

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



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés

Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : génie des procédés de l'environnement

Présenté par

- HADJRIOUA Imene
- MESSAOUDENE Hocine

Thème

**Production des eaux de process au niveau du complexe
agroalimentaire Cevital**

Soutenue le 04/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mr FATMIS	MCA	Université de Bejaïa	Président
Mme CHIBANI.N	MCA	Université de Bejaïa	Examineur
Mr AZZOUG.M	MCA	Université de Bejaïa	Encadrant
Mr OUKACHEBLA	Ingénieur	Groupe Cevital Bejaïa	Co- Encadrant

Année Universitaire : 2021/2022

Dédicace

J'adresse surtout, ma plus profonde gratitude à mes chers parents, source de vie, d'amour et de bonheur, pour leur soutien, leur encouragement durant mon parcours scolaire...eux qui m'ont doté d'une éducation digne, leurs amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui,

A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir, à la source d'amour, à la mère des sentiments fragiles qui m'a bénie par ces prières...ma mère,

Particulièrement à mon père, mon support de vie, qui m'a appris, m'a supporté, et m'a dirigé vers la gloire...Ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour.

A mon frère, ma sœur, son mari, et son fils, qui m'ont toujours remplie de joie et de bonheur, je vous souhaite une vie pleine de succès et de joie, que dieu protège et consolide les liens sacrés qui nous unissent.

A toutes personnes, de près ou de loin, qui m'ont accompagné, d'une manière ou d'une autre, dans la réalisation de ce mémoire de fin d'étude, et pour leurs soutiens et tout le bonheur apporté : je vous dis Merci !

Imene.

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 AZZOUQ Moufok 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, l'unité de osmse inverse Cevital, Bejaia Spécialement au Mr OUKACHEBIA notre encadreur de stage, qui a été à nos coté et qui nous a aider par leur présences auprès de nous, personnel du laboratoire des eaux qui nous ont beaucoup aidés. Nous exprimons aussi notre remerciement à tous les membres de jury et tous Les responsables, enseignants et membres du département Génie des procédés.

Dédicace

Je dédie cet ouvrage

A ma chère maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes très chers frères, à ma chère sœur et Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A mes chers amis (jigod, lakhdar, anis, lyes, amayas, mourad,) qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

Hocine

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : prélèvement mondial d'eau par secteur d'activité. (http://www.fao.org).....	09
Figure I.2 : Rapports de prélèvement moyen d'eau par continent entre 2007 et 2017 (http://www.fao.org).....	09
Figure I.3 : Prélèvements d'eau par source en Algérie (http://www.fao.org).....	10
Figure I.4 : Prélèvements d'eau par secteur en Algérie (http://www.fao.org).....	10
Figure I.5 : Utilisations spécifiques des eaux et niveaux d'exigence maximum de qualité des eaux (CHERET 2017).....	11
Figure I.6 : Principe de l'adoucissement de l'eau (http://www.UAE.fr).....	13
Figure I.7 : Schéma du mécanisme de filtration sur membrane (lenntech).....	17
Figure I.8 : filtration membranaire selon la taille des pores et des espèces retenues.....	17
Figure I.9 : Schéma présentatif de phénomène osmose et osmose inverse (http://www.cph-hydro.com).....	19
Figure I.10 : Module plans.....	20
Figure I.11 : Schéma d'un module en spirales (suez).....	20
Figure I.12 : Schéma d'un module tubulaire.....	20
Figure I.13 : schéma de Modules en fibres creuses (Berland, 2002)	22

Chapitre II

Figure II.1 : Situation géographique de cevital.....	27
Figure II.2 : organigramme du complexe agroalimentaire.....	28
Figure II.3 : Sources des eaux alimentant le Cevital.....	29
Figure II.4 : Cycle de traitement de l'eau au niveau du complexe de Bejaïa.....	30
Figure II.5 : photographie d'un filtre à sable au Niveau de cevital.....	31
Figure II.6 : schéma général d'un filtre à sable	31
Figure II.7 : schéma présente les étapes de filtres à sable au niveau de Cevital.....	32
Figure II.8 : photographie de skid de filtres à cartouche au niveau de cevital.....	33
Figure II.9 : photographie d'un filtre à cartouche bobiné au niveau de Cevital.....	34
Figure II.10 : photographie de ligne d'osmose inverse à cevital.....	34
Figure II.11 : Schéma du processus de production d'eau osmosée au niveau de la ligne d'osmose.....	35
Figure II.12 : Répartition de la consommation d'eau osmosée par les différentes unités de CEVITAL au mois d'avril 2022.....	37
Figure II.13 : schéma représentatif de l'unité ultra pur de Cevital.....	38

Liste des figures

Chapitre III

- Figure III.1** : schéma de titrage de la dureté total de l'eau.....41
- Figure III.2** : schéma de la mesure de la dureté calcique.....43
- Figure III.3** : le schéma du dosage de TA, TAC et chlorures.....47

Chapitre IV

- Figure IV.1** : l'évolution du (pH) des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15).....53
- Figure IV.2** : l'évolution de la conductivité des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15).....54
- Figure IV.3** : l'évolution de TH total des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15).....55
- Figure IV.4** : l'évolution de TAC des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15).....56
- Figure VI .5** : l'évolution de la teneur en Cl^- d'eau de process. (Mois d'avril et mai 1-15)...57
- Figure VI.6:** l'évolution de la teneur en Cl_2 d'eau de forage et ADE et eau filtrée avec des filtres à sable (avant et après injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (mois d'avril et mai 1-15).....58
- Figure VI.7** : La figure ci-dessous représente l'évolution de la teneur en Mn d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15).....59
- Figure IV.8** : l'évolution de la teneur en AL d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15).....60
- Figure IV.9:** la variation des teneurs des silices (SiO_2) à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).....61
- Figure IV.10:** la variation des teneurs de fer total à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).....62

Liste des abréviations

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.

Liste des abréviations

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.

Mm : 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.

VEDTA : volume d'EDTA.

VAgNO3 : volume d'AgNO3.

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

H2SO4: acide sulfurique.

Liste des abréviations

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

Chpaitre I

I.1. Ressources hydriques naturelles	1
I.1.1 Eaux superficielles	1
I.1.2 Eaux souterraines	1
I.1.2.1 les différents types de nappes.....	1
I.2 Substances présentes dans les eaux naturelles	1
I.2.1 Matières colloïdales	1
I.2.2. Matières dissoutes	2
I.2.2.1. Les matières dissoutes organiques	2
I.2.2.2. Les matières dissoutes minérales	2
I.2.3. Les gaz dissous	2
I.2.3.1. L'oxygène dissous.....	3
I.2.3.1.1. La demande chimique en oxygène (DCO).....	3
I.2.3.1.2. La demande biologique en oxygène (DBO)	3
I.2.4. Gaz carbonique	4
I.3. Propriétés des eaux naturelles	4
I.3.1. Propriétés organoleptiques.....	4
I.3.1.1. La turbidité :	4
I.3.1.2. La couleur	5
I.3.1.3. Gout et odeur.....	5
I.3.2. Propriétés physico-chimiques	5
I.3.2.1. Dureté (TH)	5
I.3.2.2. Acidité.....	5
I.3.2.3. Alcalinité.....	6
I.3.2.3.1. Titre alcalimétrique (T.A)	6
I.3.2.3.2. Titre alcalimétrique Complet (T.A.C).....	6
I.3.2.4. Conductivité.....	6
I.3.2.5. Potentiel d'hydrogène (pH)	6
I.3.2.6. Température	7
I.4. Usage de l'eau et ses fonctions en industries.....	7
I.4.1. Usage commun en tant que fluide thermique	7
I.4.2. Usage spécifique	7
I.4.2.1. Cas de l'industrie agro-alimentaire.....	7
I.4.3. Aspect quantitatifs et qualitatifs des besoins en eau.....	8
I.4.3.1. Aspect quantitatifs	8
I.4.3.2. En terme qualitatif	11
I.4.4. Traitement des eaux avant utilisation	12

SOMMAIRE

I.4.4.1. Traitement des matières dissoutes.....	12
I.4.4.1.1. Traitement par charbon actif.....	12
I.4.4.1.2. Traitement par échangeurs d'ions.....	12
I.4.4.1.3. Modification des caractéristiques calco-carboniques.....	13
I.4.4.1.3.1. Neutralisation de l'agressivité Dans certains cas.....	14
I.4.4.1.3.2. L'adoucissement.....	15
I.4.4.1.3.2.1 Principe.....	15
I.4.4.1.3.2.2. Adoucissement-décarbonatation à la chaux.....	15
I.4.4.1.3.2.3. Adoucissement par permutation sodique.....	15
I.4.4.1.3.2.3.1. Les étapes de régénération de la résine.....	16
I.4.4.1.4. Séparation membranaire.....	16
I.4.4.1.4.1. Les paramètres et modes de fonctionnement d'un procédé à membrane :.....	17
I.4.4.1.4.2. Filtration membranaire par osmose inverse.....	19
I.4.4.1.4.2. 1.Osmose directe.....	19
I.4.4.1.4.2. 2.Osmose inverse.....	19
I.4.4.1.4.2.3. Modules d'osmose inverse.....	19
I.4.4.1.4.2.4. Les avantages de l'osmose inverse.....	23
I.4.4.1.4.2.5. Les inconvénients de l'osmose inverse.....	23
I.4.4.2 Traitements des matières particulaires.....	23
I.4.4.2.1. Coagulation.....	23
I.4.4.2.2.Floculation.....	24
I.4.4.2.3.Décantation.....	24
I.4.4.2.4. Flottation.....	25
I.4.4.2.5. Filtration.....	25

Chapitre II

II.1.Historique.....	26
II.2.Situation géographique.....	26
II.3. Organigramme de l'entreprise.....	27
II.4.Production d'eau de process au niveau de l'entreprise.....	29
II.4.1.Sources et besoins en eau de l'entreprise.....	29
II.4.2. Traitement de l'eau avant son utilisation (depuis le prélèvement jusqu'à l'utilisation).	29
II.4.2.1.Cycle de traitement de l'eau au niveau du complexe cevital Bejaïa.....	30
II.4.2.2. Système de prétraitement.....	31

SOMMAIRE

II.4.2.2.1. Filtres à sable	31
II.4.2.2.2. Filtres à cartouche :	32
II.4.2.3.Système d'osmose inverse :	34
II.4.2.3.1.Nettoyagesurplace CIP (Cleaning In Place):	36
II.4.2.3.1.1.Type de CIP :	36
II.4.2.4.Consommation d'eau osmoses au niveau du complexe cevital :	36
II.4.3.Procédé ultra pure :	37

Chpitre III

III.1.Le potentiel d'hydrogène (pH)	39
III.1.1.Le principe	39
III.1.2.Matériels	39
III.1.3.Mode opératoire du pH-mètre	39
III.2.La conductivité	39
III.2.1.Le principe	39
III.2.2.Matériels	40
III.2.3.Mode opératoire	40
III.3.Le titre hydrotimétrique total (dureté total)	40
III.3.1.Principe	40
III.3.2. Matériel nécessaire	40
III.3.3.Réactifs	40
III.3.4.Mode opératoire	41
III.3.4.Expression de résultats	41
III.4.La dureté calcique (TH Ca^{2+})	42
III.4.1. Matériels	42
III.4.2. Réactifs	42
III.4.3.Mode opératoire	42
III.4.4.Expression des résultats	42
III.5.L'alcalinité	43
III.5.1.Le titre alcalimétrique (TA)	43
III.5.1.3.Matériels	44
III.5.1.4.Réactifs	44
III.5.1.5.Mode opératoire	44
III.5.1.6. Expression des résultats	44
III.5.2.Le titre alcalimétrique complet (TAC)	44

