

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A.MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de génie des



Mémoire de fin d'étude

En vue l'obtention du diplôme de

Master

En Génie des procédés

Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Thème

Production des eaux de process au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL-Contribution à leur contrôle de qualité

Réaliser par :

M^{elle} AFIA Akila

M^{elle} BERKANE Katia

Devant le jury de jury composé de

Mr FATMLS	MCA	à l'Université – Bejaia	Président
Mme CHIBANI.N	MCB	à l'Université – Bejaia	Examineur
Mr AZZOUG.M	MCA	à l'Université – Bejaia	Encadreur
Mme BOUARICHE.Z	MAA	à l'Université – Bejaia	Co-promotrice

Année Universitaire 2018/2019

Remerciement

Nos profonds remerciements au bon dieu qui a éclairé notre chemin et qui

nous a donné la foi et le courage pour réaliser ce modeste travail.

*Nous tenons à remercier en premier lieu notre promoteur
Mr AZZOUG Moufok et notre co-promotrice Mme
BOUARICHE Zakia*

de nous avoir encadrés et orientés, ainsi que pour son aide et ses

précieux conseils tout au long de ce travail.

*Nos vifs remerciements s'adressent à toute l'équipe de
laboratoire Cevital, Bejaia*

Spécialement

au personnel du laboratoire des eaux qui nous ont beaucoup aidés et à leur tête Mr DJAOUNE et Mme Mancer .

Nous exprimons aussi notre remerciement à tous les membres de jury et tous

Les responsables, enseignants et membres du département Génie des procédés.

Dédicace

J'adresse, surtout, ma plus profonde gratitude et tout mon amour à ma chère mère, qui a su me faire confiance et me soutenir en toutes circonstances au cours de toutes mes années d'études, c'est avec émotion que je leur exprime toute mon affection, mon admiration et mon profond respect.

Mes dédicaces sont adressées à Mon cher oncle Mustapha et mes frères Nadir et Nadjim, ainsi qu'à mes adorables sœurs Samia, Fatima, Kahina.

à mes cousines Lamia, Nassima, Naima

Mes dédicaces ne seront pas complètes sans cité mes copines : Meriem, Nadjet, Nabila et toute la promotion Génie des procédés de l'environnement 2018 -2019.

à et tous ceux qui me sont chers et qui m'aiment

Melle AFIA. Akila

DEDICACES

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout au DIEU qui nous à aider et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

J'ai l'honneur et le plaisir de dédier ce travail à tous nombreux qui ont partagé cette période importante de ma vie

Tout d'abord aux personnes qui me sont très chères au cœur et qui me suivent inconditionnellement depuis toujours avec leur soutien et bon conseils et encouragement à chaque instant de ma vie : Mes très chers parents, Mes sœurs et frères, à mon précieux oncle Khaled et ça très chère femme Latifa, à toute la famille BERKANE, BOUKLILA et HARBOUB.

A tous mes proches et mes très chères amies, surtout Assia et Sonia.

A tous les collègues, à tt les travailleurs du laboratoire des eaux du Cevital qui ont su mettre cette bonne ambiance et d'être toujours là pour nous écouter et aidée tout au long de ce travail.

A toutes les personnes que j'aime et je tien beaucoup. Merci à vous tous et merci d'être toujours aussi présents.

Melle. BERKANE KATIA.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1: Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive.....	4
Figure I.2: Prélèvement d'eau par secteur d'activité.....	10
Figure I.3: Rapports de prélèvement d'eau par continent.....	11
Figure I.4 : Prélèvement d'eau par secteur en Algérie 2012	12
Figure I.5: Structure des pores du charbon actif	14
Figure I.6 : Échelle des procédés membranaires.....	20
Figure I.7: Principe de l'osmose inverse.....	22
Figure I.8: Modules spirales (P. Danis, 2003)	23
Figure I.9: Modules tubulaires (J-M. Berland, 2002)	24
Figure I.10: Modules fibre creuses (J-M. Berland, 2002)	24
Figure I.11: Schématisation des différents mécanismes de colmatage	25

Chapitre II

Figure II.1: La structure géographique de CEVITAL.....	29
Figure II.2: L'alimentation du complexe CEVITAL	30
Figure II.3: Cycle de l'eau de forage au niveau du complexe agroalimentaire de Bejaia	31
Figure II.4: Photographie d'un filtre à sable au niveau de Cevital.....	32
Figure II.5: Coupe d'un filtre à sable	33
Figure II.6: Photographie d'un Filtre à cartouche.....	34
Figure II.7: Photographie d'un filtre à cartouche bobiné.....	35
Figure II.8: Photographie des lignes d'osmose inverse a CEVITAL.....	35
Figure II.9: Schéma du processus de traitement de l'eau par osmose inverse.....	37

Liste des figures

Figure II.10: Prélèvement d'eau osmosée par différentes unités du complexe du Bejaia au moins d'avril 2019.....	38
--	----

Chapitre III

Figure III.1: Schéma représentant la mesure de la dureté (TH total).....	43
Figure III.2: Schéma explicatif de la mesure de la Dureté calcique	45
Figure III.3: Le schéma du dosage de TA, TAC et Chlorure.....	49

Chapitre IV

Figure IV.1: Variation du pH des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse	54
Figure IV.2: Variation des valeurs de la conductivité des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité d'osmose inverse	55
Figure IV.3: Variation des valeurs de TH totale des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité OI.	56
Figure IV.4: Variation des valeurs de TH calcique des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité OI.....	57
Figure IV.5: Variation des valeurs de TA de l'eau ultra pure.....	57
Figure IV.6: Variation des valeurs de TAC des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité d'osmose inverse	58
Figure IV. 7: Variation de la teneur en chlorures à l'entrée et la sortie de l'unité OI	59
Figure IV.8: variation des teneurs en chlorure des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité OI.....	60
Figure IV.9: Variation de la teneur en manganèse des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité	61
Figure IV.10: Variation de la teneur en aluminium à l'entrée et la sortie de l'unité Osmose inverse	62
Figure IV.11: Variation des teneurs du fer au niveau des différents circuits de traitement de l'eau	63
Figure IV.12 : Variation des teneurs de la silice (SiO ₂) au niveau des différents circuits de traitement.....	64

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux éléments majeurs de l'eau	5
Tableau I.2 : Situation d'une eau selon la demande chimique et biologique en oxygène	6
Tableau I.3 : Classe de turbidités usuelles	6
Tableau 1.4 .Plage de valeur hydrométrique.....	7
Tableau I.5 : Utilisations spécifiques des eaux et niveaux d'exigence maximum de qualité des eaux	13
Tableau I.6 : Principales caractéristiques des différents procédés de séparation membranaire.....	21
Tableau II.1 Consommation d'eau osmosée du différentes unités du complexe Cevital	39

Annexe II

Tableau IV.1 : variation du pH des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse.

Tableau IV.2 : Variation des valeurs de la conductivité des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité d'osmose inverse.

Tableau IV.3 : Variation des valeurs de TH des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

Tableau IV.4 : Variation des valeurs de TH calcique des eaux à l'entrée de l'unité osmose inverse.

Tableau IV.5 : variation des valeurs de TA de l'eau ultra pure.

Tableau IV.6 : variation des valeurs de TAC des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

Tableau IV. 7 : Variation de la teneur en chlorures à l'entrée et la sortie de l'unité osmose Inverse.

Tableau IV.8 : variation des teneurs en chlore des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

Tableau IV.9: variation des teneurs du manganèse totale des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

Liste des tableaux

Tableau IV.10: variation des teneurs d'Aluminium des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

Tableau IV.11 : variation des teneurs en Fer totale des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

Tableau IV.12 : variation des teneurs des silices des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

Liste des abréviations

pH : potentiel Hydrogène.

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TH : Titre Hydrotimétrique (TCa + TMg).

THCa⁺² :Titre calcique.

THMg⁺² : Titre magnésienne.

TD-FLOC:floculant, Alkaline Detergent FLOC

CIP: lavage sur place (Cleaning In Place).

TD WASH 1 Alkaline Detergent wash 1 (Lavage au detergent alcalin 1)

TD WASH 2 Alkaline Detergent wash 2 (Lavage au detergent alcalin 2)

COD : Carbone Organique Dissous

DCO : La Demande Chimique en oxygène

DBO : La Demande biologique en oxygène

DBO5 : C'est La Demande biologique en oxygène est en générale calculer au bout de 5 jours à 20°C et dans le noir

R : résine ;

Y-sol : ion indésirable présent dans la solution à traité

Y : ion fixé par la résine ;

X-sol :ion rejeté de la solution.

Fe:fer

Al:Aluminium

Mg:magnesium

Ca: calcium

Na : sodium

Si : silicium

Cl : chlore

Mn : manganèse

DPD : N, N-diéthyl-1,4-phénylènediamine :

R1, R2, R3, R4 : réactif 1, 2, 3,4.

MES : Matière En Suspension.

nm : nanomètre

µm: micromètre

mm : millimètre

Cm : centimètre

m : mètre

ppm : partie par millions.

ml : Millilitre.

Km³ : kilomètre cube 1000 mètre cube

µs:Micro-siemens

min : minute

N : normalité

V_{EDTA} : volume d'EDTA

V_{AgNO₃} : volume d'AgNO₃

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

H₂SO₄: acide sulfurique

AgNO₃ : Nitrate d'argent.

N.E.T : Noir Eriochrome Toluène.

K₂Cr₂O₄ : Chromate de potassium

°F : Degré Français.

°C : Degré Celsius.

P : pression

π: pression osmotique

HP : haute pression

RN : route national

PET : fabrication d'emballage

TK101 : bacs des eaux osmosés

3000T : 3000 tonne

3500T : 3500 tonne

MF : Microfiltration

UF : ultra-filtration

NF : Nanofiltration

OI : Osmose inverse

NTU : Néphélométric Turbidity Unity

U.C.V : Unité de coloration vraie

OMS : organisation mondiale de santé

Introduction générale

Introduction général	1
Chapitre I	
I.1. Ressources hydriques naturelles	3
I.1.1. Eaux superficielles.....	3
I.1.2. Eaux souterraines	3
I .1.2.1.Les différents types de nappes.....	3
I .2.Substance présentes dans les eaux naturelles.....	4
I.2.1. Matières colloïdales.....	4
I.2.2. Matières dissoutes.....	4
I.2.2.1 les matières dissoutes organiques	4
I.2.2.2 les matières dissoutes minérales.....	4
I.2.3. Les gaz dissous.....	4
I.2.3.1. L'oxygène dissous.....	5
I.2.3.1.1. La Demande chimique en oxygène(DCO.....	5
I.2.3.1.2. La Demande biologique en oxygène(DBO.....	5
I.2.4. Le Gaz carbonique	6
I.3. Propriétés des eaux naturelles	6
I.3.1. Propriétés organoleptiques	6
I.3.1.1. Turbidité.....	6
I.3.1.2. La couleur.....	6
I.3.1.3. Gout et odeur	7
I.3.2. Propriétés physico-chimiques	7
I.3.2.1. Dureté (TH.....	7
I.3.2.2. Acidité	7
I.3.2.3. Alcalinité.....	7
I.3.2.3.1.Titre alcalimétrique (T.A.....	7
I.3.2.3.2.Titre alcalimétrique Complet (T.A.C	8
I.3.2.4. Conductivité.....	8
I.3.2.5. Potentiel d'hydrogène (pH	8
I.3.2.6. Température	8

I.4. Usage de l'eau et ses fonctions en industries	8
I.4.1. Usage spécifique	8
I.4.1.1. Cas de l'industrie agro-alimentaire	8
I.4.2. Usage commun en tant que fluide thermique	9
I.4.3. Aspect quantitatifs et qualitatifs des besoins des eaux industrielles.....	9
I.4.3.1. En terme quantitatifs.....	9
I.4.3.2. En terme qualitatifs	12
I.4.4. Traitement des eaux de process avant utilisation	14
I.4.4.1. Traitements des matières dissoutes	14
I.4.4.1.1. Traitement par Charbon actif	14
I.4.4.1.2. Echangeurs d'ions.....	15
I.4.4.1.2.1. Les type de résines échangeuses d'ions	15
I.4.4.1.2.1.1. Les échangeurs de cations	15
I.4.4.1.2.1.2. Les échangeurs d'anions.....	16
I.4.4.1.3. Modification des caractéristiques calco-carboniques	17
I.4.4.1.3.1. Neutralisation de l'agressivité.....	18
I.4.4.1.3.2. L'adoucissement.....	18
I.4.4.1.3.2.1 Principe.....	18
I.4.4.1.3.2.2. Adoucissement-décarbonatation à la chaux	18
I.4.4.1.3.2.3. Adoucissement par permutation sodique.....	19
I.4.4.1.3.2.3.1. Les étapes de régénération de la résine.....	19
I.4.4.1.4. Séparation membranaire.....	19
I.4.4.1.4.1 filtration membranaire par osmose inverse.....	21
I.4.4.1.4.1.1 osmose directe	21
I.4.4.1.4.1.2 Osmose inverse	22
I.4.4.1.4.1.3 Modules d'osmose inverse	22
I.4.4.1.4.1.4 les limite de procédés osmose inverse	25
I.4.4.2. Traitement des matières particulaires	26
I.4.4.2.1. Coagulation	26
I.4.4.2.2. Flocculation	26
I.4.4.2.3. Décantation.....	26
I.4.4.2.4. Flottation.....	27

I.4.4.2.5. Filtration..... 27

Chapitre II

II.1. Historique 28

II.2. Situation géographique..... 28

II. 3.Principaux pôles de l’entreprise au niveau du complexe de Bejaia 29

II.4. Production d’eau de process au niveau de l’entreprise 30

II.4.1. Sources et Besoins en eau de l’entreprise 30

II.4.2.Cycle de traitement de l’eau au niveau du complexe de Bejaia 30

II.4.3.Traitement de l’eau au niveau de Cevital avant son utilisation 32

II.4.3.1. Système de pré- traitement..... 32

II.4.3.1.1. La désinfection..... 32

II.4.3.1.2. Filtres à sable de manganèse 32

II.4.3.1.2.1. Contre lavage..... 33

II.4.3.1.3. La déchloration 33

II.4.3.1.4. Dosage de produits biocides 34

II.4.3.1.5. Filtration par cartouche 34

II.4.3.1.6. Dosage de produit séquestrant 35

II.4.4. Système d’osmose inverse 35

II.4.4.1. Nettoyageon place CIP (Cleaningin Place) 36

Chapitre III

III-Méthodes d’analyses 40

III-1 Méthodes électrochimiques..... 40

III-1-1 Le potentiel d’hydrogène (pH) 40

III-1-2 La conductivité..... 40

III-2 Méthodes Titrimétriques..... 41

III-2-1 Le titre hydrotimétrique total (dureté total)	41
III-2-2 Le titre hydrotimétrique calcique (TH Ca ⁺⁺)	44
III.2.3 Le titre alcalimétrique (TA)	46
III-2-4 Le titre alcalimétrique complet(TAC)	46
III-2-5 Dosage des chlorures par la méthode de « MOHR »	47
III-3 Méthodes spectrophotométriques	50
III-3-1 Le Fer NANOCOLOR® Fer 3Test 0-37 Art. N° 985 037.....	50
III-3-2 La Silice: NANOCOLOR® Silice Test 1-48Art. N° 918 48	50
III-3-3 Le chlore libre: NANOCOLOR® Chlore Test 1-16.....	51
III-3-4 Le manganèse	52
III-3-5 Aluminium	53
Chapitre IV: interprétations et discussions des résultants	
IV-1 le potentiel d'hydrogène (pH)	54
IV-2 la conductivité	55
IV-3 le titre hydrotimétrique total TH (dureté totale)	56
IV-4 le titre hydrotimétrique calcique TH _{ca}	57
IV-5 le titre alcalimétrique (TA)	58
IV-6 le titre alcalimétrique complet	58
IV-7 les chlorures Cl ⁻	59
IV-8 La teneur en Chlore libre CL ₂	60
IV-9 La teneur en Manganèse.....	61
IV-10 La teneur en Aluminium	62
IV-11 La teneur en Fer	63
IV-12 La teneur en silice SiO ₂	64
Conclusion générale	65

Introduction générale

Introduction générale

En industrie agro-alimentaire, l'eau est une matière première incontournable et ses usages sont multiples. Elle peut être utilisée dans le processus de fabrication et ainsi être mise au contact direct des denrées alimentaires, incorporée directement comme ingrédient lors de la préparation des aliments, utilisée dans les systèmes de refroidissement et de production de vapeur, dans le lavage, le nettoyage et la désinfection ainsi que dans l'hygiène des locaux et du personnel de l'entreprise (**Gheret.S, 2017**).

Les industries agro-alimentaires modernes ne s'intéressent plus seulement à la qualité du produit final, mais sont aussi très attentives à la qualité des eaux mises en jeux. En effet, toutes les eaux susceptibles d'être en contact avec les denrées alimentaires et qui transitent par les installations de l'entreprise doivent faire l'objet d'analyses régulières et doivent répondre à des critères de qualité stricts. Cependant, les ressources hydriques alimentant les entreprises agro-alimentaires à savoir les eaux souterraines et les eaux de surface (barrages, lacs et rivières) répondent malheureusement rarement à l'ensemble de ces contraintes de qualité (**Gheret.S, 2017**).

Ces eaux peuvent, en l'absence de traitement engendrer des désordres dans les installations de l'entreprise (entartrage, encrassement, biofilms et corrosion). En outre, une eau de mauvaise qualité peut contaminer la production. Pour ces raisons, très souvent, les industries agro-alimentaires procèdent à des traitements spécifiques des eaux naturelles afin de produire une eau qui puisse satisfaire leurs exigences de qualité (**Gheret.S, 2017**).

C'est dans ce contexte que se situe notre mémoire de fin d'étude. En effet, afin d'assurer une première immersion dans le secteur du cycle de l'eau en industrie, on a eu à effectuer un stage pratique au sein de l'entreprise CEVITAL de Béjaia. Au cours de ce stage, il a été question de travailler sur le contrôle de qualité physico-chimique des eaux de process en suivant les différentes étapes de leur traitement.

Notre présent travail s'articulera autour de quatre axes principaux : Le premier chapitre sera consacré à une synthèse bibliographique sur l'eau, ses propriétés et son utilisation dans le secteur industriel. En outre, quelques généralités sur les procédés de traitement et de production d'eau de process sont abordées. Le deuxième chapitre se focalisera sur la description de l'entreprise CEVITAL et le cycle de l'eau de process au sein de cette entreprise.

Le troisième chapitre, quant à lui, sera consacré à la description des protocoles analytiques suivis pour mesurer les paramètres physico-chimiques des eaux au cours du traitement. Enfin, dans le quatrième chapitre, nous présenterons les principaux résultats de ce stage pratique.

CHAPITRE I
Généralités sur les Eaux

I.1. Ressources hydriques naturelles

I.1.1. Eaux superficielles

Les eaux superficielles représentent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique de ces eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés 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. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement (**Dégréement, 2005**).

I.1.2. Eaux souterraines

L'eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre. Elle provient principalement de l'infiltration des eaux superficielles ; accessoirement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques ou dans les pores du sol. Des hypothèses font intervenir aussi la condensation des gaz émis par le magma, l'infiltration des eaux marines, la diagénèse ou transformation des roches meubles en roches compactes par expulsion de l'eau. Les eaux résiduelles se sont accumulées dans d'anciens bassins au cours d'ères géologique révolues. Elles formeraient les eaux profondes.

Ces masses d'eaux souterraines accumulées dans les fissures du sous-sol forment les nappes phréatiques et ne sont généralement accessibles que par les puits ou les forages.

I.1.2.1. Les différents types de nappes

✓ **Nappe libre**

Ce sont des nappes dont la surface est libre. Leurs niveaux fluctuent donc sans contrainte car ces nappes ne sont pas confinées par une couche imperméable au-dessus d'elles. Elles sont souvent peu profondes. Par opposition aux nappes captives.

✓ **Nappe captive**

Lorsque la nappe est emprisonnée entre deux couches imperméables, elle ne peut se développer vers le haut et est alors appelée nappe captive (Figure I.1) (**BONNIN, 1982**).

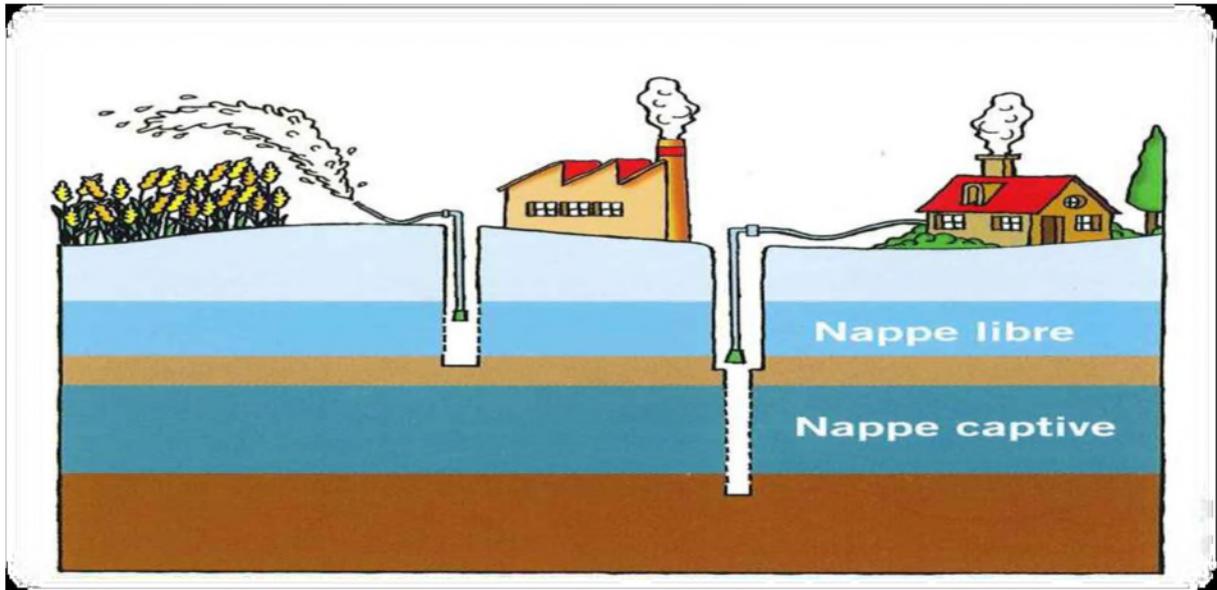


Figure I-1 : Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive

I.2. Substance présentes dans les eaux naturelles

I.2.1. Matières colloïdales

L'état colloïdal est un état intermédiaire entre l'état dissous et la suspension.

Les matières colloïdales sont constituées d'éléments de petite taille chargés négativement, ce qui explique qu'ils se repoussent et se répartissent de façon dispersée et désordonnée dans la masse liquide. Aussi, leur élimination de l'eau à traiter est difficile car elles ne décantent pas de manière spontanée et sont peu retenues par les filtres. Leur élimination nécessite des réactifs chimiques qui neutralisent les charges négatives superficielles et permettent leur agrégation (**Rodier, 2009**).

I.2.2. Matières dissoutes

I.2.2.1 Les matières dissoutes organiques

Les matières organiques sont présentes de manière naturelle dans les cours d'eau et proviennent de la mort des organismes vivants animaux et végétaux des cours d'eau et de ses abords. Elles sont aussi issues des rejets liés aux activités humaines. Elles peuvent être source de pollution pour l'eau au-delà d'un certain seuil. La qualité de l'eau en matières organiques est traduite au travers de plusieurs indicateurs. Parmi eux le taux d'oxygène dissous et le taux de Carbone Organique Dissous (COD). Pour ce dernier l'objectif fixé pour l'atteinte du bon état est de 7 mg/L (pour 90% pour des prélèvements) (**Rodier, 2009**).

I.2.2.2 les matières dissoutes minérales

Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions et cations, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circulent à leur contact (Tableau I.1).

Les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau sont réunis dans le tableau.

Tableau I.1 : Principaux éléments majeurs de l'eau (Régis et al, 2011)

Types de minéraux	Anions	Cations
Sels minéraux	Carbonates	Sodium
	Bicarbonates	Calcium
	Silicates	Magnésium
	Sulfates	Fer
	Chlorures	Potassium
	Nitrates	

I.2.3. Les gaz dissous

L'eau contient toujours des gaz dissous dont les concentrations dépendent notamment de la température ainsi que de la composition et de la pression de l'atmosphère avec laquelle elle est en contact. La loi d'HENRY appliquée à la solubilité des gaz dans l'eau pure, prévoit que, la concentration dissoute d'un composé gazeux dans l'eau est directement proportionnelle à la pression partielle de ce composé dans la phase gazeuse au contact de l'eau (Rodier, 2009).

I.2.3.1. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'environnement aqueux puisqu'il est le paramètre limitant de la principale voie de biodégradation de la pollution organique. (GOMELLA et al, 1998)

I.2.3.1.1. La Demande chimique en oxygène(DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières biodégradables et non biodégradables par voie chimique (HAMDANI, 2002).

I.2.3.1.2. La Demande biologique en oxygène (DBO)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par voie biologique (oxydation des matières organiques biodégradables par des bactéries). Elle est en général calculée au bout de 5 jours à 20°C et dans le noir, On parle alors de DBO5. C'est un paramètre intéressant pour l'appréciation de la qualité des eaux : dans les eaux naturelles pures, elle est inférieure à 1mg (O2)\L (GOMELLA et GUERREE, 1978) .Quand elle dépasse les 9mg/L l'eau est considérée comme étant impropre (tableau I.2).

