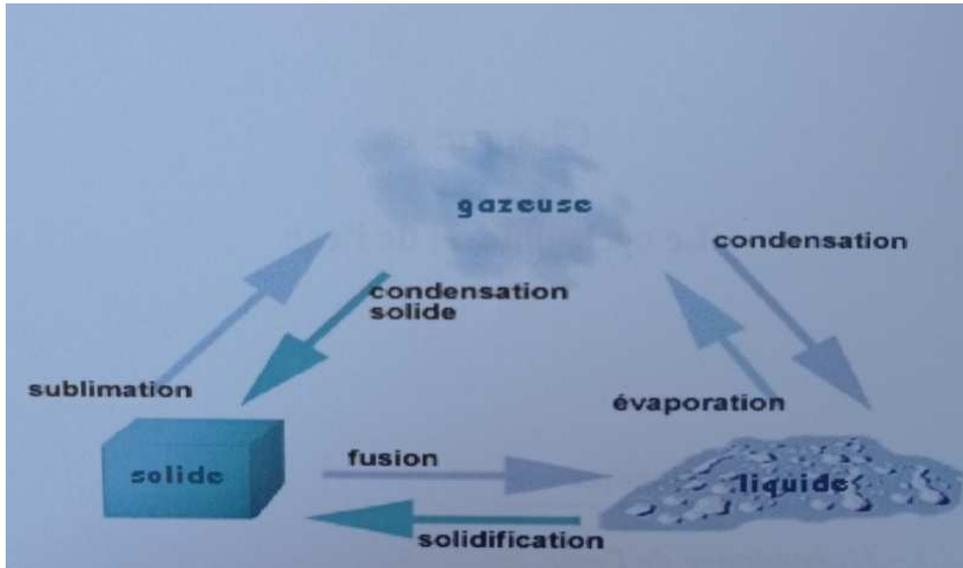


Figure I.2 : Les différents états d'eau [6].

Omniprésente et indispensable au maintien de la vie, l'eau est l'un des corps chimiques les plus essentiels de notre planète. Ses propriétés sont en outre tout à fait exceptionnelles. L'eau recouvre 72 % de la surface de la terre. Pourtant, seule 0,65% de cette eau communément appelée eau douce est disponible dans les nappes souterraines (0,63%), les lacs et les rivières (0,02%). L'essentiel de l'eau présente sur terre se trouve dans les océans (97,2%), l'eau glacée ne représente, pour sa part, que 2,15% de l'eau potable [7].

Sous l'action du soleil, l'eau des océans, rivières, lacs s'évapore et gagne l'atmosphère. Au contact des couches d'air froid, la vapeur d'eau se condense en gouttelettes et forme des nuages. L'eau retombe ensuite lors des précipitations (sous forme de pluie, de neige ou grêle) directement dans les océans ou sur les continents. Sur terre, l'eau ruisselle alors jusqu'aux rivières ou s'infiltré dans les sols pour alimenter les nappes souterraines [7,8,9]. La figure I.3 présente le cycle de l'eau.

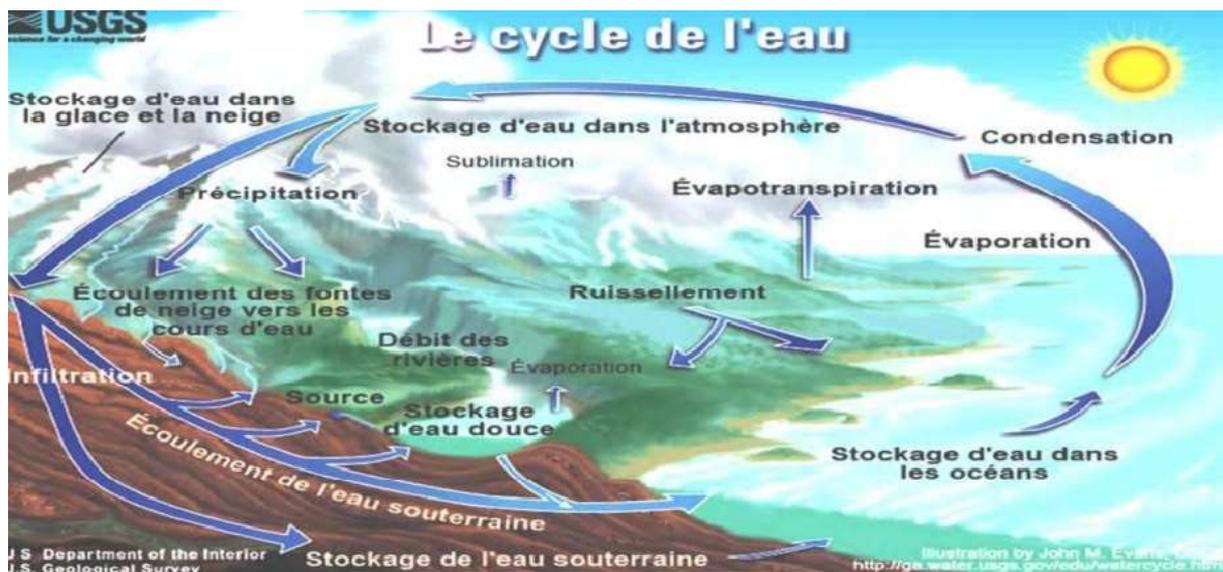


Figure I.3 : Cycle de l'eau [7].

I.2 Différentes sources d'eau

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant [10].

I.1.1 Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages, glaciers...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur [9,11].

Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage [12].

I.2.1 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux qui se trouvent sous la terre dans les fissures et les espaces entre les sols et les roches ou elles sont stockées. La pénétration et la rétention de ces eaux dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment leurs structures qui peuvent permettre la formation des réservoirs aquifères appelés : nappes phréatiques [13].

Selon la littérature, les eaux souterraines constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable dans de nombreux pays [14].

La quantité d'eaux souterraines et leurs qualités dépendent essentiellement de la recharge, qui peut provenir de l'infiltration de précipitation ou de courants de surface. Les eaux souterraines sont généralement considérées moins susceptibles d'être contaminées par rapport aux eaux de surfaces [15,16 ,17].

Les caractéristiques principales de ces eaux sont :

- ✓ Turbidité faible due à une filtration naturelle importante.
- ✓ Contamination bactérienne faible car elle est habituellement à l'abri des sources de pollution.
- ✓ Indice de couleur faible liée à la présence d'acides humiques ou des précipitations Fe – Mn.
- ✓ Dureté élevée due à la minéralisation élevée.
- ✓ Concentration élevée de fer et de manganèse [18].

Le tableau suivant donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines.

Tableau I.1 : Principales différences entre les eaux de surface et les eaux de souterraines [12].

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Goûts et odeurs	Fréquents	Rares sauf H ₂ S
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn dissous	Normalement absents sauf dystrophisation des eaux profondes	Généralement présents
O₂ dissous	Variable (proche de la saturation dans les eaux propres / absent dans les eaux polluées)	Absent la plupart du temps
Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur en général modérée	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays industrialisés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps

I.2.2 Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau [18].

I.2.3 Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/L [18].

I.3 Composition de l'eau

I.3.1 Matières en suspension

Elles sont hétérogènes de formes et variées d'origines dans les eaux de surface. Dans les eaux de forage, ce sont le sable fin, le fer oxydé et quelquefois des algues filamenteuses.

Dans les eaux de rivière, il faut distinguer :

- Les matières volumineuses, souvent flottantes ou indécantables (brindilles, feuilles) éliminées, en général par un moyen mécanique.
- Les matières fines (sables, argiles, débris végétaux et animaux) qui demeurent en suspension dans l'eau soit indéfiniment (pour la fraction colloïdale), soit en décantant très lentement.
- Matières minérales : Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions et cations, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact. L'eau contient également des gaz dissous ayant une grande importance dans les phénomènes biologiques ainsi que chimiques comme par exemple la corrosion.

Dans les deux hypothèses, elles ne peuvent être bien éliminées qu'après coagulation et floculation [19,20].

I.3.2 Matières colloïdales

Les particules en suspension, de taille comprise entre 1 et $10^3\mu\text{m}$ ont une surface spécifique qui est considérable et chargée électronégativement dans la quasi-totalité des situations. Les particules sont ainsi soumises à des forces électrostatiques de répulsion qui les maintiennent en suspension indéfiniment. Pour pouvoir les précipiter ou les filtrer ; on doit faire appel à des coagulants minéraux, sels d'Al, ou de Fe dont la dissolution dans l'eau libère les charges électropositives susceptibles de neutraliser les charges négatives des colloïdes.

L'importance de l'état colloïdal peut être estimée, en première approche, par la turbidité, sinon par la couleur de l'eau [19].

I.3.3 Matières organiques

Ce sont, par définition, des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières proviennent soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se trouvent dans l'eau. Elles se décomposent du fait de leur instabilité chimique et par l'action des microorganismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples [20].

I.3.4 Matières dissoutes

Ce sont de matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées. Elles obéissent à des équilibres de dissolution qui sont fonction de la température et de la pression, ce dernier facteur étant très important pour les gaz.

Du fait de leur état dissous, ces molécules sont difficiles à éliminer de l'eau à traiter par les procédés physiques classiques, décantation et filtration. Si leur élimination est nécessaire, par exemple pour les nitrates, il faudra utiliser des méthodes chimiques ou biologiques [20].

I.4 Les paramètres de qualité des eaux

I.4.1 Les Paramètres organoleptiques

➤ La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [21].

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels [22].

Les métaux qui colorent l'eau sont notamment le fer (couleur rouge) qui provient soit de la composition naturelle des eaux, soit de la dissolution des tuyauteries métalliques des réseaux de distribution, et le manganèse (couleur noir). Dans les cas extrêmes, une coloration bleu clair peut apparaître en présence de cuivre [23,24].

➤ Goût-odeur

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur non désagréables. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives, et il n'existe aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucrée, aigre et amère. Les odeurs sont causées par la présence des substances relativement volatiles dans l'eau. Ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, ou organique comme les alcools, les composés azotés et sulfurés [25,26].

Une eau de bonne qualité doit avoir une saveur faible et agréable qui est due aux sels et aux gaz dissous [27].

I.4.2 Les paramètres physico-chimiques

I.4.2.1 Les paramètres physiques

➤ Turbidité

Elle est définie comme l'inverse de la limpidité ou de la transparence (une eau turbide est donc plus ou moins trouble) [28]. La turbidité de l'eau est due à la présence des matériaux solides, non dissout, en suspension qui réduisent sa transparence, notamment colloïdales : argile, limon, grains de silice, matière organique algues, plancton, et plein d'autres substances comme le zinc, le fer, le manganèse ou de rejets domestiques et industriels [22,29].

Tableau I.2 : Classe de turbidités usuelles (Unité de Turbidité Néphélométrique UTN).

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

➤ Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH et pour la connaissance de l'origine de l'eau [21].

Les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) fixent à 12°C le niveau guide de la température de l'eau destinée à la consommation humaine, et à 25°C, la température à ne pas dépasser.

La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol [30].

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (OMS., 1994). Par contre une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux [21].

➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est le paramètre essentiel pour qualifier l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse. Il est fonction de la quantité d'acide ou de base présente dans la solution, et du degré de dissociation de l'acide ou de la base, ce facteur traduit l'activité des ions H_3O^+ ou OH^- dans le milieu aqueux [31].

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Un pH inférieur à 7 peut conduire à la corrosion du ciment ou des métaux des canalisations, avec entrainement des éléments indésirables comme le plomb et le cuivre [21].

Un pH élevé conduit à des dépôts de tartre dans les circuits de distributions. Au-dessus de pH 8, il y a une diminution progressive de l'efficacité de la décontamination bactérienne par le chlore [32].

Tableau I.3 : Classification des eaux selon leurs pH [31].

pH	Classes
pH < 5	Présence d'acides minéraux ou organiques dans l'eau naturelle
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Eaux souterraines
pH ≥ 8	Alcalinité forte

Les législations Algériennes et européennes précisent pour l'eau destinée à la consommation humaine un pH moyennement neutre comme niveau guide $6,5 < \text{pH} < 8,5$ [24].

Tableau I.4 : Grille normative concernant le pH pour estimer la qualité de l'eau en Algérie [23, 33].

Qualité Paramètres	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
<u>Physico-chimiques</u>				
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	>6, <9	>5, <9
T°C	25	25-30	30-35	>35
Minéralisation	300 -1200	1000-1200	1200-1600	>1600
Ca ²⁺ mg/L	40-100	100-200	200-300	>300
Mg ²⁺ mg/L	30	30-100	100-150	>150
Na ⁺ mg/L	10-100	100-200	200-500	>500
Chlorure mg/L	10-150	150-300	300-500	>500
Sulfates mg/L	50-200	200-300	300-400	>400
<u>Organiques</u>				
O ₂ dissous%	>100	100-50	50-30	>30
DBO ₅ mg/L	5	5-10	10-15	>15
DCO mg/L	20	20-40	40-50	>50
Matières organiques	5	5-10	10-15	>15
<u>Composés azotés</u>				
Ammonium mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Nitrites mg/L	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Nitrates mg/L	0-10	10-20	20-40	>40
<u>Composés phosphorés</u>				
	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
<u>Eléments toxiques et indésirables</u>				
Fe mg/L	0-0.5	0.5-1	1-2	>2
Mn mg/L	0-0.10	0.1-0.3	0.3-1	>1
Cr mg/L	0	0-0.05	0.05-0.5	>0.5
Cu mg/L	0-0.02	0.02-0.05	0.05-1	>1
Zn mg/L	0	0-0.5	0.5-1	>1
Cd mg/L	0	0	0-0.01	> 0.01
Pb mg/L	0	0	0-0.05	> 0.05
F ⁻ mg/L	0	0-0.8	0.8-1.5	> 1.5
CN ⁻ mg/L	0	0	0-0.02	>0.2
Phénols mg/L	0.001-0.002	0.002-0.02	0.02-1	>1

➤ La conductivité électrique

La conductivité électrique, inverse de la résistivité, mesure l'aptitude de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. La majorité des matières dissoutes dans l'eau est sous forme d'ions chargés électriquement. La conductivité permet alors d'évaluer la quantité de sels dissous dans l'eau. Généralement l'unité de mesure de ce paramètre est le micro-siemens par centimètre (μS/cm) [34 ,29].

Tableau I.5 : Classification des eaux selon la conductivité [21].

Types d'eaux	Conductivité (μS/Cm)	Résistivité
Eau pure	< 23	> 30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 2500	400 à 1000

I.4.2.2 Les paramètres chimiques

➤ La dureté totale

On appelle dureté ou titre hydrotimétrique la somme des cations divalents alcalino-terreux présents dans une eau. En pratique, on ne considère que les cations dont les concentrations sont supérieures à 1mg/L, c'est le cas des ions calcium et magnésium. Ces ions sont présents dans l'eau sous forme de sels de chlorure, de sulfates ou d'hydrogénocarbonates [35].

Dans une eau naturelle, on peut distinguer d'autres types de dureté :

- ✓ **Dureté calcique(THca)** : concentration globale en calcium.
- ✓ **Dureté magnésienne(THMg)** : concentration globale en magnésium.
- ✓ **Dureté permanente ou non carbonatée(THp)** : dureté qui persiste après ébullition de l'eau et qui correspond uniquement aux sels de calcium et de magnésium solubles à

chaud, sous forme de chlorures et de sulfates, car les hydrogénocarbonates sont décomposés et précipitent sous forme de carbonate de calcium.

- ✓ **Dureté temporaire ou carbonatée** : dureté qui correspond aux sels de calcium sous forme d'hydrogénocarbonates, et qui est la différence entre la dureté totale et la dureté permanente [20].

La connaissance de ce paramètre permet de tirer des conclusions sur la qualité de l'eau (voir tableau ci-dessous) :

Tableau I.6 : Classification des eaux en fonction de leur dureté [31].

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
25 à 42	Dure
>42	Très dure

➤ **Alcalinité**

L'alcalinité d'une eau permet de connaître les teneurs en hydroxydes(OH⁻), carbonates (CO₃²⁻), et hydrogénocarbonates (HCO₃⁻), elle est mesurée soit par le titre alcalimétrique (TA) ou par le titre alcalimétrique complet (TAC) [12,19].

- **Titre alcalimétrique (TA)**

Il correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH⁻ et CO₃²⁻. Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3 [12,19].

$$TA = [OH^-] + \frac{1}{2} [CO_3^{2-}] \quad (meq/L \text{ ou } \bullet f)$$

- **Titre alcalimétrique complet(TAC)**

Permet de connaître la teneur totale en hydroxydes, carbonates, hydrogénocarbonates alcalins et alcalino-terreux [19].