SOMMAIRE

III.5.2.1.Principe	44
III.5.2.2.Réactions chimiques du TAC	45
III.5.2.3.Matériels	45
III.5.2.3.Réactifs	45
III.5.2.4.Mode opératoire	45
III.5.2.5.Expression des résultats	45
III.6.Les chlorures	45
III.6.1.Principe	46
III.6.2.Matériel nécessaire	46
III.6.2.Réactifs	46
III.6.3. Mode opératoire.....	46
III.6.4.Expression des résultats.....	46
III.7.METHODES SPECTROPHOTOMETRIQUES	48
III.7.1.1.Principe	48
III.7.1.2.Matériels	48
III.7.1.3.Réactifs	48
III.7.1.4.Mode opératoire	48
III.7.2.Le chlore libre : NANOCOLOR® Chlore Test 1-16 1	49
III.7.2.1.Principe	49
III.7.2.2.Matériels	49
III.7.2.3.Réactifs	49
III.7.2.4.Mode opératoire	49
III.7.3.Le fer: NANOCOLOR® Fer 3 Test 0-37 Art. N° 985 037 1	50
III.7.3.2.Matériels	50
III.7.3.3.Réactifs	50
III.7.3.4.Mode opératoire	50
III.7.4.Le manganèse : NANOCOLOR® Manganèse 10 Test 0-58 Art. N° 985 058 1	50
III.7.4.1.Principe	50
III.7.4.2.Matériels	50
III.7.4.3.Réactifs	51
III.7.4.4.Mode opératoire	51
III.7.5.Aluminium : NANOCOLOR® Aluminium 07 Test 0-98 Art. N°985 098 1	51
III.7.5.1.Principe	51
III.7.5.2.Matériels	51
III.7.5.3.Réactifs	51
III.7.5.4.Mode opératoire	52

Chpaitre IV

IV.1.Potentiel d'hydrogène	53
IV.2.Conductivité.....	54
IV.3.Le titre hydrométrique TH total	55
IV.4.Titre alcalimétrique complet (TAC)	56
IV.5.Teneur en chlorures.....	57
IV.6.La teneur en chlore libre	58
IV.7.Teneur en manganèse.....	59
IV.8.Teneur en aluminium	60
IV.9.La teneur en silice	61
IV.9.La teneur en fer	62

Introduction Générale

Introduction :

En industrie agro-alimentaire, l'eau revêt un usage multiple, servant à la fabrication des denrées alimentaires, au refroidissement des systèmes, à la production de vapeur et à l'hygiène des locaux et leur désinfection. **(Gheret, 2017)**.

L'eau alimentant les industries provient généralement des eaux de surface et des eaux souterraines, ou d'une combinaison de ces deux sources. Dans de nombreux cas, ces eaux ne répondent pas aux exigences de qualité des entreprises et doivent par conséquent être traitées pour éliminer les contaminants et les minéraux afin de protéger l'équipement et d'assurer des conditions constantes pour les produits finaux. L'eau est donc traitée à l'aide de diverses technologies d'eau en fonction de l'eau d'alimentation, de la qualité de l'eau finale et des exigences de l'entreprise. En effet, répondre aux exigences spécifiques en matière d'eau de process est crucial pour maintenir une production efficace et fiable pour diverses industries et usines **(Boeglin, 2001)**. Pour ces raisons, les industries agro-alimentaires procèdent à des traitements spécifiques des eaux naturelles afin de produire une eau qui puisse satisfaire leurs exigences de qualité.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre mémoire de fin d'étude. En effet, on a effectué 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.

Ce 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. Aussi, 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.
- Le quatrième chapitre représente les principaux résultats de ce stage pratique.

Conclusion générale :

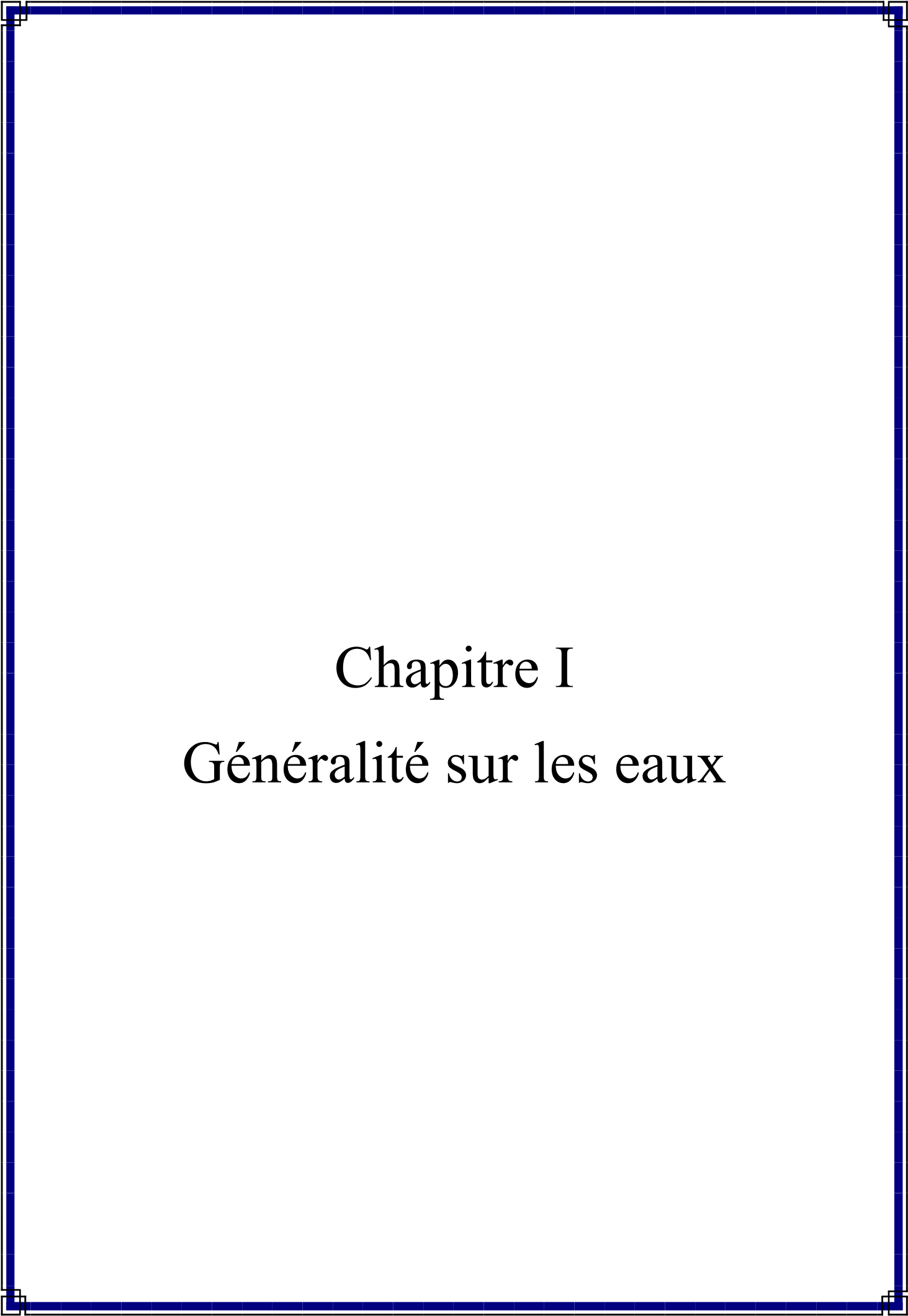
Tout au long de notre mémoire, nous avons comme objectif d'appréhender l'efficacité des osmoseurs utilisés par l'entreprise CEVITAL pour l'élimination des sels minéraux dissous dans les eaux alimentant cette entreprise

Les résultats d'analyses quotidiens sur les différents paramètres tels que le pH, la conductivité, le TH, TAC, TA, THCa^{+2} , les chlorures, le manganèse obtenus sur les eaux en amont du procédé de potabilisation nous ont permis de déduire que la qualité de ces eaux est conforme aux normes en vigueur au sein de l'entreprise. A la sortie du cycle de potabilisation (à la sortie des osmoseurs), l'eau de process produite affiche là aussi des valeurs en pH, en conductivité, en TA, en TAC, en TH, en THCa^{+2} , en chlorures, en manganèse, en aluminium et en fer conformes aux exigences de qualité de l'entreprise.

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

Pour conclure, à l'issue de notre travail, nous pouvons retenir 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.



Chapitre I

Généralité sur les eaux

I.1. Ressources hydriques naturelles

I.1.1 Eaux superficielles

Les eaux superficielles sont toutes les eaux se trouvant en circulation à la surface du globe se traduisant en rivières, lacs étangs ou encore dans des barrages.

La minéralisation des eaux de surface provient essentiellement des formations géologiques traversées par cette dernière mais aussi des différentes formes de pollutions anthropiques à l'issue des déchets rejetés (**Dégréement, 2005**).

I.1.2 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont celles qui s'écoulent souterrainement à travers des pores et des micropores et qui forment des aquifères voire des nappes d'eaux souterraines.

La composition chimique de ses eaux dépend principalement du lessivage des formations géologiques de son encaissant.

Ces masses d'eau x souterraines accumulées dans les fissures ou failles forment des réservoirs souterrains et qui sont généralement accessibles par la réalisation de puits ou forages (**Dégréement, 2005**).

I.1.2.1 les différents types de nappes

- **Nappe libre :**

Une nappe libre est un réservoir d'eau souterrain possédant un substratum imperméable et surmonté par un toit perméable

- **Nappe captive :**

Une nappe captive est un réservoir d'eau souterrain possédant un substratum imperméable et surmonté aussi par un toit imperméable et qui entraîne toujours un emmagasinement sous pression (**Bonnin, 1982**).

I.2 Substances présentes dans les eaux naturelles

I.2.1 Matières colloïdales

L'état colloïdal est un état intermédiaire qui sépare l'état dissous de la suspension. Les matières colloïdales sont de petits éléments à charges négatives, c'est pourquoi ils repoussent et dispersent de manière désordonnée dans la masse liquide, l'élimination de cette

dite matière de l'eau à traiter est difficile car elles ne se 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 leurs agrégation (**Rodier, 2009**).

I.2.2. Matières dissoutes

I.2.2.1. Les matières dissoutes organiques

Les matières organiques se trouvent naturellement dans les cours d'eau et résultent de la mort d'organismes vivants, d'animaux et de plantes dans les cours d'eau et aux alentours. 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 et impacter la qualité de l'eau. La quantité de matières organiques dissoutes dans les eaux se mesure à travers plusieurs indicateurs. Parmi eux le taux d'oxygène dissous et le taux de Carbone Organique Dissous (COD) (**Rodier, 2009**).

I.2.2.2. Les matières dissoutes minérales

Ce sont des composés anioniques et cationiques, qui proviennent de la dissolution des roches en contact avec son encaissant (Tableau I.1). Les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau sont réunis dans ce tableau.

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

Types de minéraux	Anions	Cations
Sels minéraux	Carbonates	Sodium
	Sulfates	Calcium
	Chlorures	Magnésium
	nitrates	Potassium

I.2.3. Les gaz dissous

La composition chimique de l'eau en relation avec les gaz dissous dépende essentiellement 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 dissous 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 une composante essentielle de l'environnement aqueux en tant que paramètre limitatif 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)

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder ou dégrader la matière organique (biodégradable) d'une eau, elle permet donc d'évaluer la quantité totale de pollution organique. L'oxydation est réalisée par un oxydant chimique énergique ayant un pouvoir puissant : le bichromate de potassium. La relation empirique suivante lie la DBO₅, la DCO et la matière organique de l'échantillon (**Rodier, 2009**) :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3 \text{ (mg/l)}$$

Rapport DCO / DBO₅ (indice de biodégradabilité)

Le ratio DCO / DBO₅ indique le taux de décomposition des matières organiques qui permet d'apprécier l'importance des polluants peu ou non biodégradables. Si le rapport DCO / DBO₅ est inférieur à 2 on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable, entre 2 et 3 il est biodégradable, et si le rapport est supérieure à 3, l'effluent est déclaré non biodégradable (**Rodier, 2009**).