Tableau I.2 : Situation d'une eau selon la demande chimique et biologique en oxygène.
(GOMELLA et GUERREE, 1978).

Situation	DBO5 en mg /L	DCO en mg/L
Très bonne	Jusqu'à 3	Jusqu'à 20
Bonne	6	25
Moyenne	10	40
Médiocre	25	80
Mauvaise	>25	>80

I.2.4. Le Gaz carbonique

Il intervient dans les propriétés organoleptique (gout, odeur,....etc.), c'est aussi un élément majeur de système calco-carbonique ainsi, il joue un rôle important dans l'équilibre physico-chimique de l'eau. (Tardat-Henry, 1984)

I.3. Propriétés des eaux naturelles

I.3.1. Propriétés organoleptiques

I.3.1.1. Turbidité

La turbidité se définit comme étant l'inverse de la transparence d'une eau naturelle peut être altérée par la présence de particules en suspension et de matières colloïdales (grains de silice, limons, argiles, micro-organismes,...). L'unité de mesure est NTU, (Néphélobométrique Turbidity unity), (Tableau1.3). (Desjardins, 1984)

Tableau I.3 : Classe de turbidités usuelles (NTU, néphélobométrique Turbidity Unity).

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

I.3.1.2. La couleur

Dans les eaux naturelles, la couleur montre l'existence des pollutions organique ou minérale. Pour l'eau de consommation, le degré de couleur maximale acceptable est de (15U.C.V) (Unité de Coloration Vraie) selon l'O.M.S (Desjardins, 1990).

Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour l'eau de boisson, car elle provoque toujours un doute sur la potabilité.

I.3.1.3. Gout et odeur

Le gout et l'odeur sont les seules propriétés organoleptiques, ils sont extrêmement objectifs, car il n'existe jusqu'ici aucun appareil pour les mesurer. Selon les physiologistes il n'existe que quatre saveurs fondamentales et qui sont : sucré, salé, aigre et amère. Dans l'eau, les odeurs sont dues à la présence de substances organiques en décomposition, une eau potable doit être inodore et d'une saveur agréable lors de la dégustation (**Gamerasni, 1986**).

I.3.2. Propriétés physico-chimiques

I.3.2.1. Dureté (TH)

Le titre hydrotimétrique (TH), ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est due uniquement aux ions calcium et magnésium.

La dureté s'exprime en ppm ou mg/l de CaCO_3 ou en degrés français ($^{\circ}\text{F}$), un degré français correspond à 10 ppm de calcaire représentent $10^{-4} \text{ mol.l}^{-1}$ de calcium, soit 4mg/L de Ca^{2+} ou encore 2,4 mg de magnésium par litre d'eau :

$$\text{TH} = 10 ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) \text{ avec les concentrations en mmol/l}$$

La classification de la dureté de l'eau est résumée dans le tableau 1.4.

Tableau 1.4. Plage de valeur hydrométrique (**Dégréement, 2005**).

TH ($^{\circ}\text{f}$)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+40
Eau	Très douce	Douce	Plutôt dure	Dure	Très dure

I.3.2.2. Acidité

L'acidité de l'eau se définit par une quantité, exprimée en milliequivalent par litre d'eau, de base forte qui doit être utilisée pour neutraliser les acides forts contenus dans un échantillon, ramené ainsi à un pH de 7.

I.3.2.3. Alcalinité

L'alcalinité de l'eau se définit comme sa capacité à absorber des ions H^+ libérés par un acide fort durant un titrage jusqu'à un point déterminé (point d'équivalence).

Par convention, on exprime le T.A (Titre Alcalimétrique) et le T.A.C (Titre Alcalimétrique Complet) en ($^{\circ}\text{F}$).

I.3.2.3.1. Titre alcalimétrique (T.A)

C'est le volume d'acide exprimé en ml à 0.02 mol.l^{-1} en ions H_3O^+ nécessaire pour doser 100 ml d'eau. Le T.A. s'exprime en degrés français ($^{\circ}\text{F}$) :

$$1^{\circ}\text{F} = 3,4 \text{ mg/l d'ion hydroxyde } \text{HO}^- \text{ ou } 6,0 \text{ mg/l d'ion carbonate } \text{CO}_3^{2-}$$

I.3.2.3.2. Titre alcalimétrique Complet (T.A.C)

Le titre alcalimétrique complet correspond au volume d'acide nécessaire pour neutraliser les ions bicarbonates HCO_3^- en complément des ions carbonates CO_3^{2-} dans 100 ml d'échantillon :

$$\text{TAC} = [\text{HO}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

I.3.2.4. Conductivité

La conductivité est la capacité d'une solution, d'un métal ou d'un gaz – autrement dit de tous les matériaux – à faire passer un courant électrique.

Dans une solution, ce sont les anions et les cations qui transportent le courant. L'unité de mesure de ce paramètre est le $\mu\text{S}/\text{cm}$. Chaque substance possède un certain degré de conductivité. Pour les solutions aqueuses, le niveau de la force ionique s'étend des très faibles conductivités pour les eaux ultra pures jusqu'aux très fortes conductivités pour des échantillons chimiques concentrés.

I.3.2.5. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est une grandeur sans unité. Un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. L'eau pure contient la même quantité même si c'est en proportion très faible d'ions hydronium H_3O^+ et hydroxyde HO^- . Elle est neutre Car pour un milieu donné, le pH est fonction de la concentration en ions hydronium. Il est donné par la relation suivante :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+].$$

Un milieu acide contient donc plus d'ions hydroniums que l'eau pure. Par contre, un milieu basique compte plus d'ions hydroxydes que l'eau pure.

I.3.2.6. Température

La température de l'eau, est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (Abdrezak, 2014).

I.4. Usage de l'eau et ses fonctions en industries

I.4.1. Usage spécifique

I.4.1.1. Cas de l'industrie agro-alimentaire :

L'eau est une matière première incontournable dans l'industrie agroalimentaire car elle est partout :

- ✓ dans les matières premières ;
- ✓ dans les systèmes de refroidissement ;

- ✓ dans le process (lavage, nettoyage, désinfection...);
- ✓ dans les installations sanitaires.

Toutes les eaux susceptibles d'être en contact avec les denrées alimentaires doivent faire l'objet d'analyses régulières. Une eau de mauvaise qualité peut contaminer votre production et le risque est souvent sous-estimé.

Dans ces applications, les critères de qualité de l'eau dépendent directement du procédé industriel et sont spécifiques aux industries concernées. Des spécifications qualitatives sont alors émises soit par les centres techniques du métier, soit par les services ingénierie des grands groupes industriels, soit également par la réglementation dans le cas notamment des industries alimentaires. En tant que fluide de nettoyage des équipements, l'eau permet de préparer et de véhiculer les solutions de nettoyage (lessives ou produits désinfectants), d'effectuer les rinçages et d'évacuer les salissures (**Gheret, 2017**).

I.4.2. Usage commun en tant que fluide thermique

Elle participe de façon indirecte à la production en tant que fluide thermique (production de vapeur, eau chaude, eau de refroidissement, eau glacée...). Pour cet usage, l'eau véhicule et échange la chaleur et le froid au sein d'un site industriel.

Les contraintes de qualité de l'eau dans ce type d'applications ne sont pas dépendantes de la nature de l'industrie, mais sont liées aux caractéristiques intrinsèques de la chaudière, du circuit de refroidissement, du circuit d'eau glacée. On va aussi retrouver dans les utilités l'eau pour les réseaux incendie des grands sites industriels (**Gheret, 2017**).

I.4.3. Aspect quantitatifs et qualitatifs des besoins en eau en industries

L'industrie recouvre une gamme d'utilisations extrêmement variables, tant en quantité qu'en qualité.

I.4.3.1. En terme quantitatifs

La quantité de précipitation qui tombe sur la terre s'élève à presque 110 000 km³ par an. Près de deux tiers s'évapore de la terre ou est transpiré par la végétation (forêts, pâturages, terres cultivées). Les autres 40 000 km³ par an sont convertis en eaux de surface (rivières et lacs) et eaux souterraines (aquifères). Ce sont les ressources en eau renouvelables.

Trois types de prélèvement sont considérés dans AQUASTAT : le prélèvement d'eau par l'agriculture, les municipalités (les collectivités incluses) et les industries.

Au niveau mondial, 70 % de l'eau prélevée est prélevé par l'agriculture, 11 % par les municipalités et 19 % par les industries (Figure I.2) Mais ces rapports sont fortement influencés par les quelques pays qui ont un prélèvement très élevé (<http://www.fao.org>).

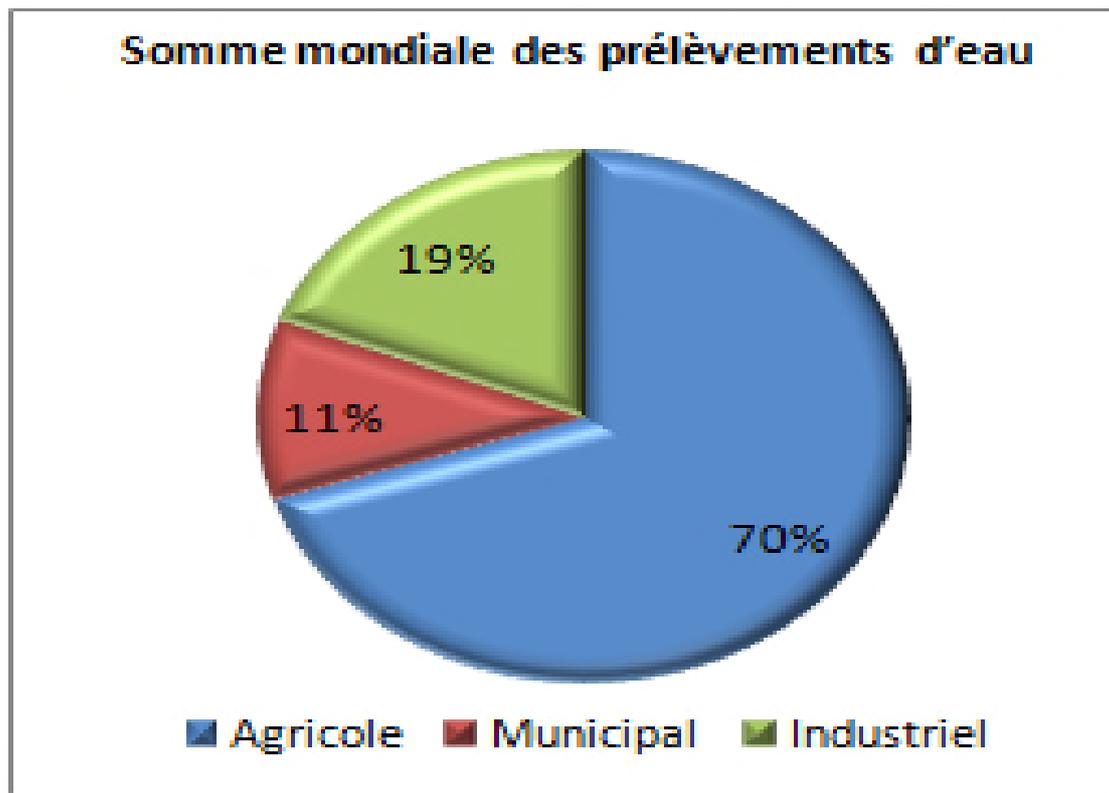


Figure I.2 : prélèvement d'eau par secteur d'activité (<http://www.fao.org>)

Une grande différence existe également entre les régions, allant de 81, 9 et 10% les prélèvements agricoles, municipaux et industriels respectivement en Asie du Sud à 21, 22 et 57% respectivement en Europe occidentale.

Au niveau mondial, l'importance des volumes prélevés pour l'agriculture dépend principalement du climat et de la place de l'agriculture dans l'économie. Le graphique ci-dessous montre les rapports de prélèvement d'eau par continent, où la partie agricole varie de plus de 80 % en Afrique en Asie à un peu plus de 20 % en Europe (FigureI.3) (<http://www.fao.org>).

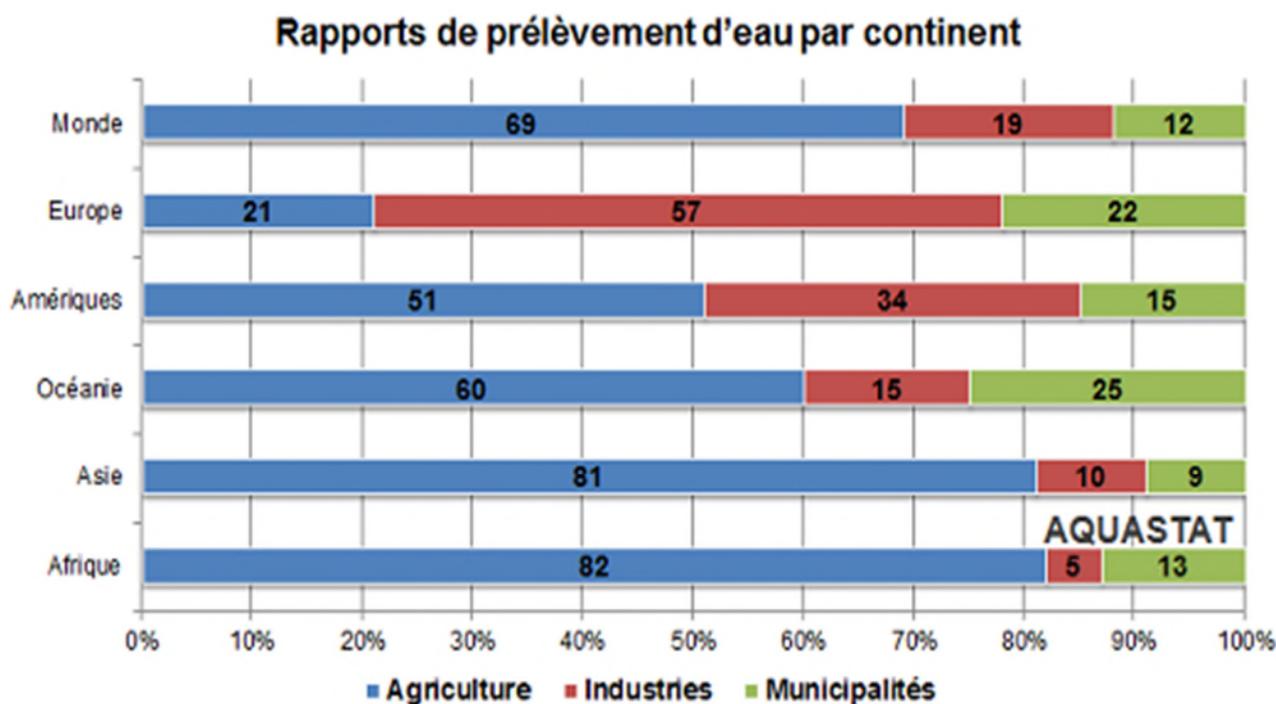


Figure I.3 Rapports de prélèvement d'eau par continent (<http://www.fao.org>).

➤ **En Algérie**

En Algérie, les ressources en eau prélevées en 2012 sont estimées à 8 425 millions m³, dont 4 800 millions m³ provenant d'eau superficielle, 3 000 millions m³ d'eau souterraine, soit bien au-delà du volume renouvelable annuel, 615 millions m³ d'eau dessalée (Eurostat, 2015) et 10 millions m³ d'eaux usées traitées directement utilisées. Les prélèvements attribués à chacun des secteurs ne sont pas entièrement connus : la part de l'agriculture semble correspondre à 59 pour cent soit 4 990 millions m³ et la part des industries à 5 pour cent, soit 415 millions m³. Le prélèvement des municipalités est donc estimé à 36 pour cent, soit 3 020 millions m³ (Figure I.4).

FIGURE 2
Prélèvements d'eau par secteur
Total 8 425 millions m³ en 2012

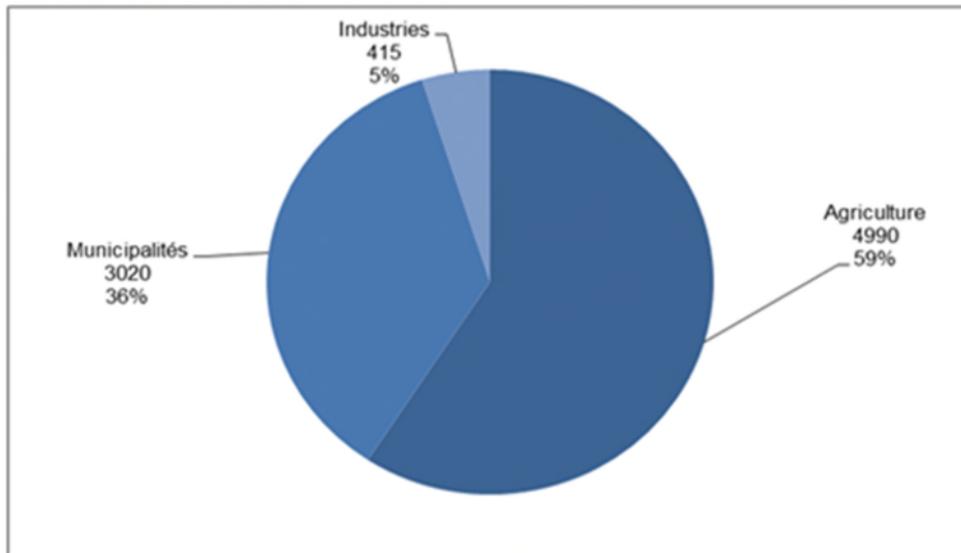


Figure I.4 : prélèvement d'eau par secteur en Algérie en 2012
(<http://www.fao.org>).

I.4.3.2. En terme qualitatifs

Il n'existe pas de qualité intrinsèque d'une eau, mais des qualités d'eau qui permettent de satisfaire tel ou tel usage. On peut d'ores et déjà énoncer que la qualité de l'eau sera d'autant plus poussée que l'eau va être en contact avec un produit fabriqué très sensible (cas de l'industrie pharmaceutique ou de la fabrication des semi-conducteurs) Les spécifications caractérisant l'eau au point d'usage varient d'une utilisation à l'autre (tour de refroidissement, chaudière, processus de fabrication...) et en fonction des équipements et des processus de production propres à chaque industrie (Tableau I.5) (**Gheret, 2017**).

Tableau I.5 : Utilisations spécifiques des eaux et niveaux d'exigence maximum de qualité des eaux (Gheret, 2017).

		Niveau d'exigence en terme qualité des eaux			
Eau ultra-pure					Electronique, pharmacie, boissons non alcoolisées.
Eau potable					Lait, viande, boissons, chimie de base, chimie de spécialités.
Eau de processus		Raffinage, fonderie, sidérurgie, métallurgie, traitement de surface, sucrerie.		Papier-carton, IAA 2e transformation, laboratoires photographiques, blanchisseries.	
Eaux industrielles	Automobile, BTP, travail du bois, industries extractives, récupération, verre, assemblage, équipement mécanique				
					Type d'utilisation des eaux →
	Transport, lavage des matières premières, eaux de refroidissement	Production de vapeur, traitements électrolytiques, lavage équipements	Agent de fabrication, lavage produits semi-finis ou finis		Addition au produit, lavage, rinçage

I.4.4. Traitement des eaux de process avant utilisation :

I.4.4.1. Traitements des matières dissoutes :

I.4.4.1.1. Traitement par Charbon actif :

On appelle charbon actif tout charbon ayant subi une préparation particulière et qui, de ce fait, possède à un haut degré la propriété de fixer et de retenir certaines molécules amenées à son contact. (Dégréement, 2009). Le charbon actif est un adsorbant avec une structure poreuse bien développée formée majoritairement par des micropores et des mésopores de différents diamètres (Figure I.5) (Mel et al, 2004). Il possède ainsi une très grande surface spécifique pouvant aller de 100 à 2000 m²/g d'où sa grande capacité d'adsorption.



Figure I.5 : Structure des pores du charbon actif. (Alabed, 2007)

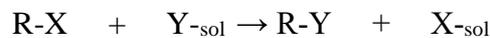
La filtration sur charbon actif consiste à biodégrader et oxyder les matières organiques ainsi qu'éliminer ou absorber certains micropolluants (organiques, minéraux) pour améliorer le goût, l'odeur et la couleur de l'eau (Dégréement, 1978). L'eau est pompée dans une colonne qui contient du charbon actif, cette eau quitte la colonne à travers un système drainant. L'activité de la colonne de charbon actif dépend de la température et de la nature des substances. L'eau passe à travers la colonne continuellement, ce qui entraîne une accumulation des substances sur le filtre. Pour cette raison, le filtre a besoin d'être remplacé périodiquement. Un filtre utilisé peut être régénéré de différentes façons, le charbon granulaire peut être régénéré facilement en oxydant la matière organique. L'efficacité du charbon actif diminue alors de 5 à 10%. Une petite partie du charbon actif est détruite pendant le processus de régénération et doit être remplacée (Khezami, 2018).

I.4.4.1.2. Echangeurs d'ions

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles comportent dans leur structure moléculaire des radicaux acides ou basiques susceptible de permuter, sans modification apparente de leur aspect physique, et sans altération ou solubilisation, les ions positifs ou négatifs fixés sur ces radicaux, contre des ions de même signe se trouvant en solution dans le liquide à leur contact. Cette permutation appelée échange d'ions permet de modifier la composition ionique du liquide, objet du traitement, sans modification du nombre total d'ions existant dans ce liquide au début de l'échange (**Desjardins, 1990**).

Les échangeurs d'ions les plus employés actuellement sont des composés synthétique, organique et sont généralement tout désignés sous l'appellation de résines.

La réaction d'échange peut s'écrire comme suit :



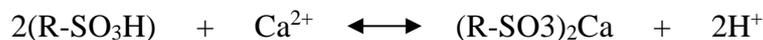
I.4.4.1.2.1. Les type de résines échangeuses d'ions

Il existe deux grands groupes d'échangeurs d'ions

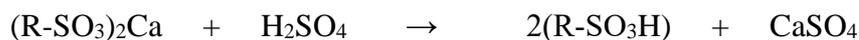
I.4.4.1.2.1.1. Les échangeurs de cations :

➤ Les échangeurs de cations forcément acides

Ils sont caractérisés par la présence de radicaux sulfonique HSO dont les acidités sont voisines de celles de l'acide sulfonique. Ces résines peuvent briser les liaisons des sels neutres et en libérer les acides associés.

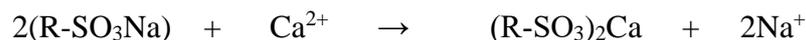


Lorsque la résine est saturée d'ion calcium, on doit la régénérer à l'aide d'une solution de HCl ou de solution de H₂SO₄, on a alors la réaction de régénération suivante :



L'efficacité de régénération de ces résines est d'environ 30 à 50 %. Rappelons que le CaSO₄ est relativement insoluble et qu'il risque de précipiter dans l'échangeur. Il est donc courant d'effectuer d'abord une première régénération avec du NaCl.

On peut également surmonter cette difficulté en utilisant du HCl ou bien recourir à une résine qui réagit au cycle de sodium ; on a alors la réaction suivante :

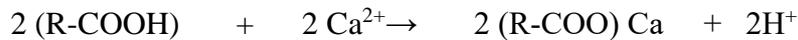


Lorsque cette résine est saturée, on doit la régénérer à l'aide d'une solution concentrée de NaCl selon la réaction suivante :

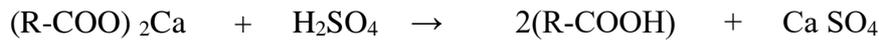


➤ **Les échangeurs de cations faiblement acides :**

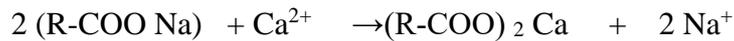
Ils sont caractérisés par la présence de radicaux carboxylique COOH. Ces résines peuvent attirer les cations associés à l'alcalinité de l'eau et libérer de l'acide carbonique.



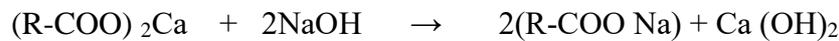
Lorsque cette résine est saturé, on peut la régénérer à l'aide d'une solution concentré de HCl ou de H₂SO₄ :



On peut également utiliser une résine qui réagit au cycle du sodium ; dans ce cas on a :



On peut alors régénérer cette résine à l'aide d'une solution NaOH, selon la réaction suivante :



L'efficacité de la régénération d'une résine faiblement acide est d'environ 100%. Son utilisation est cependant limitée aux eaux dont le pH est supérieur à 7 et dont l'alcalinité est élevée (**Desjardins, 1990**).

I.4.4.1.2.1.2. Les échangeurs d'anions

Les échangeurs d'anions renferment des radicaux à fonctions basiques, par exemple des fonctions amines tertiaires ou ammonium quaternaire, susceptibles de fixer des anions minéraux ou organiques et de les échanger, soit entre eux, soit avec l'ion hydroxyde OH⁻.

On peut subdiviser les résines échangeuses d'anions en deux groupes : les échangeurs fortement basiques et les échangeurs faiblement basiques. (**Dégréement, 1978**)

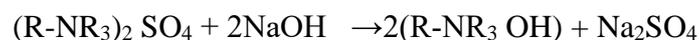
➤ **Les échangeurs d'anions fortement basiques**

Les échangeurs fortement basiques fixent les acides faibles comme l'acide carbonique ou la silice des eaux. Ils peuvent également libérer les bases de leurs sels.