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] \quad (\text{m}é\text{q}/L \text{ ou } \bullet f)$$

- **Acidité**

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydrides carboniques libres, d'acides minéraux et de sels d'acides forts et de bases faibles [32].

- **Total des solides dissous**

Le TDS signifie le total des solides dissous exprimée en mg/l, il représente la concentration totale des substances dissoute dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques tels que (calcium, magnésium, potassium et sodium) et des carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates et ainsi que quelques matières organiques.

- **Sulfates SO_4^{2-}**

Composés naturels des eaux, les ions sulfates (SO_4^{2-}) sont liés aux cations majeurs : calcium, magnésium et sodium. À part ceux du plomb, du baryum et du strontium, la plupart des sulfates sont solubles dans l'eau. Ils peuvent néanmoins être réduits en sulfure, volatilisés dans l'air en hydrogène sulfuré(H_2S), précipités en sels insolubles ou assimilés par des organismes vivants.

La concentration en sulfates dans les eaux naturelles est très variable mais ne dépasse généralement pas le gramme par litre [23].

- **Chlorures Cl^-**

Très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium($CaCl_2$). De façon générale, les chlorures sont présents dans toutes les eaux à des concentrations variables. La teneur en chlorures augmente avec le degré de minéralisation de l'eau [23,30].

➤ **Magnésium**

Le magnésium est l'un des éléments les plus répons dans la nature, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires. Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau [21]. Élément indispensable à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, son origine est naturelle (dissolution des roches magnésites basaltes, argiles) ou industrielle (industrie de la potasse, de cellulose, brasserie). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau [36].

➤ **Calcium**

Le corps humain comprend une moyenne de 1,2 kilogramme de calcium essentiellement dans le squelette [37]. Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répons dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il existe surtout à l'état d'hydrogéocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure etc. C'est un composant majeur de la dureté de l'eau. L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/L de calcium [21].

➤ **Potassium**

Le potassium règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules [37]. Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature [36].

I.4.3 Paramètres microbiologiques

La présence des bactéries (coliformes fécaux, coliformes totaux, ...) indique une contamination de l'eau par des matières fécales.

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie.

➤ **Les coliformes totaux**

Les coliformes totaux sont utilisés depuis longtemps comme indicateur pour mesurer le degré de la contamination de l'eau. Ils sont définis comme étant des bacilles à Gram-négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, oxydase-négatifs, capables de

développer en présence de sels biliaires ou d'agent-tensio-actifs qui fermentent le lactose en produisant de l'acide, du gaz et de l'aldéhyde à 37 °C pendant 24-48 heures, et qui peuvent présenter une activité enzymatique β galactosidase. La majorité des bactéries coliformes appartiennent aux genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Enterobacter* [22].

➤ Les coliformes fécaux (thermo-tolérants) et *Escherichia coli*

Les coliformes thermo-tolérants, sont un sous-groupe de coliformes totaux capables de fermenter le lactose à 44-45 °C pendant 24 heures. Dans la plupart des eaux, le genre prédominant est *Escherichia*, mais certains types de *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Enterobacter* sont également thermo-tolérants. *Escherichia coli* se différencie des autres coliformes fécaux par sa capacité à produire de l'indole à partir du tryptophane ou par la production de β glucuronidase. *Escherichia coli* est présent en grand nombre dans le tube digestif (l'Homme et l'animal), et les eaux ayant subi une contamination fécale récente [38].

➤ *Pseudomonas aeruginosa*

Sont des bacilles à Gram négatif mobile par un flagelle polaire, aérobie,. Lorsqu'il est cultivé dans un milieu sélectif, il produit un pigment bleu nommé pyocyanine. *Pseudomonas aeruginosa*, comme d'autres *Pseudomonas* fluorescents, produit une catalase, une oxydase et de l'ammoniaque à partir de l'arginine et peut croître sur citrate comme seule source de carbone.

Pseudomonas aeruginosa est un organisme courant dans l'environnement. Il peut se trouver dans les excréments, le sol, l'eau et les égouts. Il peut se multiplier dans des milieux aquatiques et également à la surface de certains matériaux organiques en contact avec l'eau [38]. La figure I.4 représente *Pseudomonas aeruginosa*.



Figure I.4 : *Pseudomonas aeruginosa* [39].

➤ Germes aérobies revivifiables

Cette dénomination (germes totaux) inclut toutes les bactéries aérobies mésophiles et hétérotrophes capable de se développer à 22°C en 72h et à 36°C en 48h. Sans effet direct sur la santé, ces micro-organismes peuvent induire des problèmes en réseau, en particulier sur la qualité organoleptique de l'eau distribuée [40].

I.4.4 Paramètres indésirables et toxiques

➤ Nitrates NO_3^-

Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique. Ils sont présents dans le sol, dans les eaux superficielles et souterraines. Ils résultent de la décomposition naturelle par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. L'ion ammonium formé est oxydé en nitrates. La présence de nitrates dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote. Les concentrations élevées indiquent une pollution d'origine industrielle due à un lessivage de terrains [41].

Il existe quatre classes distinctes en fonction de la concentration en nitrates retrouvée dans l'eau [42] :

- Eau de qualité optimale pour être consommée (< 25 mg/L).
- Eau de qualité acceptable (de 25 à 50 mg/L).
- Eau non potable nécessitant un traitement (de 50 à 100 mg/L).
- Eau inapte à la production d'eau potable (> 100 mg/l).

➤ Nitrites NO_2^-

Les nitrites proviennent soit de l'oxydation incomplète de l'azote organique soit d'une réduction des nitrates. Les principales sources de pollution sont l'utilisation des engrais, la fabrication d'explosifs, l'industrie chimique et alimentaire [43,44].

Dans les eaux, la quantité des nitrates maximale admissible est fixée à 50 mg/L [45]. La teneur en nitrates de l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une quantité élevée de nitrites est considérée comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique de l'eau [41 ,10].

➤ **Ammonium** NH_4^+

L'azote ammoniacal dans les eaux naturelles est issu de la dégradation incomplète des matières organiques naturelles, des usages agricoles (engrais) et industriels (textile) ou encore des rejets d'eaux usées épurées ou non et sa présence dans les eaux indique une pollution, donc il doit être éliminé dans les eaux de consommation parce que il réagit avec le chlore pour produire des chloroamines, qui sont des désinfectants moins efficaces et peuvent avoir des goûts désagréables. Certaines bactéries prolifèrent aussi en transformant l'ammonium en nitrates puis en nitrites [46].

➤ **Fer et Manganèse**

Ces deux éléments existent dans la plupart des eaux selon les conditions physique et hydrologique (lessivage des terrains, rejets industriels, corrosion des canalisations métalliques). Ils sont généralement liés ; ils entraînent des conséquences similaires : formation de dépôts, goûts désagréables et prolifération bactérienne. Bien que nécessaire à la nutrition humaine, le fer et manganèse ne doivent pas dépasser certaines teneurs. Une eau destinée à la consommation humaine ne doit pas contenir plus de 0,3 mg/L de fer [12,42].

➤ **Aluminium**

Très répandu sur la terre, l'aluminium vient par ordre d'importance après l'oxygène et le silicium. Lorsqu'il est en solution et en milieu acide, il existe sous forme d' Al^{3+} . Il ne représente aucun inconvénient pour l'organisme humain à des concentrations inférieures à 0,2 mg/L [29].

➤ **Phosphates** (PO_4^{3-})

Des teneurs élevées en phosphates signalent une infiltration d'eau de surface ou une contamination par des engrais. L'eau de source et les eaux souterraines qui ne sont pas influencées par des contaminations anthropogènes montrent des teneurs en phosphates inférieures à 0.01 mg/L [47].

➤ **Métaux lourds**

Certains éléments sont rarement présents dans les eaux à l'état naturel mais sont apportés par les divers rejets. La dose dangereuse est difficile à fixer car la toxicité de ces

éléments est surtout d'origine cumulative. Les principaux d'entre eux sont : argent, cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ...etc. [12].

CHAPITRE II

Procédés membranaires pour le traitement de l'eau

Chapitre II : procédés membranaires pour le traitement de l'eau.

Les procédés à membranes sont utilisés pour séparer et surtout concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution et/ou pour séparer des particules ou des microorganismes en suspension dans un liquide [48].

Le procédé de séparation membranaire est basé sur la présence des membranes semi-perméables. Le principe est assez simple : la membrane agit comme un filtre très spécifique qui laisse passer l'eau, tandis qu'elle retient les solides en suspension et d'autres substances.

II.1 Généralité sur les membranes

II.1.1 Définition de la membrane

La membrane est définie comme une couche mince semi-perméable qui joue le rôle d'une barrière sélective qui sépare les substances dissoutes ou non, sous l'action d'une force chimique (concentration..) ou physique (pression). En général, les constituants qui sont plus petits que les pores de la membrane sont capables de passer à travers la membrane sous l'effet d'une pression appliquée tandis que les substances et les molécules de taille plus importante sont retenues par la membrane [49].

Le procédé de séparation membranaire est illustré schématiquement (**figure II.1**). Le résultat d'une opération membranaire est la séparation du fluide à traiter en deux parties de concentrations différentes :

- ✓ Le Retentât qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.
- ✓ Le Perméat qui contient les molécules qui traversent la membrane [49]. La figure II.1 représente procédé de séparation membranaire tangentiel.

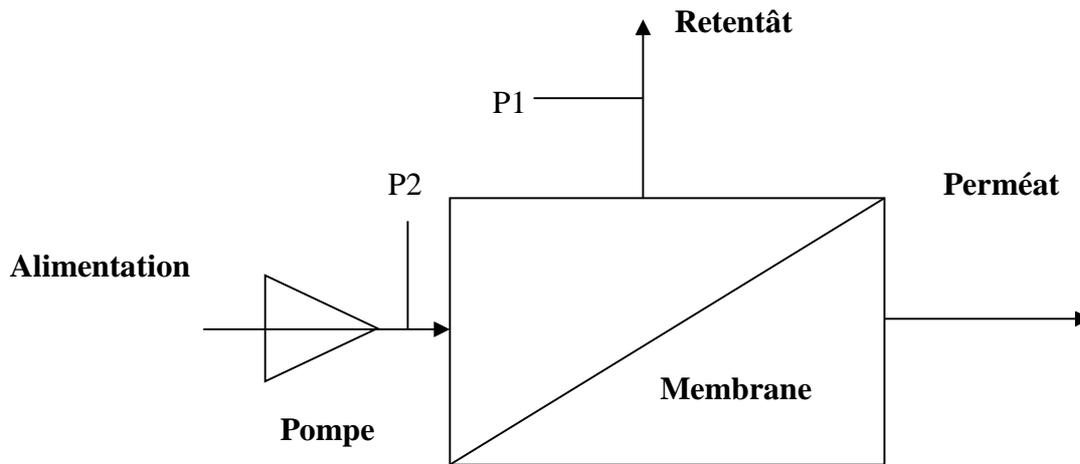


Figure II.1 : Procédé de séparation membranaire tangentielle [49].

II.1.2 Classification des membranes

Il existe différents types de membranes :

II.1.2.1 Membranes organiques

Elles sont fabriquées à partir de polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, etc.) dont les qualités leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. La majeure partie des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques (90%). Moins stables que les membranes minérales, elles ne supportent pas les nettoyages agressifs et sont sensibles aux températures et pH. Leur durée de vie est courte (2 à 3 ans) mais leur coût est faible.

Elles ont ainsi permis d'étendre la technologie de la filtration membranaire à différents secteurs industriels et par conséquent d'augmenter significativement le nombre d'applications des procédés membranaires [50,51]. La figure II.2 montre un schéma d'une membrane organique plane et asymétrique.

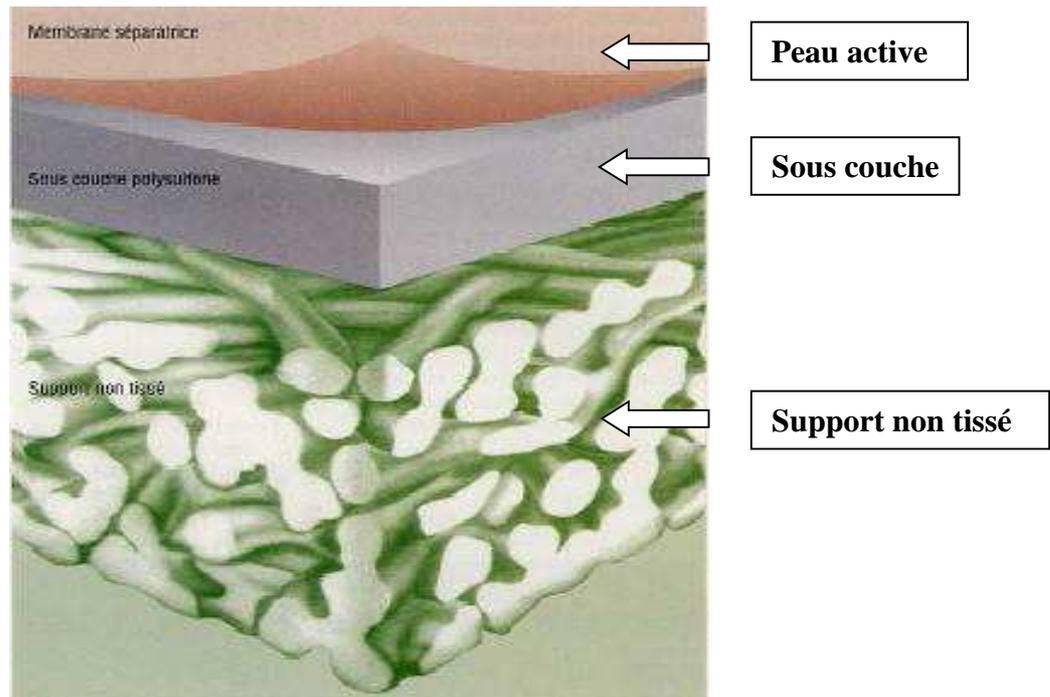


Figure II.2 : Schéma d'une membrane organique plane et asymétrique [51].

II.1.2.2 Membranes inorganiques (minérales)

Les membranes minérales ou céramiques sont de type composite (zircone ZrO_2 sur support carbone macroporeux ou sur alumine Al_2O_3 , ou oxyde de titane TiO_2 sur alumine ou encore totalement en carbone ou en alumine). Elles sont largement répandues car elles sont très sélectives, très perméables et peuvent être soumises plus facilement à des procédés de nettoyage assez agressifs sans trop être altérées. Elles ont une excellente résistance chimique, mécanique et surtout thermique [52].

II.1.2.3 Membranes composites

Apparues au début des années 1990, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques, organo-minérales ou minérales [53].

II.1.2.4 Membranes échangeuses d'ions

Introduites en 1950, elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions grâce à leurs charge. Les techniques d'électrodialyse, la dialyse et l'électro-désionisation font appel à cette technologie.

Leurs principal domaine d'application actuel est le dessalement de l'eau et le traitement des effluents des installations de protection et de décoration des métaux [53].

II.1.3 Caractéristiques des membranes

II.1.3.1 Taux de conversion

La fraction de débit du liquide qui traverse la membrane est appelée taux de conversion de l'opération de séparation [54].

II.1.3.2 Durée de vie

Chaque membrane a une durée de vie, au-delà de laquelle, la membrane ne sera pas performante [54].

II.1.3.3 Seuil de coupure

Le seuil de coupure est défini comme étant la masse molaire critique pour laquelle 90% des solutés sont retenus par la membrane. Celui-ci se mesure en g/mol ou en dalton. Le seuil de coupure est une façon pratique de caractériser les membranes, mais pas tout à fait rigoureuse d'un point de vue scientifique, car il dépend aussi des autres caractéristiques du soluté ainsi que des conditions d'opération. Aussi le seuil de coupure doit-il être défini par rapport à un soluté donné [52].

II.1.3.4 Sélectivité

La sélectivité est une caractéristique difficile à quantifier et pourtant essentielle. C'est une caractéristique de surface de la membrane, qui détermine les composés de la solution qui la traversent. Cette caractéristique est liée à la nature même de la membrane, physique et chimique [52].

II.1.3.5 Perméabilité

La perméabilité est un paramètre qui caractérise l'aisance avec laquelle l'eau traverse la membrane. La perméabilité dépend principalement de la taille des pores ainsi que de l'épaisseur de la membrane pour les membranes poreuses [52].