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

Elle correspond à la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder et dégrader par voie biochimique les matières organiques biodégradables, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Cette mesure traduit donc indirectement la fraction biodégradable dans l'eau et représente assez fidèlement le processus de dégradation naturelle (**Rodier, 2009**).

La dégradation de ces matières organiques biodégradables entraîne un développement de micro-organismes aérobies, cette prolifération provoquera une chute de l'oxygène dissous dans le milieu récepteur et conduira à l'asphyxie des espèces présentes.

Le tableau 1.2 montre l'aspect qualificatif des eaux en fonction de leur DBO₅ et leur DCO. (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 bien	Jusqu'à 3	Jusqu'à 20
Bonne	6	25
Moyenne	10	40
Médiocre	25	80
Mauvaise	>25	>80

I.2.4. Gaz carbonique

Il rentre dans les propriétés organoleptiques (gout, odeur, etc.), il est également un élément majeur du système calo-carbonique, de sorte qu'il joue le 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. La turbidité :

La turbidité est un paramètre physique de l'eau qui permet de mettre en exergue les informations visuelles. Elle 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, (Unité de Turbidité Néphélométrique) tableau I.3 (Desjardins, 1984).

Tableau I.3 : Classes de turbidité usuelle UTN.

Turbidité	Type eau
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

I.3.1.2. La couleur

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle; éléments métalliques, matières humiques, micro-organismes liés à un épisode d'eutrophisation...etc., soit associée à la pollution (composés organiques colorés). Elle nous renseigne souvent sur la présence des composés dissous.

I.3.1.3. Gout et odeur

Le gout et l'odeur sont deux premières sensations qui sont perçus par les organes humains pour faire resurgir les signes de pollution de l'eau présence de matières organiques en décomposition.

Ces deux paramètres sont regroupés et font appel au même type de traitement. L'odeur et la saveur sont dues à des molécules organiques contenues en très faible quantité dans les eaux. Ces molécules peuvent être, soit des molécules d'origine naturelle (métabolites d'algues, etc.) soit d'origine de pollutions domestiques ou industrielles.

I.3.2. Propriétés physico-chimiques

I.3.2.1. Dureté (TH)

Le titre hydrométrique (TH), est l'indicateur de la minéralisation de l'eau .Elle est mesurée en tenant compte des teneurs en ions calcium et magnésium.

La dureté s'exprime en ppm ou mg/l de CaCO₃ ou en degrés français (°F), un degré français correspond à 10 ppm de calcaire représentent 10^{-4} mol.l⁻¹ de calcium, soit 4mg/l de ca²⁺ou encore 2,4 mg de magnésium par litre d'eau : $TH = 10 ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$ avec les concentrations en mol/l La classification de la dureté de l'eau est résumée dans le (tableau I.4)

Tableau I.4. Plage de valeur hydrométrique (**Dégréement, 2005**).

TH (°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 milliéquivalent 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 ($^{\circ}F$).

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

$$TAC = [HO^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

I.3.2.4. Conductivité

La conductivité est la propriété qu'une eau possède comme capacité à faire dissoudre des sels et faire passer courant électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. **(REJSKEK, 2002).**

La conductivité électrique de l'eau correspond à la conduction d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 . L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m).

$$1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ MS/m. (RODIER 2005).}$$

I.3.2.5. Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est un indice qui permet de mesurer l'activité de l'ion hydrogène dans une solution. 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 :

$$PH = -\log [H_3O^+].$$

Un milieu acide contient donc davantage 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 influençant sur la viscosité, la densité, la solubilité des gaz dans l'eau. , le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques (**Abdrezak, 2014**).

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

I.4.1. 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 (**CHERET, 2017**)

I.4.2. Usage spécifique

I.4.2.1. Cas de l'industrie agro-alimentaire

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

- les matières premières
- les systèmes de refroidissement
- le process (lavage, nettoyage, désinfection...)
- 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 (CHERET, 2017)

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

I.4.3.1. Aspect quantitatifs

Le volume approximatif de l'eau de la terre (toutes les réserves d'eau du monde) est de 1 360 000 000 km³.

L'eau salée des océans est le réservoir le plus important, près de 97.25% du totale, et l'eau douce ne représente que 2.92% de la masse totale, sachant qu'environ 75% de cette eau se trouve dans les glaciers, calottes polaires et neiges. La part d'eau douce liquide est donc 0.6% (tableau.I.5)

Tableau I.5 : volume d'eau contenu dans les différents réservoirs (Chaussade et al, 2012).

Réservoirs	Volume (10 ⁶ Km ³)	Pourcentage du total
Océans	1320	97.25
Calottes glaciaires et glaciers	29	2.05
Eau souterraine	9.5	0.68
Lacs	0.125	0.01
Humidité des sols	0.065	0.005
Atmosphère	0.013	0.001
Fleuves et rivières	0.0017	0.0001
Biosphère	0.0006	0.00004

AQUASTAT répartit conventionnellement les prélèvements d'eau selon trois grands secteurs d'utilisation : l'agricultures municipales et les industries.

Au niveau mondial, la consommation d'eau à usage industriel et passée de 775.5061 (10⁹ m³/an) en 2007 à 667.479902 (10⁹ m³/an) en 2017(ANNEXE I), soit une diminution de 4% en 10 ans. Cela s'explique par le fait que les industriels appliquent une politique d'économie

de l'eau très rigoureuse, et les nouvelles industries desservies sont peu consommatrices d'eau. Et également la consommation une agriculture est passée de 68% en 2007 à 71% en 2017, et une municipalité s'élevé de 12% en 2007 à 13% en 2017. (Figure I.1) (<http://www.fao.org>)

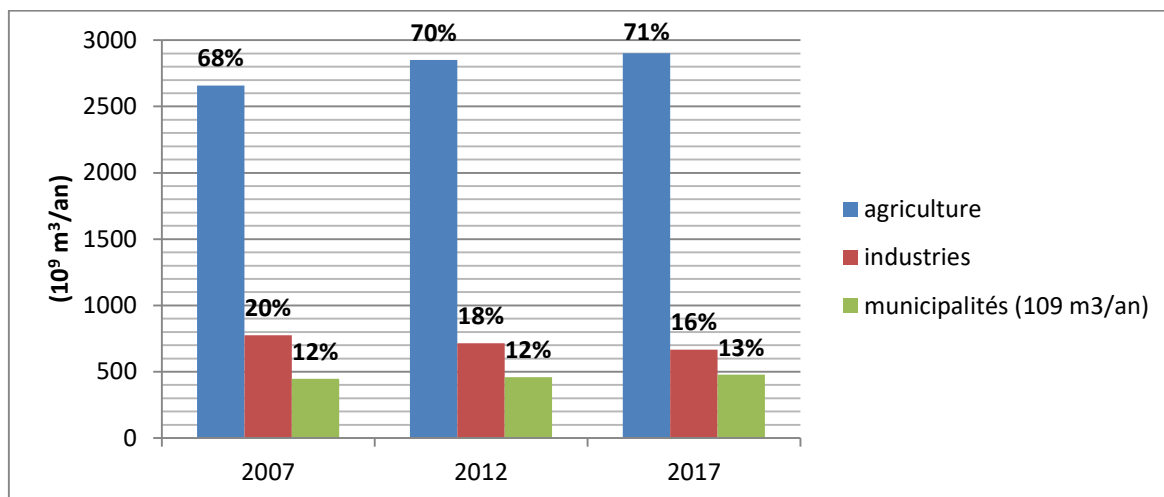


Figure I.1 : prélèvement mondial d'eau par secteur d'activité. (<http://www.fao.org>).

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 pour Afrique et Asie d'à un peu plus de 20 pour Europe. (Figure I.2) (<http://www.fao.org>)

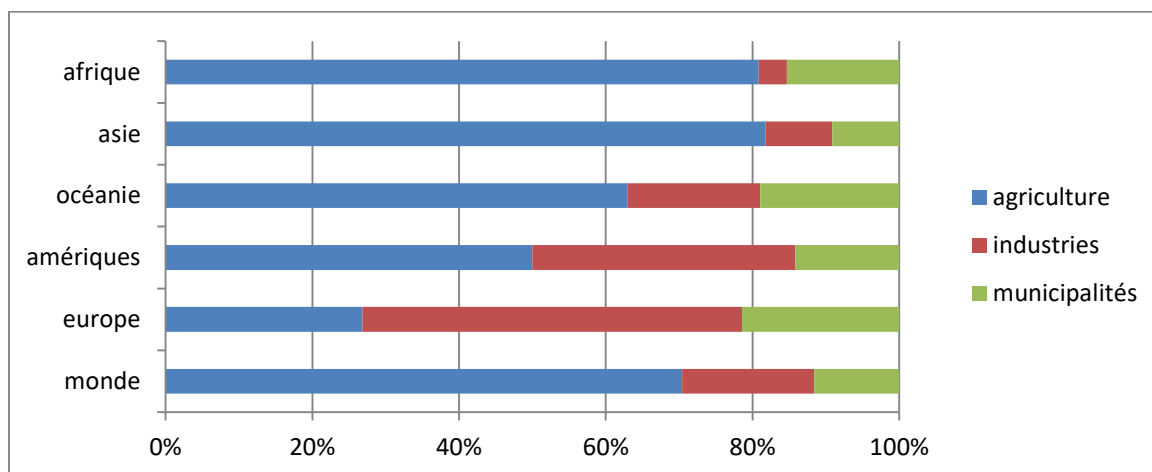


Figure I.2 : Rapports de prélèvement moyen d'eau par continent entre 2007 et 2017 (<http://www.fao.org>).

➤ **En Algérie :**

Entre 2012 et 2017, les ressources en eau prélevées en Algérie ont connu une augmentation manifeste, passant une de 8 425 millions m³ à 10 483 millions m³. La consommation d'eau en Algérie provient essentiellement de trois sources et dont les pourcentage en 2012 et 2017 sont résumés dans la figure I.3. Le secteur agricole est le secteur qui consomme le plus d'eau en Algérie (62%), suivi par les municipalités (31%). Le secteur industriel quant à lui prélève environ (3.2242 millions m³, 7%) (Figure I.4).