Le fait que ces résines puissent libérer les bases de leurs sels constitue la seule façon d'éliminer la silice des eaux. On retrouve des résines qui réagissent au cycle de l'ion hydroxyle ; les réactions sont alors suivantes :



On peut régénérer ces résines à l'aide d'une solution de NaOH ; on a alors :



Ou



D'autres résines réagissent au cycle de l'ion chlorure ; ainsi



On peut régénérer ces résines à l'aide d'une solution concentrée de NaCl ou de HCl ; on a alors :

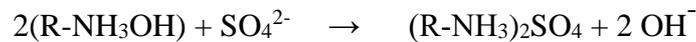


L'efficacité de régénération de ces résines est de 30 à 50 %. (**Dégréement, 1978**)

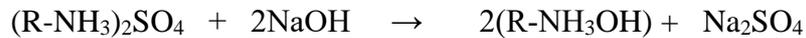
➤ Les échangeurs d'anions faiblement basiques

Ces résines ne fixent pas les acides comme le H_2CO_3 ou H_2SiO_3 ; elles sont donc surtout efficaces pour l'élimination des acides forts.

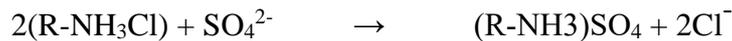
Certaines résines faiblement basique réagissent au cycle de l'ion hydroxyde ; ainsi



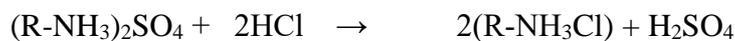
On peut régénérer ces résines à l'aide d'une solution concentrée de NaOH, ou de Na_2CO_3 :



D'autres résines réagissent au cycle de l'ion chlorure ; dans ce cas, on a :



On peut régénérer ces résines à l'aide de HCl ; ainsi :



I.4.4.1.3. Modification des caractéristiques calco-carboniques.

L'équilibre calco-carbonique d'une eau est un état d'équilibre chimique dans lequel les concentrations en dioxyde de carbone, hydrogénocarbonates anciennement désignés par bio carbones et carbonates ne varient pas en présence de carbonate de calcium.

Cet équilibre est un cas particulier des notions générales d'équilibre chimique.

Lorsque l'on soumet des eaux à un traitement complet avant leur distribution, il n'est pas rare que le pH de sortie soit inférieur à 6,5. La nécessité de limiter la corrosion des conduites de distribution en acier, amène le producteur à ajuster (par valeur supérieure) le pH à une valeur proche du pH d'équilibre, dit aussi pH de saturation (pHs) qui fait référence à l'équilibre du carbonate de calcium. Dans le même temps il est important de maintenir une eau qui ne soit ni trop douce, ni trop dure (**Desjardins, 1990**).

La corrosivité est le résultat de l'interaction électrochimique entre le caractère électrolytique de l'eau (présence d'anions et de cations) et le métal. Cette interaction conduit à la dissolution du métal et sa transformation en oxydes insolubles (le plus connu : acier + eau = rouille). On mesure le degré de corrosivité par la conductivité (en $\mu\text{Siemens}$). Moins il y a de cations et d'anions dans l'eau, moins cette eau sera corrosive.

L'agressivité est la tendance à dissoudre du carbonate de calcium dans l'eau ; elle est due au CO₂ libre présent dans l'eau. Une eau agressive est généralement corrosive mais pas l'inverse **(Desjardins, 1990)**.

I.4.4.1.3.1. Neutralisation de l'agressivité

Dans certains cas, lorsque l'on ne désire pas augmenter la salinité de l'eau (en particulier en sortie d'une décarbonatation sur résine carboxylique), on la réalise par élimination physique du CO₂ agressif dans une aération ouverte.

Dans d'autres cas, il est préférable de pratiquer cette neutralisation par voie chimique ; on utilise alors la soude, la chaux ou le carbonate de sodium. C'est la chaux, du fait de son prix, qui est le réactif le plus fréquemment employé ; on a intérêt dans ce cas à utiliser un saturateur de chaux, qui retient les incrustations et fournit une eau de chaux limpide. On peut aussi filtrer l'eau sur un carbonate alcalino-terreux granulé (exemple : Neutralité, Neutralg, marbre, etc.).

Ces traitements de neutralisation chimique conduisent à un accroissement de la minéralisation de l'eau (TAC et dans le cas de l'utilisation de produits alcalino-terreux, TH). Si les titres résultants sont insuffisants, par exemple pour éviter que l'eau soit corrosive vis-à-vis des conduites métalliques bien qu'étant à l'équilibre calco-carbonique, il faut mettre en œuvre une reminéralisation complémentaire **(Gheret, 2017)**.

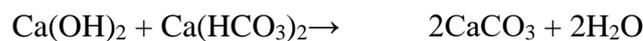
I.4.4.1.3.2. L'adoucissement

I.4.4.1.3.2.1 Principe

Dans cette catégorie de procédés, on élimine simultanément la dureté (TCa et éventuellement TMg) et les bicarbonates et carbonates (TAC) qui lui sont associés. On distingue les procédés à la chaux et sur résine.

I.4.4.1.3.2.2. Adoucissement-décarbonatation à la chaux

Ce traitement, qui est mis en œuvre dans un réacteur-décanteur, abaisse les titres en calcium et en magnésium de l'eau par précipitation sous forme de carbonate et d'hydroxyde, respectivement ; on assiste donc simultanément à un abaissement du TAC, d'où le nom du procédé qui est basé sur les réactions suivantes : **(Gheret, 2017)**



Puis, avec un excès de chaux :



I.4.4.1.3.2.3. Adoucissement par permutation sodique

L'adoucissement sur résines échangeuses de cations sous la forme ionique sodium permet la substitution, aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+} présents dans l'eau, d'ions Na^+ fixés sur la résine. Lorsque la résine est saturée, on la régénère avec une saumure concentrée (NaCl) : l'équilibre est alors redéplacé de la droite vers la gauche. Dans cette technique, l'eau qui a percolé au travers de la résine en sort complètement adoucie (TH voisin de zéro), mais contrairement à la technique de la décarbonatation, son alcalinité et sa minéralisation globale ne sont pas modifiées : ses sels de calcium et de magnésium se sont transformés en sels de sodium.

L'adoucissement sur résine s'applique exclusivement aux eaux naturellement claires ou clarifiées par un traitement préalable. Il présente l'intérêt de pouvoir être effectué sous pression (Gheret, 2017).

I.4.4.1.3.2.3.1. Les étapes de régénération de la résine :

La régénération comporte trois phases :

- ❖ **Le détassage (lavage contre-courant) :** consiste à soulever la résine par un courant ascendant d'eau (remettre la résine en suspension), afin d'éliminer les impuretés qui peuvent s'accumuler sur la partie supérieure de la couche et assurer une bonne répartition de régénérant pendant la phase suivante.
- ❖ **Injection des réactifs (régénération) :** Elle consiste à injecter les solutions contenant des ions que l'on désire échanger avec ceux de l'eau traitée dans l'échangeur :
 - NaCl à 10 % pour R-Na ;
 - HCl ou HNO_3 de 5 à 10 % pour R-H ;
 - NaOH pour R-OH
- ❖ **Rinçage :** Il consiste à enlever les dernières traces de régénérant, ceci est fait à contre-courant.

I.4.4.1.4. Séparation membranaire

Le terme technologie membranaire est un terme générique pour différents procédés de séparations très caractéristiques. La filtration membranaire est de plus en plus utilisée comme procédé de séparation dans de nombreux domaines notamment dans le cycle de l'eau (potabilisation de l'eau, traitement des effluents, réutilisation de l'eau, adoucissement, dessalement ...). Elle est basée sur l'application d'une différence de pression qui permet le transfert du solvant à travers une membrane dont la taille des pores assure la rétention de solutés. Ces opérations, classées selon une taille des pores décroissantes, sont : la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse (Figure 1.6).

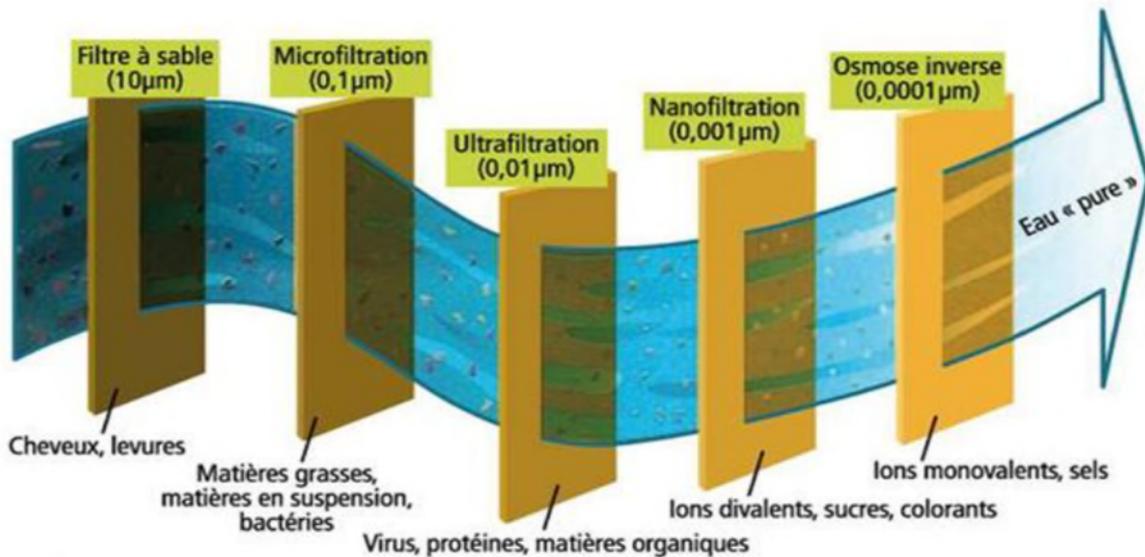


Figure I.6. Échelle des procédés membranaires

Ces techniques de séparation sont des procédés mature technologiquement (une bonne part du développement technologique est déjà réalisé) mais encore en plein développement industriel. Les procédés de séparation membranaire sont utilisés dans bien des domaines industriels tel que l'industrie laitière, celle des jus, de la bière, du vin et des produits dérivés, du traitement des eaux ou encore de l'industrie pharmaceutique.

Les critères de sélection d'un procédé dépendent des caractéristiques des substances à séparer, de celles des membranes (dimension, forme, nature chimique, état physique, charge électrique.) et des conditions hydrodynamiques d'opération. Le transfert sélectif des espèces repose soit sur leur capacité à diffuser à travers le matériau membranaire, soit sur leur taille par rapport à celle des pores de la membrane (effet de tamis, ou effet stérique), soit sur une exclusion ionique, soit encore sur une combinaison de ces différents mécanismes (**Anil et al, 2015**).

Tableau I.6 : Principales caractéristiques des différents procédés de séparation membranaire
(Anil et al, 2015).

	Procédés			
	Microfiltration	Ultrafiltration	Nanofiltration	Osmose inverse
Caractéristiques de la membrane	Poreuse Convection 100 à 10000nm	Poreuse Convection 1 à 100 nm	Poreuse Solubilisation/diffusion plus Convection de 1 à 10 nm	Dense Solubilisation/diffusion
perméation	Solvants et espèces dissoutes	Solvants, sels et petites molécules	Solvants, ions monovalents et petites molécules	Solvants
Rétention	Particules, colloïdes	macromolécules, colloïdes	Petites molécules (M > 300 g/mol) ions	Sels
Pression d'opération usuelle et débit à travers la membrane	0,2 à 2 bar (3 à 30 psi) 150 à 1500 l/h/m ²	2 à 10 bar (30 à 150 psi) 50 à 300 l/h/m ²	7 à 40 bar (100 à 600 psi) 50 à 100 l/h/m ²	30 à 80 bar (450 à 1200 psi) 10 à 60 l/h/m ²
Applications	Epuration bactérienne du lait. Fractionnement des globules gras du lait. Fractionnement de protéines. Traitement d'émulsions huile/eau.	Concentration de protéines. Clarification et stabilisation de moûts, jus, vins... Fabrication de préformage liquide. Traitement des effluents.	Séparation et concentration d'antibiotiques. Fractionnement d'acides aminés. Adoucissement d'eau potable.	Concentration de lactosérum, de sang, de blanc d'œuf, de sève d'érable. dé-alcoolisation des vins et de la bière. Dessalement des eaux d'érable. Dé-alcoolisation des vins.

I.4.4.1.4.1 Filtration membranaire par osmose inverse

I.4.4.1.4.1.1 Osmose directe

C'est un procédé naturel dans lequel la mise en œuvre d'une membrane semi-perméable entre deux solutions de concentrations différentes permet d'obtenir une migration au travers de la membrane d'une partie de l'eau pure, de la solution la moins concentrée vers la solution la plus concentrée jusqu'à obtention d'un équilibre ionique.

I.4.4.1.4.1.2. Osmose inverse

C'est un procédé mis en œuvre pour obtenir le résultat inverse de l'osmose naturelle. L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression.

Une membrane semi-sélective Ce sont en fait des films de polyamides semi-perméables à l'eau permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres.

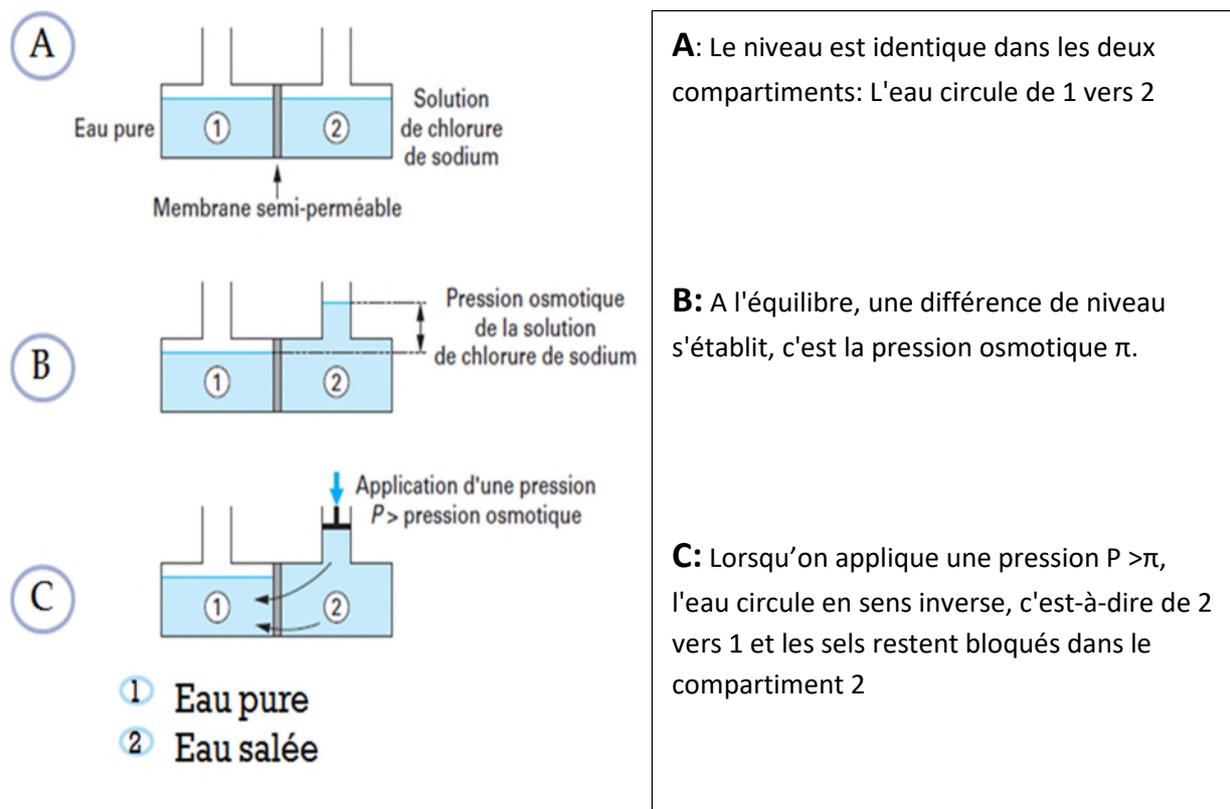


Figure I.7 Principe de l'osmose inverse (ROVEL, 2012)

I.4.4.1.4.1.2 Modules d'osmose inverse

Pour être mise en œuvre, les membranes doivent être montées dans des supports appelés modules. Actuellement, quatre types de modules sont commercialisés: modules tubulaires, modules fibres creuses, modules plans et modules spirales. Plusieurs critères sont à prendre en compte pour le choix d'un type de module tels que:

- les conditions de transfert optimal
- la surface spécifique d'échange élevée
- l'investissement minimal et le coût de fabrication

- la simplicité de mise en œuvre et la durée de vie des membranes
- l'entretien aisé (nettoyage, démontage, remplacement des membranes)

➤ **Modules plans**

Les modules plans sont les modules les plus simples et les plus anciens. Ils présentent sous la forme de plaques unitaires disposées parallèlement les unes aux autres et séparées par des grilles. de l'osmose inverse.

➤ **Modules spirales**

Les membranes planes sont enroulés en spirale autour d'un tube creux et perforé destiné à collecter le perméat. Entre les membranes est placé un grillage plastique de 0,8 à 1,2 mm d'épaisseur, qui a pour but de créer une turbulence dans la circulation du fluide. On obtient ainsi un cylindre multi-couches où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux.

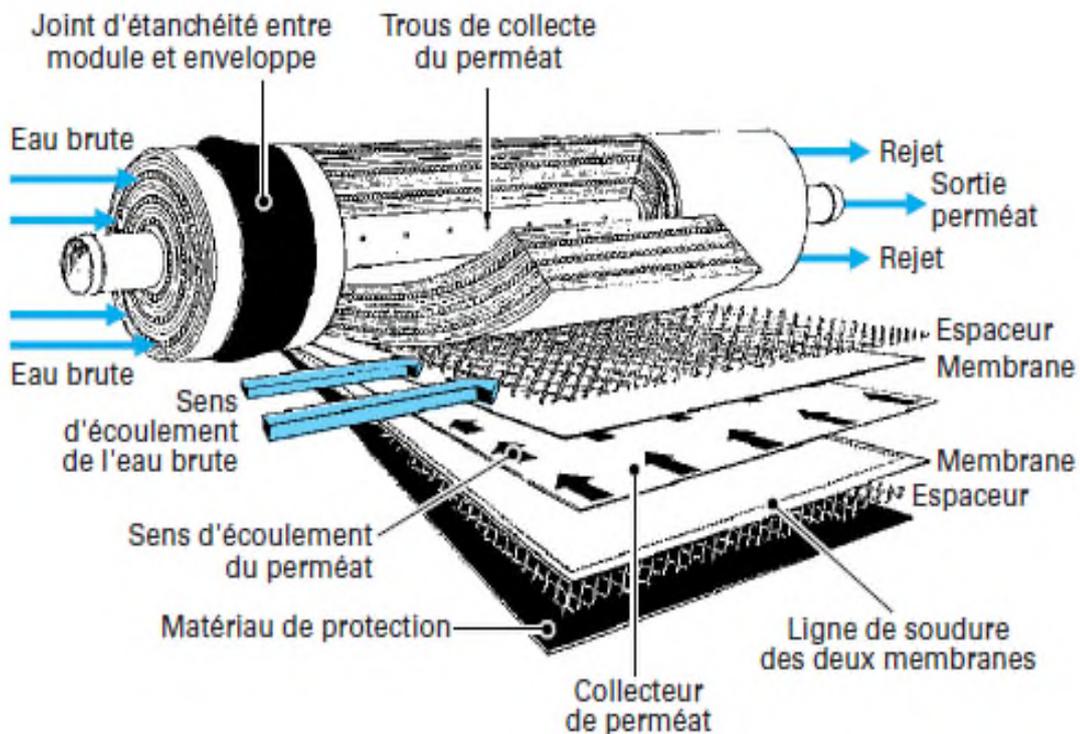


Figure I.8:Modules spirales (P. Danis, 2003)

➤ Modules tubulaires

Ce type de module est constitué de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fixée la membrane semi-perméable. Le diamètre du tube est compris entre 7 et 25 mm et le plus souvent 12,5 mm. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Le tube est soit poreux, soit perforé de trous pour permettre l'évacuation du perméat.

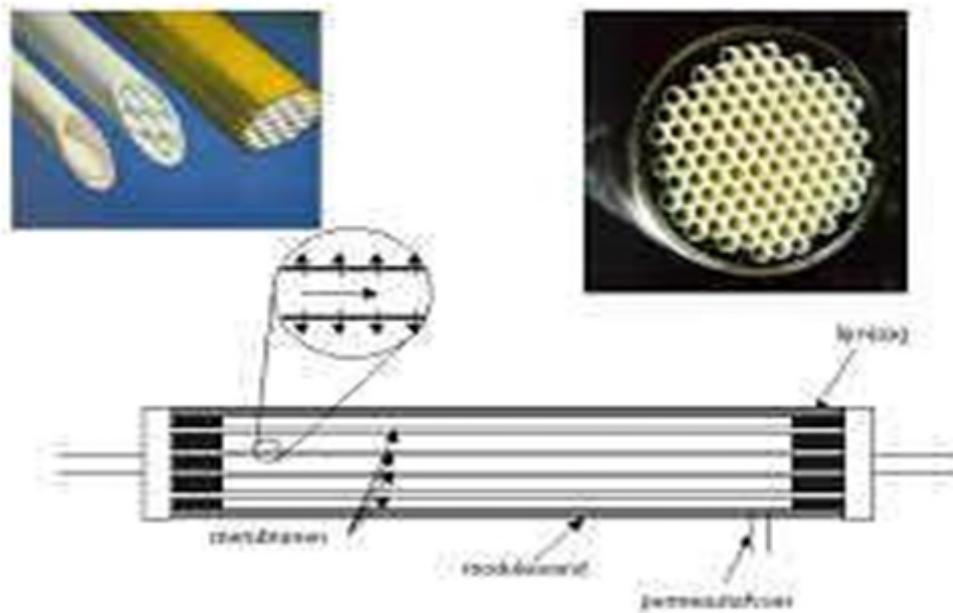


Figure I.9: Modules tubulaires(J-M. Berland, 2002).

➤ Modules fibres creuses

Ces modules peuvent être considérés comme des modules tubulaires composés de tubes de petit diamètre compris entre quelques millimètres et quelques dizaines de microns. Mais à la différence des modules tubulaires qui sont constitués d'une membrane et d'un support inerte, les fibres creuses jouent à la fois le rôle de membrane et de support.

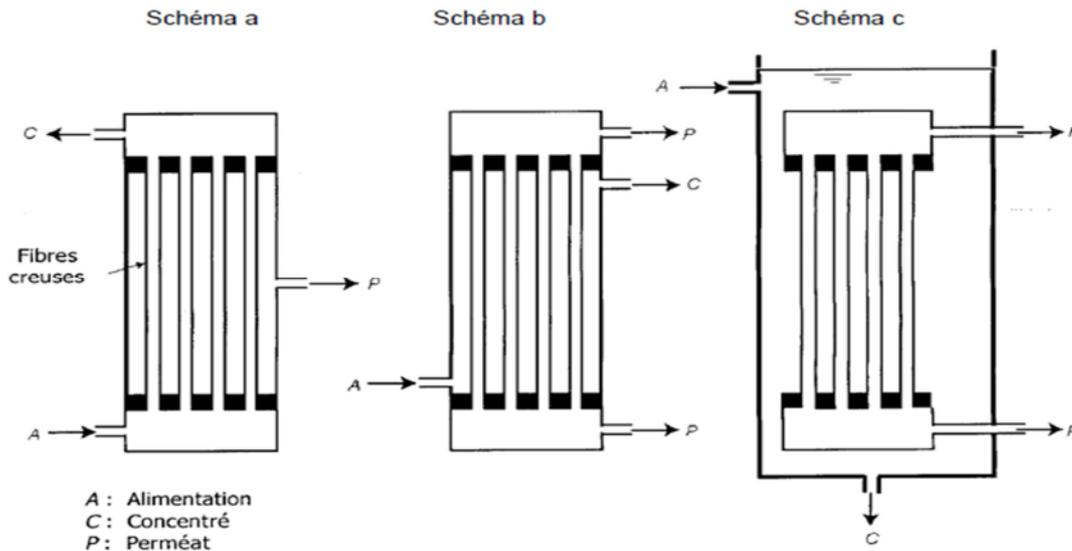


Figure I.10: Modules fibre creuses(J-M. Berland, 2002)

Il existe deux configurations

- Int- Ext (schéma b): L'eau à traiter circule à l'intérieur et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres.
- Ext-Int (schéma a et c): L'eau circule à l'extérieur et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres.