II.2 Configuration des modules

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules qui peuvent être de différentes géométries :

II.2.1 Les modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides. L'assemblage élémentaire est constitué d'un espaceur côté alimentation, d'une première membrane, d'un espaceur côté perméat et d'une seconde membrane. Les espaceurs peuvent également jouer le rôle de promoteurs de turbulence [53,55]. La figure II.3 représente module plane.

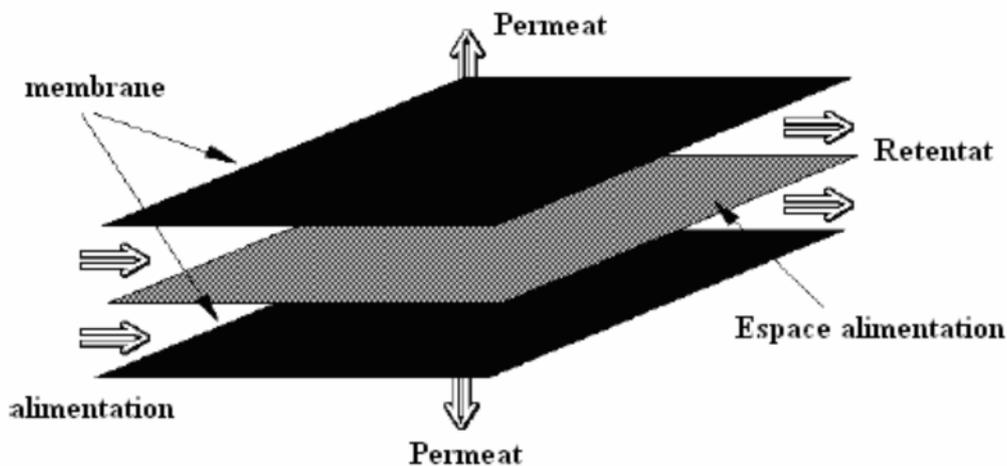


Figure II.3 : Module plane [54].

II.2.2 Les modules tubulaires

Ils sont composés d'une ou plusieurs membranes en forme de tubes ayant des diamètres internes de 0.5 à 1 cm. La partie sélective est située à l'intérieur du tube. L'alimentation est effectuée à une extrémité du module et le fluide circule à l'intérieur. Le retentat ressort donc à l'autre extrémité, alors que le perméat traverse la membrane, circule au

travers du corps du tube pour ressortir à l'extérieur du tube [55]. La figure II.4 montre module tubulaire.

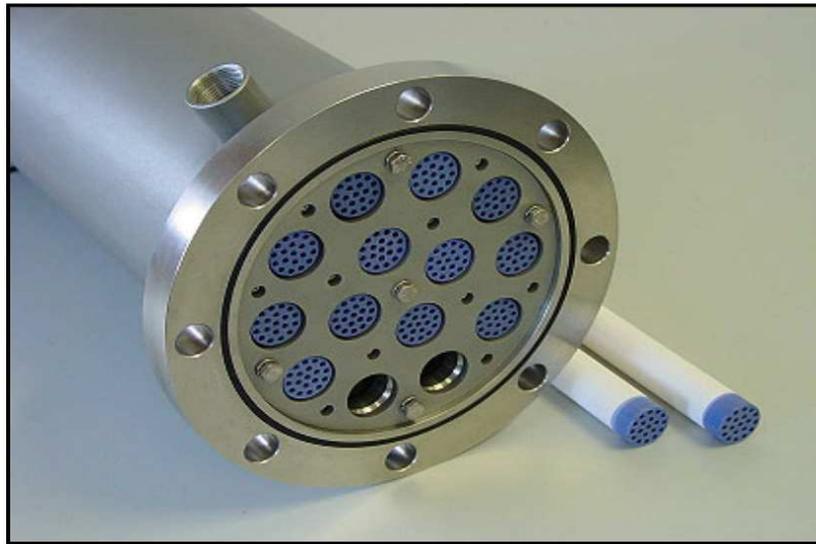


Figure II.4 : Module tubulaire [56].

II.2.3 Les modules spiralés

Plusieurs couches de membranes planes sont empilées et enroulées autour d'un collecteur de perméat. De par ce fait, leur compacité est importante et ils sont caractérisés par un faible volume mort. Ce type de module est sensible au colmatage en raison de la présence d'espaceurs et nécessite un prétraitement efficace. Cette configuration est principalement utilisée pour les applications de nanofiltration et osmose inverse [55]. La figure II.5 représente module spiralé.

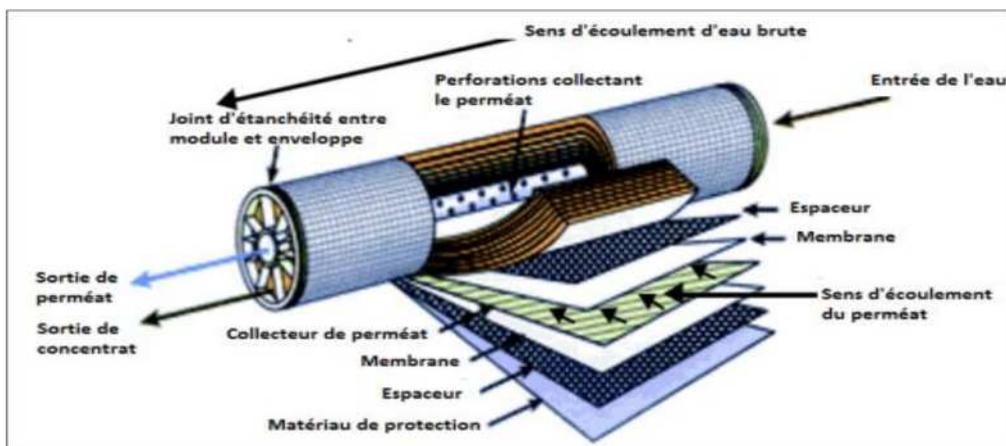


Figure II.5 : Module spiralé [55].

II.2.4 Les modules à fibres creuses

Ils sont constitués de nombreuses fibres (entre 50 à 5000 fibres) dont le diamètre est inférieur à 1 mm conduisant à une compacité très élevée. Ces fibres sont assemblées dans un carter en parallèle. L'étanchéité entre ces dernières et le carter est assurée par collage. L'alimentation peut se faire à l'intérieur (interne/externe) ou à l'extérieur (externe/interne) des fibres creuses [55].

II.3 Mode de fonctionnement des systèmes membranaires

Il existe deux modes de filtration membranaires : l'écoulement frontal et l'écoulement tangentiel.

II.3.1 Écoulement frontal

Ce mode de filtration consiste à amener la solution à filtrer perpendiculairement à la membrane. Les molécules retenues se concentrent au niveau de la surface membranaire ce qui provoque une diminution de flux [57]. La figure II.6 montre le schéma de la filtration frontale.

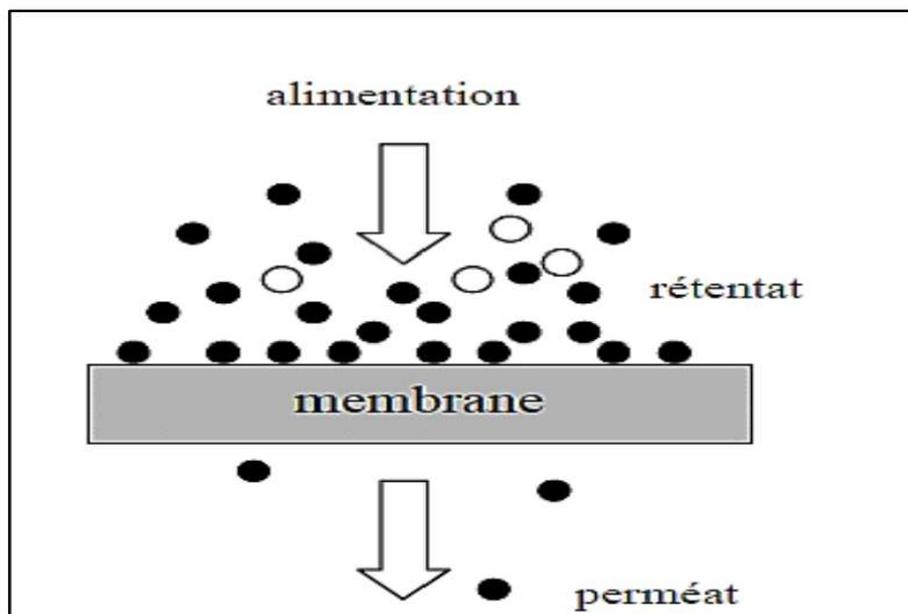


Figure II.6 : Schéma de la filtration frontale [57].

II.3.2 Écoulement tangentiel

Dans ce cas, la solution à filtrer circule parallèlement à la membrane. Le fonctionnement du système de filtration s'effectue en continu : l'accumulation à la paroi des espèces retenues à la surface de la membrane est moins importante qu'en filtration frontale [57]. La figure II.7 représente le schéma de la filtration tangentielle

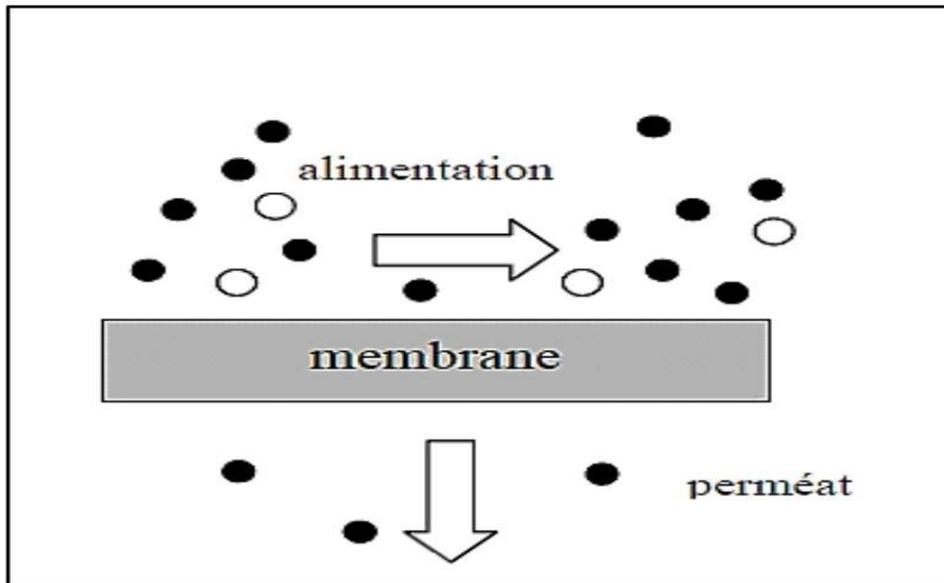


Figure II.7 : Schéma de la filtration tangentielle [57].

II.4 Les procédés membranaires

II.4.1 La microfiltration (MF)

La microfiltration (MF) utilise des membranes dont la taille des pores est comprise entre 0.1 et 10 microns. Elle permet la rétention des particules en suspension, des bactéries et des boues en appliquant de faibles différences de pression transmembranaire comprises en générale entre 0.5 et 1 bar. La séparation est régie essentiellement par des effets stériques : le critère déterminant la sélectivité d'une membrane de MF vis-à-vis des constituants d'un mélange est donc la taille des différents solutés [58].

II.4.2 L'ultrafiltration (UF)

L'ultrafiltration permet la séparation de macromolécules et d'espèces colloïdales. Le solvant ainsi que les solutés de faible masse molaire traversent la membrane selon un mécanisme convectif sous l'effet de la pression, tandis que les espèces de taille supérieure

(colloïdes, protéines, polymères) sont retenues. Les pressions sont généralement entre 2 et 5 bar elles sont supérieures à celles rencontrés en microfiltration et le seuil de coupure se situe entre 10^3 et 10^6 Dalton ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

Les membranes d'ultrafiltration (diamètre de pore de 2 à 100 nanomètres) peuvent retenir des colloïdes plus petits, les pigments et les virus non retenus en MF, mais retiennent surtout les protéines et les antibiotiques [51].

II.4.3 La nanofiltration (NF)

La nanofiltration est le procédé de séparation en phase liquide le plus récent avec une apparition des premières membranes au cours des années quatre-vingt. Ce procédé met en œuvre des membranes organiques dont la taille des pores est comprise entre 0.5 et 2 nm. Il se situe donc entre l'UF et l'osmose inverse. Les ions monovalents et les molécules de masse molaire inférieure à environ 200 g/mol ne sont en généralement pas retenus par ce type de membrane. Au contraire, les ions multivalents (Ca^{2+} , Mg^{2+} ...) et les molécules de masse molaire supérieure à environ 200 g/mol sont fortement retenus [58].

II.4.4 L'osmose inverse

L'osmose est un phénomène naturel de diffusion d'un solvant au travers d'une membrane permselective, séparant deux solutés de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose correspond donc à un gradient de concentration qui pousse le solvant à quitter le soluté le moins concentré à travers la membrane et à diluer le soluté le plus concentré (**Figure II.8**).

Considérons un montage comprenant un récipient séparé en deux compartiments par une membrane semi-perméable, (laissant passer le solvant mais non le soluté). Les deux compartiments sont remplis, au même niveau, l'un d'une solution concentrée (B) et l'autre d'une solution diluée (A) [59].

On constate rapidement le passage de solvant à travers la membrane du compartiment renfermant la solution diluée, vers le compartiment renfermant la solution concentrée, d'où la dilution de cette solution. Au fur et à mesure que le niveau s'élève dans le compartiment de la solution concentrée, la membrane semi-perméable est soumise à une pression hydrostatique de plus en plus élevée côté solution concentrée et de plus en plus faible côté solution diluée [59].

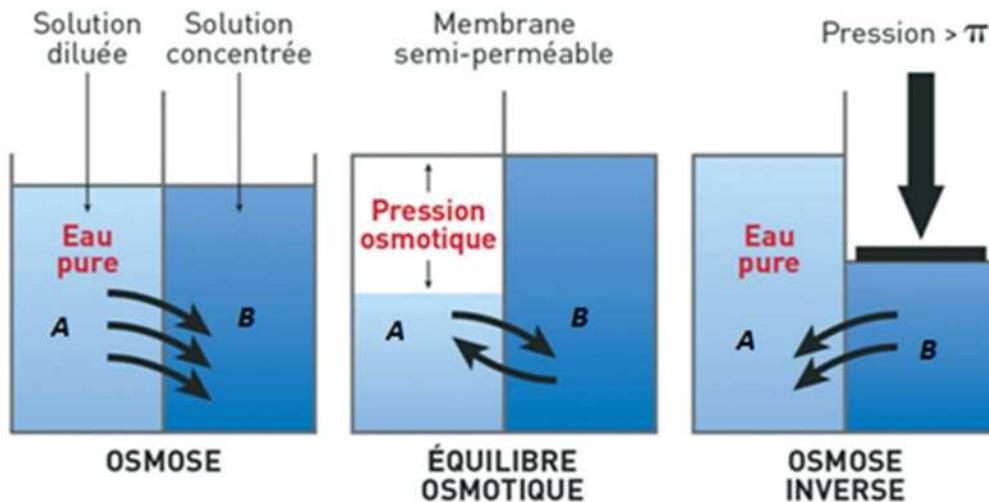


Figure II.8 : Schéma du principe de l'osmose inverse [60].

Il arrive un moment où il n'y a plus de flux d'eau qui traverse la membrane, le système est en équilibre et la pression d'équilibre est appelée « pression osmotique ».

On peut inverser le sens de la migration du solvant en appliquant à la solution la plus concentrée une pression mécanique supérieure à la pression osmotique. On inverse alors le sens du phénomène d'osmose naturelle en créant un effet d'osmose inverse qui tend cette fois à concentrer la solution. La pression osmotique π d'une solution saline dépend donc de la nature des sels dissous et de leurs concentrations. Cette pression est définie par la loi de Van'tHoff [59,61].

$$\pi = iCRT$$

Avec :

- **i** : nombre d'espèces d'ions constituant le soluté.
- **C** : concentration molaire du soluté (Mol. m⁻³).
- **T** : température (°K).
- **R** : constante des gaz parfaits (8.31 J. mol⁻¹ .K⁻¹).
- **π** est exprimée en pascals(N/m²).