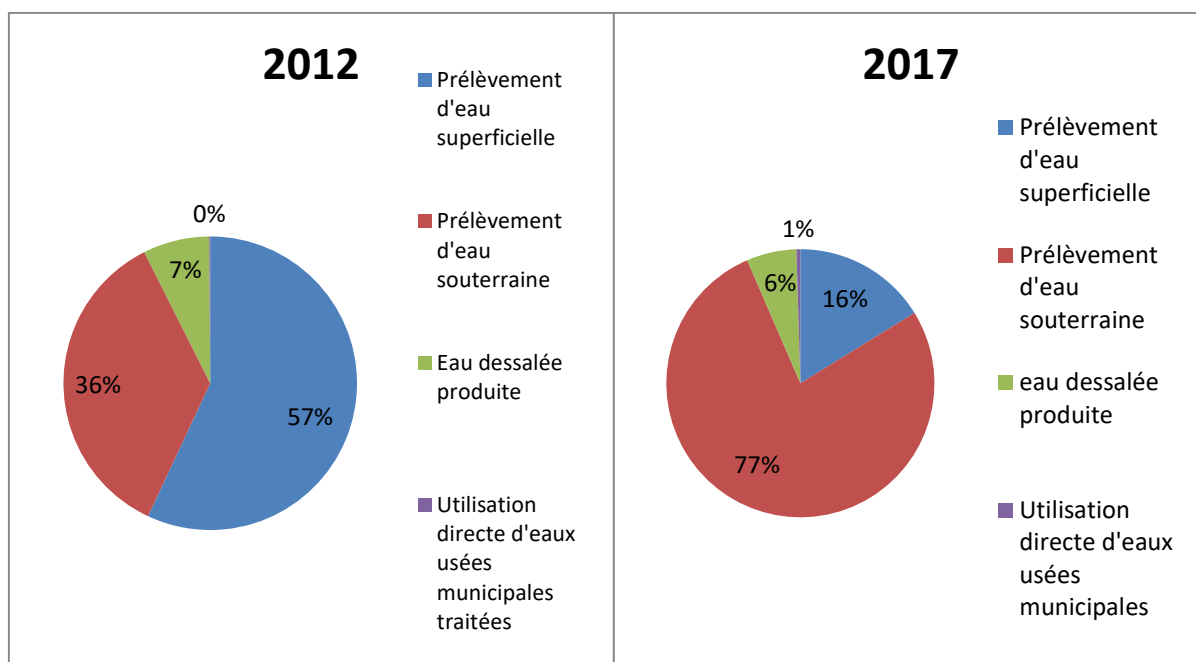


Figure I.3 : Prélèvements d'eau par source en Algérie (<http://www.fao.org>)

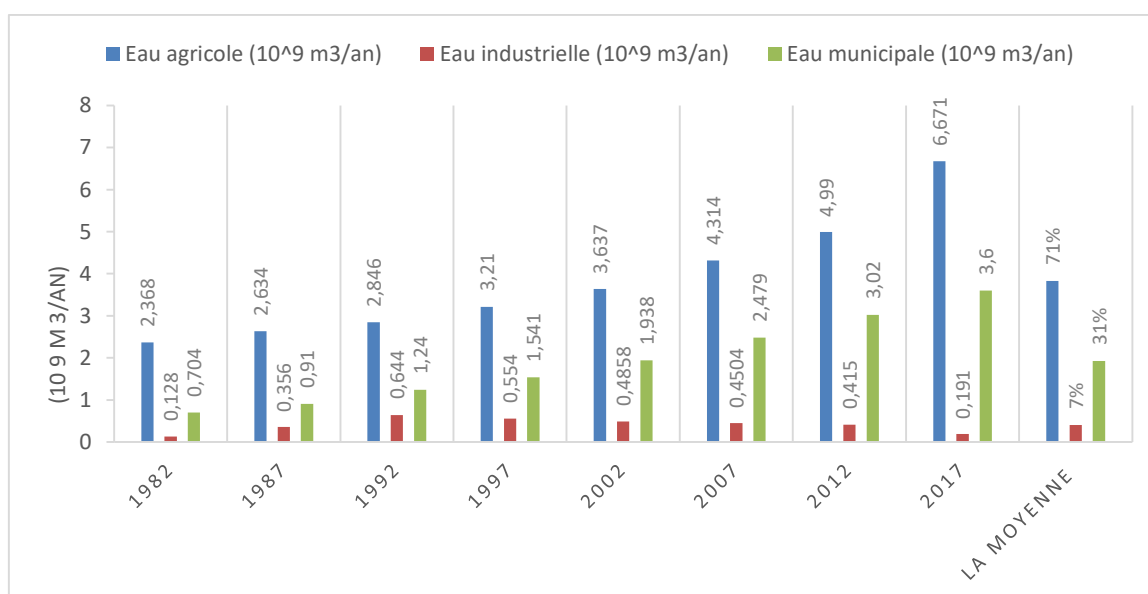


Figure 1.4 : Prélèvements d'eau par secteur en Algérie (<http://www.fao.org>)

I.4.3.2. En terme qualitatif

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). Pour qualifier cette eau, on va généralement trouver les termes suivants (voir figure I.5)

Ainsi dans la plupart des cas, l'eau utilisée en industrie n'est pas de qualité eau potable. On s'oriente de plus en plus vers des ERI ou des ERU parfaitement épurées et ayant un traitement tertiaire pour permettre leur réutilisation ou leur recyclage. 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. Il faut toutefois considérer qu'il n'est pas forcément nécessaire de faire de sur qualité, par exemple produire une eau de qualité potable pour alimenter les circuits de refroidissement (CHERET 2017).

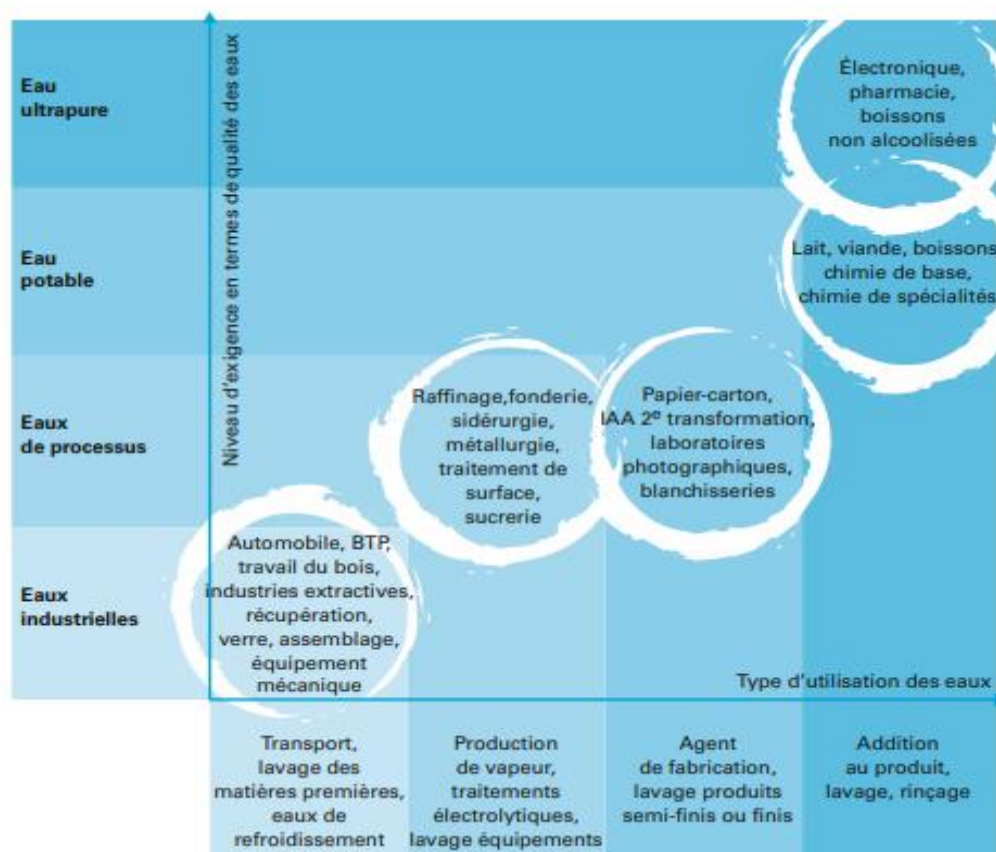


Figure I.5 : Utilisations spécifiques des eaux et niveaux d'exigence maximum de qualité des eaux (CHERET 2017)

I.4.4. Traitement des eaux avant utilisation

I.4.4.1. Traitement des matières dissoutes

I.4.4.1.1. Traitement par charbon actif

Le charbon actif est d'une grande valeur industrielle en raison de son utilisation dans la gestion et le contrôle des déchets polluants hydriques et gazeux. Le charbon actif utilisé pour la séparation en phase liquide a des tailles de pores distribuées autour ou supérieures à 3 nanomètres (nm) tandis que ceux utilisés en phase gazeuse ont des tailles de pores inférieures. 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. Traitement par échangeurs d'ions

Les minéraux que l'eau dissout lors de son passage dans le sol, sont sous forme d'ions.

Les ions sont des particules électriquement chargées. Les uns sont négatifs, issus des acides, ce sont les anions (ex : chlorures Cl^- , bicarbonates HCO_3^- , sulfates SO_4^{--}). Les autres, issus des métaux, sont positifs, ce sont les cations (ex : calcium Ca^{++} , magnésium Mg^{++} , sodium Na^+). Les échangeurs d'ions sont des composés capables de fixer certains ions et d'en céder d'autres dont ils sont chargés (figure I.6). Dans les adoucisseurs d'eau, on utilise une résine de synthèse porteuse d'ions sodium. Cette résine se présente sous forme de billes poreuses de 0,2 à 3 mm de diamètre, de densité réelle légèrement supérieure à celle de l'eau. Cette résine a beaucoup plus d'affinité pour les ions calcium et magnésium que pour les ions sodium dont elle est chargée à l'origine. Lorsque cette résine est mise en contact avec de l'eau dure contenant des ions calcium et magnésium, ces derniers sont attirés par la résine. Ils se fixent

sur la résine en prenant la place des ions sodium qui y étaient à l'origine. Ces ions sodium sont libérés dans l'eau en lieu et place des ions calcium et magnésium. L'eau qui a ainsi percolé de haut en bas sur un lit de résine va céder tous les ions calcium et magnésium qu'elle contenait sa dureté tend donc vers zéro. Lorsque la résine a cédé tous les ions sodium dont elle était chargée, l'échange d'ions ne peut plus se faire la résine est dite « saturée », les ions calcium et magnésium ne sont plus fixés, et l'eau qui sort du lit de résine est aussi dure que celle qui y rentre. Il est possible de chasser les ions calcium de la résine et de les remplacer par des ions sodiques, c'est à dire de redonner à la résine sa forme d'origine. Cette opération est appelée « régénération « régénérer » une résine saturée, il suffit de la mettre en contact avec une solution très riche en ions sodium. Dans la pratique, on utilise une solution concentrée de chlorure de sodium, appelée « saumure », obtenue par dissolution dans de l'eau de sel raffiné commercialisée sous forme de pastilles ou de granulés. Comme la résine a plus d'affinité pour le calcium et le magnésium que pour le sodium, on est obligé, pour régénérer la résine, d'utiliser un excès de sodium (Desjardins, 1990).

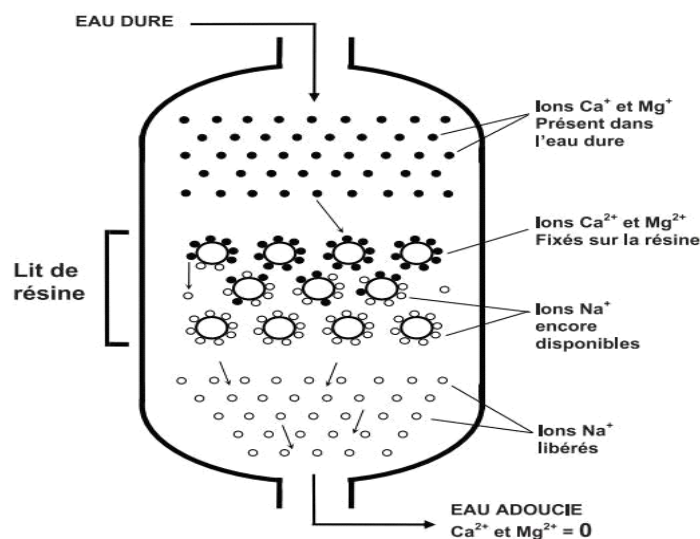


Figure I.6 : Principe de l'adoucissement de l'eau (<http://WWW.UAE.FR>)

I.4.4.1.3. Modification des caractéristiques calco-carboniques

L'équilibre calco-carbonique d'une eau est un état d'équilibre chimique où la concentration de 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 (pH_s) 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 des propriétés électrolytiques de l'eau (présence d'anions et de cations) et de l'interaction électrochimique entre les métaux. 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 μ 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)**.