I.4.4.1.4.1.3 Les limites du procédé d'osmose inverse

Le colmatage est un ensemble des mécanismes qui limite le flux à travers la membrane. Dans le cas de l'osmose inverse, le phénomène de colmatage peut être classifié en 4 catégories

- ✓ la précipitation des composés inorganiques sur la membrane (l'entartrage) ;
- ✓ la formation du dépôt par des particules ou des matières organiques sur la membrane ;
- ✓ la formation du biofilm et l'excrétion in situ d'ex polymères sur la membrane (le bio-colmatage)
- ✓ l'adsorption dans la membrane (Figure I.8)

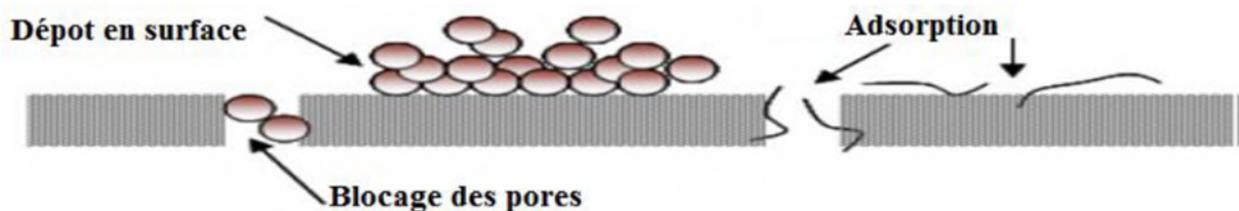


Figure I.11. Schématisation des différents mécanismes de colmatage (TANSAKUL, 2009)

I.4.4.2. Traitement des matières particulaires

I.4.4.2.1. Coagulation

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de charge opposée, appelé coagulant, afin de faciliter leur agglomération en flocons décantables ou filtrables. Le coagulant peut être introduit dans un bassin de mélange rapide ou dans un mélangeur statique en ligne qui génère tous deux une violente agitation au point d'injection. La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution. Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération. Ce dernier est, généralement, caractérisée par l'injection et la dispersion rapide de réactifs chimiques, ce procédé permet d'augmenter substantiellement l'efficacité des traitements ultérieurs (décantation et/ou filtration) (**Dégréement, 2005**).

I.4.4.2.2. Flocculation

La flocculation est l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de flocs par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation. Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un flocculant. (**Chaufer et al, 1996**).

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, pour former des micro-flocs puis des flocs plus volumineux et décantables. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. Cette dernière joue le rôle d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules. Elle doit obligatoirement être réalisée avant l'étape de clarification et peut être aussi utilisée avant une filtration directe. (**Chaufer et all, 1996**)

I.4.4.2.3. Décantation

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente de MES et colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation/flocculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur. Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute, de décantation ou ascensionnelle) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège. Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite décantée (**Chaufer et all, 1996**).

I.4.4.2.4. Flottation

La flottation est un moyen de séparation généralement utilisée pour les matières flottantes et/ou en suspension légères. Le principe repose sur la différence de la solubilité de l'air dans l'eau suivant la pression. Une partie de l'effluent de flottation est saturée d'air à haute pression [5-7 bar] dans une cuve séparée (cuve de pressurisation). L'eau pressurisée est alors introduite dans un bac de flottation. La décompression soudaine dans le bac provoque la formation de très fines bulles qui s'accrochent aux matières en suspension et les entraînent vers la surface. La couche des matières flottante est écrémée continuellement par un mécanisme de raclage.

I.4.4.2.5. Filtration

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent, il faut donc prévoir un nettoyage du filtre. La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs.

Le filtre le plus classique est le filtre à sable, elle sera d'autant plus efficace que les grains seront plus fins. L'écoulement est alors suffisamment lent pour permettre le développement d'un bio film à la surface du sable. L'activité épuratrice de ce bio film permet la dégradation de la matière organique (**Bessedik.M**).

CHAPITRE II
Présentation du lieu de stage

II.1. Historique

Cevitalest parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998. Son complexe de production se situe dans le port de Bejaia et s'étale sur une superficie de 45000m² Il contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale. Elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produit.

Les activités de CEVITAL sont concentrées sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre et se présentent commesuit :

- Raffinage des huiles (1800 tonnes/jour) ;
- Conditionnement d'huile (1400 tonnes/heure) ;
- Production de margarine (600 tonnes/jour) ;
- Fabrication d'emballage (PET) ;
- Raffinage du sucre (3000 et3500 tonnes/jour) ;
- Stockage des céréales (120000 tonnes) ;
- Cogénération ;
- Minoterie et savonnerie en cours d'étude.

II.2. Situation géographique

CEVITAL est implanté au niveau quai du port de Bejaia à 3 Km du sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 09. Cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité économique. En effet, elle se trouve proche du port et l'aéroport (Figure II.1).



Figure II.1: La structure géographique de CEVITAL

II. 3. Principaux pôles de l'entreprise au niveau du complexe de Bejaia :

Le complexe Cevital de Bejaia est structuré autour de deux pôles principaux

- ❖ **Pole sucre :** Il est composé de la direction de sucre solide et de la direction de sucre Liquide. Ce pôle assure de la mise en œuvre et le pilotage du processus technique de raffinage du sucre.
- ❖ **Pole corps gras :** Il est composé de trois sous directions : la direction raffinage d'huile, la direction margarinerie, et la direction conditionnement d'huile. Ce pôle se charge du stockage puis du raffinage de l'huile brute, et se charge aussi de la mise en œuvre du processus de production. En effet il veille au respect des paramètres de production de la margarine, de la fabrication des emballages et de la mise en bouteille de l'huile raffinée. Il fonctionne en continue (24/24) en trois équipes (3x8h).

II.4. Production d'eau de process au niveau de l'entreprise

II.4.1. Sources et Besoins en eau de l'entreprise

Au niveau du complexe agroalimentaire CEVITAL, l'eau brute utilisée est une eau obtenue à partir de deux sources :

- La première source est une eau de forage d'Ibourassen issue d'un puits artésien. L'eau est pompée puis acheminée vers un bassin de pré-décantation de 120m de long et 30m de large.
- La deuxième source située au niveau de Tichyhaff (Bejaïa) sous forme d'un barraged'eau qui envoi après traitement un débit environ 4000 m³ /jour (Figure II.2).

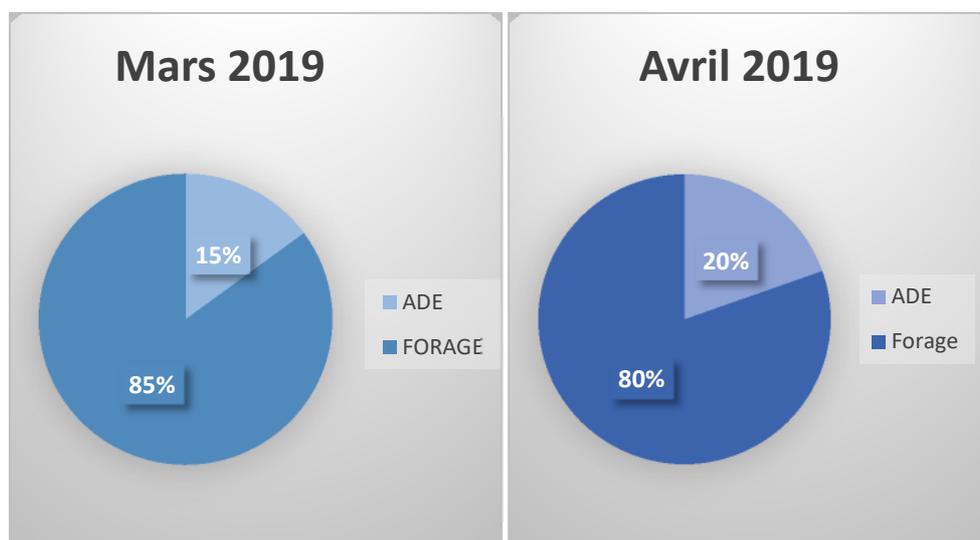


Figure II.2: L'alimentation en eau du complexe Cevital.

II.4.2. Cycle de traitement de l'eau au niveau du complexe de Bejaia

L'eau de forage au niveau de complexe du Cevital subit le traitement présenté dans la (Figure II.3).

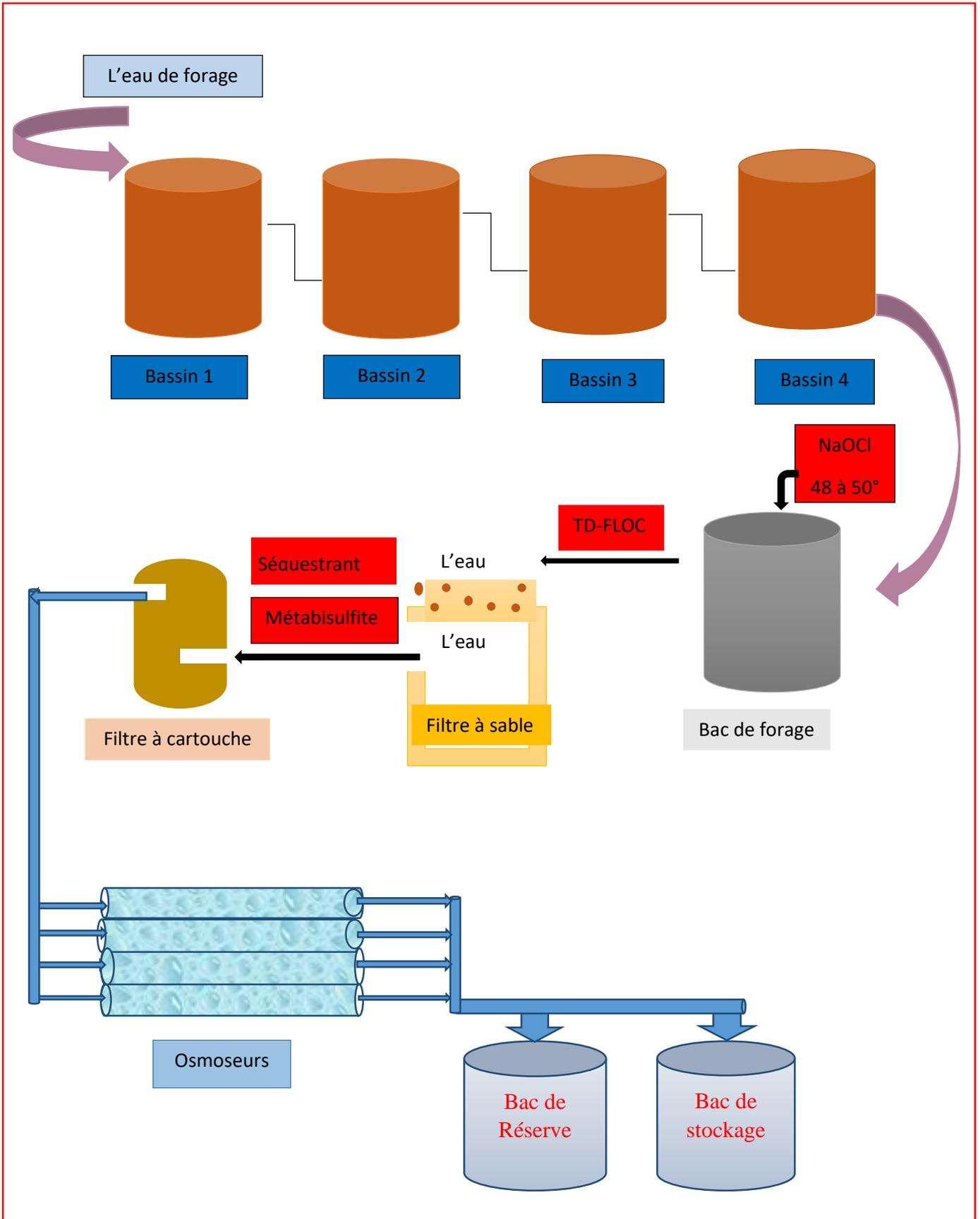


Figure II.3: Cycle de l'eau de forage au niveau du complexe agroalimentaire de Bejaia

II.4.3. Traitement de l'eau au niveau de Cevital avant son utilisation

II.4.3. Système de pré- traitement

II.4.3.1. La désinfection

La désinfection de l'eau signifie l'élimination ou la désactivation des microorganismes pathogènes. Les microorganismes sont détruits ou désactivés.

A l'entrée des filtres à sable, on injecte de l'hypochlorite de sodium NaOCl de 48 à 50° d'un débit 5 l/h est dosé afin de prévenir toutes proliférations bactériennes. De même le dosage en continu du chlore permet la régénération du dioxyde de manganèse par réaction catalytique du manganèse soluble après oxydation superficielle du MnO₂ en MnO₄ suivant la réaction :



II.4.3.2. Filtres à sable de manganèse

Le sable de manganèse est un bioxyde de manganèse MnO₂ (la pyrolusite) de très haute qualité et pureté. Le sable à pyrolusite joue un rôle comme catalyseur de réduction du fer, du manganèse et du sulfure d'hydrogène présents dans l'eau brute. Ce matériau peut également s'utiliser en cartouche conteneur en ligne rechargeable (Figure II.4).



Figure II.4 : Photographie d'un filtre à sable au niveau de Cevital

L'eau pénètre dans la partie supérieure du filtre, passe par un lit de filtre, puis est accumulée dans le bas avant d'être utilisée (Figure II.5).

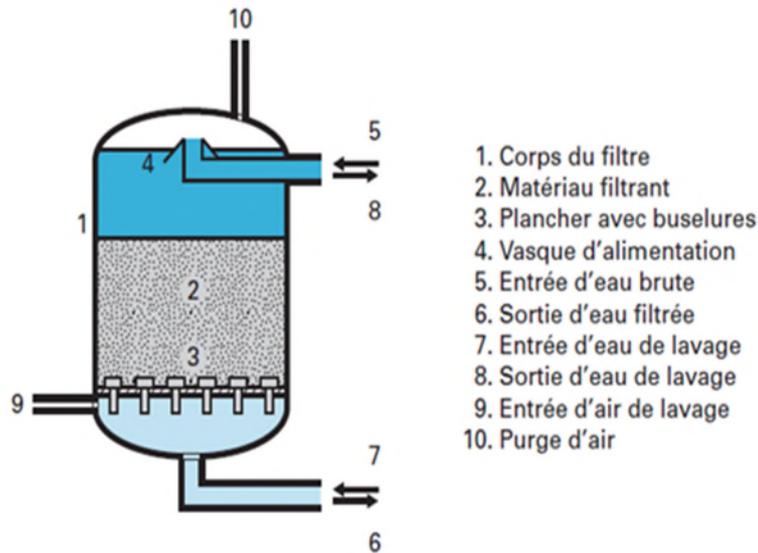


Figure II.5 : Coupe d'un filtre à sable

II.4.3.2.1. Contre lavage

Il permet de prévenir l'excessive perte de pression causée par les particules retenues dans les filtres. Le contre lavage s'effectue avec de l'eau filtrée et le lavage final avec de l'eau brute.

II.4.3.3. La déchloration

Sur la ligne d'alimentation des lignes d'osmose, et avant les filtres à cartouche, du métabisulfite de sodium est injecté pour neutraliser le chlore libre. Ce dernier peut oxyder les parois superficielles des membranes en polyamide.

La réaction du métabisulfite de sodium avec le chlore et l'eau est la suivante:



L'avantage du métabisulfite par rapport aux autres techniques (photochimie, filtres à charbon actif...) est qu'il est aussi un réducteur d'oxygène, ce qui ralentit considérablement le développement des germes sur l'osmoseur.

II.4.3.4. Injection de produits biocides

Pour éviter toute prolifération bactérienne et formation de bio film, il est prévu d'injecter une fois par semaine pendant une demi-heure un produit biocide.

II.4.3.5. Filtration par cartouche

Les unités de filtration par cartouche sont généralement les plus efficaces et économiques pour des applications traitant des effluents ayant une contamination inférieure à 100 ppm. Pour des contaminations plus élevées, la filtration par cartouche est typiquement utilisée en fin de process (Figure II.6).



Figure II.6: Photographie d'un Filtre à cartouche

Le filtre à cartouche utilisé au niveau du complexe Cevital c'est un filtre à cartouche bobinée, elle est constituée de fils en polypropylène de haute qualité, qui a une grande capacité de rétention, elle filtre les particules fines jusqu'à 3 μm (sable, boue, sédiments, rouille, algues...). Elle est fabriquée de sorte que les couches extérieures soient moins serrées que les couches intérieures, ce qui donne une véritable filtration en profondeur et une faible perte de charge. Elle permet une grande rétention des particules et une migration extrêmement faible du média d'une résistance structurelle élevée (une bonne résistance aux produits chimiques et insensible aux attaques bactérienne), elle résiste à des pertes de charges élevées et des conditions de fonctionnement sévères ; elle permet de enlever efficacement le/la : sable, calcaire, chaux, rouille, particules fines (Figure II.7).

Quand on obtient une perte de charge égale à 1 bar cela correspond au colmatage des filtres à cartouches, donc on doit changer les filtres.



Figure II.7: Photographie d'un filtre à cartouche bobiné

II.4.3.6. Injection de produit séquestrant

Avant les filtres à cartouche, une quantité pré-établie de produit séquestrant est injectée dans l'eau d'alimentation pour permettre la dispersion des carbonates de calcium, des sulfates de calcium, des sulfates de baryum...etc. Il retarde ainsi leur précipitation, et de cette manière, les membranes s'entassent moins rapidement et le nombre de CIP diminue.

II.4.4. Système d'osmose inverse

C'est la section principale de tout le système, il est composé de quatre lignes de 100 m³/h chacune. L'eau provenant des filtres de sécurité est envoyée aux modules R01, R02, R03 et R04 par des pompes (HP) à hautes pressions d'exercice (11 à 18 bar). Il est à noter que la ligne d'osmose se compose de deux stades, le concentrât de premier stade sert à alimenter et le deuxième stade pour augmenter le rendement de la ligne d'osmose. (Figure II.8)



Figure II.8 : Photographie des lignes d'osmose inverse à CEVITAL.

La filtration par ces osmoseurs permet d'éliminer tous les particules ayant un diamètre inférieur à $0.0001 \mu\text{m}$ efficacement elle permet d'éliminer 98% à 99% des sels minéraux et 100% des microorganismes.

II.4.4.1. Nettoyage en place CIP (Cleaning in Place)

Lorsque la pression exercée sur la membrane est diminuée de 10 % pour les mêmes conditions d'exercice, il est nécessaire de laver les membranes dans le but de les débarrasser de toutes les particules et les minéraux qui provoquent le colmatage.

Le lavage sur place s'effectue en deux phases :

- ❖ Phase basique en utilisant les produits suivants :
 - TD WASH 2 pour un faible entassement ;
 - TD WASH 3 + TD WASH 4 pour un fort entassement.
- ❖ Phase acide en utilisant les produits suivants :
 - TD WASH 1 + TD WASH 1 FER selon l'approvisionnement.

On peut utiliser aussi de HCl si l'entassement est fort avec l'apparition de carbonate (CO_3).

Le processus de production d'eau osmosée résumé dans la (figure II.9).

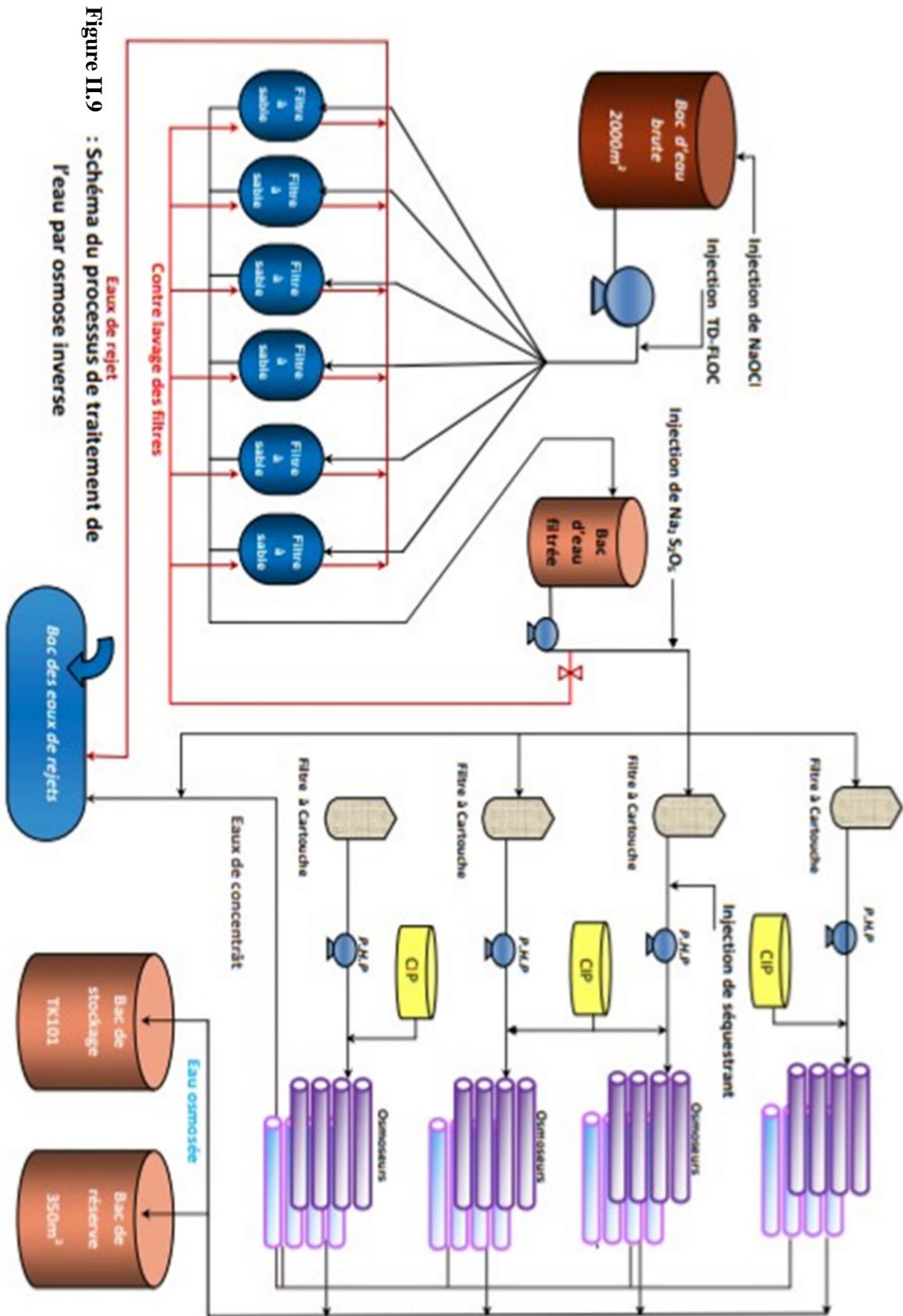


Figure II.9 : Schéma du processus de traitement de l'eau par osmose inverse

Après le pré-traitement, l'eau produite à la ligne d'osmose avec un débit de 125 m³/h est appelée l'eau osmosée ou le permeal qui sera stockée au niveau des bacs eaux osmosées (TK101) pour alimenter les chaudières, le pôle de sucre (raffinerie de sucre 3000T/J et raffinerie de sucre 3500T/J), le pôle corps gras (conditionnement de sucre, raffinerie huile, raffinerie margarine) et pour production de l'eau ultra pure.

Le prélèvement d'eau osmosée au niveau du complexe Cevital revient avec une grande quantité à la chaufferie de 63086 m³ /mois (34%) en mois d'avril 2019. Elle est en générale alimentée en eau osmosée préalablement traitée destinés à produire de la vapeur à une pression et une température déterminée en fonction de son usage. (Figure II.10)

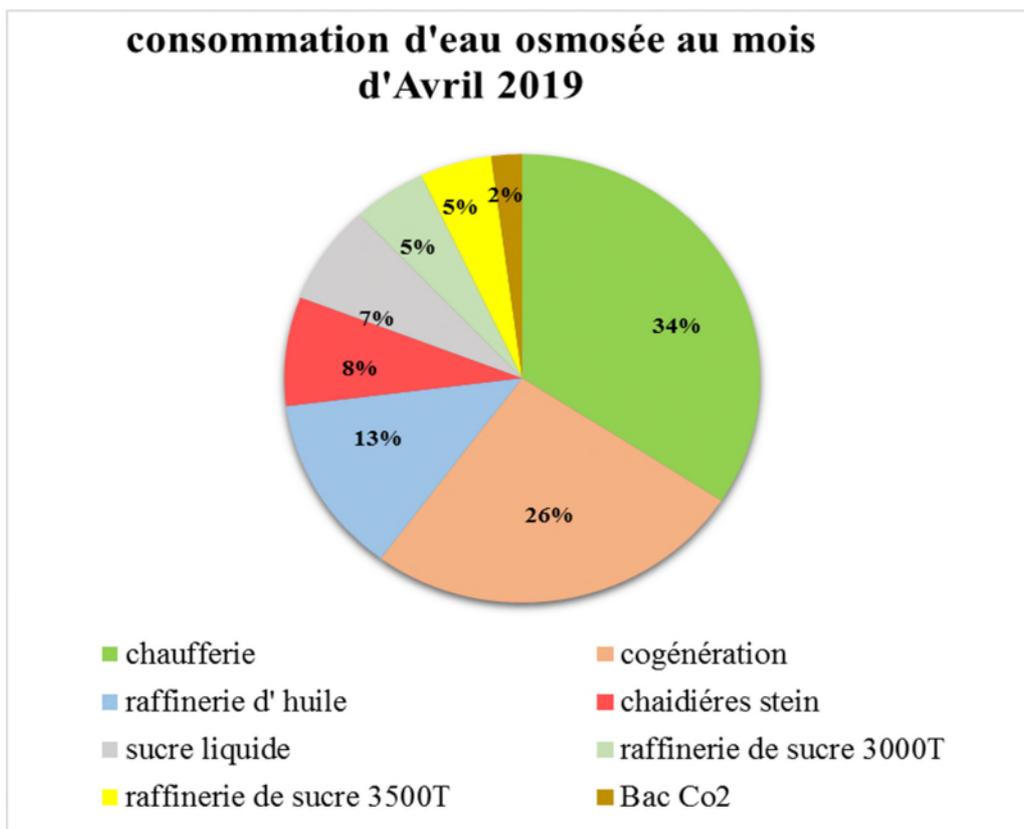


Figure II.10 : Prélèvement d'eau osmosée par différentes unités du complexe de Bejaia au mois d'Avril 2019.