CHAPITRE III

Matériels et méthodes

Chapitre III : Matériels et méthodes

Le présent chapitre consiste à présenter l'entreprise d'accueil IFRUIT et les différentes étapes de traitement de l'eau de sa sortie du forage jusqu'à son utilisation pour la préparation des eaux fruitées et des sodas. Ensuite nous aborderons la méthodologie de prélèvement d'échantillons au niveau de chaque stade de traitement. Enfin nous présenterons les divers protocoles analytiques suivis, ainsi que le matériel utilisé durant la période de notre stage au sein du laboratoire physico-chimique et microbiologique de l'entreprise IFRUIT, en vue d'examiner la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau (brute, filtrée, osmosée) de cette entreprise

III.1 Présentation de l'entreprise

III.1.1 Situation géographique

La SARL IFRI est située à IGHZER AMOKRANE, chef lieu de commune et de daïra d'ifri ouzellaguen, dans la wilaya de Bejaia dans le Nord de l'Algérie. Elle est implantée à l'entrée de la vallée de la Soummam, au contre bas du massif montagneux du Djurdjura ou elle épuise son réservoir naturel d'eau. Quant à IFRUIT elle se situe dans la zone industrielle de Taharacht (akbou).



Figure III.1 : Situation géographique.

III.1.2 Historique de l'entreprise

La SARL Ibrahim et fils «IFRI », créée par MONSIEUR IBRAHIM LAID, est une société à caractère industriel évoluant dans le domaine de l'agro-alimentaire. L'organisation de cette société remonte à l'année 1986 avec un statut juridique de SNC (société au nom collectif), et ce n'est qu'en 1996 qu'elle hérite du statut de SARL (Société à Responsabilité

Limitée), composée de six associés. Cette dernière a été sous la dénomination « Limonaderie Ifri », ayant pour activité la production de limonades diverses et des sirops, le 20/07/1996, la société inaugure son premier atelier d'embouteillage d'eau minéral en **PET**.

A cette date plus de 20 millions de bouteilles sont commercialisées sur l'ensemble du territoire national. En 2004, la production a atteint 250 millions de litres avant de franchir le cap des 500 millions de litres en 2005 (emballage PET et verre).

Le capital social était de 3.000.000 DA en 1996, ce dernier a subi une extension en 2005 ou il a atteint 1.293.000.000 DA.

III.1.3 Mission de l'entreprise

La SARL « IFRI » investit ses concentrations dans le but d'élargir sa gamme de produits (objectif qualitatif) et d'augmenter sa capacité de production (objectif quantitatif) ce qui permettra d'élargir son champ d'action. Parmi ces principaux objectifs, on trouve l'élargissement de son réseau d'exportation vers d'autres pays pour subvenir aux besoins du marché international en augmentation sans cesse d'une part, et satisfaire le marché national d'autre part. Cette marque est présente dans plus d'une dizaine de pays dans le monde. Son marché principal est l'Algérie suivi par la France, L'Angleterre, l'Espagne, l'Italie, L'Allemagne, la Belgique, Luxembourg, le Soudan, le Mali, le Niger et les Emiraties Arabes Unis.

III.1.4 Principales activités

Aujourd'hui l'entreprise de SARL IFRI donne un sérieux exemple dans le développement de l'économie national grâce à ses produits notamment les eaux minérales, les sodas et boissons fruitées.

Cette entreprise permet de produire une haute gamme de produits à savoir :

- ✓ L'eau minérale naturelle.
- ✓ L'eau minérale naturelle gazéifiée.
- ✓ Les sodas.
- ✓ Les jus de fruits à base de concentrée.
- ✓ Les eaux fruitées lactées.
- ✓ Boissons à base de jus de fruits et de lait.

III.1.5 Les filiales et les chaînes de production

Dans l'entreprise SARL IFRI, on trouve huit chaînes de production qui sont :

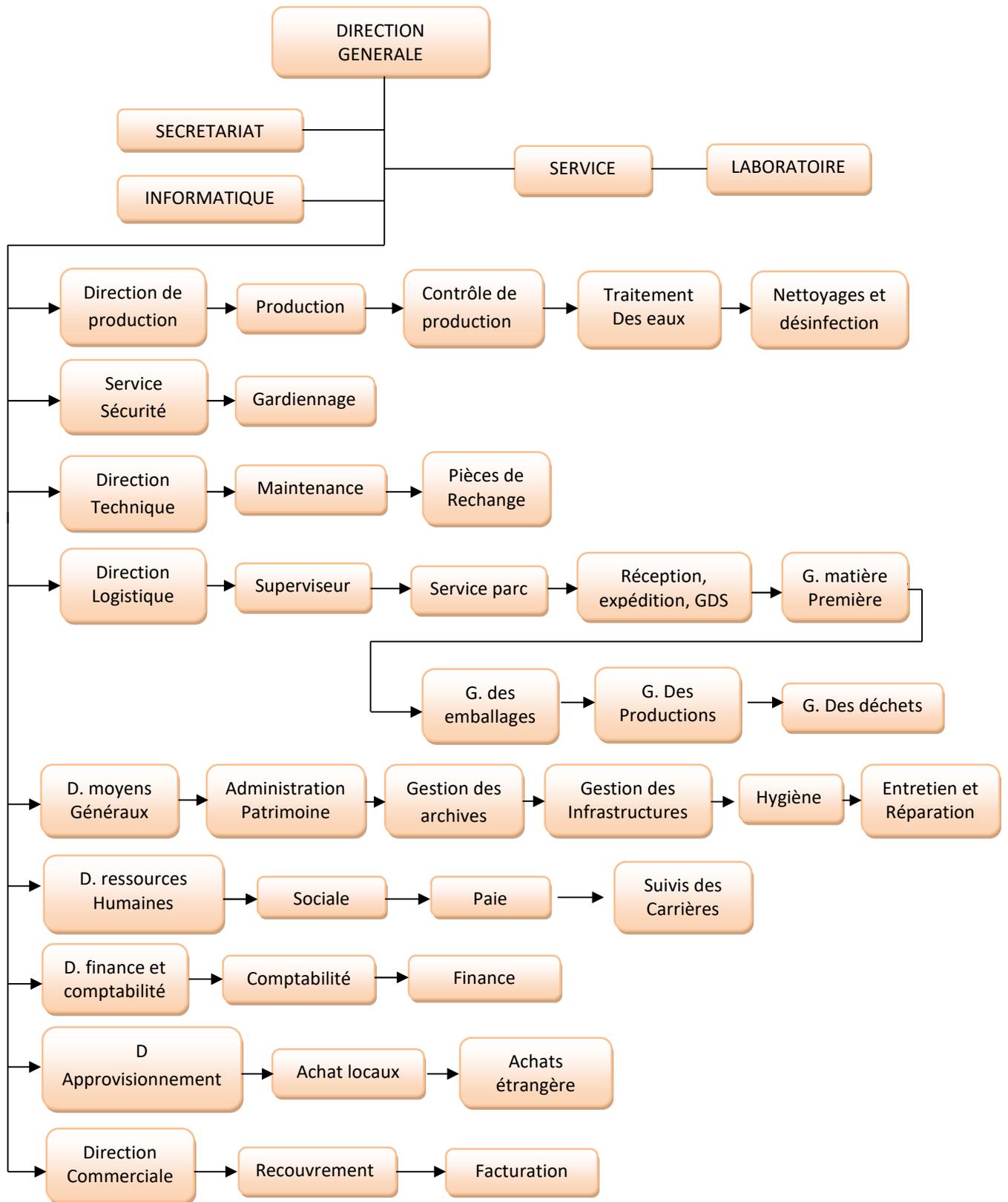
- ✓ La chaîne de production **SIDEL** : elle produit l'eau minérale naturelle de 0.5, 0.33 et 1L avec une capacité de production de 12000 bouteilles/h.
- ✓ La chaîne de production **COMBI 1** : elle produit de l'eau minérale de 1.5L avec une capacité 16000 bouteilles/heure.
- ✓ La chaîne de production **KRONES 1** : elle produit l'eau minérale naturelle de 0.5L et 1.5L avec une capacité de 46 000 Bouteilles/heure.
- ✓ La chaîne de production **KRONES 2** : elle produit les boissons gazeuses en emballage verre sous forme 0.25 et 1L avec une capacité 15 000 litres/heure.
- ✓ La chaîne de production **KRONES 3** : elle produit les eaux fruitées en emballage verre sous forme 0.25 et 1L avec une capacité de 15 000 litres/heure.
- ✓ La chaîne de production **COMBI 2** : elle produit les boissons gazeuses en emballage PET 0.33, 1 et 2L avec une capacité 36000 litres/heure.
- ✓ La chaîne de production **KRONES 4** : elle produit de l'eau minérale gazéifiée en emballage verre 1 et 0.25L avec une capacité de 12000 litres/heure.
- ✓ La chaîne de production **KRONES 5** : elle produit de l'eau minérale gazéifiée en emballage PET 1L avec une capacité de 12000 litres.

Cette entreprise comporte aussi d'autres filiales qui sont partagés en groupes chacun spécialisé dans un domaine, on trouve :

- ✓ Général Plast : Production de préformes en PET et bouchons en PEHD.
- ✓ SARL huileries Ouzellaguene : Activité agricole, transformation (trituration) d'olives et mise en bouteille d'huile d'olive extra vierge.
- ✓ SARL Bejaïa Logistique : Transport sur toutes distances et manutention.

III.1.6 Organisation générale de l'entreprise « IFRUIT »

La structure organisationnelle de l'entreprise IFRUIT repose sur un modèle hiérarchique classique. L'organigramme suivant schématise les différentes directions et services de l'entreprise.



G : gestion, D : Direction, GDS : gestion des stocks.

Figure III.2 : Organigramme générale de l'entreprise « IFRUIT ».

III.2 Traitement de l'eau au niveau de l'entreprise IFRUIT

L'eau utilisée dans l'entreprise IFRUIT provient des forages. La station de traitement des eaux est équipée de trois stations d'Ultrafiltration et de trois osmoseurs, d'un adoucisseur et de cuves de stockage.

L'eau de forage subit trois types de traitement :

➤ **Prétraitement :**

Consiste à l'élimination des matières en suspension, grâce à la filtration poche et à l'ultrafiltration.

➤ **Traitement final :**

Élimination des matières dissoutes grâce à l'osmoseur.

➤ **Traitement d'appoint :**

Traitement chimique contre la corrosion pour améliorer la composition chimique des eaux de la chaudière.

Le diagramme général de fabrication de l'eau osmosée est représenté dans la figure ci-dessous :

Remarque : la figure montre également les points de prélèvement d'échantillons d'eaux destinées aux analyses physico-chimiques et microbiologiques.

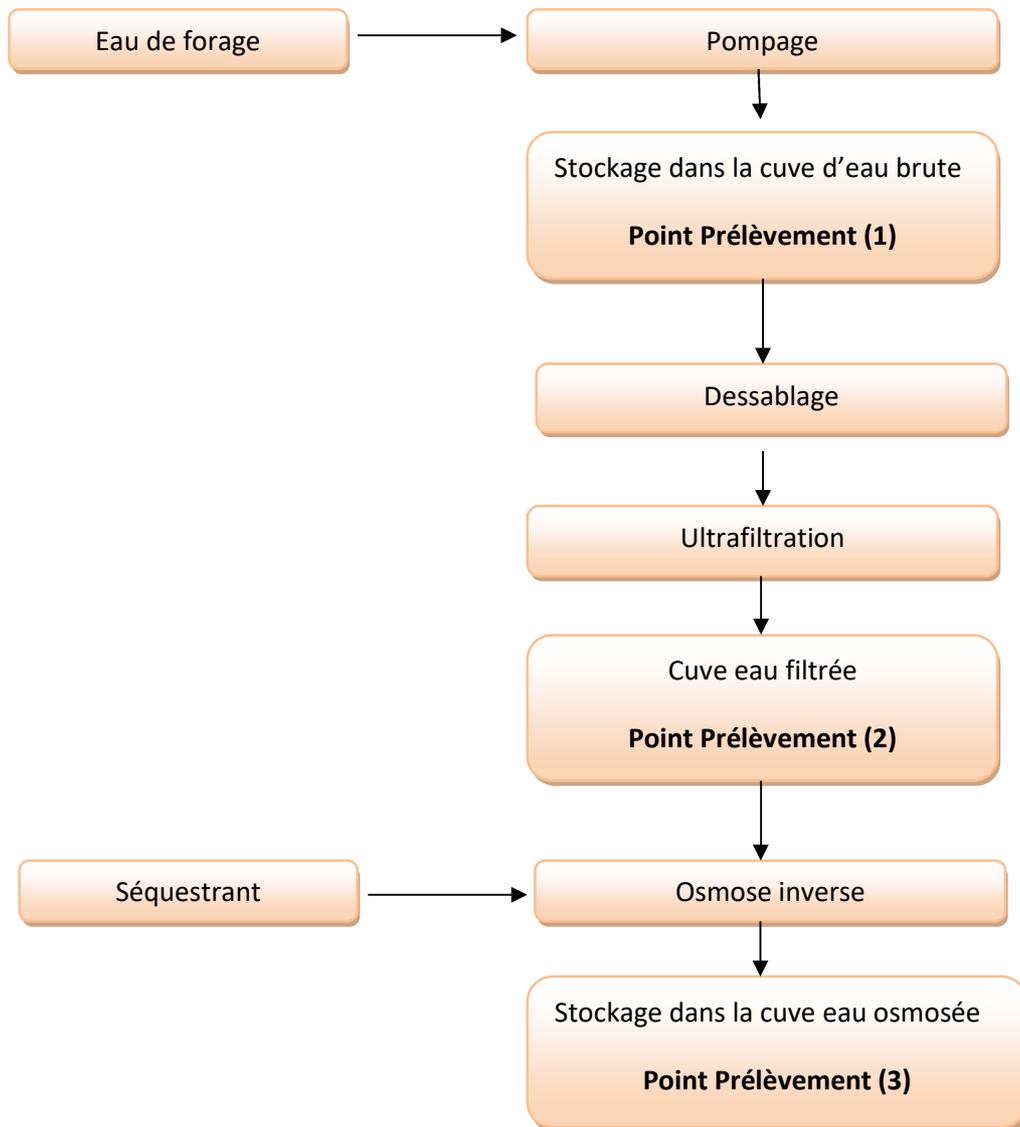


Figure III.3 : Diagramme de fabrication de l'eau osmosée.

III.2.1 Pompage et stockage « eau brute »

L'eau utilisée dans la station de traitement des eaux provient d'une nappe phréatique, au moyen d'une pompe immergée, l'eau est pompée puis transportée grâce à un réseau de tuyauterie jusqu'aux bâches de stockage d'eau brute d'une capacité de 500m³ chacune.

III.2.2 Filtration et stockage dans la cuve « eau filtrée »

L'eau provenant des baches de stockage d'eau brute (eau de forage), passe par un premier traitement qui consiste à une filtration grossière jusqu'à $150\ \mu\text{m}$ pour l'élimination des grosses particules.



Figure III.4 : Carter du filtre à poche.



Figure III.5 : Filtre à poche.

III.2.3 Ultrafiltration

L'eau sortant des poches de filtration passe ensuite dans trois stations d'ultrafiltration, cette dernière permet de retenir les contaminants particulaires et microbiens mais laisse passer les ions ou les molécules de faible poids moléculaires.

Cette filtration s'effectue sur des fibres creuses de rétention avec un seuil de coupure de $0.02\mu\text{m}$, sous pression 2 bar et un débit de $125\text{m}^3/\text{h}$. À la sortie de l'ultrafiltration l'eau est stockée dans les cuves.



Figure III.6 : Modules d'ultrafiltration.

III.2.4 Filtre de sécurité (5 μm)

Avant de pomper l'eau filtrée dans l'unité d'osmose, l'eau passe à travers un filtre de sécurité avec une porosité de $5\mu\text{m}$ pour s'assurer de l'élimination de tous les éléments nocifs pour les membranes d'osmose inverse.



Figure III.7 : Filtre de sécurité 5µm.

III.2.5 Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméabilité à travers des membranes semi-perméables qui laissent passer l'eau et arrêtent tous les sels sous l'effet d'un gradient de pression.

L'unité de traitement des eaux de l'entreprise IFRUIT utilise trois osmoseurs d'une capacité de traitement de 84 m³/h pour but de réduire les sels minéraux, chaque osmoseur se compose de deux étages de perméat et un étage de concentrât.

L'eau provenant des filtres de sécurité est envoyée à l'osmose qui contient 12 modules, chacun possède six membranes (porosité 0.03µm) en fibres de verre et résine polyester.