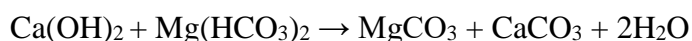
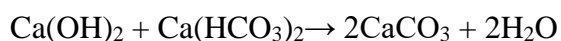
I.4.4.1.3.2. L'adoucissement

I.4.4.1.3.2.1 Principe

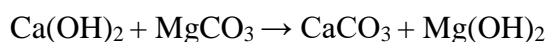
Dans cette catégorie de procédés, on élimine simultanément la dureté (TCa et éventuellement TMg) et les bicarbonates et carbonates (TAC) qui lui sont associés. On distingue les procédés à la chaux et sur résine.

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 HNO₃ 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 contrecourant.

I.4.4.1.4. Séparation membranaire

La technologie membranaire est devenue une véritable technologie de séparation au cours de la dernière décennie. La force principale de la technologie membranaire est que cela fonctionne sans ajout de produits chimiques, avec une consommation d'énergie relativement faible et une conduite de process facile et bien arrangée.

Le terme technologie membranaire est un terme générique pour différents procédés de séparations très caractéristiques. Ceux-ci sont employés sur une large échelle pour produire l'eau douce, pour traiter des effluents industriels gazeux ou liquides, pour concentrer, fractionner, purifier des substances véhiculées par les industries chimique, alimentaire et pharmaceutique, ainsi que dans le domaine médical. Et cette technique définie comme une couche mince semi-perméable qui joue le rôle d'une barrière sélective, sous l'effet d'une force motrice, elle permet l'arrêt ou le passage de substances dissoutes. Et l'opération fonctionnant avec une différence de pression transmembranaire (ΔP en bar), (Figure I.7).
(BRUN, 1989)

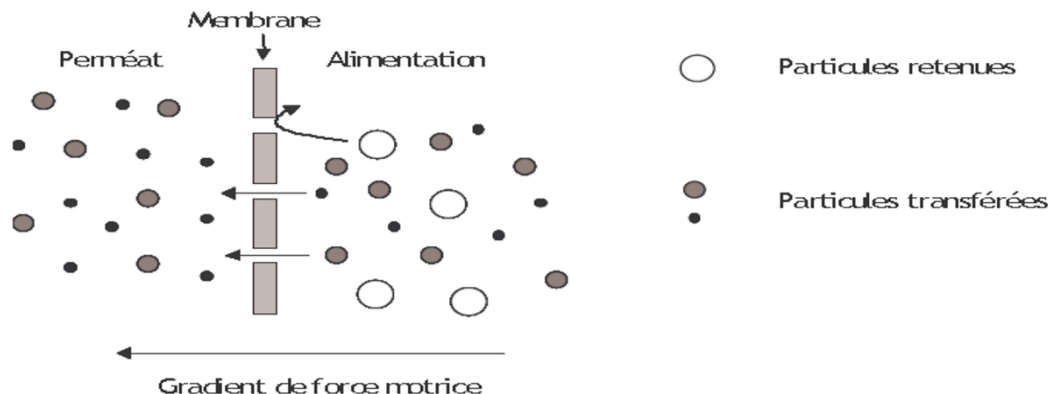


Figure I.7 : Schéma du mécanisme de filtration sur membrane (lenntech).

Dans le cas de la filtration membranaire, la membrane est une structure poreuse avec des pores de l'ordre 0.1 à 10 µm pour la microfiltration, 10 nm à 1µm pour l'ultrafiltration, quelques nm pour nanofiltration et un structure dense pour l'osmose inverse. (Figure I.8)

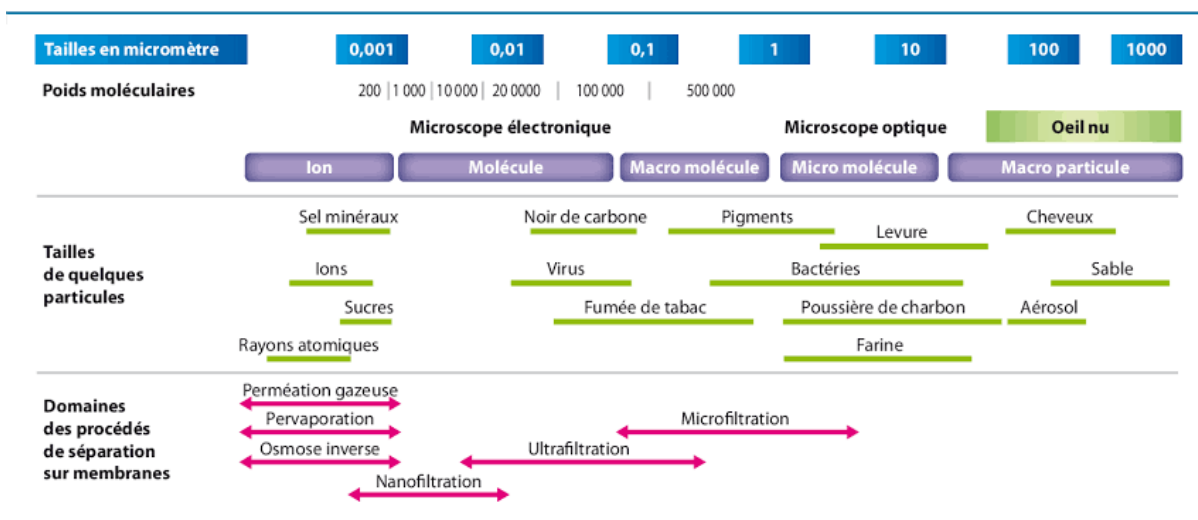


Figure I.8 : filtration membranaire selon la taille des pores et des espèces retenues.

I.4.4.1.4.1. Les paramètres et modes de fonctionnement d'un procédé à membrane :

Différents paramètres caractérisent le fonctionnement du procédé. (Tableau I.6)

Tableau I. 6: Principaux paramètres caractérisant le fonctionnement du procédé.

Paramètre	Signification	Relation
Pression transmembranaire (PTM)	force agissante de l'opération définie par la moyenne des pressions alimentation (entrée), P_A , et retentât (sortie), P_R , à laquelle on soustrait la pression du compartiment perméat, P_P	$PTM = (P_A + P_R / 2) - P_P$ (bar)
Flux de perméation	productivité du procédé défini par le débit de perméation, Q_P , divisé par la surface membranaire. Il représente aussi la vitesse du fluide perpendiculaire à la surface de la membrane.	$J = Q_P / S$ ($kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$) ou ($m^3 \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)
Taux de rejet (ou taux de rétention)	sélectivité du procédé : un taux de rejet de 1 signifie que le soluté est parfaitement retenu par la membrane (la concentration dans le perméat $C_P = 0$) alors qu'un taux de rejet de 0 correspond à un soluté non retenu, concentration identique dans le perméat C_P et le retentat C_R ($C_P = C_R$).	$R = 1 - C_P / C_R$ (%)
Perméabilité de la membrane au solvant, L_P	paramètre intrinsèque de la membrane décrivant sa résistance hydraulique, R_m , vis à vis du solvant: (en $m \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1}$ ou $l \cdot h^{-1} \cdot m^{-2} \cdot bar^{-1}$).	$J = L_P PTM = PTM / R_M$ ($Pa^{-1} \cdot s^{-1}$)
Taux de conversion	fraction de liquide qui traverse la membrane	$Y = Q_P / Q_A$ (%)

I.4.4.1.4.2. Filtration membranaire par osmose inverse

I.4.4.1.4.2. 1.Osmose directe

C'est le transfert de l'eau d'un milieu moins concentré vers un milieu plus concentré, à travers une paroi (membrane) semi-perméable (Figure I.8) (BRUN, 1989)

I.4.4.1.4.2. 2.Osmose inverse

C'est le transfert de l'eau d'un milieu plus concentré vers un milieu moins concentré à travers une paroi (membrane) semi-perméable sous l'effet d'un gradient de pression ($p=F/S$). (Figure I.9) (BRUN, 1989)

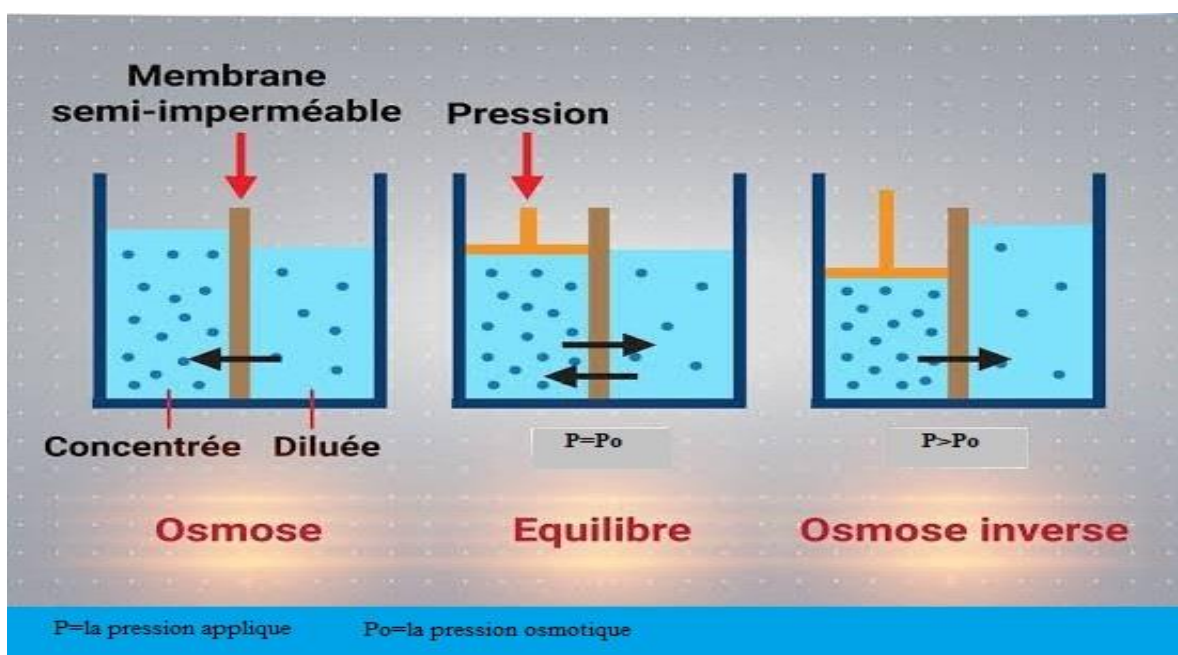


Figure I.9: Schéma présentatif de phénomène osmose et osmose inverse (<http://www.cph-hydro.com>).

I.4.4.1.4.2.3. Modules d'osmose inverse

Il y a quatre différents type de modules d'osmose inverse, qui sont utilisés pour le procédés d'osmoses inverse sont :

- **Module plans** : il s'agit des modules plus simples et le plus anciens, ils se présentent sous forme de plaques uniques disposées parallèles l'une à l'autre et séparées par des grilles. (figure I.10) (BRUN, 1989).