Les quantités consommées par les autres unités sont résumées dans le tableau suivant : (Tableau II.1)

Tableau II.1 Consommation d'eau osmosée des différentes unités du complexe Cevital.

Avril 2019		
	m3/mois	%
Chaufferie	54654	34
Cogénération	47820	26
Raffinerie d'huile	23705	13
Chaudière Stein	14513	8
Sucre liquide	13148	7
Raffinerie 3000T	9253	5
Raffinerie 3500T	9027	5
Bac co2	3858	2

CHAPITRE III
MATERIELS ET METHODES

Les bouteilles d'échantillonnage doivent être rincées plusieurs fois avec l'eau à prélever, afin d'éviter la dissolution ou l'évaporation de gaz. On laisse déborder largement, puis on bouche le contenant plein à ras bord.

III-Méthodes d'analyses

III-1 Méthodes électrochimiques

III-1-1 Le potentiel d'hydrogène (pH)

➤ Principe

C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ .

➤ Matériels

- pH-mètre HACH HQ40d muni d'une électrode de mesure de pH;
- Becher.

➤ Mode opératoire du pH-mètre

- Etalonner le pH-mètre avec deux solutions étalons de pH 7 et 10 ou 4 et 7 (selon la gamme de mesure à réaliser) ;
- Prendre un bécher avec l'eau à analyser ;
- Plonger l'électrode du pH-mètre dans l'échantillon ;
- Après stabilisation, lire le résultat.

III-1-2 La conductivité

➤ Principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métallique de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 (Desjardins, 1997).

➤ Matériels

- Conductimètre HACH HQ40d muni d'une cellule conductimétrique ;
- Bécher ;

➤ **Mode opératoire**

Après avoir étalonné le conductimètre :

- Plonger la cellule de l'appareil préalablement rincée dans un b cher avec l'eau analyser ;
- Secouer la cellule légèrement afin d'éliminer les bulles d'air ;
- Attendre quelques secondes et mesurer.

➤ **Expression des résultats**

La conductivité est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III-2 Méthodes Titrimétriques

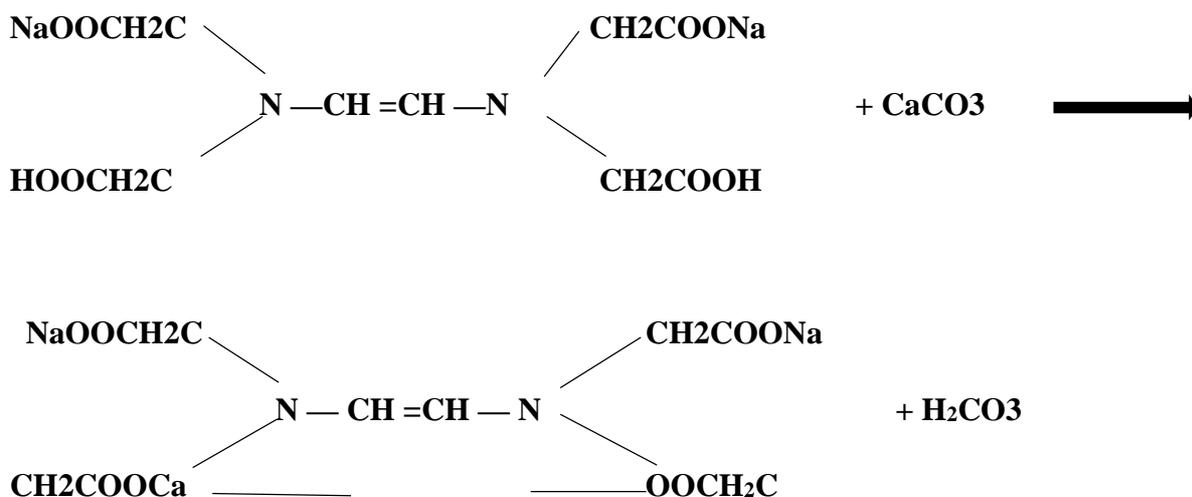
III-2-1 Le titre hydrotimétrique total (dureté total)

➤ **Principe**

Les alcalinoterreux présents dans l'eau (Mg^{2+} et Ca^{2+}) sont amenés à former un complexe par le sel disodique de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique à $\text{pH} = 10$. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du Magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium

(Desjardins, 1997).

➤ **Réactions chimiques**



➤ **Matériels**

- Erlenmeyer 250 ml ;
- Becher ;
- Burette graduée de 15 ml.

➤ **Réactifs**

- EDTA (0.02 N) ;
- Solution tampon ammoniacal pH=10 ;
- Noir Eriochrome T (NET) indicateur coloré.

➤ **Mode opératoire**

Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un Erlenmeyer ;

- Ajouter 8 gouttes de la solution Tampon Ammoniacal (qui sert à stabiliser le pH durant le titrage) ;
- Ajouter Pincée de l'indicateur Coloré N.E.T. (Noir Eriochrome T) et mélanger ;
- Si une coloration bleu apparaît, le TH est nul ($\text{TH} = 0^\circ\text{F}$) ;
- Si une coloration violette apparaît (présence d'ions de Ca^{++} et Mg^{++}) ; titrer le mélange avec une liqueur hydrométrique d'EDTA à 0,02N jusqu'au virage de la coloration violette vers le bleu vert. Le schéma du dosage de la dureté totale est représenté dans la **Figure III.1**

➤ **Expression des résultats**

Le calcul du TH total

$$\text{TH total } (^\circ\text{F}) = V \text{ ml}$$

- TH total : titre hydrotimétrique total ;
- F : degrés français ($1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$) ;
- V : Volume, chute de burette.

Figure 3.1 : Schéma représentant la mesure de la dureté (TH total)

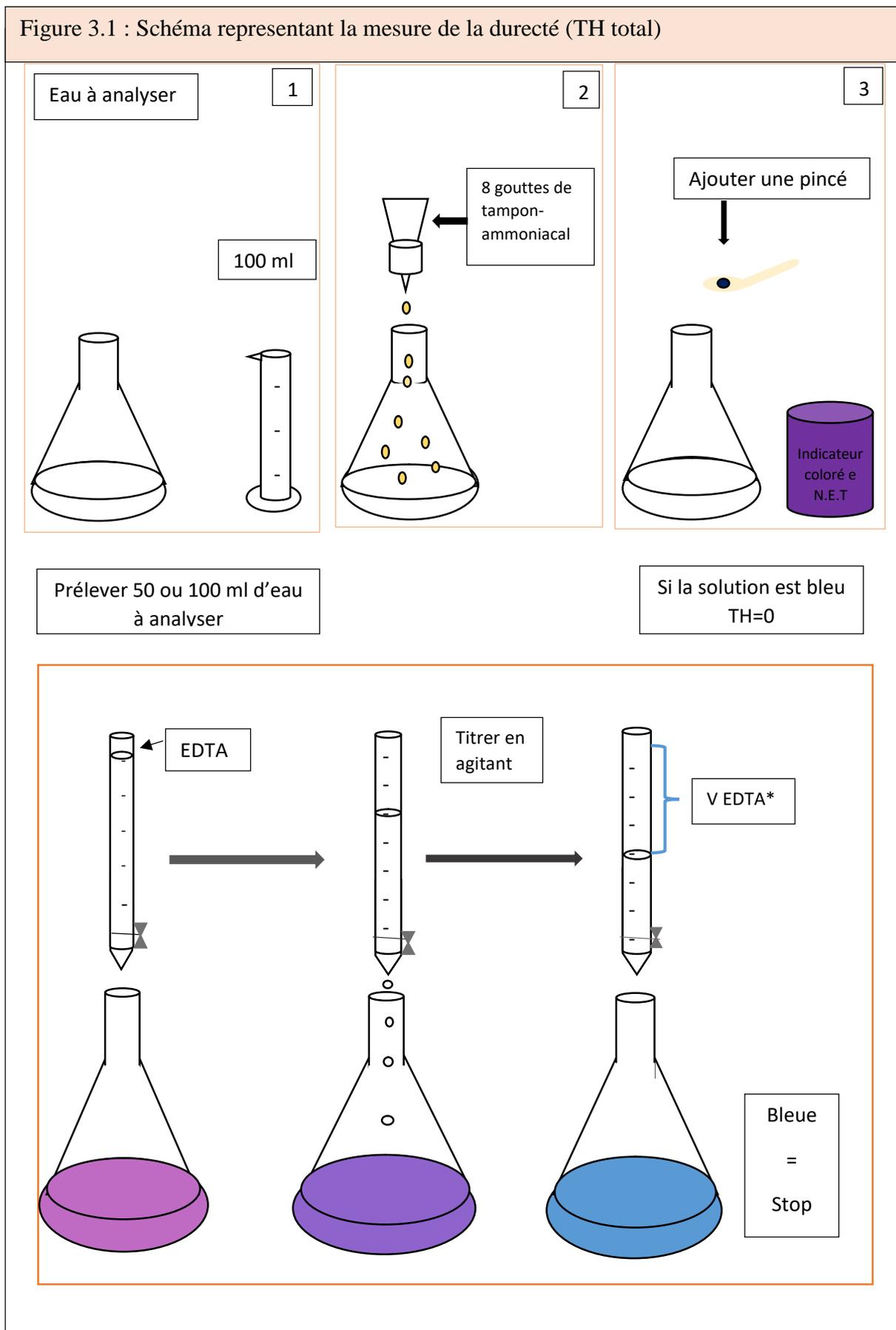


Figure III.1 : Schéma de titrage de la dureté total de l'eau.

➤ **Principe**

Pour le dosage du calcium, on procède de la même manière que pour le titre hydrotimétrique total en changeant uniquement l'indicateur coloré (N.E.T) par du murexide. Le pH est porté à 12-13 par addition de soude pour faire précipiter les ions Mg^{++} sous formes d'hydroxydes.

➤ **Matériels**

- Erlenmeyer 250 ml ;
- Becher ;
- Burette graduée de 10 ml.

➤ **Réactifs**

- EDTA (0.02 N) ;
- Solution de soude caustique à 5N ;
- Murexide.

➤ **Mode opératoire**

- Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un Erlenmeyer ;
- Ajouter 25 gouttes de NaOH à 5N (soude), en remuant délicatement ;
- Ajouter une pincée de Murexide et mélanger ;
- Une coloration rose doit alors se développer ; titrer alors avec la solution d'EDTA à 0,02N jusqu'au virage du rose au violet.. Le schéma du dosage de la dureté calcique est représenté dans la Figure III.2

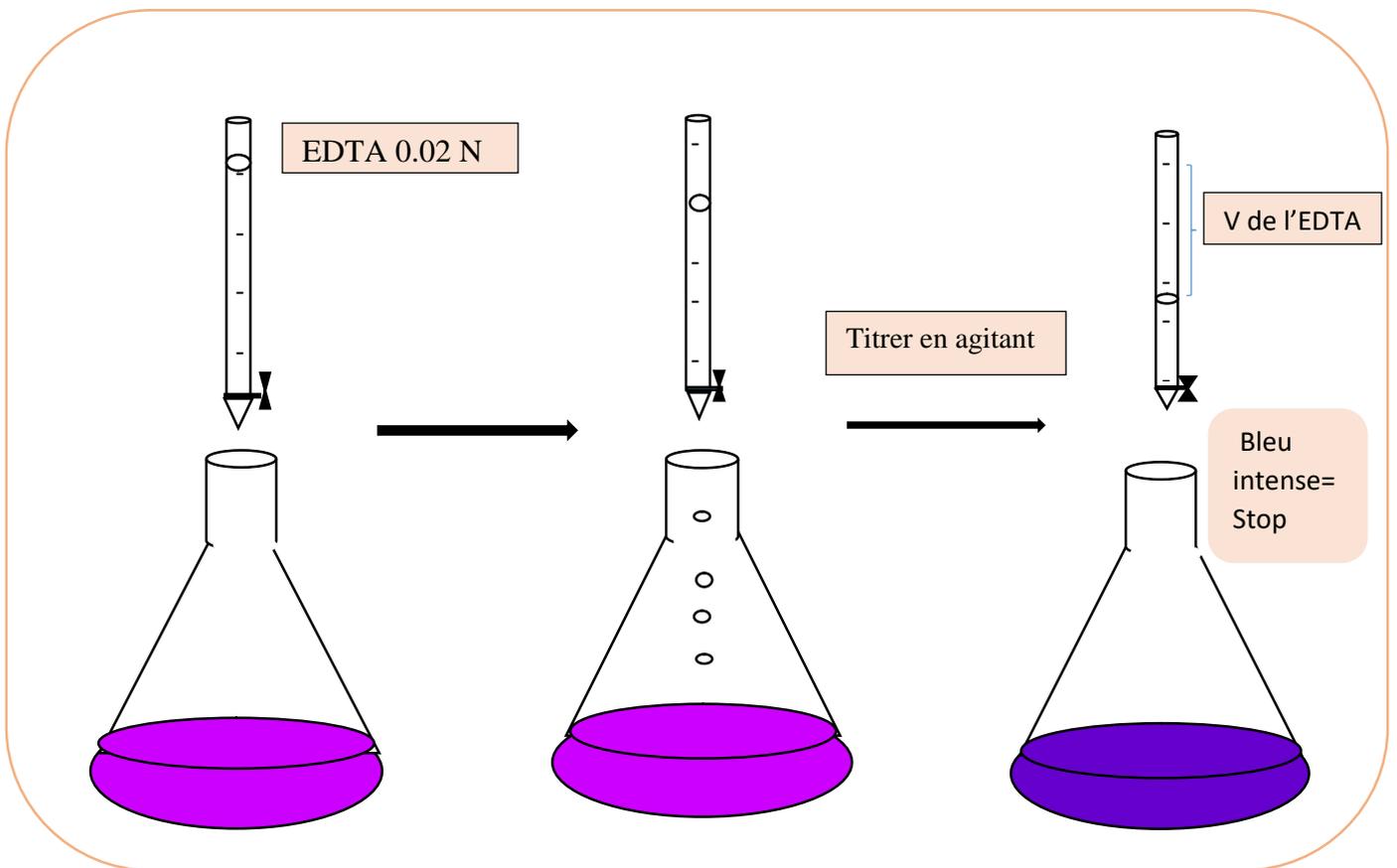
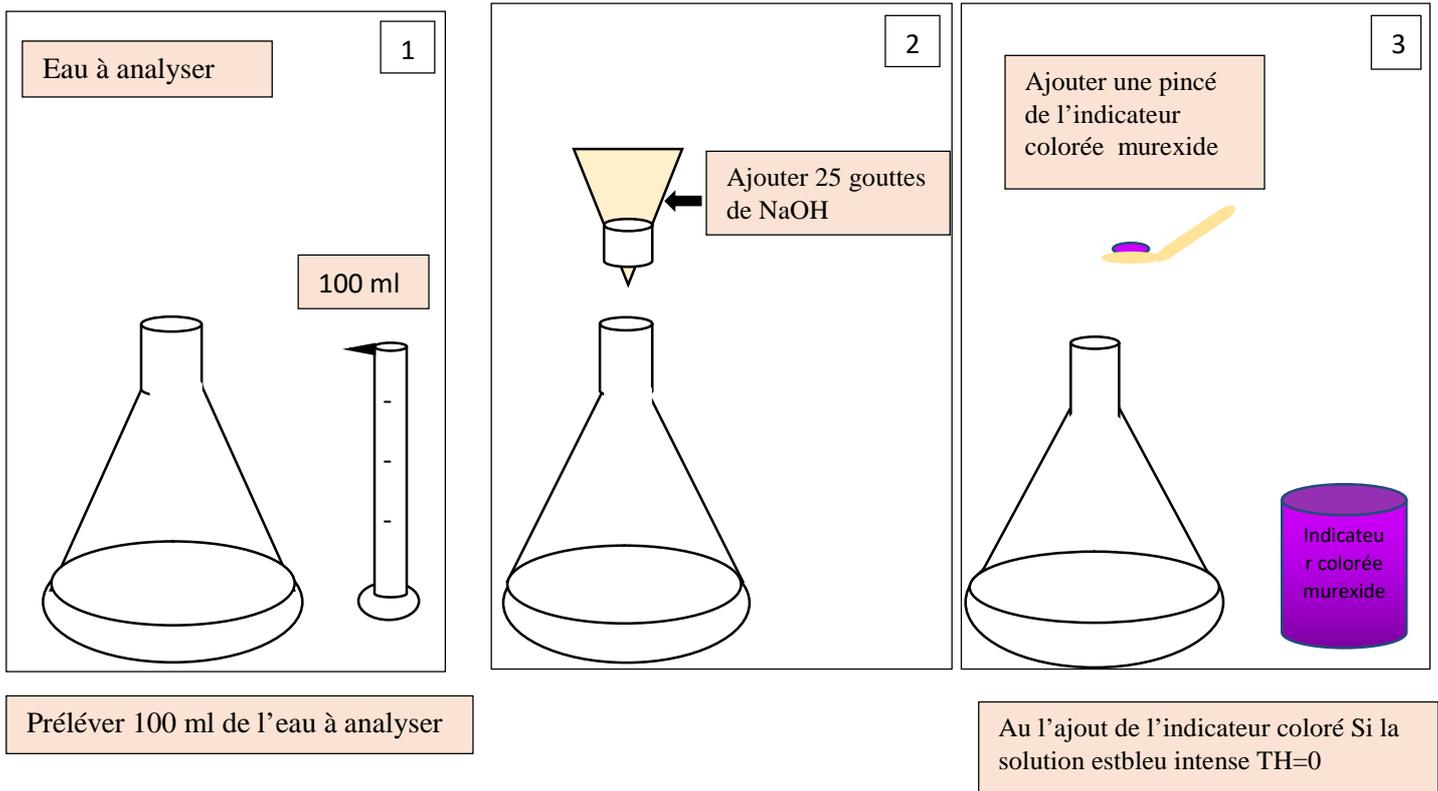
➤ **Expression des résultats:**

$$TH Ca^{++} (°F) = V \text{ ml}$$

❖ **Le calcul du TH Ca^{++} :**

- TH Ca^{++} : titre hydrotimétrique ;
- °F : degrés français ($1°F = 10 \text{ mg/l de } CaCO_3$) ;
- V : Chute de la burette en ml.

Figure III.2 : Schéma explicatif de la mesure de la Dureté calcique



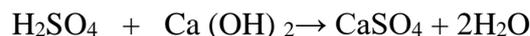
FigureIII.2. Le schéma du dosage de la dureté totale est représenté.

III.2.3 Le titre alcalimétrique (TA)

➤ Principe

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

➤ Réaction chimique



➤ Matériels

- Erlenmeyer 250 ml ;
- Bécher ;
- Burette graduée de 15 ml.

✓ Réactifs

- Acide sulfurique (0.02 N) ;
- Phénolphtaléine.

✓ Mode opératoire

Prélever 100ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer. Ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, (pH < 8,3) verser ensuite doucement l'acide dans l'erlenmeyer à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH=8,3) .. Le schéma du dosage de TA représenter dans la **figure III.3**

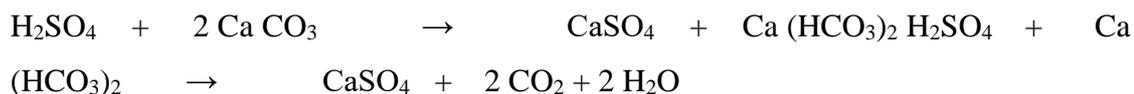
III-2-4 Le titre alcalimétrique complet(TAC)

➤ Principe

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

✓ Réactions chimiques du TAC





Remarque : Ca (HCO₃)₂ déjà existant, Ca (HCO₃)₂ formé dans la 2^{ème} réaction

➤ **Matériels**

- Erlenmeyer 250 ml ;
- Becher ;
- Burette graduée de 15 ml.

➤ **Réactifs**

- Acide sulfurique (0.02 N) ;
- Méthyle orange.

➤ **Mode opératoire**

- Prendre le même échantillon pour l'analyse du TA et ajouter 2 gouttes d'Hélianthine

ou du Méthyle Orange ;

- Une coloration jaune doit apparaître ;
- Titrer avec le même acide (H₂SO₄) jusqu'au virage de la coloration jaune vers l'orange. Le schéma du dosage de TAC est représenté dans la **figure III.3**

➤ **Expression des résultats**

$$\text{TAC } ^\circ\text{F} = (V'' - 0.01) \text{ ml}$$

III-2-5 Dosage des chlorures par la méthode de « MOHR »

Cette méthode de dosage est pour l'analyse de la teneur en chlorure (Cl⁻) dans l'eau.

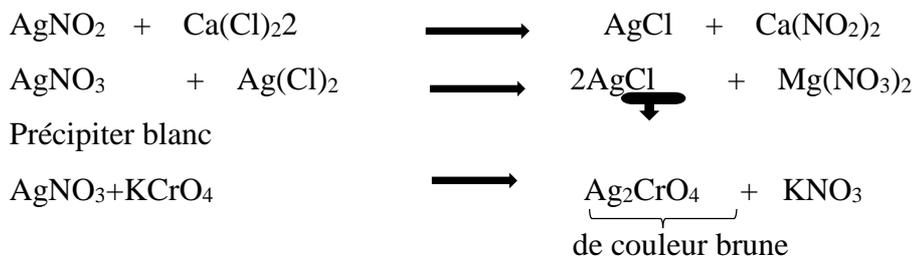
- La teneur en chlorures doit être comprise entre 5 et 150 mg/l. En dehors de cet intervalle, la méthode conduit à des résultats erronés.
- Le pH doit être comprise entre 5 et 9 (pour éviter les transformations des ions Ag⁺ et CrO₄²⁻, ce qui rendrait le dosage impossible) (**J.Rodier, 1996**).

➤ **Principe**

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former des chlorures d'argent

insoluble qui est précipité quantitativement. Addition de petit excès d'ions d'argent et formation de chromate d'argent (Ag_2CrO_4) brun rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

➤ **Réactions chimiques des chlorures**



➤ **Matériels**

- Erlenmeyer 250 ml.
- Firole de 100 ml.
- Burette graduée de 25 ml.

➤ **Réactifs**

- Nitrate d'argent AgNO_3 (0.02N).
- Chromate de potassium.

➤ **Mode opératoire**

- Dans un erlenmeyer, prendre un échantillon de 100 ml d'eau à analyser,
- Ajouter 5 gouttes de Chromate de Potassium (Indicateur coloré).

Une coloration jaune doit alors apparaître. Titrer avec la solution AgNO_3 à 0,02N (Le nitrate d'argent précipite les chlorures alcalins et alcalino-terreux sous forme de chlorures d'argent) et agiter délicatement le soluté jusqu'à disparition de la coloration jaune citron. Le schéma du dosage de Chlorure est représenté dans la **figure III.3**

➤ **Expression des résultats**

- ✓ **Le calcul des chlorures :**

$$\text{Cl}^- (\text{°F}) = V \text{ ml}$$

- Cl^- : Chlorures ;
- °F : Degrés français ($1\text{°F} = 7,1 \text{ mg/l de Cl}^-$) ;
- V_{AgNO_3} : Volume de titrage, chute de la burette ;
- V : Chute de bure

TA, TAC et chlorure

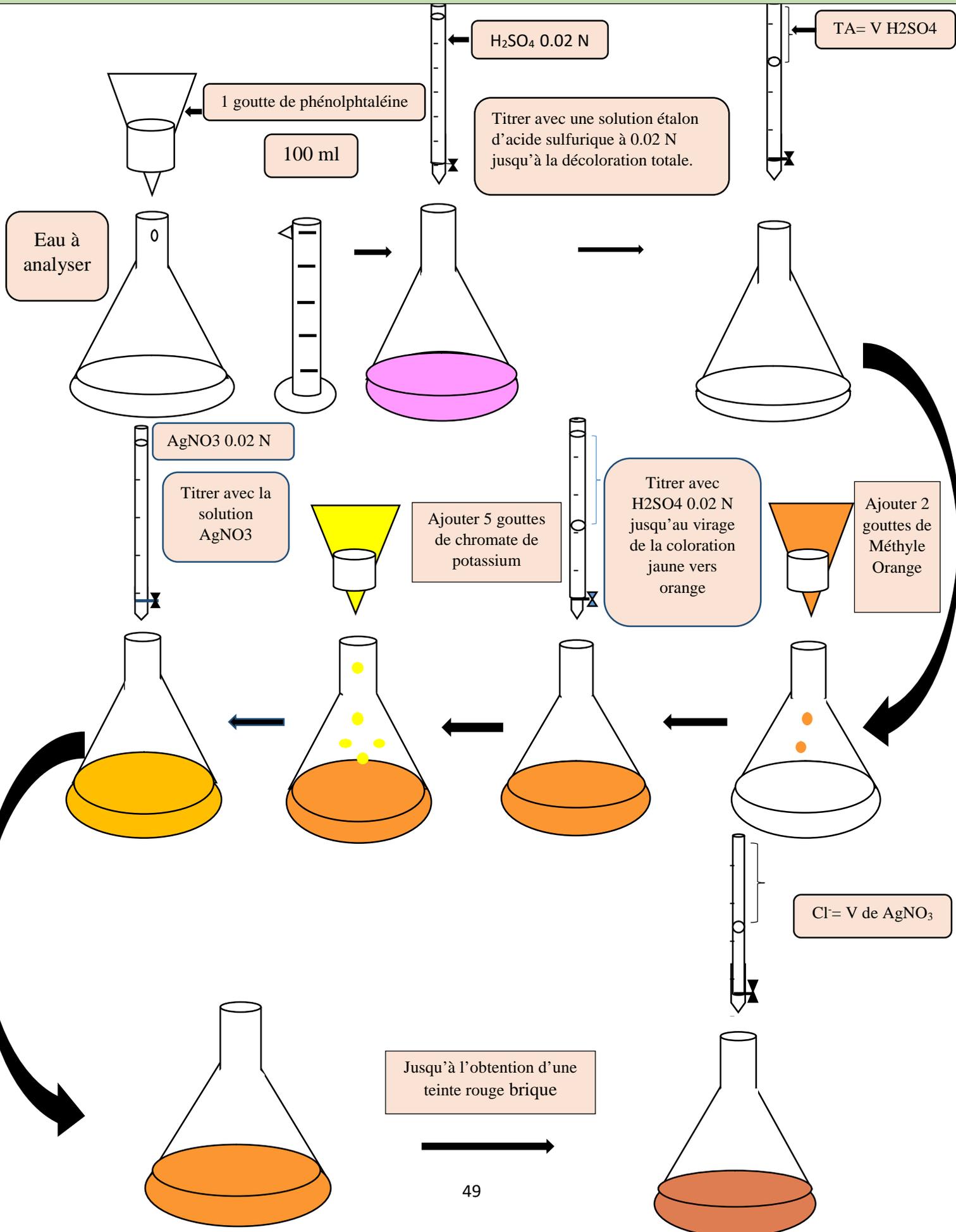


Figure III.3 :Le schéma du dosage de TA,TAC et Chlorures

III-3 Méthodes spectrophotométriques

Au niveau du laboratoire des eaux, les méthodes d'analyses spectrales sont appliquées pour déterminer la concentration des minéraux ci-dessous :

III-3-1 Le Fer NANOCOLOR® Fer 3Test 0-37 Art. N° 985 037

✓ Définition

Fer, élément métallique blanc argenté, de symbole Fe et de numéro atomique 26. Le fer appartient au groupe VIII (colonne 8) des éléments de transition et est situé dans la quatrième période du tableau périodique.