Afin de prolonger la durée de vie et éviter le colmatage des membranes et garantir la disponibilité des équipements, des rinçages périodiques seront effectuées chaque 4h.

L'eau osmosée produite est stockée dans des cuves, qui est destinée pour la production.



Figure III.8 : Osmoseurs.

III.3 Méthodes d'analyses

III.3.1 Matériels et méthodes d'analyse physico-chimiques de l'eau

❖ L'échantillonnage

Le prélèvement des échantillons est l'une des étapes les plus importantes pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Le prélèvement est l'opération qui consiste à prendre une partie adéquate (représentative) du milieu à étudier, alors que l'échantillonnage consiste à retenir une fraction du prélèvement sur laquelle sera effectuée l'analyse.

Globalement, il est donc nécessaire de mettre en place une méthodologie adaptée à chaque type d'analyse, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvement et d'utiliser le matériel convenable.

Quel que soit la qualité d'eau à analyser, ces résultats ne sont valables que dans les conditions suivantes :

- Le volume d'eau prélevé doit être suffisant pour effectuer toutes les analyses.

- L'échantillon n'est pas altéré entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse.

❖ Mode et points de prélèvement

Il est essentiel de prendre toutes les précautions nécessaires lors de prélèvement d'échantillons afin d'éviter toute contamination possible. Le mode de prélèvement varie selon le type d'analyse à effectuer. Dans cette étude :

- Le prélèvement est effectué dans des flacons en verre de 250 ml, ces flacons sont rincés préalablement avec de l'eau distillée.
- Sur les différents points de prélèvement, des robinets sont installés.
- Il faut ouvrir le robinet et laisser couler l'eau pendant quelques minutes.
- Prendre le flacon et rincer trois fois avec l'eau à analyser, puis remplir jusqu' au bord.

Les prélèvements ont été effectués au niveau de trois points :

- Eau brute (forage).
- Eau filtrée.
- Eau d'osmoseur.



Figure III.9 : Les échantillons.

❖ Conservation au laboratoire

Les analyses physico-chimiques doivent s'effectuer dans les 24 heures qui suivent le prélèvement. Les échantillons doivent impérativement être conservés au froid (+ 2 à + 5 °C) et à l'abri de la lumière (ISO 5667-3, 2018).

Les analyses sur les échantillons prélevés ont été effectuées dans le laboratoire de contrôle de qualité physico-chimique et microbiologique de l'entreprise IFRUIT.

Nous nous sommes intéressés à certains caractères physico-chimiques à savoir le pH, la conductivité électrique, les titres alcalimétrique (TA), alcalimétrique total (TAC) et hydrométrique (TH) ainsi que la concentration en chlorures (Cl⁻).

III.3.1.1 Mesure de potentiel hydrogène (pH)

Le pH est l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment, il est relié à la concentration en ions H⁺ c.-à-d. à l'alcalinité de l'échantillon. L'échelle de pH s'étend de 0 (milieu très acide) à 14 (milieu très basique), en passant par 7 (milieu neutre). La détermination du pH par la méthode potentiométrique est réalisée à l'aide d'un pH-mètre étalonné.

➤ Principe

C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans l'eau à analyser. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺. La valeur du pH s'affiche directement sur le cadran de l'appareil.

➤ Matériels et réactifs

- pH mètre.
- Papier absorbant.
- Eau distillée.
- Solution d'étalonnage (pH= 4.01, pH=7).

➤ Modes opératoire

- Allumer le pH-mètre sur la touche ON.
- Etalonner le pH-mètre avec les deux solutions de référence (pH 4.01, pH=7) à la température de 20°C.

- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée, l'essuyer avec du papier absorbant.
- Plonger l'électrode à la surface l'eau (environ 6 à 8 cm).
- Attendre que l'équilibre s'établisse et faire la lecture.
- Après chaque détermination du pH, on retire l'électrode, on la rince et à la fin de l'expérience, on la laisse trempée dans l'eau distillée.



Figure III.10 : pH-mètre (WTW pH 3210).

III.3.1.2 Mesure de la conductivité électrique

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, magnésium,...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. Elle est effectuée à l'aide d'un conductimètre.

➤ Principe

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau, elle dépend de la concentration, nature des ions, de la température et la viscosité de la solution, l'unité de la conductivité électrique est le siemens par mètre (s/m) mais elle est généralement exprimée en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

➤ Matériels et réactifs

- Conductimètre.
- Solution tampon (1413 $\mu\text{s}/\text{cm}$).
- L'eau distillée.

➤ Modes opératoire

- Allumer le conductimètre sur la touche ON.
- Etalonner le conductimètre avec la solution tampon (1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Rincer la sonde avec de l'eau distillée et la sécher avec du papier absorbant.
- Plonger la sonde dans l'eau.
- Attendre que l'équilibre s'établisse et faire la lecture.



Figure III.11 : Conductimètre (WTW cond 3110).

III.3.1.3 Mesure de la dureté totale (TH)

Le titre hydrométrique total (TH) est la concentration totale des ions alcalino-terreux dans l'eau, c'est à dire les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

➤ Principe

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont titrés par complexométrie avec une solution du sel di sodique de l'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA) à un pH de 10. Ces ions présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par (EDTA). Le point d'équivalence est repéré par l'indicateur coloré Eriochrome Noir qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence de ces ions. L'EDTA réagit avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} libres puis au point d'équivalence, avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .

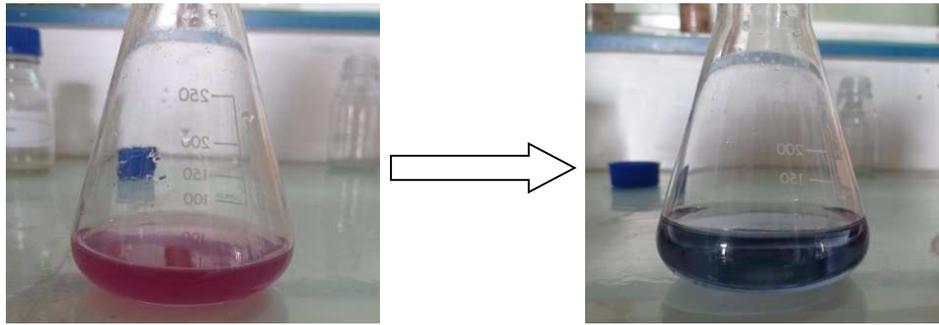


Figure III.12 : Solution avant et après titrage.

Remarque : Si après l'ajout de l'indicateur coloré la solution obtenue est de couleur bleue cela signifie que les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} sont absents donc $\text{TH} = 0^\circ\text{f}$.

➤ **Expression des résultats**

$$\text{TH}_{\circ\text{f}} = V_{\text{EDTA}} \times 1$$

V_{EDTA} : *volume de EDTA en ml au point d'équivalence*

$$\text{TH} (\circ\text{f}) = \text{TH} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \cdot 10$$

$$1^\circ\text{f} = 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } \text{CaCO}_3$$

III.3.1.4 Mesure de l'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa concentration en ions hydrogencarbonates (bicarbonates : HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}), et hydroxydes (OH^-).

On distingue deux titres qui sont le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

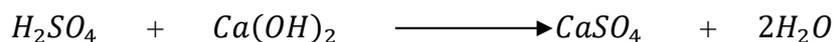
❖ **Mesure du titre alcalimétrique (TA)**

La mesure du titre alcalimétrique (TA) correspond à la mesure de la teneur d'une eau en hydroxydes et de la moitié de sa teneur en carbonates alcalins et alcalino-terreux.

➤ Principe

Détermination du volume d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, à pH = 8.3, le volume d'eau à analyser.

➤ Réactions chimiques



➤ Matériels et réactifs

- Eprouvette de 100 ml.
- Erlenmeyer de 250 ml.
- Burette graduée de 100 ml.
- Phénophtaléine.
- Acide sulfurique H₂SO₄ (0.1 N).

➤ Mode opératoire

- Introduire à l'aide d'une éprouvette, 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter quelques gouttes de solution d'indicateur de phénophtaléine.

Remarque :

- ✓ Si la solution ne devient pas rose : TA= 0 °f cela signifie que le pH est inférieur à 8.3 et dans ce cas le titrage n'est pas nécessaire.



Figure III.13 : Absence de couleur rose.

- ✓ Si, après ajout de la phénolphtaléine, la couleur rose apparaît, titrer avec H_2SO_4 jusqu'à la disparition complète de la couleur.

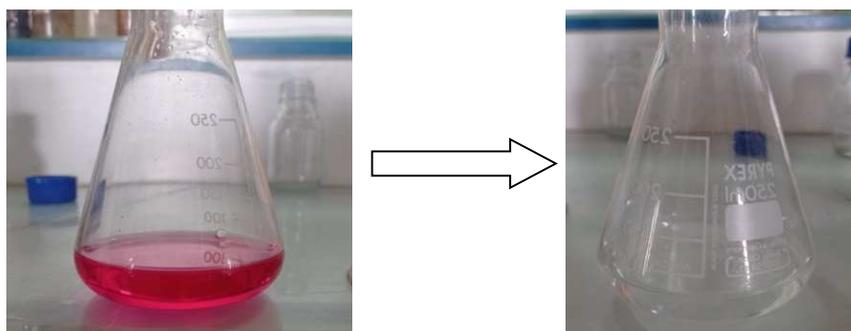


Figure III.14 : Solution avant et après le titrage.

➤ Expression des résultats

Le titre alcalimétrique est donné par la relation suivante :

$$TA (^{\circ}f) = V_{H_2SO_4} \cdot 5$$

$V_{H_2SO_4}$: *volume de H_2SO_4 en ml au point d'équivalence*

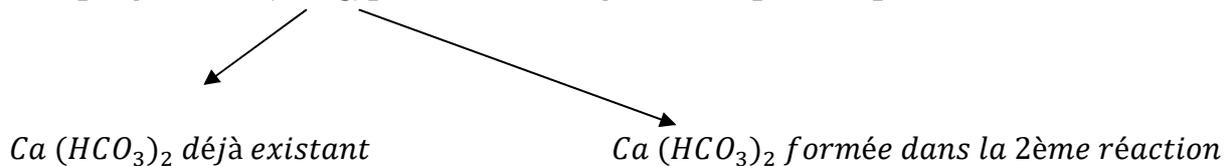
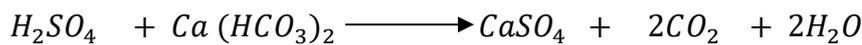
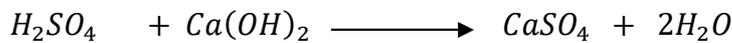
❖ **Mesure de titre alcalimétrique complet(TAC)**

La mesure du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) est la détermination de la teneur d'une eau en hydroxydes, en carbonates et en bicarbonates (ou hydrogénocarbonates) alcalins et alcalino-terreux.

➤ **Principe**

Détermination du volume d'acide fort H_2SO_4 nécessaire à la neutralisation, à $pH = 4.3$, d'un volume bien déterminé d'eau à analyser.

➤ **Réactions chimiques**



➤ **Matériels et réactifs**

- Eprovette de 100 ml.
- Erlenmeyer de 250 ml.
- Burette graduée de 100 ml.
- Méthyle orange.
- Acide sulfurique H_2SO_4 (0.1N).

➤ **Mode opératoire**

- Introduire, à l'aide d'une éprouvette, 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter quelques gouttes de solution d'indicateur coloré méthyle orange.
- À l'aide d'une burette titrer avec l'acide sulfurique H_2SO_4 à (0.1 N) jusqu'au virage de couleur de la solution du jaune claire au rose.

- Noter le volume d'acide au point d'équivalence.

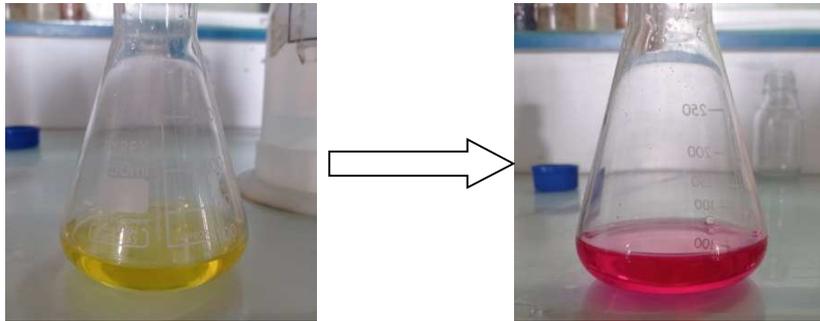


Figure III.15 : Solution avant et après le titrage.

➤ Expression des résultats

Le titre alcalimétrique complet (TAC) est donné par la relation :

$$TAC (°f) = V_{H_2SO_4} \cdot 5$$

$V_{H_2SO_4}$: *volume de H_2SO_4 en ml au point d'équivalence*

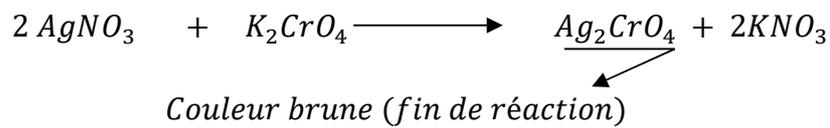
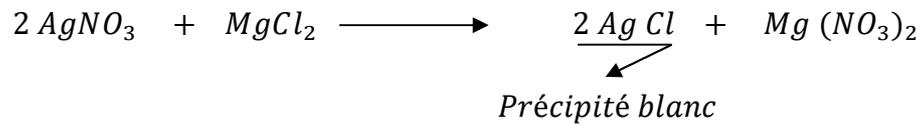
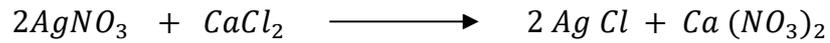
III.3.1.5 Mesure de la concentration des chlorures (Cl⁻)

L'eau contient presque toujours les chlorures mais proportions très variables. La teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau. La présence des chlorures dans l'eau est liée principalement à la nature des terrains traversés.

➤ Principe

Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.

➤ Réactions chimiques



➤ Matériels et réactifs

- Solution nitrates d'argent $AgNO_3$ à 0.05 N.
- Solution de bichromate de potassium indicateur K_2CrO_4 .
- Eprovette de 100 ml.
- Burette graduée de 100 ml.
- Erlenmeyer de 250 ml.

➤ Mode opératoire

- Introduire, à l'aide d'une éprouvette, 100 ml d'échantillon d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 02 ml de bichromate de potassium K_2CrO_4 comme indicateur coloré.
- Si la solution obtenue est de couleur brune alors cela implique que $[Cl^-] = 0$ mg/l et le titrage n'est pas nécessaire.

Si, après l'ajoute du bichromate de potassium K_2CrO_4 , la couleur jaune apparait, titrer avec $AgNO_3$ 0.05 N jusqu'au virage de la couleur jaune au rouge brique.



Figure III.16 : solution avant et après le titrage.

➤ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en mg/l, ils sont calculés avec la formule suivante :

$$[Cl^-] = V_{AgNO_3} \cdot 17,75$$

V_{AgNO_3} : *volume de $AgNO_3$ en ml au point d'équivalence*

III.3.2 Matériels et méthodes d'analyse microbiologiques de l'eau

Les analyses microbiologiques qui ont été effectuées au niveau du laboratoire de microbiologie de l'entreprise IFRUIT, consistent à rechercher :

- Les Streptocoques fécaux.
- Les Coliformes totaux et fécaux.
- Le *Pseudomonas aeruginosa*.
- Les germes totaux.

❖ L'échantillonnage

➤ Les différentes eaux prélevées :

- Eau brute (forage).

- Eau filtrée.
- Eau osmosée.

Les prélèvements pour les analyses microbiologiques ont été faits rigoureusement avec toutes les conditions d'asepsie nécessaires dans des flacons stériles en verre de 250 ml, selon l'ordre des étapes suivantes :

1. Se laver soigneusement les mains et les avant-bras, les rincer à l'alcool, laisser sécher.
2. Ouvrir le robinet et laisser couler 2 minutes.
3. Fermer le robinet.
4. On prend une pince en fer enrobée de coton et d'alcool, flamber énergiquement l'orifice du robinet pendant 1 minute.
5. Ouvrir le robinet et laisser couler 2 à 3 minutes pour refroidir avant de faire le prélèvement. Il est souhaitable de garder la flamme au-dessus du robinet.
6. Prendre le flacon de la main gauche et flamber rapidement le bord du goulot et remplir avec l'échantillon de manière non complète, laisser O₂ pour ne pas faire suffoquer les germes.
7. Flamber une deuxième fois le goulot et bien fermer, revelopper le bouchon de papier aluminium.
8. Etiqueter le prélèvement et inscrire sur un cahier.