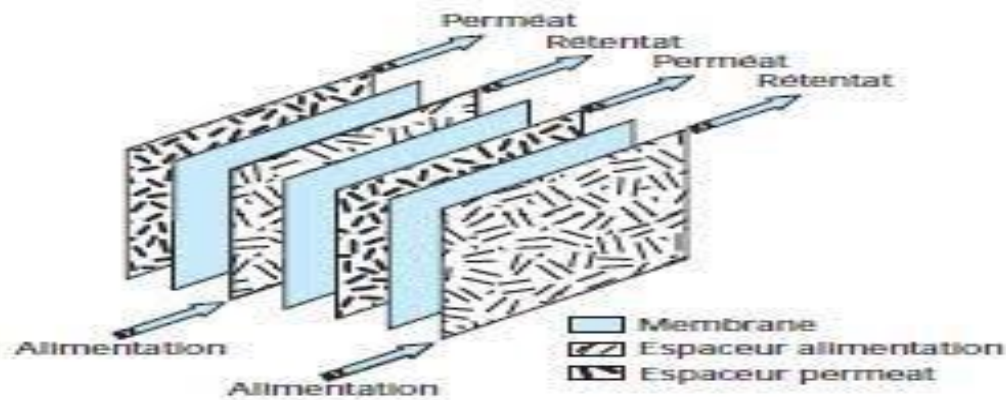


Figure I.10 : Module plans.

Les Avantages et les inconvénients du module plans, ils sont présents en tableau I.7

Tableau I.7: avantages et inconvénient des module plans (Maurel, 2006).

Avantages	Inconvénients
Système souple et modulable	Système peu compact (100 à 400 m ² /m ³)
Changement facile des membranes	Investissement relativement élevé
Visualisation du perméat	

• **Modules spirales** : les membranes plates sont enroulées dans un tube creux et perforé pour recueillir le perméat. Entre les membranes est placée une maille en plastique de 0.8 à 1.2 mm d'épaisseur, qui est destiné a créé des turbulences dans l'écoulement du fluide. Ceci aboutit à un cylindre multicouche ou le perméat s'écoule en spirale vers le tube poreux alors que l'alimentation s'écoule axialement à travers les canaux. (figureI.11) (BRUN, 1989).

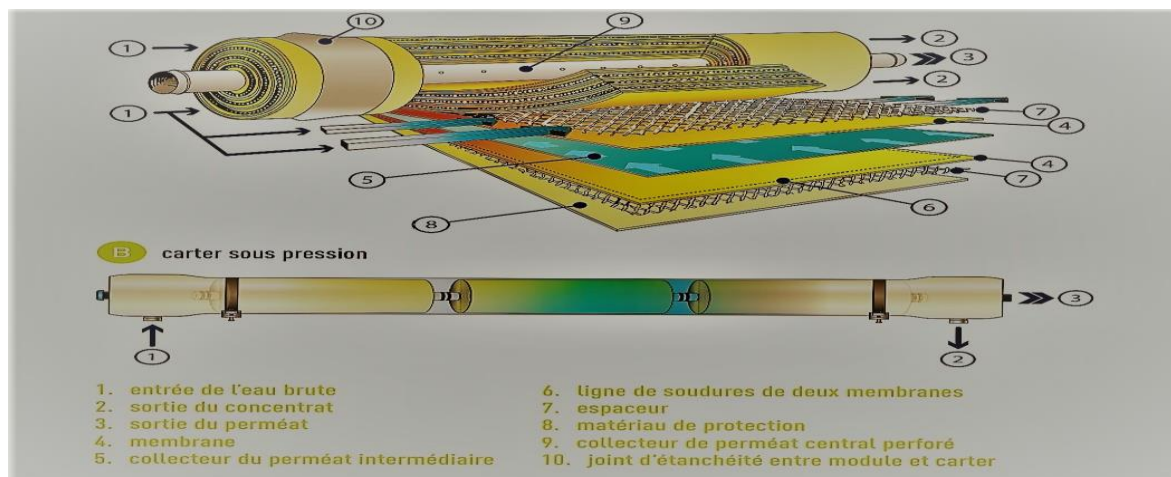


Figure I.11 : Schéma d'un module en spirales (suez).

Les Avantages et les inconvénients des modules spiraux ils sont présents en tableau I.8

Tableau I.8 : avantages et inconvénient des module spirales (Maurel, 2006).

Avantages	Inconvénients
Compacité élevée (300 à 1000m ² /m ³)	Sensible au colmatage
Faible volume mort	Difficulté de nettoyage
Cout d'investissement faible	

• **Modules tubulaires :** ce type de module se compose de tubes en métal ou en plastique aux quels est fixe la membrane semi-perméable le diamètre du tube est de 7 à 25mmet dans la plupart des cas de 12.5 mm. L'eau à traiter circule dans les tube est le perméat est collecté en dehors des tubes (figure I.12) (BRUN, 1989).

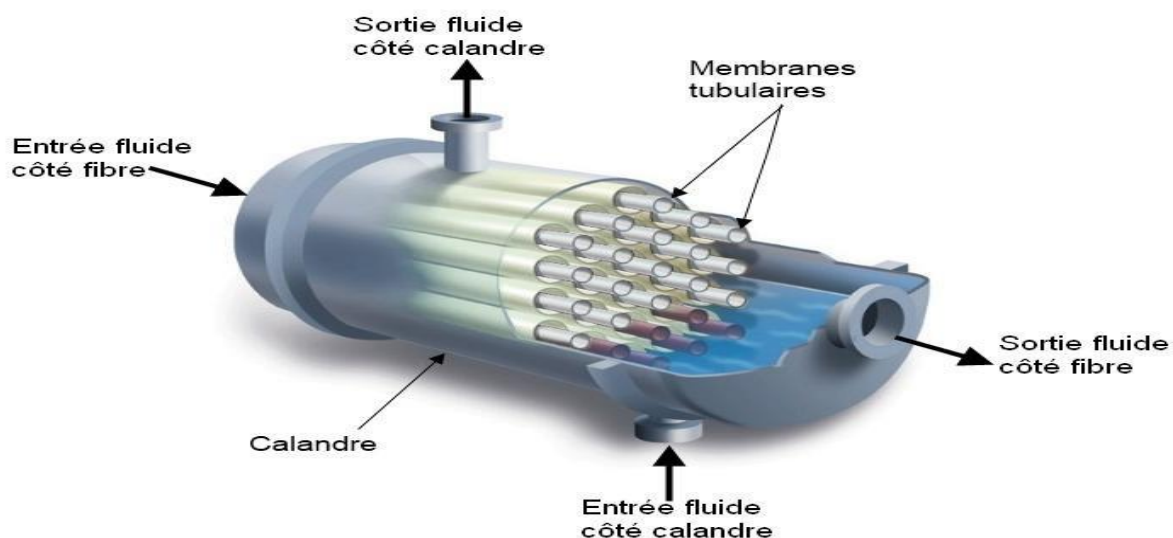


Figure1.12 : Schéma d'un module tubulaire

Les Avantages et les inconvénients des Modules tubulaires sont présentés en tableau 9

Tableau 1.9: avantages et inconvénient des modules tubulaires (Maurel, 2006).

Avantages	Inconvénients
Technologie simple	Consommation d'énergie
Peu traités tous type de fluides (charge, visqueux)	Faible compacité (10 et 300 m ² /m ³)
Facilité de nettoyage	Cout élevé

• **Modules fibres creuses** : on peut considérer ces modules comme des modules tubulaires formés de tubes de petit diamètre. allant de quelques millimètres à quelques dizaines de micromètres. Mis à la différence des modules tubulaire, qui consistant en une membrane et un support inerte, les fibres creuses agissent à la fois comme une membrane et un support. (figure I.13) (BRUN, 1989).

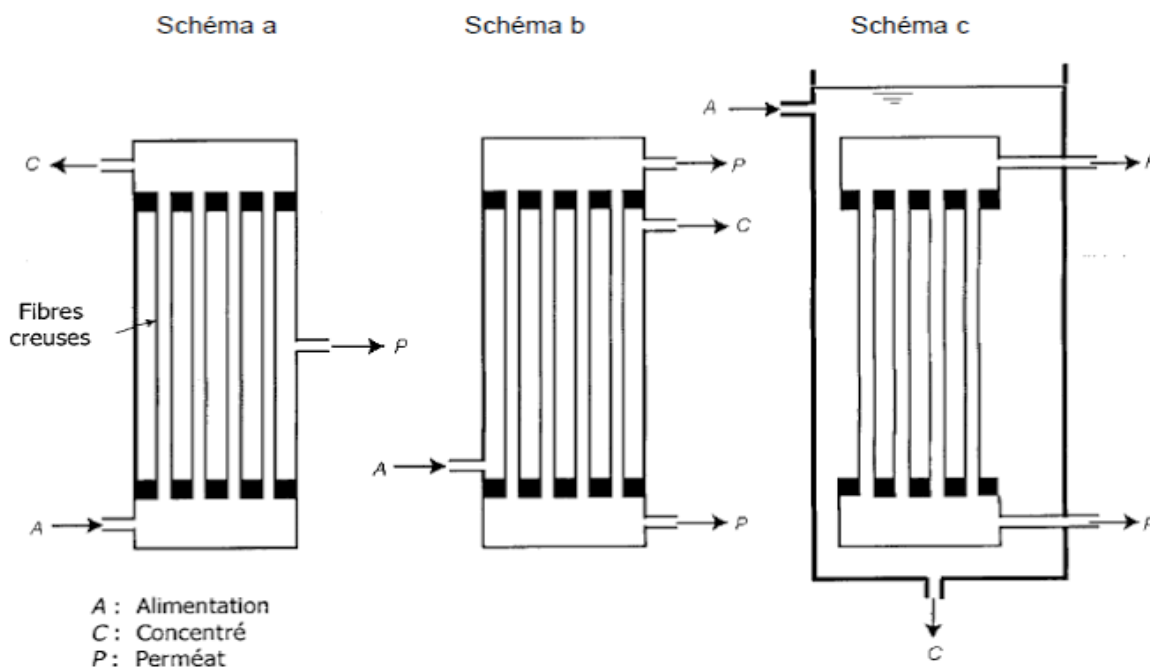


Figure I.13 : schéma de Modules en fibres creuses (Berland, 2002)

Ils existent deux configurations :

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

Les Avantages et les inconvénients des Modules en fibres creuses sont présentés dans le tableau 1.10

Tableau 1.10: avantages et inconvénient des modules fibre creuses (Maurel, 2006).

Avantages	Inconvénients
Compacité élevée ($15000 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	Sensibilité de colmatage dû au faible diamètre des fibres
Faible volume mort	Fragiles (canaux fins)
Faible consommation énergétique	Cout élevé
Possibilité de nettoyage à contre-courant	

➤ **Le choix d'un type de module doit tenir compte de plusieurs critères tels que :**

- Les conditions de transfert optimal
- La surface d'échange élevé
- L'investissement minimal et le cout de fabrication
- La simplicité d'application et la longévité des membranes

I.4.4.1.4.2.4. Les avantages de l'osmose inverse

- Installation simples et sûres, et fonctionnement automatique, extrêmement efficace
- Pas d'intervention de réactif chimique comme des agents d'extraction qui sont des sources de pollution.
- Consommation énergétique réduite vis-à-vis de la distillation pour dessalement de l'eau.
- Pré filtration pour assurer la longévité des membranes d'osmose.
- Véritable barrière au sel minéraux et bactéries, la membrane d'osmose ne laisse passer que la molécule d'eau.
- Une production continue en eau traitée, et un débit constant

I.4.4.1.4.2.5. Les inconvénients de l'osmose inverse

- Le cout des membranes qui se dégradent à cause de phénomènes de colmatage.
- L'énergie consommée par la pompe de gavage est importante.
- les pertes en eau sont très importantes (environ 25% du débit entrant) .cette eau contient tope de sel pour l'agriculture, est donc perdue.