En abondance, le fer est le quatrième élément dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme de Fe (II) ou de Fe (III).

✓ Principe

Le fer (II) réagit avec un dérivé de la triazine pour donner un complexe violet. La capsule NANOFIX sert pour la réduction de Fe (III) en Fe (II) et pour l'ajustage du pH.

➤ Matériels

- Cuve ronde NANOCOLOR ;
- pipette 5 ml;
- Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS.

➤ Réactifs

- Réactifs 2 NANOCOLOR

➤ Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 4ml de l'échantillon à analyser et un NANOFIX R2 (fermer le tube de NANOFIX immédiatement après l'addition de R2) et mesurer après 10 mn. Le blanc est préparé avec 04 ml d'eau distillée et un NANOFIX R2. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

R2 : est un kit chimique pour le dosage du fer.

III-3-2 La Silice: NANOCOLOR® Silice Test 1-48 Art. N° 918 48

➤ Définition

La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) qui entre dans la composition de nombreux minéraux de formule SiO_2 , la silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes et à l'état combiné dans les silicates, les groupes SiO_2 étant alors liés à d'autres atomes (Al, Fe, Mg, Ca, Na).

➤ **Principe**

La silice dissoute et les silicates réagissent en milieu acide avec le molybdate d'ammonium pour former de l'acide silicomolybdique jaune. Ce dernier sera réduit en un composé bleu par addition d'un réducteur.

➤ **Matériels**

- Cuve rectangulaire 5cm NANOCOLOR ;
- Pipette 1 ml, 20ml ;
- Fiole de 25 ml ;
- Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS

➤ **Réactifs**

- Réactifs 1, 2 et 3 NANOCOLOR UV/VIS

➤ **Mode opératoire**

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

- 20 ml d'échantillon à analyser ;
- 1 ml de R1, mélanger et attendre 3 mn ;
- 1 ml de R2, mélanger et attendre 1 mn ;
- 1 ml de R3.

Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 15 mn après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires. La lecture se fait à une longueur d'onde de 690 nm.

R1, R2 et R3 : sont des kits chimiques pour le dosage de la silice.

III-3-3 Le chlore libre: NANOCOLOR® Chlore Test 1-16

➤ **Définition**

Le chlore libre est un gaz halogène de couleur jaune vert ; contenue dans l'hypochlorite de sodium (NaOCl) ajouté à l'eau de forage. Il agit comme un désinfectant et un régénérant du MnO₂.

➤ **Principe**

Le chlore libre, réagit avec la DPD (N,N-diéthyl-1,4-phénylènediamine) pour donner une coloration rouge-violette par addition d'une quantité définie d'ions iodures. Les turbidités provoquées par des particules en suspension peuvent être éliminées par centrifugation de l'échantillon. Les oxydants comme le bromure, les bromamines, l'iode et les composés de manganèse de haute valence simulent le chlore.

➤ **Matériels**

- Cuve rectangulaire 5cm NANOCOLOR ;
- Pipette 1 ml, 20ml ;
- fiole 25 ml ;
- Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS

➤ **Réactifs**

- Réactifs 1 et 2 NANOCOLOR

➤ **Mode opératoire**

Introduire respectivement dans une fiole de 25 ml :

- 20 ml d'échantillon à analyser ;
- 1 ml de R1, mélangé ;
- Une pincée de R2, mélangé ;

Ajuster à 25 ml avec de l'eau distillée et mesurer après 30 secondes après avoir transvaser dans des cuves rectangulaires. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

R1, R2 : sont des kits chimiques pour le dosage du chlore libre.

III-3-4 Le manganèse : NANOCOLOR® Manganèse 10 Test0-58 Art.

N° 985 058

➤ **Définition**

Manganèse, élément chimique métallique cassant, blanc argenté, de symbole Mn et numéro atomique 25. C'est un élément de transition.Principe

Les ions manganèse réagissent en milieu alcalin avec la formaldoxime pour donner un complexe orange-rouge.

➤ **Matériels**

- Cuve ronde NANOCOLOR;
- pipette 1 ml et 5ml ;
- Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS.

➤ **Réactifs**

- Réactifs 2,3 NANOCOLOR.

➤ **Mode opératoire**

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml de l'échantillon à analyser et 0.5 ml de R2. Fermer, mélanger et attendre une minute, puis ajouter une cuillère de mesure de R3 et mesurer après 5mn. Le blanc est préparé avec 04 ml de l'échantillon à analyser, 0.5 ml de R2 et une cuillère de mesure de R3.

R2, R3 : sont des kits chimiques pour le dosage du manganèse.

III-3-5 Aluminium : NANOCOLOR® Aluminium 07 Test 0-98 Art. N°985 098

➤ Définition

Aluminium, élément métallique de symbole Al et de numéro atomique 13. L'aluminium appartient au groupe III A (colonne 13) du tableau périodique et son état d'oxydation le plus stable est + 3. C'est l'élément métallique le plus abondant dans la croûte terrestre.

➤ Principe

L'ériochromocyanine R développe avec l'aluminium en solution faiblement acide une coloration rouge-violette.

Les échantillons fortement acides et tamponnés doivent être ajustés à pH = 6.

➤ Matériels

- Cuve ronde NANOCOLOR ;
- Pipette 1 ml, 5 ml ;
- Spectrophotomètre NANOCOLOR UV/VIS.

➤ Réactifs

- Réactifs 2, 3 et 4 NANOCOLOR.

➤ Mode opératoire

Dans une cuve ronde on introduit :

- 0,5 ml de R2 ;
- 0,5 ml de R3 ;
- 04 ml de l'échantillon à analyser ;
- 0,5 ml de R4.

Ensuite on ferme et on agite le mélange. En fin on mesure après 5 mn. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

R2, R3, R4 : sont des kits chimiques pour le dosage de l'aluminium.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISSCUCTIONS

Le quatrième chapitre de ce mémoire est consacré à la présentation des résultats des analyses obtenus sur des échantillons avant, au cours, et après le traitement de l'eau brute par l'osmose inverse.

Les paramètres sont : le pH, la conductivité, TH, TH Ca^{++} , TA, TAC Cl^- , Cl_2 , Mn, Al, au niveau de l'eau brute (l'entrée) et à l'unité osmose inverse (la sortie). Les résultats issus des mesures hebdomadaires sur la silice et le fer (SiO_2 , Fe) effectués sur des échantillons des différentes étapes du traitement (forage, après filtre à sable, osmose, les bacs de stockage et de réserve et ultra pure) seront aussi présentés dans cette partie.

IV. Résultats des analyses physico-chimiques

IV.1. Potentiel d'hydrogène (pH) :

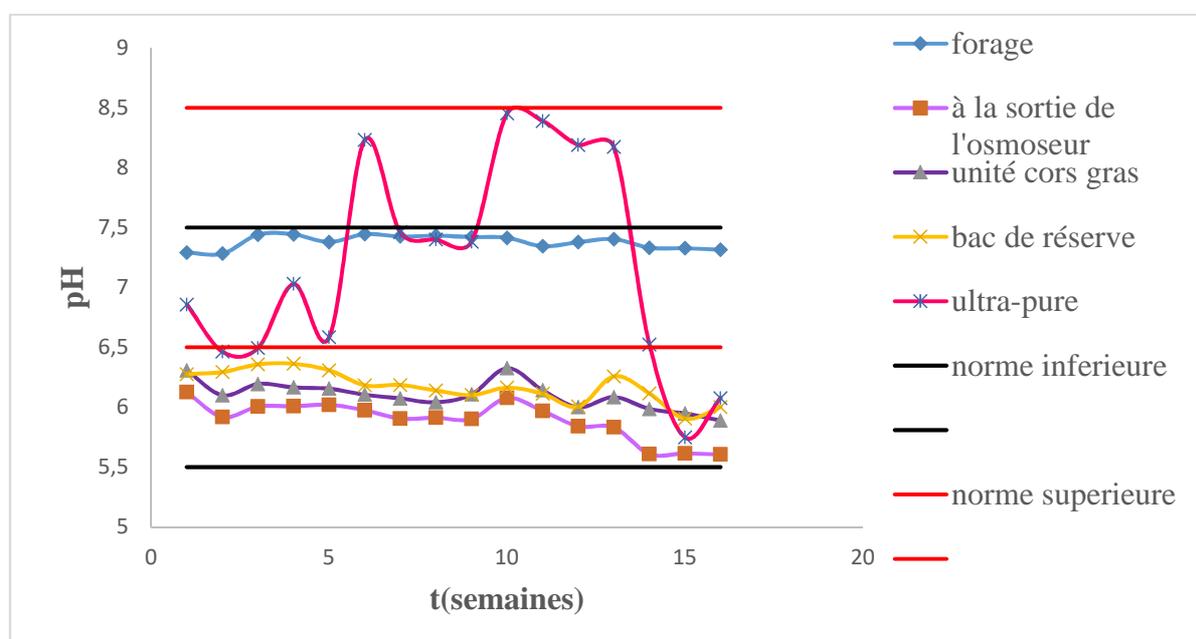


Figure IV.1 : Variation du pH des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse

D'après la figure IV.1 les valeurs de pH des eaux au niveau de l'entrée (forage) ne varient pas beaucoup au cours de la période d'étude et elles sont en moyennes neutres. La plus grande valeur du pH est enregistrée 7.44 et la minimale est de 7.28.

la même évolution a été remarquée pour les valeurs du pH à la sortie de de l'osmose inverse (eaux osmosées) en enregistrant une valeur maximale est de 6.12 et une minimale de 5.60 avec une moyenne de 5.89. Ces valeurs variaient légèrement dans les bacs alimentant l'unité des corps gras et de la réserve avec des valeurs moyennes 6.1 et 6.17 respectivement.

Les valeurs de pH de l'eau ultra-pure plus élevés que les valeurs de pH de l'eau osmosée sont très variables durant la période d'étude avec une valeur maximale de $\text{pH} = 8.53$ dépassant la norme supérieure de l'entreprise ($5.5 < \text{pH} < 7.5$). en raison du l'excès de la soude caustique (NaOH) injectée dans ce compartiment de conditionnement d'eau .

III.2 La conductivité :

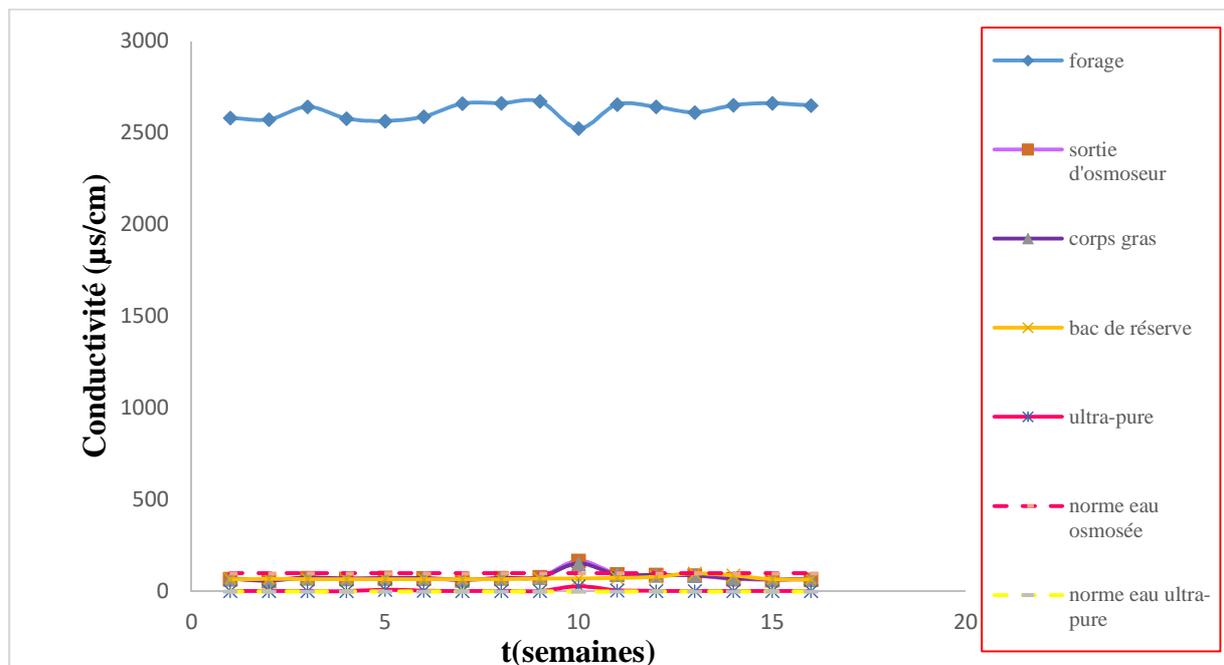


Figure IV.2 : Variation des valeurs de la conductivité des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité d'osmose inverse.

L'évolution de la conductivité comme indiquée sur la figure IV.2, montre de très grandes variations entre les valeurs de ce paramètre à l'entrée et à la sortie. En effet, les valeurs de la conductivité avant le traitement de l'eau sont très importantes par rapport à celles enregistrées après le passage par l'unité d'osmose inverse. Avant le processus de potabilisation, la conductivité de l'eau brute affiche une valeur moyennée de $2510.7 \mu\text{s}/\text{cm}$, ceci s'explique par la forte présence d'ions et sels minéraux dans l'eau à l'entrée (forage). Après le passage des eaux par les osmoseurs, une diminution conséquente de la conductivité des eaux est observée pour atteindre des valeurs conformes aux normes requises. Ces résultats confirment le rôle important que jouent les membranes d'unité osmose inverse dans la déminéralisation de l'eau.

IV.3 Le titre hydrométrique TH :

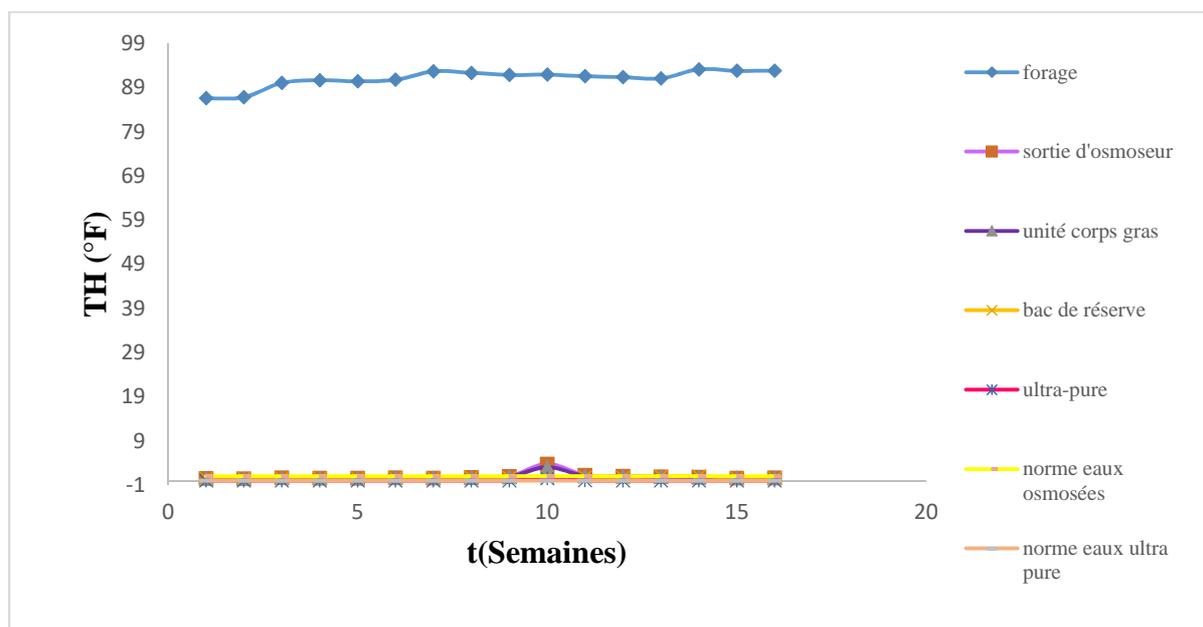


Figure IV.3 : Variation des valeurs de TH des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité OI

D'après la figure IV.3, l'évolution des valeurs de TH des eaux brutes au niveau de l'entrée ne varient pas au cours de la période d'étude, avec une valeur moyenne autour de 87 °F. La même évolution est constatée pour ce paramètre à la sortie, avec des valeurs largement inférieures à celles enregistrées à l'entrée. Cette différence s'explique par l'élimination complète des ions carbonates de calcium et de magnésium dans l'eau par des membranes des osmoseurs.

Il est aussi à noter que tous les résultats de TH obtenus sont conformes aux normes appliquées par l'entreprise. Ces valeurs attestent aussi du bon état des membranes qui empêchent le passage des ions carbonates de calcium et de magnésium qui pourraient causer un risque d'entartrage des conduites.

IV.4 Le titre hydrométrique TH calcique (TCa) :

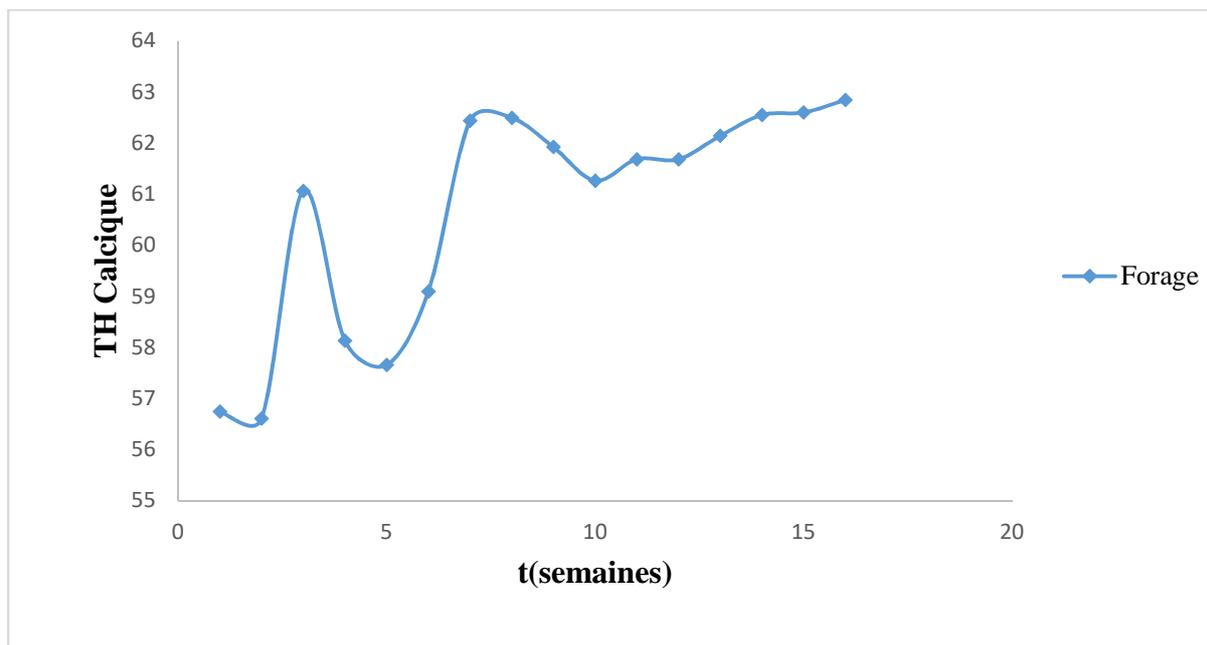


Figure IV.4 : Variation de la présence de calcium en eau de forage IBOURASSEN.

D’après cette figure, on constate que l’évolution des valeurs de TH calcique des eaux au niveau de l’entrée ne varient pas au cours de la période d’étude. En effet, les données oscillent entre une valeur maximale du TH de 62.84 °F et une valeur minimale de 56.60°F, avec une moyenne de 60.68 °F.

IV.5. le titre alcalimétrique (TA) :

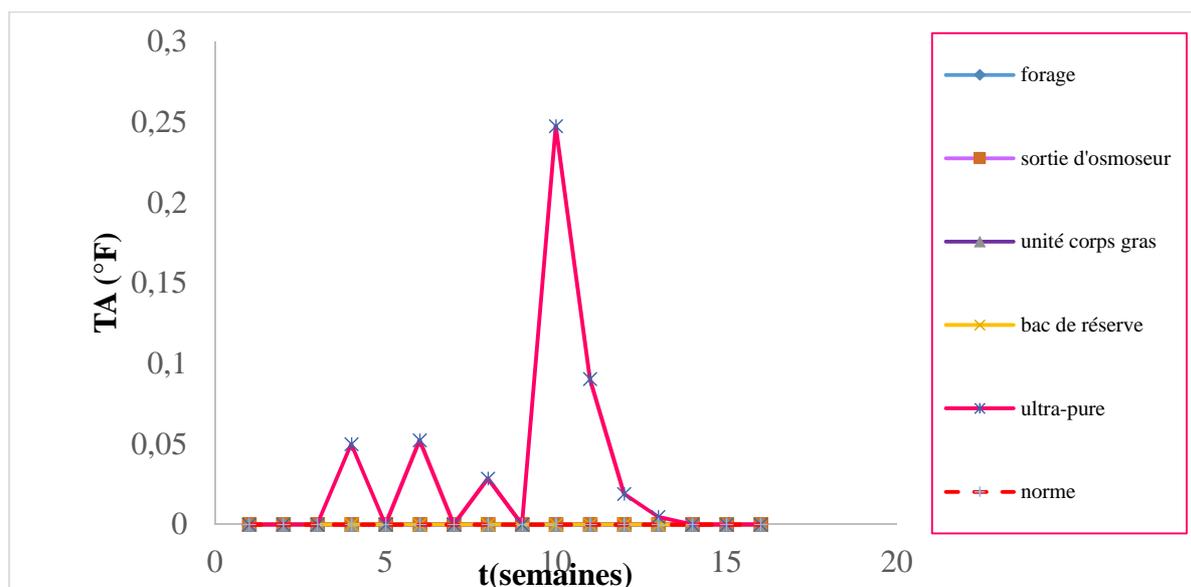


Figure IV.5 : Variation des valeurs de TA de l’eau ultra pure

Comme c'est indiqué dans la figure IV.5, le titre alcalimétrique (TA) est nul pour tous les échantillons analysés au cours de la période d'étude sauf pour l'eau ultra-pure. Le titre oscille entre une valeur maximale du TA de 0.24°F au 10^{ème} semaine et une valeur minimale de 0°F , avec une moyenne totale de 0.03°F .

Le TA des échantillons (forage, eaux osmosées, corps gras et bac de réserve) est nul par ce que le pH des eaux est inférieur à 8.3, induisant l'absence de bases fortes (carbonates et alcalins libres) dans les échantillons d'eau analysée. Le titre alcalimétrique de l'eau ultra-pure n'est pas conforme à la norme (0°F) et cela est dû à l'excès de l'injection de la soude (NaOH) au niveau de la ligne accouplée.