❖ Conservation au laboratoire

Les analyses bactériologiques doivent s'effectuer avant 8 heures après le prélèvement. Les prélèvements doivent être transportés dans des glacières dont la température est comprise entre 4 et 6°C°. (**Manuel de laboratoire de l'entreprise**).

❖ Les méthodes choisies

- Pour le dénombrement des **germes revivifiables** on utilise la méthode indirecte (culture sur un milieu solide).
- Pour dénombrement des **coliformes, streptocoques, pseudomonos aeruginosa**, la technique de filtration par membrane à 0.45 en milieu solide.

❖ Méthode de la membrane filtrante

Consiste à filtrer un volume déterminé d'échantillon d'eau à travers une membrane faite d'esters cellulosiques ou de certaines autres substances, toutes les bactéries sont retenues à la surface de la membrane, on la place ensuite face vers le haut sur des milieux adéquats et on l'incube aux températures appropriées.

III.3.2.1 Recherche et dénombrement des coliformes totaux

➤ Matériels

- Rampe de filtration.
- Membrane filtrante 0.45µm.
- Pince.
- Boite de pétri.
- Bec-Bunsen.
- Étuve.

➤ Mode opératoire

1. Dans une surface de travail stérile. on nettoie la rampe et l'entonnoir avec de l'eau distillée et on les stérilise avec l'alcool puis on flambe la surface supérieure de la rampe de filtration ainsi que la plaque poreuse (en ouvrant le robinet pour aspirer la flamme) et le réservoir.
2. Refroidir la rampe par l'eau à analyser (prendre 50ml).
3. Une fois la rampe refroidie ouvrir le robinet pour laisser l'eau s'écouler.
4. Poser la membrane sur la plaque poreuse de la rampe de filtration.
5. Agiter soigneusement le flacon d'eau à analyser.
6. Verser stérilement la quantité d'eau désirée (100ml).
7. Ouvrir le robinet pour laisser l'eau s'écouler.
8. Dès que la membrane paraît sèche enlever le réservoir et prélever la membrane avec une pince stérile en la saisissant par son extrême bord.
9. Déposer la membrane sur le milieu de Gélose lactosée au Tergitol déjà placé dans la boite de pétri en prêtant attention de ne pas piéger des bulles d'air.

10. Incuber la boîte de pétri à 37°C pendant 24h, de façon à ce que le couvercle soit vers le bas.



Figure III.17 : Les étapes d'analyse bactériologique des Coliformes totaux.

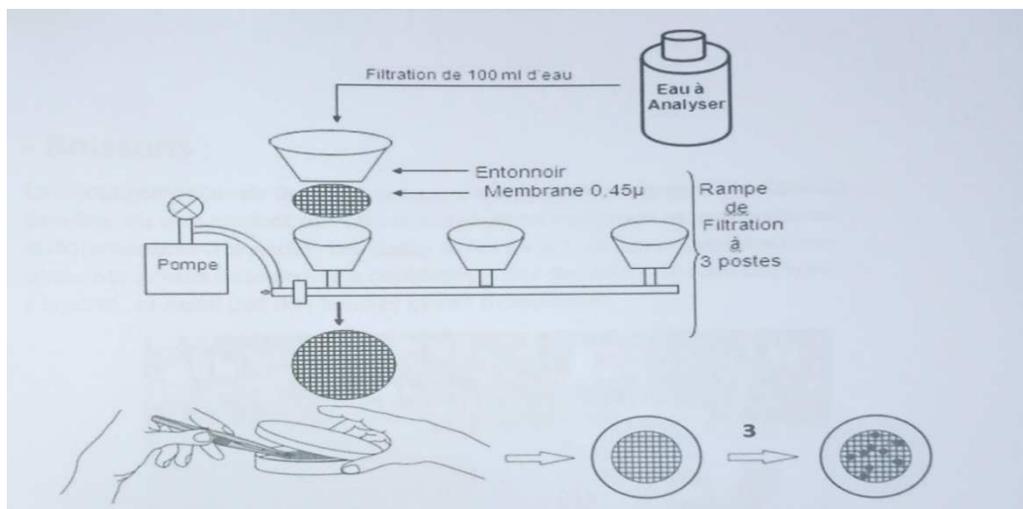


Figure III.18 : Rampe de filtration membranaire.

III.3.2.2 Recherche et dénombrement des streptocoques

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait par la même méthode utilisée pour la recherche des coliformes (Méthode de la membrane filtrante), sauf que le milieu utilisé est celui de Slanetz et Bartley avec une durée d'incubation de 48h à 37°C.

Après 48h d'incubation s'il y'a l'apparition de colonies roses ou marrons ou jaunes avec un diamètre de 0,5 à 2 mm elles représentent des streptocoques fécaux. Ceci nécessite un test confirmatif.

III.3.2.3 Recherche et dénombrement de *Pseudomonas aeruginosa*

La recherche et le dénombrement de *Pseudomonas aeruginosa* se fait par la même méthode utilisée pour la recherche des coliformes (Méthode de la membrane filtrante), sauf que le milieu utilisé est celui de Gélose au cétrimide (un ammonium quaternaire capable d'inhiber un très grand nombre de bactéries) avec une durée d'incubation de 48h à 37°C.

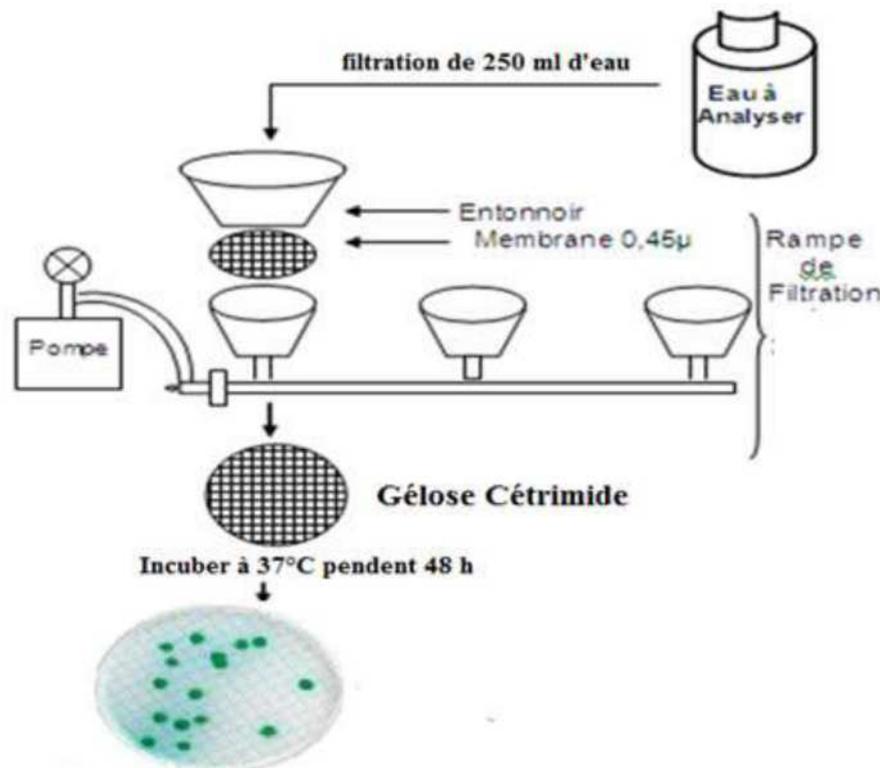


Figure III.19 : Recherche de *Pseudomonas aeruginosa*.

III.3.2.4 Recherche et dénombrement des germes totaux (aérobies revivifiables)

La recherche et le dénombrement des germes totaux se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les micro-organismes à tendance psychrophiles soit à 22C° et ceux franchement mésophiles soit 37C°, par un protocole bien déterminé :

1. Prendre 2 boîtes de Pétri stériles, verser dans chacune 1 ml d'eau à analyser.
2. Compléter ensuite chacune des boîtes avec environ 20 ml de gélose TGEA fondue, puis refroidie à $45\pm 1C^\circ$.
3. Faire des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose.
4. Laisser solidifier sur paillasse.
5. Une fois solidifiées, rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose (Cette double couche a un rôle protecteur contre les contaminations diverses).
6. Incuber la première boîte couvercle en bas à 37°C pendant 48H.
7. Incuber la deuxième boîte couvercle en bas à 22°C pendant 72H.
8. la lecture se fait après chaque 24h.

CHAPITRE IV
Résultats et discussions

Chapitre IV : Résultats et discussions

Ce chapitre est consacré à la présentation et discussion des principaux résultats des analyses physico-chimiques et microbiologiques obtenus au niveau de l'entreprise IFRUIT.

IV.1 Résultats et interprétation des paramètres physico-chimiques

Les résultats des différentes analyses physico-chimiques de l'eau brute (forage), l'eau filtrée (ultrafiltration), et l'eau osmosée (osmose inverse) effectuées au niveau du laboratoire d'analyses physico-chimiques et microbiologiques, de l'entreprise IFRUIT sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau IV.1 : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau brute.

Paramètres	Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	pH	TH Totale ($^{\circ}\text{f}$)	TA ($^{\circ}\text{f}$)	TAC ($^{\circ}\text{f}$)	Cl⁻ mg/L
10/04/2022	4420	6.84	80	0	42	1171.5
18/04/2022	4300	7.05	82.8	0	36	1256.7
24/04/2022	4530	7.36	70	0	36	1022.4
28/04/2022	4410	7.09	88	0	43	1185.7
05/05/2022	4230	6.82	90	0	39	1050.8
Moyenne	4378	7.03	82.2	0	39.2	1137.42
Norme	≤ 9000	6.8-7.5	35-170	0	< 35	≤ 2000

Tableau IV.2 : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau filtrée.

Paramètres Echantillons	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	pH	TH Totale (°f)	TA (°f)	TAC (°f)	Cl ⁻ mg/L
10/04/2022	4320	7.36	79	0	41	1065
18/04/2022	4280	7.34	82.4	0	35	1107.6
24/04/2022	4280	7.44	68	0	30	852
28/04/2022	4260	7.4	88	0	36	1143.1
05/05/2022	3940	7.34	87	0	39	979.88
Moyenne	4216	7.38	80.9	0	36.2	1029.52
Norme	≤ 9000	6.8-7.5	35-170	0	< 35	≤ 2000

Tableau IV.3 : Les résultats d'analyses physico-chimiques d'eau osmosée.

Paramètres Echantillons	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)	pH	TH Totale (°f)	TA (°f)	TAC (°f)	Cl ⁻ mg/L
10/04/2022	280.6	6.42	0	0	2	71
18/04/2022	277	6.66	0	0	2	71
24/04/2022	244	6.56	0	0	2	42.6
28/04/2022	252	6.56	0	0	2	95.85
05/05/2022	228	6.58	0	0	2	46.15
Moyenne	256.3	6.55	0	0	2	65.32
Norme	100-250	5.5-7.5	0-13	0	/	≤ 100

IV.1.1 Potentiel hydrogène (pH)

Les variations du pH des eaux analysées (eau brute, eau filtrée, eau osmosée) durant les cinq semaines de stage sont représentées sur la figure **IV.1**.

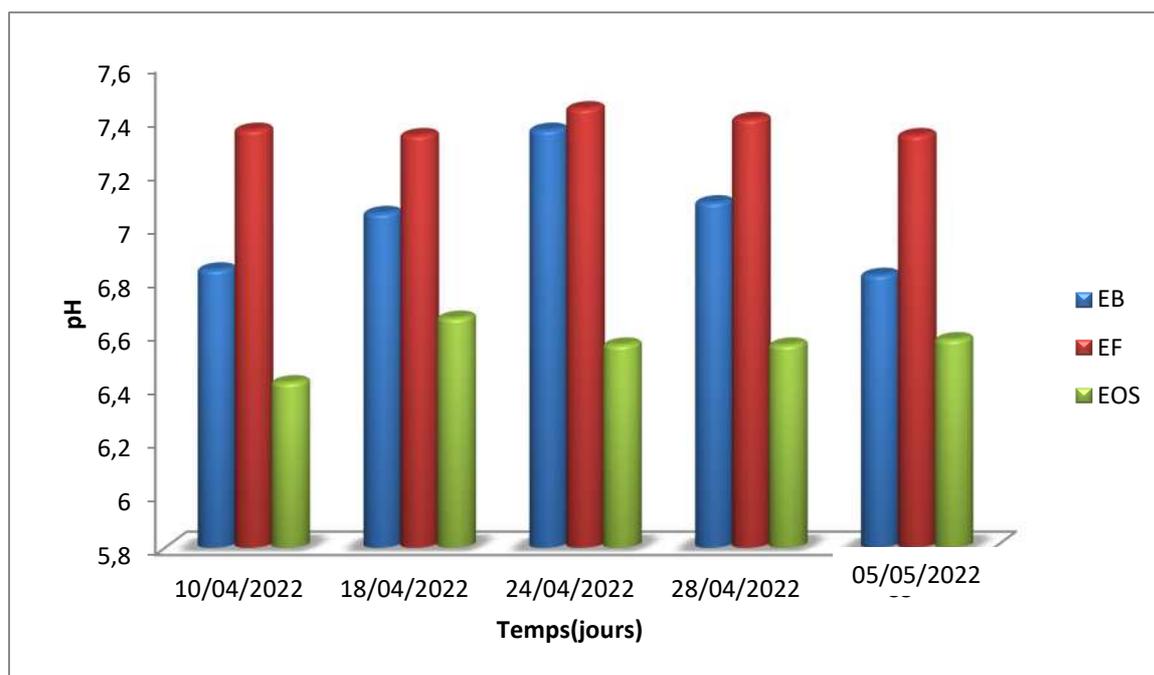


Figure IV.1: Variation de pH des eaux analysées en fonction de temps.

Le pH est un facteur important dans le traitement de l'eau car certains processus doivent être effectués à un pH spécifique pour être efficaces. Pour cela, le pH est l'un des paramètres analysés quotidiennement à des points de prélèvement précis.

Le pH nous renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu. La valeur acceptable par l'OMS pour l'eau de boisson est dans l'intervalle 6,5 et 8,5. En dessous de la valeur minimale, l'eau a un goût amer, métallique corrodant ainsi le matériel. Au-delà de la valeur maximale, les effets indésirables sont une sensation de glissement, un goût de soda et une présence de dépôts. Le pH d'une source peut varier naturellement en fonction de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé.

D'après les tableaux de valeurs et la figure **IV.1**, les valeurs du pH de l'eau brute et l'eau filtrée ne varient pas beaucoup au cours de la période d'étude. Les valeurs de pH obtenus lors des analyses de l'eau brute, sont dans la gamme de 6,82 à 7,36 avec une moyenne de 7.03 (pH neutre). Dans le cas de l'eau filtrée l'intervalle de pH varie entre 7,34 et 7,44 avec une moyenne de pH enregistrée de 7.38 (pH neutre).

À la sortie des 3 osmoseurs, une diminution de pH a été enregistrée, l'ensemble de valeurs se situe dans l'intervalle de pH de 6.66 - 6.42 et une moyenne de 6.55 (légèrement acide).

Cependant, on constate que les valeurs de pH en entrée sont supérieures aux valeurs de pH en sortie tout au long de la période de test, cela est dû à la réduction de la concentration des sels minéraux par les membranes de l'osmoseur. Les valeurs de pH sont conformes aux normes de l'entreprise.

Les valeurs de pH sont voisines de la neutralité mais toujours situées dans Les normes édictées par la réglementation locale et internationale en matière de potabilité de l'eau recommandent un pH situé entre 6,5 et 9 selon L'OMS, et 6.5 et 8.5 selon la norme Algérienne.

IV.1.2 La conductivité électrique

Les valeurs de la CE des eaux analysées de l'entreprise IFRUIT, obtenus durant la période des cinq semaines de stage, sont données dans les tableaux IV. 1,2 et 3 et représentées sur la figure IV.2.