I.4.4.2 Traitements des matières particulaires

I.4.4.2.1. Coagulation

La coagulation est un processus de neutralisation des charges transportées par des substances colloïdales ou indésirables dissoutes à l'aide d'un produit chimique à charge inverse, appelé le coagulant , pour faciliter leur agglomération en paillettes décantables ou filtrables , le coagulant peut être introduit dans un récipient de mélange rapide ou dans un

mélangeur en ligne statique, lesquels produisent tous deux une agitation violente au point d'injection .

La charge électrique ainsi que la couche d'eau autour des particules hydrophiles tendent à séparer les particules les unes des autres et les stabiliser dès lors dans la solution.

L'objectif principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules afin de favoriser leur agglomération. Cette dernière, en général caractérisée par une injection et une dispersion rapides de réactifs chimiques, ce processus permet d'augmenter de façon significative l'efficacité des traitements ultérieurs (**Dégréement, 2005**).

I.4.4.2.2.Floculation

C'est un procédé qui suit la coagulation. Elle vise à fortifier la croissance des floccs par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des réservoirs de coagulation. Elle est effectuée dans le bassin pourvu d'une unité d'agitation mécanique et comporte généralement l'addition d'un flocculant (**Chaufer et al, 1996**).

Après déstabilisation, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer au contact les unes des autres, des micro-floccs se forment, puis plus de volume et de floccs décantables. Le taux d'agglomération des particules dépend de possibilité d'exposition et son efficacité. Ce dernier joue un rôle pour augmenter la probabilité de contact entre les particules. Elle doit être réalisée avant l'étape de clarification et peut également être utilisée directement avant la filtration (**Chaufer et al, 1996**).

I.4.4.2.3.Décantation

La décantation est la méthode la plus courante de séparation gravitaire des MES et des solides en suspension colloïdes (collectés sous forme de floccs après l'étape de coagulation/floculation).

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente de MES et colloïdes (rassemblés sous forme de flocc après l'étape de coagulation/floculation). 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'accablent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement.

L'eau récoltée en surface est dite décantée (**Chaufer et al. 1996**). C'est un procédé qu'on utilise dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux. On utilise soit un décanteur cylindrique ou un décanteur conique.

I.4.4.2.4. Flottation

La flottation est un moyen de séparation solide-liquide. Elle consiste à former un ensemble de particules et des bulles d'air plus léger que l'eau (**Edeline, 1992**). Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer (**Satin et al, 2010**). Ce traitement élimine jusqu'à 55% de matière en suspension et réduit environ 30% de la DBO5 et de la DCO (**Villaginés, 2000**).

I.4.4.2.5. Filtration

La filtration est un procédé physique qui consiste 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 (**Chaufer et al, 1996**).

Chapitre II

Présentation du lieu de stage

II.1. Historique

Le **Groupe Cevital** est un ensemble industriel créé par l'entrepreneur ISSAD REBRAB en 1998. Ce complexe est le premier groupe privé algérien, présent également à l'international (26 filiales sur 3 continents) et un chiffre d'affaire de près 4 Mds dollar. Il emploie 18 000 salariés. Le groupe Cevital est le leader du secteur agroalimentaire en Afrique. Cevital agro-industrie dispose de plusieurs unités de production ultramodernes :

- 2 raffineries de sucre (3000 et 3500 tonnes/jour)
- Raffinage des huiles (2300 tonnes/jour)
- Conditionnement d'huiles (1400 tonnes/jour)
- Unité de sucre liquide
- Margarinerie (600 tonnes/jour)
- Unité de conditionnement d'eau minérale
- Unité de fabrication de boissons rafraichissantes
- Conserverie
- Unité de fabrication de chaux cailinée

II.2. Situation géographique

Le complexe **Cevital** recouvre une superficie de 45000 m² et se situe au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3 km du Sud-ouest de cette ville (Figure 2.1). L'entreprise a beaucoup profité de cette situation lui donnant ainsi un avantage de proximité économique car il se trouve proche du port et de l'aéroport.



Figure II.1 : Situation géographique de CEVITAL

2.3. Organigramme de l'entreprise

Comme chaque entreprise, **Cevital** est organisée ou structurée selon un organigramme établi à l'avance par sa direction générale afin de répondre aux exigences et aux objectifs tracés au préalable (Figure 2.2).

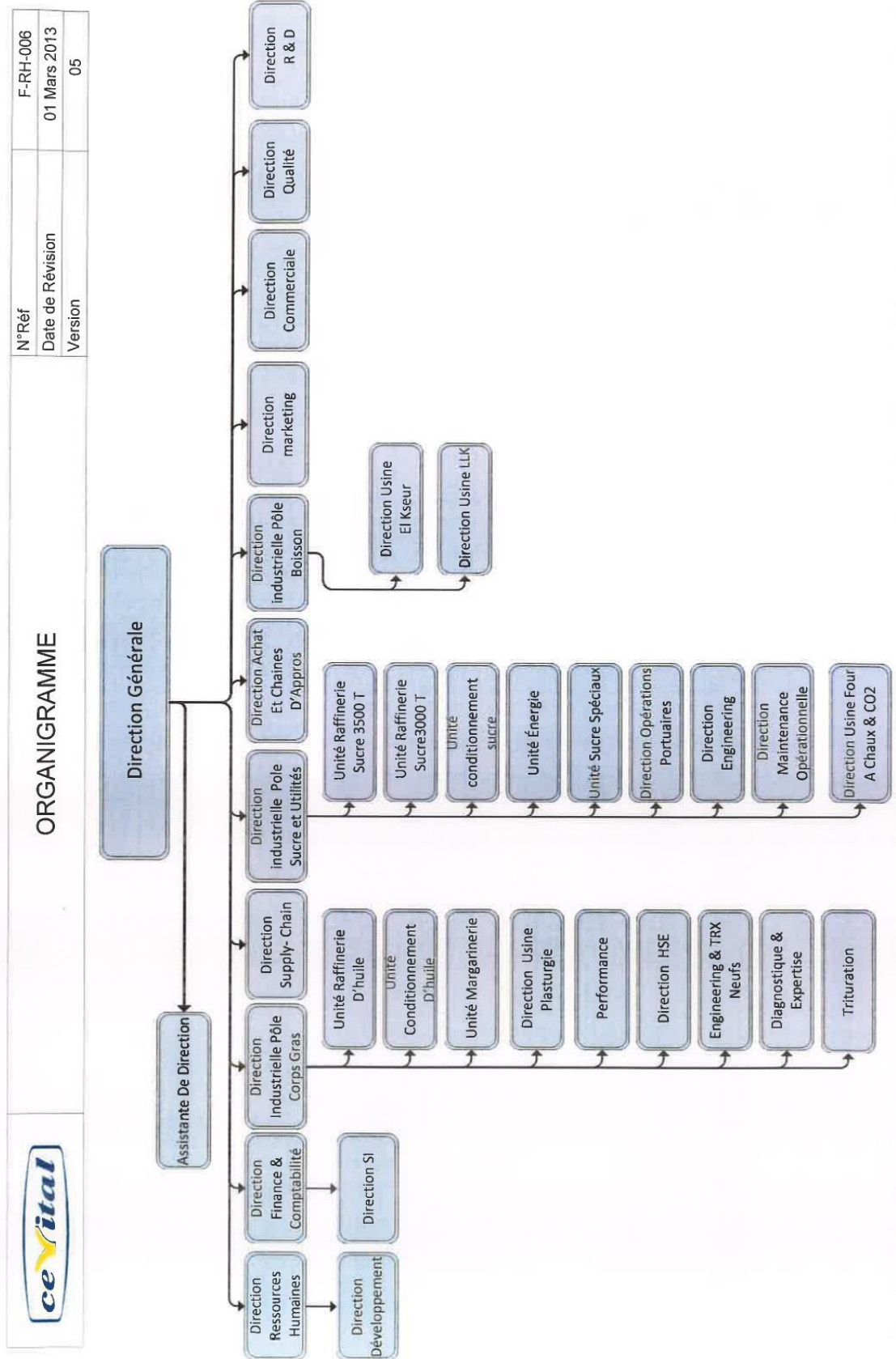


Figure II.2 : organigramme du complexe agroalimentaire.

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 pour répondre aux besoins de l'entreprise provient d'eux sources :

- La première source est une eau de forage issue d'une nappe phréatique située à Ibourassen (Oued Ghir, Bejaïa), à environ 12km du complexe. Elle exploite trois puits ouverts. Chaque puits possède une pompe à environ 40 m de profondeur qui envoie environ 9000 à 10 000 m³/jour.
- La deuxième source située au niveau du barrage d'eau tichyhaff (Bejaïa) dont le débit après traitement est d'environ 2000 m³/jour (figure 2.3).

Remarque : il est à noter que le coût d'un m³ d'eau osmosé produit la base d'eau des forages est d'environ 100 DA. Par contre le prix de revient d'un m³ d'eau osmosée produit par l'eau d'ADE est < 100 DA.

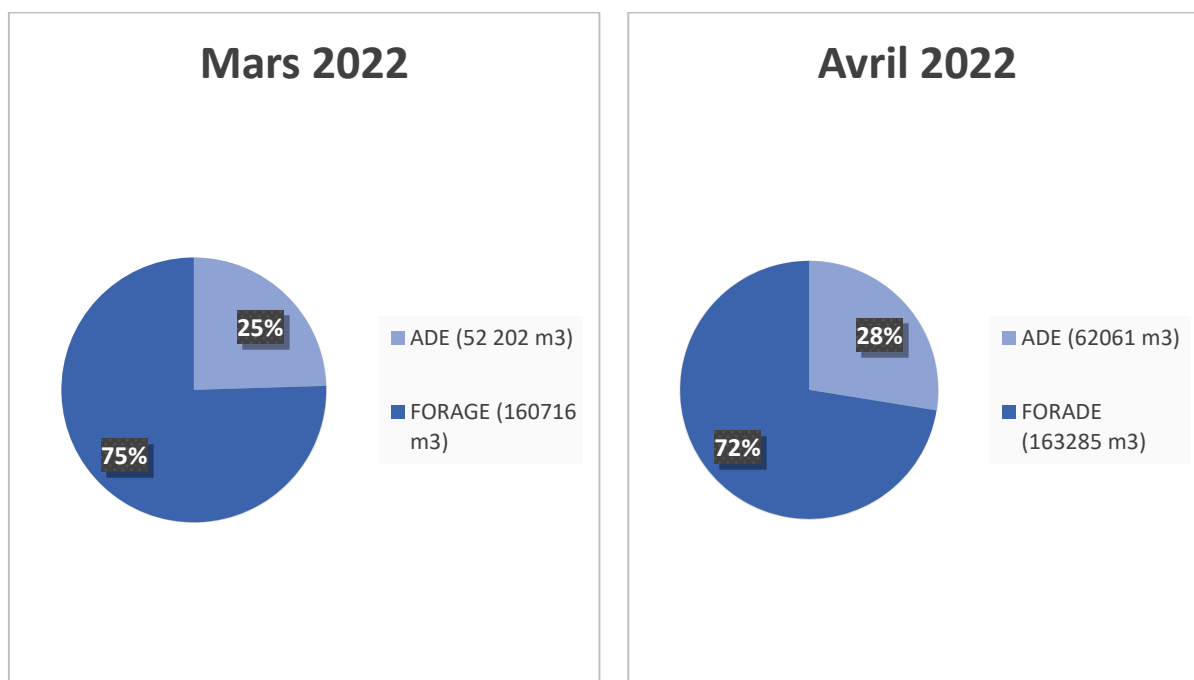


Figure 2 .3: Sources des eaux alimentant le Cevital.