IV.6 : Le titre alcalimétrique complet (TAC) :

Les résultats obtenus sur l'alcalinité sont représentés dans la figure IV.6

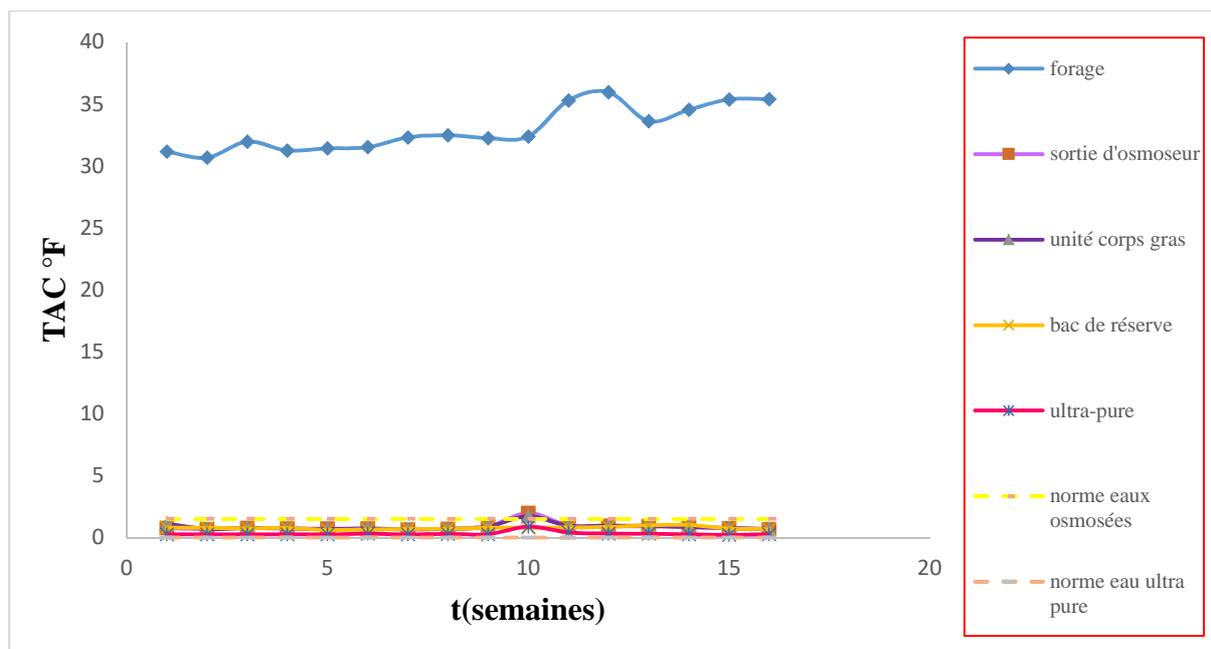


Figure IV.6 : Variation des valeurs de TAC des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité d'osmose inverse.

D'après cette figure, les valeurs de TAC des eaux varient peu au cours de la période d'étude. La plus grande valeur de TAC enregistrée est de 35.94°F pour l'eau de forage, dépassant légèrement la norme de 35°F durant la 12^{ème} semaine. La même évolution est constatée pour ce paramètre à la sortie mais avec des valeurs plus basses que celles à l'entrée.

En effet, la plus grande valeur du TAC est de 1.97 °F et la valeur minimale est de 0.66 °F avec une moyenne totale de 0.84 °F.

IV.7 Teneur en chlorures (Cl⁻) :

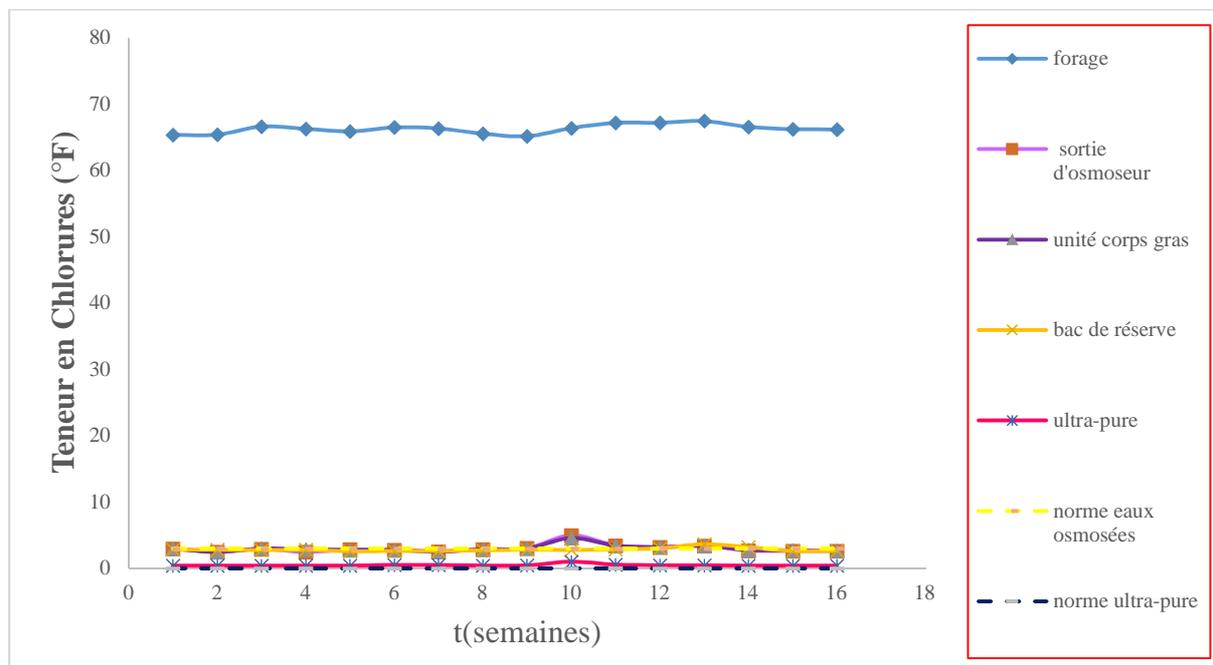


Figure IV. 7 : Variation de la teneur en chlorures à l'entrée et la sortie de l'unité OI.

L'évolution des teneurs en chlorures comme indiquée sur la figure IV.7 montre une stabilité de ce paramètre et une variation à partir de la 10^{ème} semaine à l'entrée (forage) avec des teneurs le Cl⁻ plus élevées et une moyenne totale de 66.22 °F. Les concentrations en chlorures à la sortie ne varient pas beaucoup avec des valeurs ne dépassant guère 3 °F.

Les valeurs de Cl⁻ obtenues à l'entrée (forage) sont conformes aux normes de Cevital et les valeurs de Cl⁻ obtenues à la sortie eaux osmosés dépassent légèrement les normes de l'entreprise pendant la 10^{ème} semaine et cela est dû au mauvais fonctionnement des osmoseurs (colmatage des membranes) qui ont besoin d'un CIP (nettoyage en place).

IV.8 La teneur en chlore libre :

Les variations des teneurs en chlore libre des eaux analysées à l'entrée et à la sortie sont indiquées sur la figure IV.8

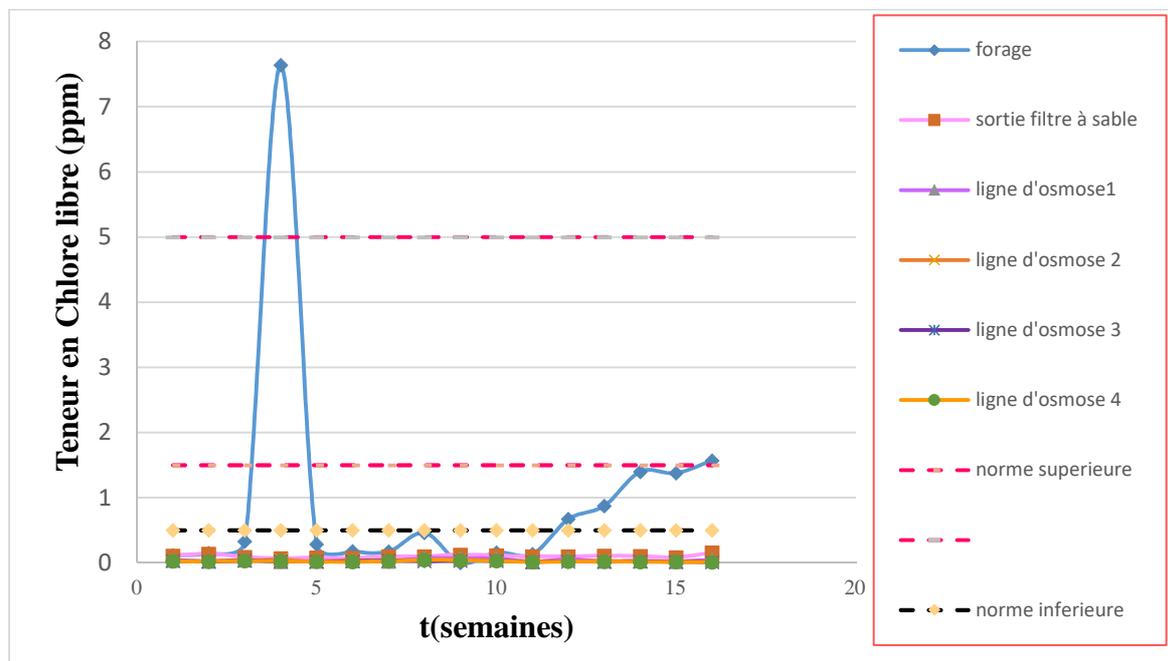


Figure IV.8 : Variation des teneurs en chlore libre des eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité OI.

D'après cette figure IV.8, nous observons que la concentration en chlore libre est variable dans l'eau brute. En effet, les valeurs oscillent entre un maximum de 7.63 ppm qui dépasse la norme (5 ppm) et un minimum de 0.01 ppm. A la sortie, ces valeurs diminuent fortement, avec des valeurs maximales de 0.048 ppm.

- La valeur maximale de chlore libre à l'entrée dépasse la norme 5 ppm en raison de l'excès de dosage d'hypochlorite de sodium au niveau bac de forage.
- La réduction de la teneur de chlore libre au niveau de l'eau filtrée (à la sortie de filtre à sable) est due à la régénération de sable pyrolusite par le chlore qui est consommé par cette réaction.
- La réduction des teneurs en chlore libre au niveau des lignes 1,2,3 et 4 est due à l'addition de métabisulfite de sodium qui a le rôle d'éliminer le chlore libre dans l'eau.

IV.9 : Teneur en manganèse

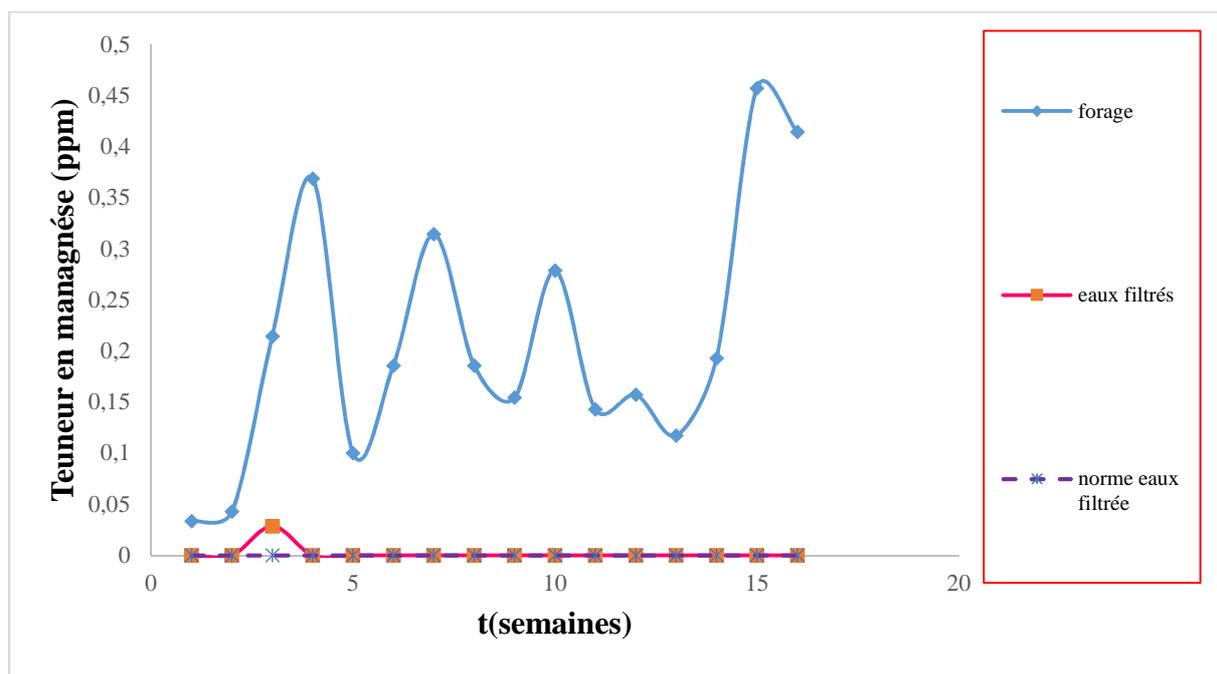


Figure IV.9: Variation de la teneur en manganèse des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité Osmose inverse

L'évolution de la teneur en manganèse des eaux au cours de la période d'étude au niveau de la sortie et de l'entrée de l'osmose inverse est indiquée sur la figure IV.9.

D'après cette figure, dans l'eau de forage, nous remarquons une variation des teneurs en manganèse durant la période d'étude avant de s'annuler complètement à la sortie de l'osmose inverse.

-La présence de manganèse en eau brute (forage) est naturelle et la variation de ses teneurs est due à la variation des coefficients de la dissolution des sels minéraux en eau (température).

- La présence de manganèse à des concentrations qui dépassent les normes de l'entreprise (0 ppm) de 0,02 ppm durant la 2^{ème} semaine à la sortie de filtre à sable est due à la non-régénération du sable pyrolusite à cause de l'insuffisance d'hypochlorites de sodium dosées.
- L'absence de manganèse en eau à la sortie de l'osmose inverse explique le bon fonctionnement des 4 lignes des osmoseurs ça veut dire rétention des molécules de manganèse par les membranes d'osmose inverse.

-

IV.10: Teneur en Aluminium

Les variations des teneurs en aluminium au niveau de l'entrée (forage) et la sortie (osmose inverse) sont indiquées sur la figure IV.10 (Tableau IV.10 Annexe II).

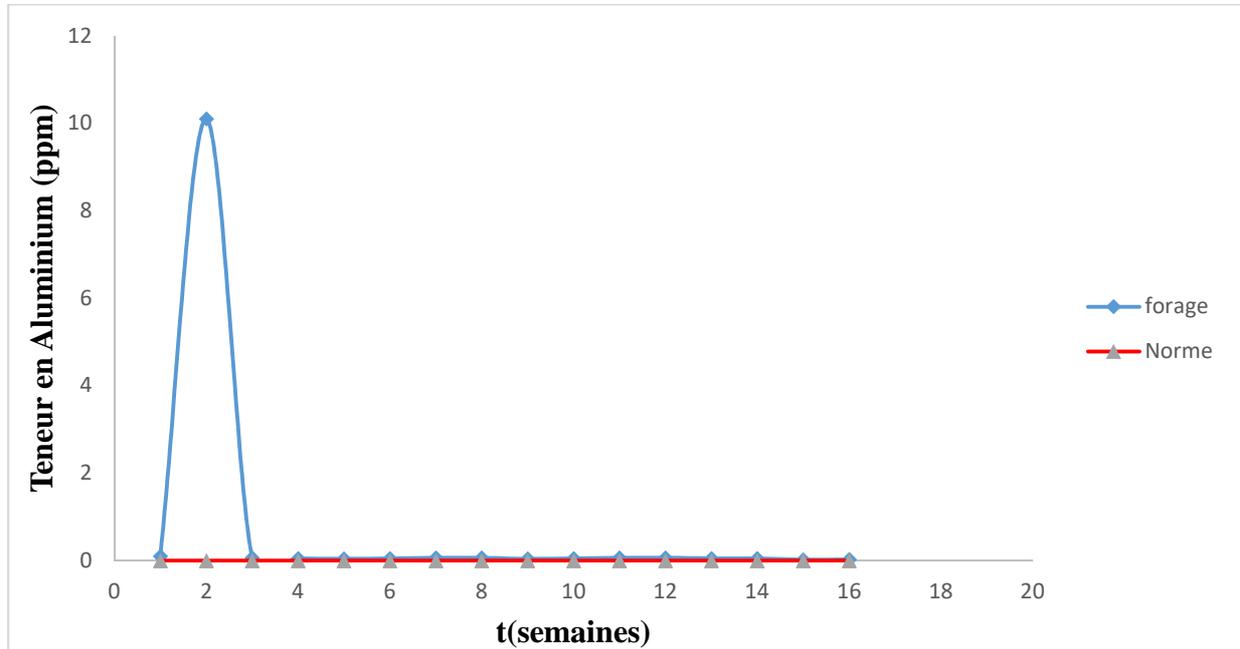


Figure IV.10 : Variation de la teneur en aluminium à l'entrée et la sortie de l'unité Osmose inverse.

D'après cette figure, les teneurs en aluminium des eaux analysées sont très variables à l'entrée. Les valeurs oscillent entre un maximum de 10 ppm et un minimum de l'ordre de 0,02 ppm, avec une moyenne de 0,68 ppm. A la sortie du circuit de potabilisation, les concentrations en Aluminium atteignent des seuils quasi nuls en raison de l'efficacité des modules d'osmose inverse.

IV.11. : La teneur en fer

L'évolution des teneurs en fer au niveau des différents de circuit traitement des eaux de Cevital est indiquée sur la figure IV-11 (tableau IV.11,Annexe II).

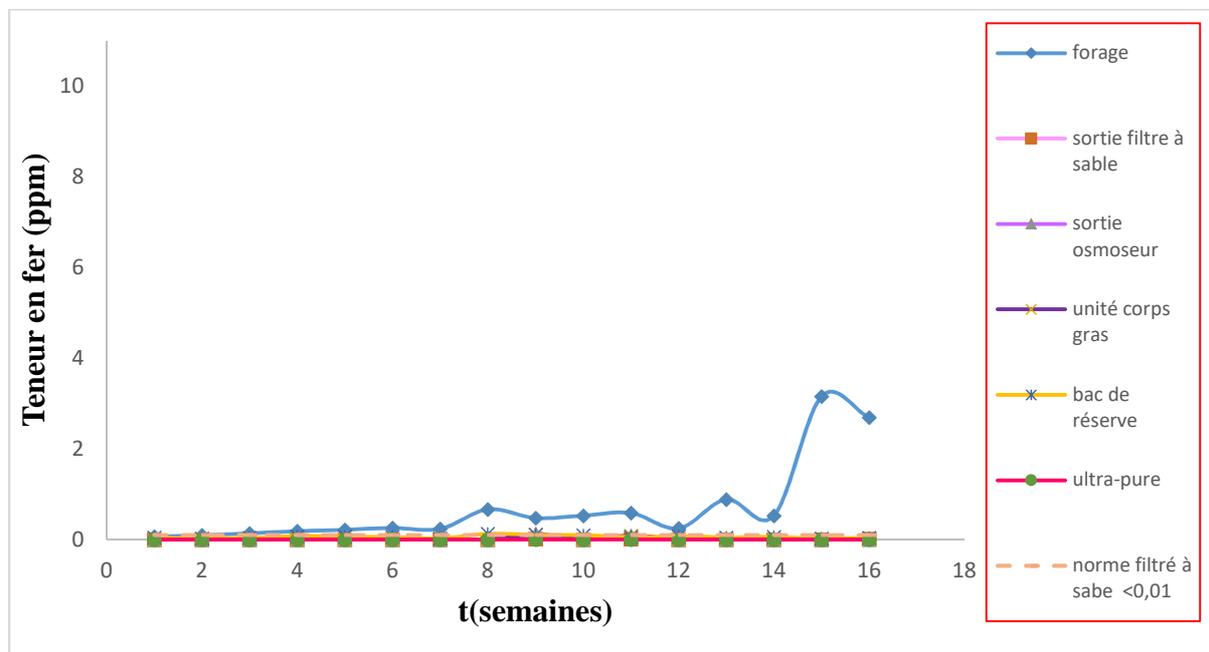


Figure IV.11 : Variation des teneurs en fer au niveau les différents circuits de traitement de l'eau.

D'après cette figure, les teneurs en fer affichent une certaine variation au niveau des eaux de forage. Leurs valeurs varient entre une maximale de 3.15 ppm et une minimale de 0,06, avec une moyenne de 0.67 ppm. A la sortie des. Les teneurs en fer diminuent drastiquement après le transit de l'eau par les étapes de traitement pour atteindre des valeurs quasi nulles à la sortie des osmoseurs.

IV.12. : La teneur en silice

L'évolution des teneurs en silice des eaux analysés au niveau des différents circuits est montrée sur la figure IV.12 (tableau IV.12, AnnexeII)

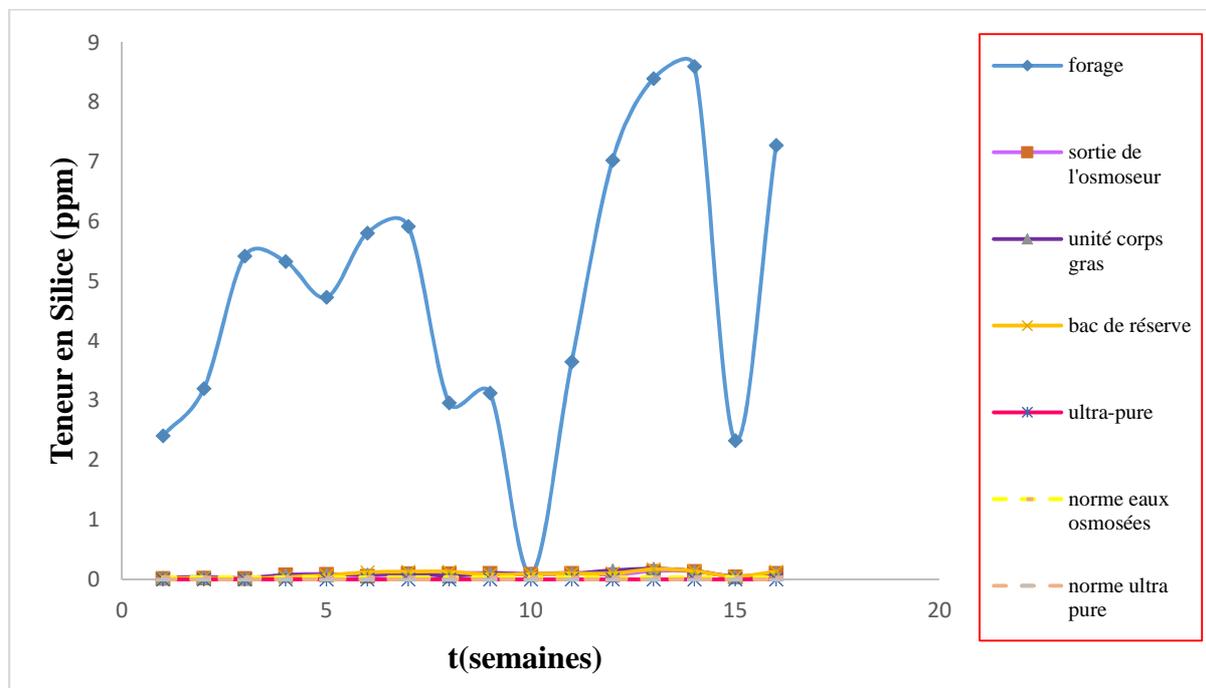


Figure IV.12 : Variation des teneurs de la silice (SiO_2) au niveau des différents circuits de traitement.

D'après cette figure, les concentrations en silice sont très variables d'un circuit à un autre. En effet, la plus grande valeur a été enregistrée au niveau du forage (entrée) en enregistrant une valeur de 8.6 en 9^{ème} semaine, indiquant une eau chargée en silice. Ceci pourrait s'expliquer par l'enrichissement de la nappe souterraine par la silice lors de l'infiltration des eaux par lessivage des sols. Grâce à l'efficacité du traitement, l'entreprise arrive à faire chuter les teneurs en silice pour atteindre une valeur de 0,14ppm à la sortie des osmoseurs, en conformité avec les normes en vigueur (4ppm).

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce présent travail constitue une contribution à l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux dans l'unité de production des eaux de process agroalimentaire par Osmose Inverse au niveau complexe Cevital, Bejaia de Janvier à Avril 2019.

Les résultats d'analyses journalières sur les différents paramètres tels que le pH, la conductivité, le TH, TAC, TA, THCa^{+2} , chlorures, manganèse obtenus sur les eaux utilisées à l'entrée du cycle de potabilisation de l'eau brute nous ont permis de confirmer que la qualité de ces eaux est conforme aux normes en vigueur au sein de l'entreprise... A la sortie du cycle de potabilisation au sein de l'entreprise (à la sortie des osmoseurs), l'eau de process produite affiche là aussi des valeurs en pH, conductivité, TA, TAC, TH, THCa^{+2} , chlorures, chlore, très conformes aux normes requises. manganèse, aluminium, fer et la Ceci confirme que l'unité osmose inverse produit une eau osmosée de très bonne qualité..

Pour les analyses hebdomadaires, les teneurs en silice et en fer au niveau des différents circuits de traitement indiquent une diminution graduelle en transitant par les différentes étapes de production d'eau osmosée jusqu'à atteindre des valeurs quasi-nulles à la fin du processus. Ceci témoigne du rôle que joue chaque niveau de potabilisation dans l'élimination de ces deux paramètres jusqu'à la production d'une eau ultra pure qui répond aux normes.

D'une manière générale, à l'issue de notre travail, nous pouvons déduire que l'unité osmose inverse de l'entreprise agroalimentaire Cevital, est performante et produit une eau de très bonne qualité qui répond aux normes exigées. Cette performance s'explique par :

- L'efficacité de l'unité osmose inverse et le bon fonctionnement des modules ;
- Le système de prétraitement appliqué ;
- L'entretien et le nettoyage permanent de l'installation des membranes d'osmose inverse.