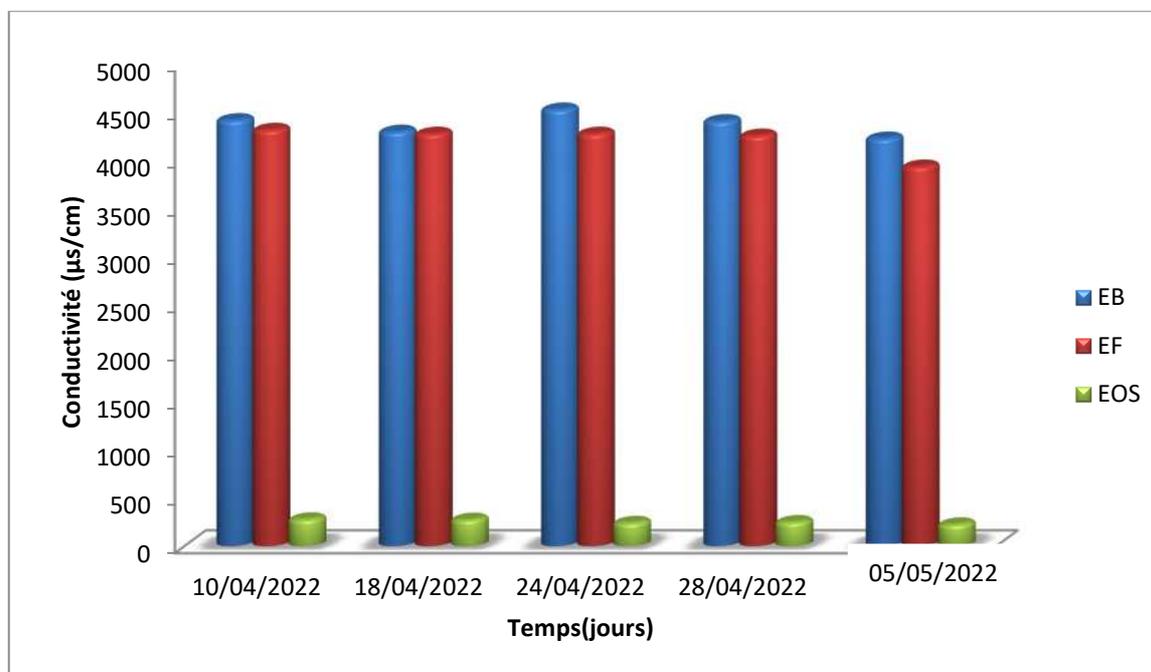


Figure IV.2 : Variation de la conductivité des eaux analysées en fonction du temps.

La variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations et également du phénomène d'évaporation qui concentre les sels dans l'eau. Généralement la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température.

Selon les tableaux et la figure IV.2, on constate qu'avant le traitement de l'eau la conductivité est très élevée avec une moyenne 4378 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ceci explique par la forte présence d'ions minéraux présents dans l'eau, par contre la conductivité diminue à la sortie (au niveau de l'osmoseur) avec une moyenne 256.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$, cela montre que l'osmose inverse est une technique efficace pour traitement des eaux et l'élimination de la plus part des anions et cations contenues dans l'eau brute.

Ces résultats sont conformes aux normes de potabilité, cela confirme que les échantillons d'eau osmosée sont de bonne qualité, en terme de conductivité.

IV.1.3 Titre hydrotimétrique totale TH (dureté totale)

La figure ci-dessous représente les résultats obtenus de la dureté totale des eaux analysées durant les cinq semaines de stage.

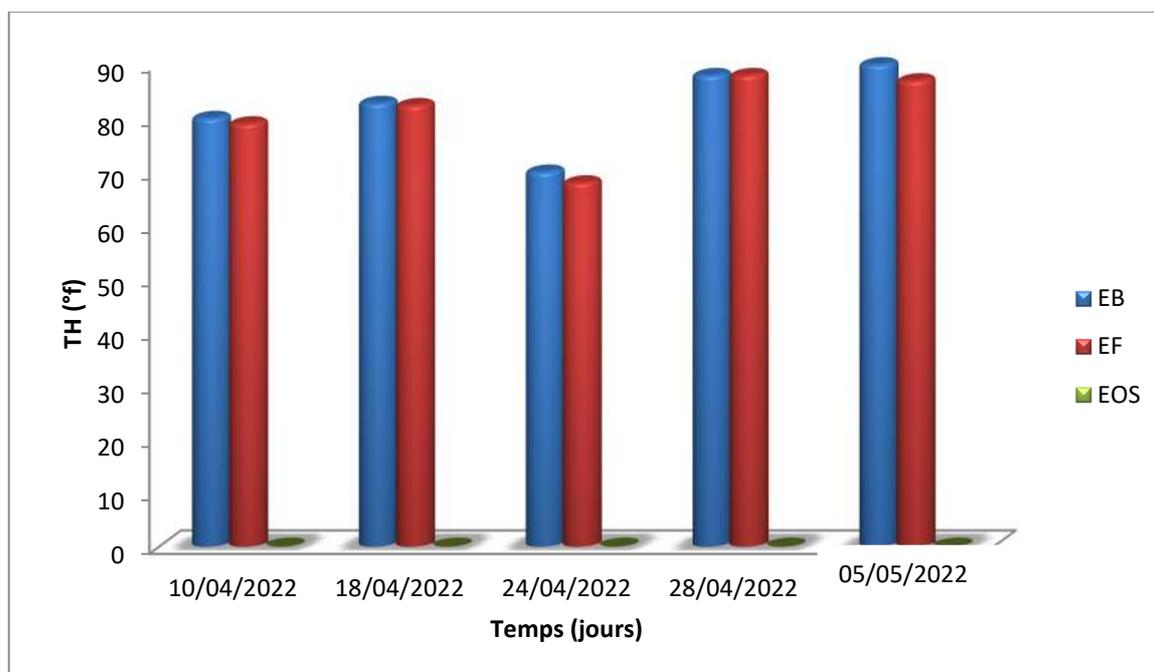


Figure IV.3 : Variation des valeurs de TH totale des eaux analysées en fonction de temps.

La dureté d'une eau indique globalement sa teneur en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Dans l'eau naturelle, elle dépend de la structure géologique des sols traversés. L'eau dure n'est pas dangereuse pour la santé. Les inconvénients sont plutôt d'ordre domestique en raison de la précipitation du calcaire (carbonate de calcium) diminuant ainsi l'efficacité des détergents.

Dans les échantillons analysés (figure **IV.3**), ce paramètre présente une grande variation entre les différents points de prélèvement. L'eau de forage et l'eau filtrée sont plus dures (plus de 50 °f), elle peut présenter un risque d'entartrage des canalisations. La présence dans l'eau de gaz carbonique provenant de l'atmosphère et des couches superficielles du sol augmentant ainsi la dissolution des ions responsables de la dureté justifierait cette variation. Alors que celle de l'eau osmosée est nul (l'eau douce), cette diminution s'explique par l'élimination complète des ions carbonates de calcium et magnésium, donc les membranes sont très efficaces.

IV.1.4 Le titre alcalimétrique (TA)

Comme est indiqué dans les tableaux **IV.1, 2 et 3**, le titre alcalimétrique (TA) est nul pour tous les points de prélèvement durant les cinq semaines d'étude car le pH des eaux est inférieure à 8.3 d'où l'absence des bases fortes (OH^- et CO_3^{2-}) et la présence des bicarbonates (HCO_3^-). Les résultats obtenus sont conformes à la norme exigée par l'entreprise.

IV.1.5 Le titre alcalimétrique complet(TAC)

La figure **IV.4** représente les résultats obtenus du TAC des eaux analysées durant les cinq semaines de stage.

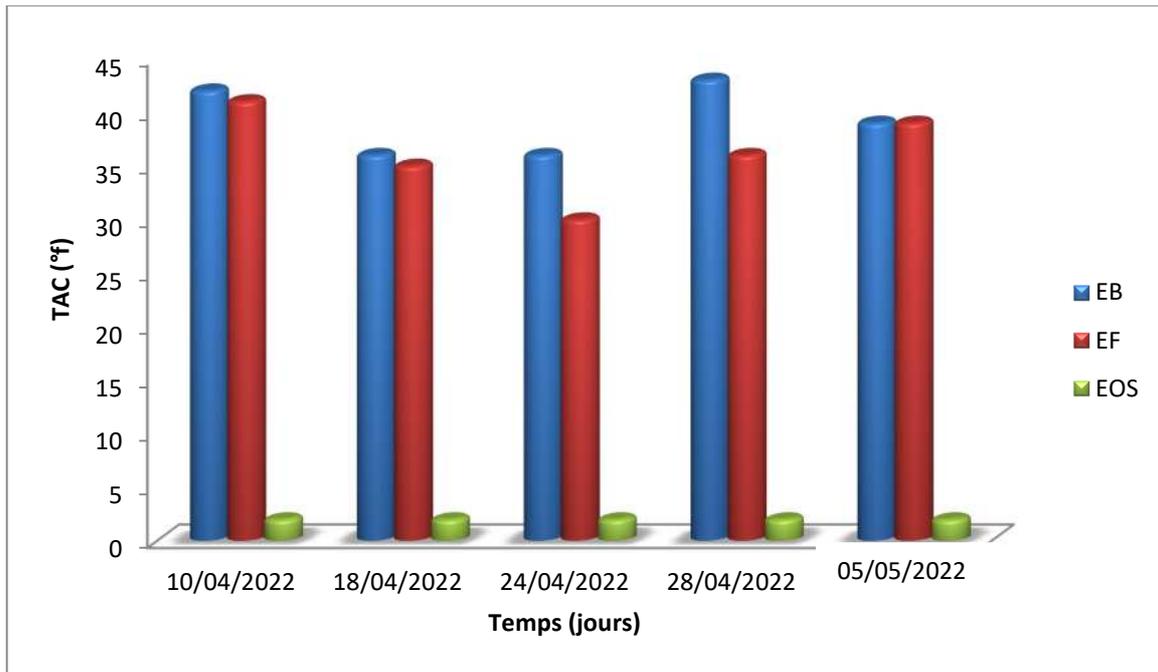


Figure IV.4 : Variation des valeurs de TAC des eaux analysées en fonction du temps.

À partir des tableaux de résultats et la figure **IV.4**, on remarque que la valeur moyenne de TAC de l'eau de forage est 39.2 °f et celle de l'eau filtrée est 36.2 °f ce qui s'explique que cette eau contient des ions alcalins libres carbonates et hydrogénocarbonate. Les valeurs de TAC de l'eau osmosée sont stables et avoisines 2 °f cela est dû l'action des produits chimiques acides ajoutés à l'entrée de l'unité d'osmose inverse, qui attaquent les sédiments précédemment déposés après le passage de l'eau brute.

La valeur maximale à ne pas dépasser pour le TAC est de 500 mg/l de CaCO_3 . Les TAC obtenus pour l'ensemble des points de prélèvement sont dans la gamme de 20-400 mg/l alors conformes aux normes de potabilité (Algériennes et OMS).Ce qui confirme la bonne qualité des eaux analysées du point de vue titre alcalimétrique.

IV.1.6 La teneur en Chlorure Cl^-

La figure **IV.5** représente les teneurs en chlorures des différents échantillons des eaux analysées durant les cinq semaines de stage.

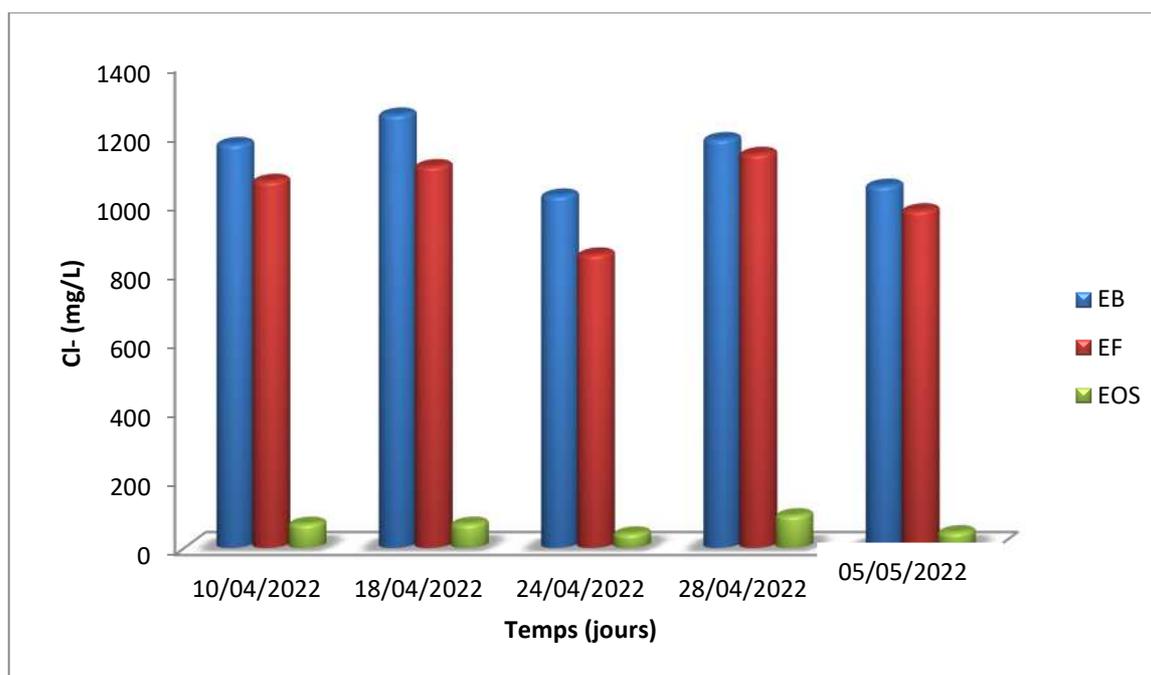


Figure IV.5 : Variation des teneurs en chlorures des eaux analysées en fonction du temps.

Fréquent dans la nature, sous forme de sel de sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl₂). L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportions très variables. Indépendamment de la nature de la formation géologique traversée, la présence des chlorures peut être attribuée aux effluents des industries chimiques, à l'exploitation des puits de pétrole, des mines de potasse, aux drainages d'irrigation...etc.

L'évolution des teneurs en chlorures comme indiquée sur la figure **IV.5**, montre que la concentration en chlorures de l'eau brute et l'eau filtrée sont élevées, et varient dans la gamme de 852-1256.7 mg/L. À la sortie des osmoseurs, on remarque une grande diminution des valeurs de la concentration en chlorures car la majorité des ions sont retenus par les membranes de ces derniers.

Le plus grand inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium [32].

IV.2 Les résultats et l'interprétation des paramètres microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été effectuées au niveau du laboratoire de microbiologie de l'entreprise IFRUIT, et consiste à la recherche des germes totaux et les coliformes, streptocoques, *Pseudomonas aeruginosa*. Les résultats microbiologiques obtenus sont représentés sur le tableau IV.4.

Tableau IV.4 : Les résultats microbiologiques obtenus des eaux analysées.

Type d'eau Paramètres bactériologiques	Eau brute	Eau filtrée	Eau osmosée	Normes
Coliformes (totaux et fécaux) à 37°C	Abs	Abs	Abs	Abs
Streptocoques à 37 °C	Abs	Abs	Abs	Abs
Germe aérobies revivifiables à 37°C	Abs	Abs	Abs	<10
Germe aérobies revivifiables à 22 °C	Abs	Abs	Abs	<20
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> à 37°C	Abs	Abs	Abs	<100

IV.2.1 Interprétation des résultats

Les bactéries du groupe coliformes sont utilisées depuis très longtemps comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une contamination fécale, le principal représentant de ce groupe de bactéries est *Escherichia*

coli. Certaines souches d'E. Coli sont pathogènes pour l'homme et peuvent provoquer des troubles intestinaux ressemblant à une gastro-entérite, au choléra ou à la dysenterie.

Dans le cas de notre étude, on note l'absence totale des coliformes dans les trois types d'eaux.

Les streptocoques sont des bactéries qui se retrouvent aussi dans le système digestif des humains et des animaux. La recherche de ces germes permet d'évaluer la qualité de l'eau et détecter une contamination d'origine fécale. Le résultat obtenu présente une absence totale de ce germe dans les eaux analysées.

Les Germes aérobies revivifiables à 22°C et 37°C sont des germes non pathogènes capables de se développer dans des conditions normales de culture mais leur présence indique une contamination bactériologique. D'après le tableau on remarque une absence totale des germes totaux à 22°C et 37°C.

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie présente dans l'eau et les sols du monde entier. Elle est dite ubiquitaire et affectionne particulièrement les zones humides, peut causer des infections diverses (pulmonaires, urinaires, cutanées, etc). Nos résultats montrent une absence totale de ce type de bactérie.

Les résultats obtenus, révèlent que ses eaux sont de qualité bactériologique satisfaisante conformément aux exigences normatives algériennes.