Bibliographie

Liste des références

- ATELLAH.A, 2014.** «Procédé de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau de l'aire de Hanaine» .Mémoire master en biologie. Université de Tlemcen. (99 pages)
- Elabed.A, 2007,** «Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier», 2007.(198 pages)
- Kumar.A.P;Rizvi, S.S.H;Sastre,A.M (2015).**«Handbooks of Membrane separation Chemical Pharmaceutical, food and biotechnological application». 2ème édition (878 pages)
- Manuel.A, 2006.** Manuel du complexe Cevital (Laboratoire des eaux), Bejaia,2006 (91 pages)
- BESSEDIK. M,** « traitement de l'eau II » cours master 1 Université de Tlemcen. (370 pages)
- Bonnin.J ,1982** « Aide-mémoire hydraulique urbaine », 1982, édition. Eyrolles.(127 pages)
- Chaufer.B et Rabiller, 1996** B. chaufer et M. Rabiller-Baudry. « Rétention of ions in nanofiltration at various ionic strength ». 1996 (450 pages)
- Desjardins.R, 1984**« le traitement des eaux édition de l'école polytechnique Montréal » (1984).(350 pages)
- Desjardins.R, 1990**« le traitement des eaux 2ème édition de l'école polytechnique de Montréal », janvier 1990. (355 pages)
- Desjardins.R, 1997**« le traitement des eaux édition de l'école polytechnique de Montréal », France (1997). (304 pages)
- Dégréement, 1978.** « Mémento technique de l'eau », 8ème Édition, paris 1978. (490 pages)
- Dégréement ,2005** «Mémento technique de l'eau », 2005 Lavoisier technique de l'eautome 1, paris.(280 pages)
- Dégréement, 2009** « Mémento technique de l'eau. » Tome I.2009 (559 pages)
- Rodier, 2009**« l'analyse de l'eau », 9ème édition, DUNOD (éditeur), Paris, France (2009).(1600 pages)

GOMELLA C et GUERREE, 1978 « le traitement des eaux publiques industrielles et privés ». Edition Eyrolles.(313 pages)

Gheret.S, (2017) « Les grandes catégories d'usages de l'eau dans l'industrie », techniques de l'ingénieur.

HAMDANI, 2002 « caractérisation et essaie de traitement des effluents d'une industrie laitière : aspects microbiologiques et physico-chimiques ». Thèse de l'Université Chouhaib Doukkali, El Jadida, Maroc.(357 pages)

KHEZAMILL, 2018. KHEZAMI Lotfi, « Production du charbon actif et son application en traitement des eaux. Production et caractérisation des charbons actifs à partir du bois et autres application en traitement des eaux », (2018)(180 pages)

Gamerasni.M,1986 « Le gout de l'eau » Ed. 1986

ROVEL, J.M, 2012 Rovel, J.M, « Dessalement de l'eau de mer », 2012, technique de l'ingénieure.(157pages)

TANSAKUL, 2009 « procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de maravant dessalement par osmose inverse » Thèse de DOCTORAT en Génie des procédés et de l'environnement ; Université de TOULOUSE, France.(254pages)

Tardat-Henry, 1984« Chimie de eaux » 1ere édition griffon d'argile INC, paris (1984) (340 pages)

Danis.P, 2003«Dessalement de l'eau de mer ». Editions Techniques de l'ingénieur, Paris.

J-M. Berland, 2002 Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY. « Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau » Décembre 2002. (128 pages)

<http://www.fao.org>

Annexes

➤ **Définition**

❖ **Produit biocide**

Le mot biocide (étymologiquement : bio + cide « qui tue la vie »), désigne une large famille de substance chimique qui regroupe les pesticides, les antiparasitaire et les antibiotique à usages médicaux, vétérinaire, domestique ou industriel, les désinfectants de l'eau, de l'air de sols, surface de travail...etc.

❖ **Produits séquestrant**

Les séquestrant, au sens chimique, sont des ligands qui formule 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 disponibilité de ces cations, aussi sont en quelque sorte des agents conservateurs et des antioxydants. Les séquestrant communs sont :

- Acide éthylène-diamine-tétra-acétique (C₁₀H₁₆N₂O₈).
- Acitate de sodium (CH₃COONa).

❖ **Séquestrant (TD-ASCAL)**

C'est le nom commercial du séquestrant utilisé avant les filtres à cartouche utilisé dans l'unité de production des eaux pures au niveau du complexe CEVITAL.

❖ **Floculant (TD-FLOC)**

C'est un nom commercial du floculant utilisé au niveau des filtre à sable. Un floculant est un polymère (une longue molécule constitué par la répétions d'un motif de base), qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocc volumineux qui déposent par sédimentation et peuvent être plus facilement arrêtés par les filtres.

❖ **Métabisulfite de sodium (Na₂S₂O₃)**

Le Métabisulfite de sodium ou pysosulfite de sodium, c'est un désinfectant, antioxydant et conservateur alimentaire jaunâtre. Il est couramment utilisé dans le brassage et vinification pour désinfecter les équipements. Il est utilisé comme agent de nettoyage pour les membranes d'osmose inverse utilisé dans le traitement d'eau potable et pour les systèmes de dessalement. Il est également utilisé pour éliminer les chloramine d'eau potable après traitement.

❖ **TD WACH 1**

C'est un nom commercial de la solution acide utilisée pour le lavage des membranes au niveau de CEVITAL.

❖ **TD WACH 2**

C'est nom commercial de la solution basique utilisée pour le lavage des membranes utilisés dans l'unité de production des eaux pures au niveau du complexe CEVITAL.

❖ **Coagulant :**

Produit chimique ou organique destiné à favoriser la coagulation des matières colloïdales en suspension dans une eau. Les plus courants sont le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, et le chlorure ferrique $FeCl_3$. Peut toujours contenir des sels de calcium et de magnésium autres que les carbonates.

❖ **L'hypochlorite de sodium $NaClO$ (Eau de Javel) :**

Solution aqueuse d'hypochlorite de sodium ($NaClO$) utilisée, en particulier, pour la désinfection des eaux. C'est un oxydant puissant. La concentration d'une eau de Javel s'exprime en degrés chlorométriques ($^{\circ}Cl$) ou degrés Gay-Lussac : un degré chlorométrique correspond à 3,17 grammes de chlore libre par litre, les concentrations les plus courantes sont $48^{\circ}Cl$ (extrait de Javel) et $12^{\circ}Cl$.

❖ **Matières en suspension :**

Particules solides très fines présentes dans l'eau, que la pratique divise en :

- ❖ matières décantables, qui se séparent naturellement, sans apport de réactif, quand l'eau est au repos,
- ❖ matières colloïdales trop fines pour décanter par gravité, mais éliminables par coagulation.

❖ **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 0,2 milliéquivalent 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

Equivalence en mg.l-1 du milliéquivalent.l-1 et du degré français

élément	formule	Masse molaire	Valeur (mg.l-1)	
			Pour 1meq.l-1	Pour 1°F
Carbonate de calcium	CaCO ₃	100	50	10
Carbonate de magnésium	MgCO ₃	84	42	8.4
Calcium	Ca ²⁺	40	20	4
Magnésium	Mg ²⁺	24.3	12.2	2.43
Carbonate	CO ₃ ²⁻	60	30	6
Bicarbonate (hydrogénocarbonate)	HCO ₃ ⁻	61	61	12.2
Chlorure	Cl ⁻	35.5	35.5	7.1
Hydroxyde	OH ⁻	17	17	3.4

➤ Démonstration de TH (°F) = Chute de burette

En appliquant la loi de la volumétrie on a :

$$N_{\text{CaCO}_3} V_{\text{CaCO}_3} = N_{\text{EDTA}} V_{\text{EDTA}}$$

$$\text{TH eqg/l} = \frac{N_{\text{EDTA}} V_{\text{EDTA}}}{V_{\text{CaCO}_3}} \quad \longleftrightarrow \quad \text{TH eqg/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{EDTA}}}{100}$$

$$\text{TH eqg/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{EDTA}}}{100} \longleftrightarrow \text{TH g/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{EDTA}}}{100} \times \text{Meq de CaCO}_3$$

$$\text{TH eqg/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{EDTA}}}{V_{\text{CaCO}_3}} \times \frac{\text{Masse molaire CaCO}_3}{\text{Valence (Z)}}$$

$$\text{TH g/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{EDTA}}}{100} \times \frac{\text{Masse molaire CaCO}_3}{\text{Valence (Z)}} = \frac{0.02 \times V_{\text{EDTA}}}{100} \times \frac{100}{2}$$

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

On a $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$

$$\text{TH}^\circ\text{F} = \frac{0.02 \times V_{\text{EDTA}}}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000 \times \frac{1}{10}$$

$$\text{TH}^\circ\text{F} = \frac{0.02}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000 \times \frac{1}{10} \times V_{\text{EDTA}} \longrightarrow \text{TH}^\circ\text{F} = V_{\text{EDTA}}$$

$$\text{TH}^\circ\text{F} = V_{\text{EDTA}}$$

Même démonstration pour le TH Ca^{++}

➤ **Démonstration de TA ($^\circ\text{F}$) = Chute de burette**

En appliquant la loi de la volumétrie on a :

$$\text{TAeqg/l} = \frac{N_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{V_{\text{CaCO}_3}} \longleftrightarrow \text{TAeqg/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100}$$

$$\text{TAeqg/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100} \times \frac{\text{Masse molaire CaCO}_3}{\text{Valence (Z)}}$$

$$\text{TA g/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100} \times \frac{\text{Masse molaire CaCO}_3}{\text{Valence (Z)}} = \frac{0.02 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100} \times \frac{100}{2}$$

$$\text{TA mg/l} = \frac{0.02 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000$$

On a $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$

$$TA^{\circ F} = \frac{0.02 \times V_{H_2SO_4}}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000 \times \frac{1}{10}$$

$$TA^{\circ F} = \frac{0.02}{100} \times \frac{100}{2} \times 1000 \times \frac{1}{10} \times V_{H_2SO_4} \longrightarrow TA^{\circ F} = 1 \times V_{H_2SO_4}$$

$$TA^{\circ F} = V_{H_2SO_4}$$

$V_{H_2SO_4}$ = Chute de burette

➤ **Même démonstration pour le TAC**

➤ **Démonstration de $Cl^- (^{\circ}F) =$ Chute de burette**

En appliquant la loi de la volumétrie, on a :

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

$$\longleftrightarrow [Cl^-]_{eqg/l} = \frac{0.02 \times V_{AgNO_3}}{100}$$

$$[Cl^-]_{eqg/l} = \frac{0.014 \times V_{AgNO_3}}{100} \longleftrightarrow [Cl^-]_{g/l} = \frac{0.02 \times V_{AgNO_3}}{100} \times MeqCl^-$$

$$[Cl^-]_{g/l} = \frac{0.02 \times V_{AgNO_3}}{100} \times \frac{\text{Masse atomique Cl}}{\text{Valence (Z)}}$$

$$[Cl^-]_{g/l} = \frac{0.014 \times V_2}{100} \times \frac{\text{Masse atomique Cl}}{\text{Valence (Z)}} = \frac{0.014 \times V_2}{100} \times \frac{35.5}{1}$$

$$[Cl^-]_{mg/l} = \frac{0.02 \times V_{AgNO_3}}{100} \times 35.5 \times 1000$$

$$[Cl^-]_{mg/l} = \frac{0.02}{100} \times 35.5 \times 1000 \times V_{AgNO_3}$$

On a $1^{\circ}F = 10 \text{ mg/l}$ de $CaCO_3$

$$Cl^- (^{\circ}F) = \frac{0.02}{100} \times 35.5 \times 1000 \times \frac{1}{7.1} \times V_{AgNO_3}$$

$$Cl^- (^{\circ}F) = 1 \times V_{AgNO_3}$$

V_{AgNO_3} = chute de burette

Préparation des solutions

❖ Préparation d'une solution à partir d'un solide

1N d'NaOH $\xrightarrow{\text{Masse équivalente (NaOH) = Masse molaire (NaOH)/valence}}$ 1000 ml de solution

1N d'NaOH \longrightarrow 40,8 g \longrightarrow 1000 ml

0.1N d'NaOH \longrightarrow X g \longrightarrow 1000 ml de solution

$X = (0.1 \times 40,8) / 1 = 4,08\text{g}$ \longrightarrow 1000 ml de solution

X1 = 4,08 g de NaOH à dissoudre dans 1000 ml d'eau distillée

➤ Préparation d'une solution à partir d'un liquide

➤ Préparation d'une solution à partir d'une solution concentrée

Exemple : Préparer 1000 ml d' H₂SO₄ de 0,02 N à partir de la solution concentrée 96% et de densité 1.84.

$$V = (M \times 100) / (P \times d)$$

- m : masse de H₂SO₄
- p : pureté de la solution
- p: Densité de la solution

1N d'H₂SO₄ \longrightarrow Masse équivalente (H₂SO₄)=molaire (H₂SO₄)/valence \longrightarrow 1000 de solution

1N d' H₂SO₄ \longrightarrow 98/2 = 49g \longrightarrow 1000 ml de solution

0,02N d' H₂SO₄ \longrightarrow m (g) \longrightarrow 1000 ml de solution

$m = (0,02 \times 49) / 1 = 0,98\text{g}$ \longrightarrow 1000 ml de solution

m= 0, 98 g d' H₂SO₄

$$V = \frac{m \times 100}{P \times d} = \frac{0.98 \times 100}{96 \times 1.84} = 0.5548 \text{ ml.}$$

➤ **Préparation des solutions pour le laboratoire des eaux**

Hydroxyde de sodium (NaOH) à 1N : 40.8 g de NaOH à 98% dans 1L d'eau distillée.

Hydroxyde de sodium (NaOH) à 0.1 N : 4.08 g de NaOH à 98% dans 1L d'eau distillée.

Acide sulfurique (H₂SO₄) à 0.02 N : 0.5548 ml de H₂SO₄ à 96 %

EDTA (C₁₀H₁₆N₂O₈) à 0.02N : 3.7224g EDTA dans 1L d'eau distillée.

Métabisulfite (Na₂S₂O₃) à 1N : 158.11g dans 1L d'eau distillée.

Nitrate d'argent (AgNO₃) 1 N : 169 g dans 1L d'eau distillée.

Nitrate d'argent (AgNO₃) à 0.02 N : 3.3974g dans 1L d'eau distillée.

Méthyle orange : 1 g dans 100 ml d'eau distillée.

Phénolphtaléine : 1 g dans 100 ml d'alcool.

Noir ériochrome : 0.4 g dans 100 ml d'alcool.

Chromate de potassium (K₂CrO₄) : 10 g dans 100 ml d'eau distillée.

Tampon ammoniacale : 54 g NH₄Cl et 350 ml NH₄OH dans 1L d'eau distillée.

Murexide : 200g de NaCl, 0.25g de murexide et 0.75g de bleu de méthylène

ANNEXE II

Tableau IV.1 : Variation du pH des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse

	forage	TK 101	Bac 200 m³	bac 350 m³	ultra-pure
Norme	6,5 < pH < 8,5	5,5 < pH < 7,5	5,5 < pH < 7,5	5,5 < pH < 7,5	5,5 < pH < 7,5
S1	7,3	6,1	6,3	6,3	6,9
S2	7,3	5,9	6,1	6,3	6,5
S3	7,4	6,0	6,2	6,4	6,5
S4	7,4	6,0	6,2	6,4	7,0
S5	7,4	6,0	6,2	6,3	6,6
S6	7,4	6,0	6,1	6,2	8,2
S7	7,4	5,9	6,1	6,2	7,5
S8	7,4	5,9	6,0	6,1	7,4
S9	7,4	5,9	6,1	6,1	7,4
S10	7,4	6,1	6,3	6,2	8,5
S11	7,3	6,0	6,1	6,1	8,4
S12	7,4	5,8	6,0	6,0	8,2
S13	7,4	5,8	6,1	6,3	8,2
S14	7,3	5,6	6,0	6,1	6,5
S15	7,3	5,6	5,9	5,9	5,7
S16	7,3	5,6	5,9	6,0	6,1
Moyenne	7,4	5,9	6,1	6,2	7,2

Tableau IV.2 : Variation des valeurs de la conductivité des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité d'osmose inverse.

	forage	TK 101	Bac 200 m³	Bac 350 m³	ultra-pure
Norme	< 2400 µs/cm	< 100 µs/cm	< 100 µs/cm	< 100 µs/cm	< 0,07 µs/cm
S1	2582,9	68,4	69,1	65,4	1,1
S2	2573,8	58,1	59,2	67,3	1,0
S3	2643,3	73,8	75,6	67,0	1,1
S4	2579,5	69,2	69,5	66,3	1,3
S5	2565,7	74,4	72,2	66,0	8,8
S6	2589,5	71,3	72,4	66,7	3,0
S7	2661,0	62,4	62,9	66,6	1,3
S8	2662,9	73,3	72,6	66,7	2,4
S9	2672,4	78,6	77,0	69,3	1,6
S10	2525,2	167,3	152,0	69,2	27,6
S11	2656,2	94,7	91,7	72,8	5,5
S12	2642,9	89,6	89,1	79,9	2,4
S13	2612,9	86,6	87,0	97,6	2,0
S14	2651,4	68,0	71,4	86,3	1,2
S15	2662,4	63,5	65,3	65,9	1,1
S16	2650,5	65,1	66,7	65,3	1,1
Moyenne	2620,8	79,0	78,3	71,1	3,9

ANNEXE II

Tableau IV.3 : Variation des valeurs de TH des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

	forage	TK 101	Bac 200 m3	Bac 350 m3	ultra-pure
Norme	< 100 °F	< 1 °F	< 1 °F	< 1 °F	< 1 °F
S1	86,6	0,5	0,5	0,5	0,0
S2	86,8	0,4	0,5	0,5	0,0
S3	90,1	0,7	0,7	0,5	0,0
S4	90,7	0,6	0,6	0,5	0,0
S5	90,4	0,6	0,6	0,5	0,0
S6	90,8	0,6	0,6	0,6	0,0
S7	92,7	0,6	0,6	0,7	0,0
S8	92,4	0,7	0,7	0,7	0,0
S9	91,9	0,9	0,9	0,7	0,0
S10	91,9	3,8	3,1	0,7	0,5
S11	91,6	1,2	1,1	0,8	0,0
S12	91,4	1,0	1,0	0,7	0,0
S13	91,1	0,9	0,9	1,0	0,0
S14	93,2	0,8	0,8	1,0	0,0
S15	92,8	0,6	0,6	0,6	0,0
S16	92,9	0,6	0,6	0,6	0,0
Moyenne	91,1	0,9	0,8	0,7	0,0

Tableau IV.4 : Variation des valeurs de TH calcique des eaux à l'entrée de l'unité osmose inverse

	Forage
S1	56.7
S2	56.6
S3	61.1
S4	58.1
S5	57.7
S6	59.1
S7	62.4
S8	62.5
S9	61.9
S10	61.3
S11	61.9
S12	61.9
S13	62
S14	62
S15	62.6
S16	62.8
Moyenne	60.7

ANNEXE II

Tableau IV.5 : Variation des valeurs de TA de l'eau ultra pure

	Forage	TK 101	Bac 200 m3	Bac 350 m3	Ultra-pure
Norme	0 °F				
S1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
S5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
S7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
S11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
S12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Moyenne	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau IV.6 : Variation des valeurs de TAC des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

	forage	TK 101	Bac 200 m3	Bac 350 m3	ultra-pure
Norme	< 35 °F	< 1,5 °F	< 1,5 °F	< 1,5 °F	< 0 °F
S1	31,1	0,8	1,1	0,8	0,3
S2	30,7	0,7	0,7	0,8	0,2
S3	32,0	0,8	0,8	0,7	0,2
S4	31,2	0,7	0,7	0,8	0,3
S5	31,4	0,7	0,7	0,6	0,2
S6	31,5	0,7	0,7	0,6	0,3
S7	32,3	0,6	0,7	0,7	0,2
S8	32,5	0,7	0,7	0,7	0,3
S9	32,2	0,9	0,9	0,8	0,3
S10	32,4	2,0	1,7	0,8	0,9
S11	35,3	1,0	1,0	0,8	0,4
S12	35,9	0,9	1,0	0,8	0,3
S13	33,6	0,9	0,9	1,0	0,3
S14	34,5	0,8	0,8	1,0	0,2
S15	35,4	0,7	0,8	0,7	0,2
S16	35,4	0,7	0,7	0,7	0,2
Moyenne	33,0	0,8	0,9	0,8	0,3

ANNEXE II

Tableau IV. 7 : Variation de la teneur en chlorures à l'entrée et la sortie de l'unité OI.

	forage	TK 101	Bac 200 m3	Bac 350 m3	ultra-pure
Norme	< 70 °F	< 3 °F	< 3 °F	< 3 °F	< 3 °F
S1	65,3	3,0	3,0	2,8	0,4
S2	65,4	2,4	2,5	2,8	0,4
S3	66,6	2,9	3,0	2,7	0,4
S4	66,2	2,4	2,8	2,8	0,4
S5	65,9	2,8	2,8	2,5	0,4
S6	66,4	2,7	2,7	2,6	0,5
S7	66,3	2,5	2,5	2,6	0,5
S8	65,5	2,9	2,8	2,7	0,4
S9	65,1	3,0	3,0	2,8	0,4
S10	66,3	5,0	4,6	2,7	1,0
S11	67,1	3,4	3,4	2,9	0,5
S12	67,1	3,2	3,2	3,0	0,5
S13	67,4	3,4	3,4	3,6	0,4
S14	66,5	2,7	2,8	3,2	0,4
S15	66,2	2,6	2,7	2,6	0,4
S16	66,1	2,6	2,7	2,6	0,4
Moyenne	66,2	3,0	3,0	2,8	0,5

Tableau IV.8 : Variation des teneurs en chlore des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

	forage	filtré	ligne1	ligne2	ligne3	ligne4
Norme	1,5 < cl2<5	<0,5 ppm	0,0	0,0	0,0	0,0
S1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S4	7,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S5	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S6	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S8	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
S9	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
S10	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
S11	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S12	0,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
S13	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S14	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S15	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S16	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Moyenne	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0

ANNEXE II

Tableau IV.9: Variation des teneurs du manganèse totale des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

	forage	Filtré
Norme	<1,2	0,0
S1	0,0	0,0
S2	0,0	0,0
S3	0,2	0,0
S4	0,4	0,0
S5	0,1	0,0
S6	0,2	0,0
S7	0,3	0,0
S8	0,2	0,0
S9	0,2	0,0
S10	0,3	0,0
S11	0,1	0,0
S12	0,2	0,0
S13	0,1	0,0
S14	0,2	0,0
S15	0,5	0,0
S16	0,4	0,0
Moyenne	0,2	0,0

Tableau IV.10: Variation des teneurs d'Aluminium des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité osmose inverse.

	forage
Norme	0
S1	0,1
S2	1,0
S3	0,1
S4	0,1
S5	0,0
S6	0,1
S7	0,1
S8	0,1
S9	0,0
S10	0,1
S11	0,1
S12	0,1
S13	0,1
S14	0,1
S15	0,0
S16	0,0
Moyenne	0,1

ANNEXE II

Tableau IV.11: Variation des teneurs en Fer totale des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité

	forage	filtré	TK 101	Bac 200 m3	Bac 300 m3	ultra-pure
Norme		< 0,1 ppm	<1 ppm	<1 ppm	<1 ppm	0 ppm
S1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S2	0,1	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
S5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
S6	0,3	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
S7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S8	0,7	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
S9	0,5	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
S10	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
S11	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
S12	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
S13	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S14	0,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
S15	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S16	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Moyenne	0,7	0,7	0,0	0,0	0,1	0,0

Tableau IV.12 : Variation des teneurs des silices des eaux à l'entrée et la sortie de l'unité OI.

	forage	TK101	bac 200 m3	bac 350 m3	ultra-pure
Norme	<12 ppm	<4 ppm	<4 ppm	<4 ppm	0
S1	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0
S2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0
S3	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0
S4	5,3	0,1	0,1	0,0	0,0
S5	4,7	0,1	0,1	0,1	0,0
S6	5,8	0,1	0,1	0,1	0,0
S7	5,9	0,1	0,1	0,1	0,0
S8	3,0	0,1	0,1	0,1	0,0
S9	3,1	0,1	0,1	0,1	0,0
S10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
S11	3,7	0,1	0,1	0,1	0,0
S12	7,0	0,1	0,2	0,1	0,0
S13	8,4	0,1	0,2	0,2	0,0
S14	8,6	0,1	0,1	0,1	0,0
S15	2,3	0,1	0,1	0,1	0,0
S16	7,3	0,1	0,1	0,1	0,0
Moyenne	4,8	0,1	0,1	0,1	0,0

Résumé

Le travail a porté sur la production des eaux de process et leur contrôle de qualité au niveau de l'unité osmose inverse du complexe agroalimentaire Cevital.

Les différents paramètres physico-chimiques étudiés ont permis de constater que l'eau osmosée produite est de qualité très satisfaisante, ceci est due au maintien permanent de l'installation de l'osmose inverse et leurs membranes d'une part, et au système de prétraitement appliqué d'une autre part.

Mots clés

Eau de process, Complexe agroalimentaire, Traitement, Osmose inverse, Analyse physico-chimiques.

Abstract

The work focused on the production of process water and its quality control at the reverse osmosis unit of the Cevital agro-food complex.

The different physicochemical parameters studied have shown that water the osmos produced is of very satisfactory quality, this is due to the permanent maintenance of the installation of the reverse osmosis and their membranes on the one hand, and to the pretreatment system applied on the other hand.

Key words

Process water, agro-food complex, treatment, reverse osmosis, physicochemical analysis.