CONCLUSION

Conclusion

L'entreprise IFRUIT est l'une des usines qui consomment une grande quantité d'eau, ce dernier est traité par deux procédés ultrafiltration et osmose inverse, pour les besoins de son activité.

Les analyses physico-chimiques de l'eau à l'entrée nous confirment que ces eaux sont de nature neutre avec un pH moyen 7.03, de conductivité moyenne de l'ordre 4378 μ s/cm, un TH moyen de 82.2 °F et une concentration moyenne de 1137.42 mg/l en chlorures .A la sortie des 3 osmoseurs, tous les paramètres analysés (pH, conductivité, TA, TAC, chlorures) présentent des valeurs faibles et parfois nulles.

D'après ces résultats obtenus par les différentes analyses physico-chimiques, nous constatons que ces derniers sont conformes aux normes fixées par l'entreprise en concordance avec les normes algériennes et L'OMS, cela est dû à l'utilisation des techniques de traitement d'appoint tel que l'osmose inverse.

De point de vue bactériologique les résultats obtenus montrent l'absence totale des germes pathogènes et des germes fécaux, c'est un signe d'inexistence de pollution.

À la lumière des résultats obtenus au cours de ce modeste travail, nous pouvons conclure que ces eaux traitées par l'entreprise IFRUIT sont de très bonnes qualités physico-chimiques et microbiologiques, donc ces eaux sont valables pour la fabrication des différentes boissons.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]: Gérard G., (1999). L'eau : usages et polluants, édition INRA, paris.
- [2]: Peter H, Gleick et Meeena Palaniappan., (2010). Peak water limits to freshwater withdrawal and use, Proceedings of the national academy of science.
- [3]: Dictionnaire de français, éditions LAROUSSE, (2019).
- [4]: SIGG L, BEHRA P, STUMM W., (2000). Chimie des milieux aquatiques, édition DUNOD, paris.
- [5]: MARSILY G., (1995). L'eau, éditions : Flammarion 128.
- [6]: BORDET J., (2007). L'eau dans son environnement rural, éditions JOHANET, paris.
- [7]: ZAIMECHE S., (2015). Contribution à l'étude de l'action d'agents polluants sur des végétaux bioindicateurs, thèse de doctorat, université des frères MENTOURI Constantine.
- [8]: LELERC H, et al., (1977). Microbiologie appliquée, édition Doin.
- [9]: VILAGINES R., (2010). Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie, 3^{ème} édition: Tec et Doc, Lavoisier. P : 5-217.
- [10]: Ayad W., (2017). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harroch (Wilaya de Skikda), Thèse doctorat en microbiologie appliquée, Université Badji Mokhtar-Annaba, p3-4.
- [11]: BOUCHAIB E., (2015). Comparaison entre la coagulation floculation et l'électrocoagulation, éditions universitaires européennes.
- [12]: DEGREMONT D., (2005). Mémento technique de l'eau. Tome 1, Dixième édition : Tec et doc. P: 3- 38. France.
- [13]: VILAGINES R., (2003). Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie, 2^{ème} édition : Tec et Doc. Lavoisier. P : 3- 187.
- [14]: MARGAT J., (1992). L'eau dans le bassin méditerranéen. Situation et perspective, édition : Harmattan.

- [15]: KHETTAF S., (2018). Evaluation physico-chimique de l'eau d'un barrage et proposition d'un traitement adapté pour une haute qualité, thèse doctorat, université El-Hadj-Lakhdar-Batna 1.
- [16]: HANE M et al., (2020). Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits et de forage consommées dans la commune de Sinthiou Maléme dans la région de Tambacounda (Sénégal) / Int. J. Biol. Chem. Sci. 14(9): 3400-3412.
- [17]: CARDOT C., (1999). Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus : génie de l'environnement, édition Elipses.P71. Paris.
- [18]: DESJARDIN R., (1997). Le traitement des eaux, éditions de l'école polytechnique de Montréal, France.
- [19]: Berné F et Cordonnier J., (1991). Traitement des eaux, éditions TECHNIP, paris.
- [20]: Rejsek F., (2002). Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, éditions Ressources pour l'éducation nationale CRDP d'Aquitaine, France.
- [21]: RODIER J., (2005). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduares, Eau de mer. 8^{ème} édition : Dunod, Paris.
- [22]: FNS, (2013). Manuel pratique d'analyse de l'eau, quatrième édition, Brésil.
- [23]: SAVARRY P., (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau, Territorial Voiron.
- [24]: MAIGA A., (2005). Thèse diplôme d'état (Docteur en Pharmacie), Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière, Bamako (Mali), p: 77.
- [25]: Tardart-Henry M, Beaudry JP., (1984). Chimie des eaux, édition Griffon d'argile, Québec.
- [26]: DEGREMONT, (1952). « Mémento technique de l'eau », Première édition.
- [27]: DEGREMONT G., (1978). Mémento technique de l'eau, 8^{ème} édition, Rueil-Malmaison : DEGREMONT-Paris.1200p.
- [28]: BEAUDRY J, MOUNIQUE H., (1992). Chimie des eaux, 2ème édition.

- [29]: RODIER J, BAZIN C, BROUTON J-C, CHAMBOU P, CHAMPSAUR H et RODI I., (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition Bordas-Paris, 328P.
- [30]: ZIANI D., (2017). Quantification de la pollution anthropique des eaux souterraines de l'aquifère de Aindjasser. Est Algérien, thèse de doctorat, université Ben Boulaid-Batna 2.
- [31]: BOURRIER R et SELMI B., (2011). Technique de la gestion et de la distribution de l'eau, éditions du moniteur, paris.
- [32]: RODIER J., (1996). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer, 8^{ème} édition Dunod, Paris.
- [33]: Direction des Affaires Sanitaires et Sociales de la Nouvelle-Calédonie, Elaborer et mettre en œuvre un plan de sécurité sanitaire des eaux Guide 4 : Suivi de la qualité de l'eau. (2014), BP N4, 98851.
- [34]: Essone, (2018). Rapport de synthèse sur la campagne de mesure de la qualité de l'eau.
- [35]: Kahoul M, Derbal N, Alioua A, Ayad W., (2014). Evaluation de la qualité physicochimique Des eaux de puits dans la région de Berrahal (Algérie). Larhyss Journal, 18 : 169-178.
- [36]: KEMMER F, (1984). Manuelle de l'eau, édition : Lavoisier technique et documentation : 95-112.
- [37]: MERCIER J., (2000). Le grand livre de l'eau, édition : La reconnaissance du livre. Collecte art de vivre. P 91.
- [38]: OMS, (2017). Directives de qualité pour l'eau de boisson, quatrième édition.
- [39]: Drs Evangelia Tzika, Donato Ferrara Et all (2015). Surinfection de plaie chronique par *Pseudomonas aeruginosa*; P:770.
- [40]: Bernard L., (2015), Production d'eau potable, édition DUNOD, paris.
- [41]: BERRAHAL Y., (2019). Evaluation de la matière organique dans les eaux de surface des barrages de l'ouest d'Algérie et évolution des trihalométhanes et le plomb dans le réseau d'eau potable, thèse de doctorat, université DjillaliLiabes ,Sidi Bel-Abbes.

- [42]: Potelon J-L, Zysman K., (1998). Le guide des analyses d'eau potable, la lettre du cadre territorial.253p.
- [43]: Ould Cheikh MEK, El Kacemi K, Idrissi L., (2011). Caractérisation physico-chimique des eaux d'alimentation de la ville de Tijikja (Mauritanie). *Int. J. Biol. Chem.Sci.*, 5(5): 2133-2139.
- [44]: BENGARNIA Benmerine., (2016). Contribution à l'étude et l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la région d'OUED Es-Saoura cas de Beni Abbès, Ougarta et Zeghamra, thèse de doctorat, Université d'Oran 1.
- [45]: COULAIS J.M., (2002). Qualité des eaux et normes de potabilité en deux serves, édition Des ateliers.
- [46]: Luccelleric J., (2002). La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau, paris.
- [47]: CIE, (2005). Centre d'information sur l'eau.www.Cieau.com.
- [48]: CHAY L., (2005). Etude comparative des membranes utilisées en production d'eau potable : microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse, Office International de l'eau, SINDE, Paris.
- [49]: ELKHABBAZE H., (2008). Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nanofiltration et d'osmose inverse, thèse de doctorat, Université de RENNES 1, France.
- [50]: Freund G, Leconte N., (2005). Les procédés à membranes et leurs applications dans l'industrie laitière et fromagère caprine, éditions ITPLC, France.
- [51]: Abdenabi A., (2014). Etude des mécanismes de transfert des orthophosphates à travers une membrane de nanofiltration en mode batch. Effet de la matrice expérimentale sur la sélectivité et modélisation phénoménologique. Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra.
- [52]: ACER, Alfa Azrate., (2008). Procédés de séparation membranaire et leurs applications dans l'industrie alimentaire, Québec.

- [53]: BERLAND JUERY., (2002). Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, document technique N°14 du fonds national pour le développement des adductions d'eau, SNIDE, Paris.
- [54]: METAICHE M., (2014). Polycopié de cours. Technologie membranaire, Université de Bouira.
- [55]: NGUYEN THI H., (2012). Etude des mécanismes de consolidation et d'abrasion du dépôt à l'interface membrane/suspension dans le cas d'une filtration tangentielle de milieux complexes, thèse de doctorat, Université de NANTES.
- [56]: KABA L., (2014). Elaboration de membrane de nanofiltration sur un support composite carbone/zéolite, Mémoire de magister, Université Houari Boumediene.
- [57]: ZAKMOUT M., (2021). Étude mise au point et modélisation d'un procédé utilisant des techniques membranaires. Application aux traitements d'effluents liquides acides contenant des métaux, Thèse de doctorat, Université Houari Boumediene.
- [58]: MORIW-CIRIN Nadia, CRINI Gregorio., (2017). Eaux industrielles contaminées : Réglementation, paramètres chimiques et biologiques et procédés d'épuration innovants, Presses Universitaires de Franche-Comté.
- [59]: KOLLER E., (2001). Génie Chimique, Editions DUNOD, Paris.
- [60]: SERGE A., CARLO O., (2018). L'osmose directe et l'osmose inverse. Technologies ennemies ou complémentaires. Article technique, Canada.
- [61]: TRISANE R., (2014). Chimie PC/PC* : un accompagnement au quotidien, édition de Boeck.

ANNEXES

Annexes

➤ **Définitions**

❖ **Produits séquestrants**

Les séquestrants, au sens chimique, sont des ligands qui forment des complexes chimiques avec les ions métalliques, tels que le cuivre, le fer et le nickel, qui servent comme catalyseurs dans l'oxydation des matières grasses. Donc, ils limitent la concentration de ces cations ainsi, ils sont en quelque sorte des agents conservateurs et des antioxydants. Les séquestrants communs sont :

- Acide éthylène-diamine-tétra-acétique ($C_{10}H_{16}N_2O_8$).
- Acétate de sodium (CH_3COONa).

❖ **Membrane semi-perméable**

Membrane perméable à un liquide (solvant) et imperméable (ou peu perméable) aux substances dissoutes dans le liquide (soluté). Il existe des membranes semi-perméables naturelles (certains tissus animaux et végétaux) et des membranes synthétiques (polyamides, acétate de cellulose) utilisées en osmose inverse.

❖ **Degré français**

Unité de concentration des substances chimiques en solution aqueuse. Un degré français (1°f) équivaut à 10 milligramme par litre.

Cette unité, employée essentiellement en traitement d'eau, est appliquée en particulier à l'expression :

- du titre hydrotimétrique (TH).
- du titre alcalimétrique simple (TA).
- du titre alcalimétrique complet (TAC).
- Chlorures.

➤ **Démonstration de TH (°F)**

En appliquant la loi de la volumétrie on a :

$$N_{CaCO_3} V_{CaCO_3} = N_{EDTA} V_{EDTA}$$

$$TH_{eqg/l} = \frac{N_{EDTA} V_{EDTA}}{V_{CaCO_3}}$$

$$TH_{eqg/l} = \frac{0.02 \times V_{EDTA}}{100}$$

$$TH_{eqg/l} = \frac{0.02 \times V_{EDTA}}{100} \times M_{eq} de CaCO_3$$

$$TH_g/l = \frac{N_{EDTA} V_{EDTA}}{V_{CaCO_3}} \times \frac{Masse molaire CaCO_3}{Valance(Z)}$$

$$TH_g/l = \frac{0.02 \times V_{EDTA}}{100} \times \frac{Masse molaire CaCO_3}{Valance(Z)} = \frac{0.02 \times V_{EDTA}}{100} \times \frac{100}{2}$$

$$TH_{mg/l} = \frac{0.02 \times V_{EDTA}}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000$$

On a 1°F = 10 mg/l de CaCO₃

$$TH_{°F} = \frac{0.02 \times V_{EDTA}}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000 \times \frac{1}{10}$$

$$TH_{°F} = \frac{0.02}{100} \times \frac{100}{2} \times \frac{1}{10} V_{EDTA}$$

$$TH_{°F} = V_{EDTA} \times 1$$

➤ **Démonstration de TA (°F)**

En appliquant la loi de la volumétrie on a :

$$TA_{eqg/l} = \frac{N_{H_2SO_4} V_{H_2SO_4}}{V_{CaCO_3}}$$

$$TA_{eqg/l} = \frac{0.1 \times V_{H_2SO_4}}{100}$$

$$TA_{eqg/l} = \frac{0.1 \times V_{H_2SO_4}}{100} \times \frac{\text{Masse molaire } CaCO_3}{\text{Valance}(Z)}$$

$$TA_g/l = \frac{0.1 \times V_{H_2SO_4}}{100} \times \frac{\text{Masse molaire } CaCO_3}{\text{Valance}(Z)} = \frac{0.1 \times V_{H_2SO_4}}{100} \times \frac{100}{2}$$

$$TA_{mg/l} = \frac{0.1 \times V_{H_2SO_4}}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000$$

On a 1°F=10mg/l de CaCO₃

$$TA_{°F} = \frac{0.1 \times V_{H_2SO_4}}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000 \times \frac{1}{10}$$

$$TA_{°F} = \frac{0.1}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000 \times \frac{1}{10} \times V_{H_2SO_4}$$

$$TA_{°F} = V_{H_2SO_4} \times 5$$

Même démonstration pour le TAC

➤ Démonstration de [Cl⁻]

$$N_{CaCO_3} = [Cl^-]_{eqg/l} = \frac{N_{AgNO_3} V_{AgNO_3}}{V_{CaCO_3}}$$

$$[Cl^-]_{eqg/l} = \frac{0.05 \times V_{AgNO_3}}{100}$$

$$[Cl^-]_{g/l} = \frac{0.05 \times V_{AgNO_3}}{100} \times \text{Meq } Cl^-$$

$$[Cl^-]_{g/l} = \frac{0.05 \times V_{AgNO_3}}{100} \times \frac{\text{Masse atomique } Cl}{\text{Valance}(Z)} = \frac{0.05 \times V_{AgNO_3}}{100} \times \frac{35.5}{1}$$

$$[Cl^-]_{mg/l} = \frac{0.05 \times V_{AgNO_3}}{100} \times 35.5 \times 1000$$

$$[Cl^-]_{mg/l} = 17.75 \times V_{AgNO_3}$$

Résumé

Ce travail a porté sur le suivi des différentes étapes de traitement de l'eau dans la l'entreprise IFRUIT de sa sortie du forage, à son utilisation pour la fabrication des jus fruités et sodas.

Des analyses physico-chimiques tel que (la conductivité, pH, TA, le TAC et teneur en chlorures), et microbiologiques ont été réalisées sur différents points de prélèvements (eau de forage, eau filtrée et l'eau osmosée).

Les résultats physico-chimiques et microbiologiques ont montré que les eaux traitées répondent aux normes de l'entreprise en accord avec les normes algériennes et celles de l'OMS.

Mots clé : Traitement des eaux, analyse physico-chimique, analyse microbiologique, eau de forage, eau filtrée, eau osmosée.

ABSTRACT

This work focused on monitoring the different stages of water treatment in SARL IFRI from its exit from the borehole to its use for the manufacture of fruit juices and sodas.

Physic-chemical analysis such as (conductivity, pH, TA, TAC, and content of chlorides), and microbiological data were carried out at different sampling points (water from borehole, filtered water and reverse osmosis water).

The physic-chemical and microbiological results showed that the treated water meets company standards in accordance with Algerian and those of OMS.

Keywords: water treatment, physic-chemical analysis, microbiological analysis, borehole water, filtered water, reverse osmosis water.