II.4.2. Traitement de l'eau avant son utilisation (depuis le prélèvement jusqu'à l'utilisation).

II.4.2.1. Cycle de traitement de l'eau au niveau du complexe cevital Bejaïa

L'eau de forage et l'eau provenant de l'ADE subissent une série de traitement au niveau de complexe du **Cevital** avant leur usage (figure 2.4).

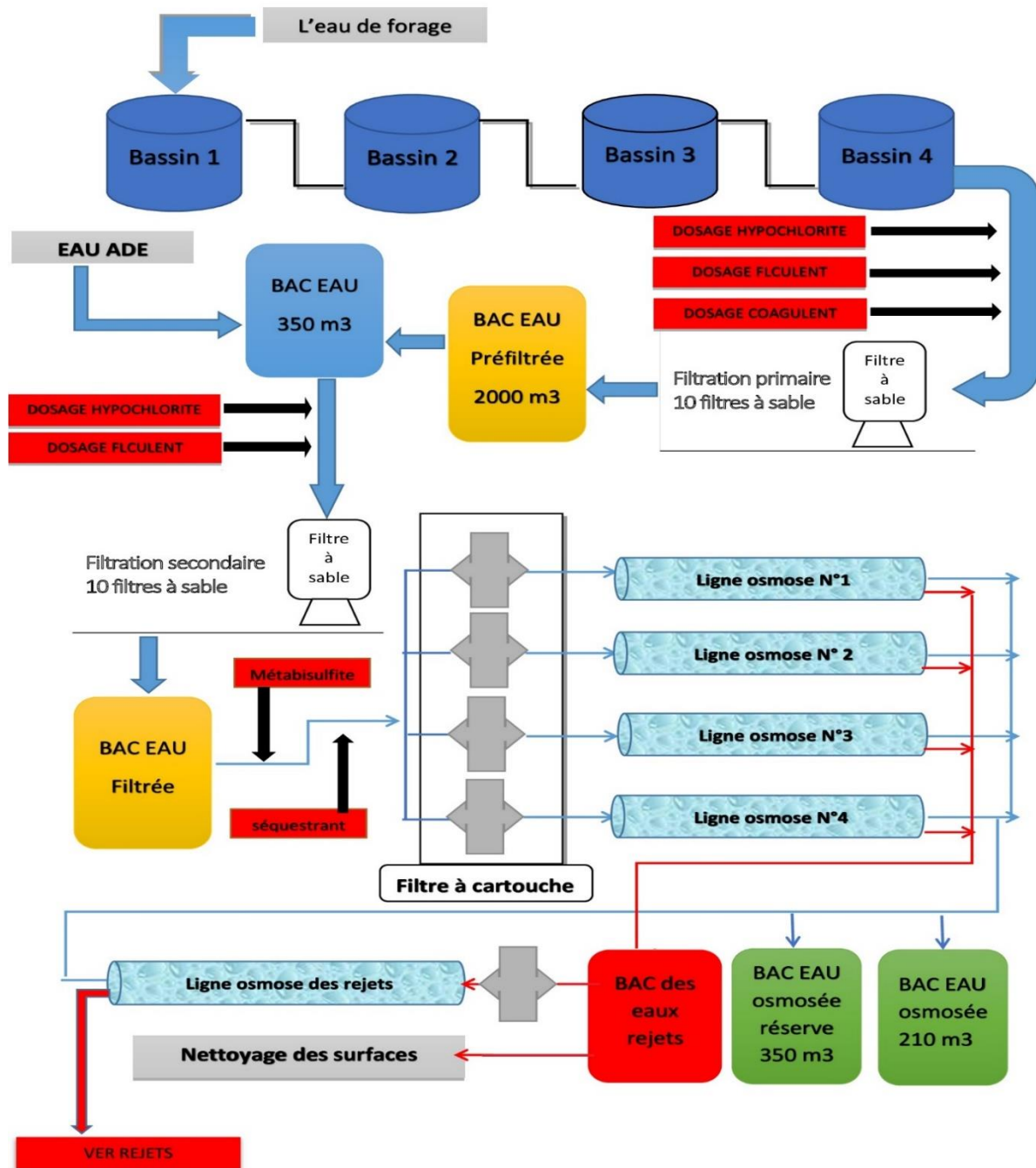


Figure 2.4 : Cycle de traitement de l'eau au niveau du complexe de Bejaïa

II.4.2.2. Système de prétraitement

II.4.2.2.1. Filtres à sable

Cette étape consiste à faire passer l'eau brute par un lit catalytique au niveau des filtres à sables (MnO_2 , la pyrolusite). Cette étape vise à éliminer le fer ainsi que toutes les particules dont le diamètre est supérieur à $40\ \mu m$ (Figure II.5 et II.6).



Figure II.5 : photographie d'un filtre à sable au Niveau de cevital

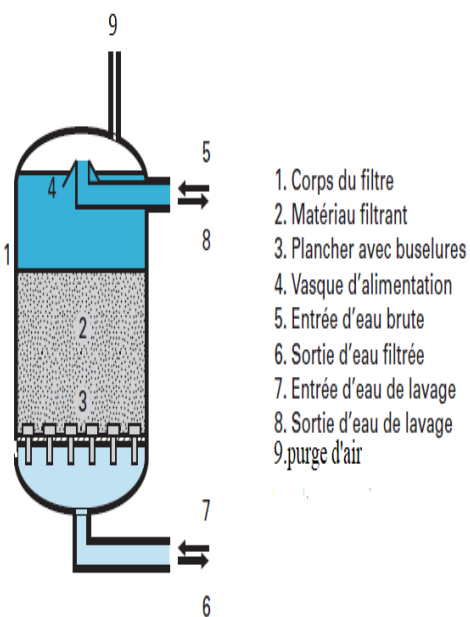
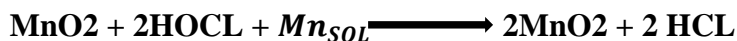


Figure II.6 : schéma général d'un filtre à sable

Durant cette étape on injecte l'hypochlorite de sodium $NaOCl$ à l'entrée des filtres à sable, de 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 MnO_2 en MnO_4 suivant la réaction :



Injecte le coagulant et le floculant (pour but d'agglomérer les fins particules contenues dans l'eau pour former un floc dont le diamètre $40\ \mu m$ qui pourra facilement être retenu (filtre) sur le filtre à sable).

L'eau ainsi obtenue est appelée eau filtrée. Elle sera stockée au niveau de bac d'eau filtrée pour alimenter les lignes d'osmose (Figure II.7).

Après un temps de fonctionnement, un lavage à contre-courant est effectué afin d'éliminer les dépôts retenus par le filtre et ainsi éviter l'entassement du lit filtrant. On distingue alors :

➤ **Filtration primaire :**

- Chaque 24H, un lavage de 15 minutes est effectué à contre-courant pour éliminer le tartre déposé sur le filtre à sable (hydroxyde de fer et toutes les particules qui ont un diamètre supérieur à $40\mu\text{m}$ complété par un lavage final de 05 minutes pour remettre le lit filtrant à sa place.

➤ **La filtration secondaire :**

- Après un temps de fonctionnement de 40H on a : 10min de lavage à contre-courant et 05min de lavage final.

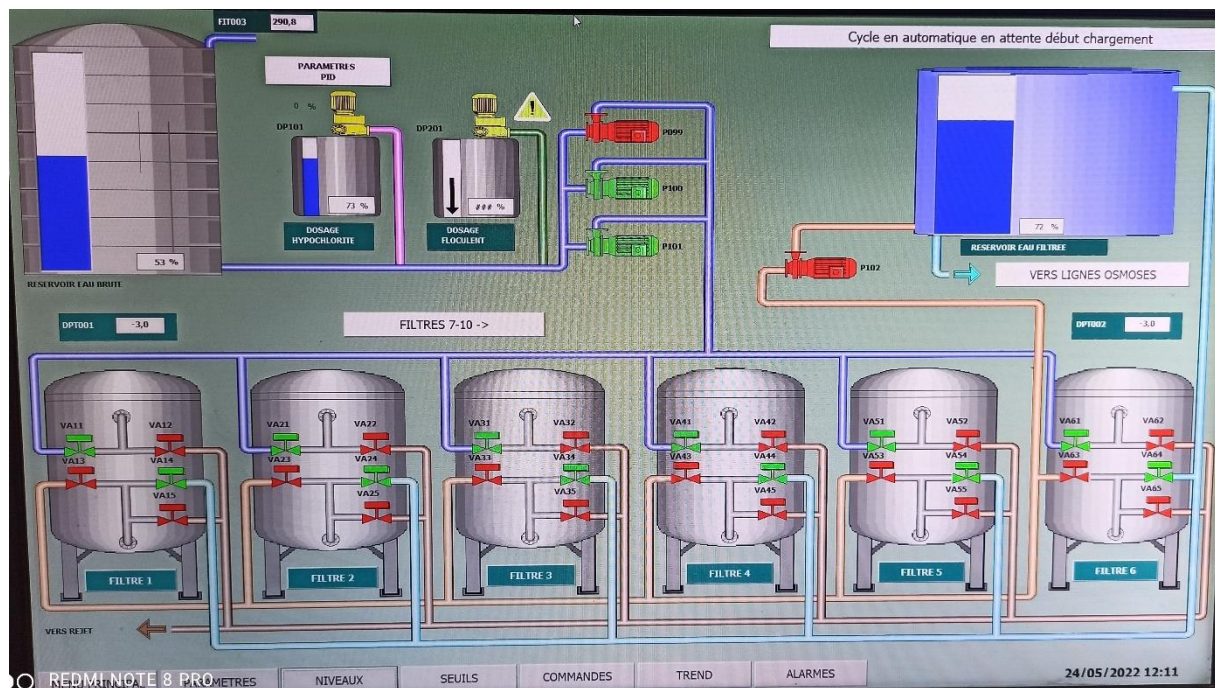


Figure II.7 : schéma présente les étapes de filtres à sable au niveau de Cevital

II.4.2.2.2. Filtres à cartouche :

A partir du bac d'eau filtrée, l'eau est envoyée par les pompes basse pression vers les filtres à cartouche pour éliminer toutes les particules qui ont un diamètre $d \geq 3\mu\text{m}$ (Figure II.8), après avoir injecté deux types de produits chimiques :

- **Séquestrant :** pour éviter la formation des carbonates et bicarbonates sur les membranes.

- **Métabisulfite de sodium** : pour éliminer l'action du chlore sur les membranes (neutraliser le chlore libre), la réaction du métabisulfite de sodium avec le chlore et l'eau est la suivante :



L'avantage de métabisulfite par rapport à d'autres techniques (photochimie, filtre à charbon actif...) est que c'est également un réducteur d'oxygène, qui ralentit considérablement le développement des germes sur l'osmoseur.



Figure II.8 : photographie de skid de filtres à cartouche au niveau de Cevital

Le filtre à cartouche utilisé au niveau du complexe Cevital est un filtre à cartouche bobiné et se compose de fils de polypropylène. Il a une capacité de rétention élevée et filtre des particules fines jusqu'à **3 µm**. Il est construit de telle sorte à ce que les couches externes

soient moins serrées que les couches internes (gradient de porosité), ce qui offre ainsi une filtration en profondeur et une perte de charge réduite (Figure II.9)

Lorsque l'on obtient une perte de charge égale à **1 bar**, cela correspond au colmatage des filtres à cartouche, donc leur changement s'impose.



Figure II.9 : photographie d'un filtre à cartouche bobiné au niveau de Cevital.

II.4.2.3 Système d'osmose inverse :

C'est la partie principale de l'ensemble du système, il se compose de quatre lignes et chaque ligne se compose de deux stades. (Figure II.10).

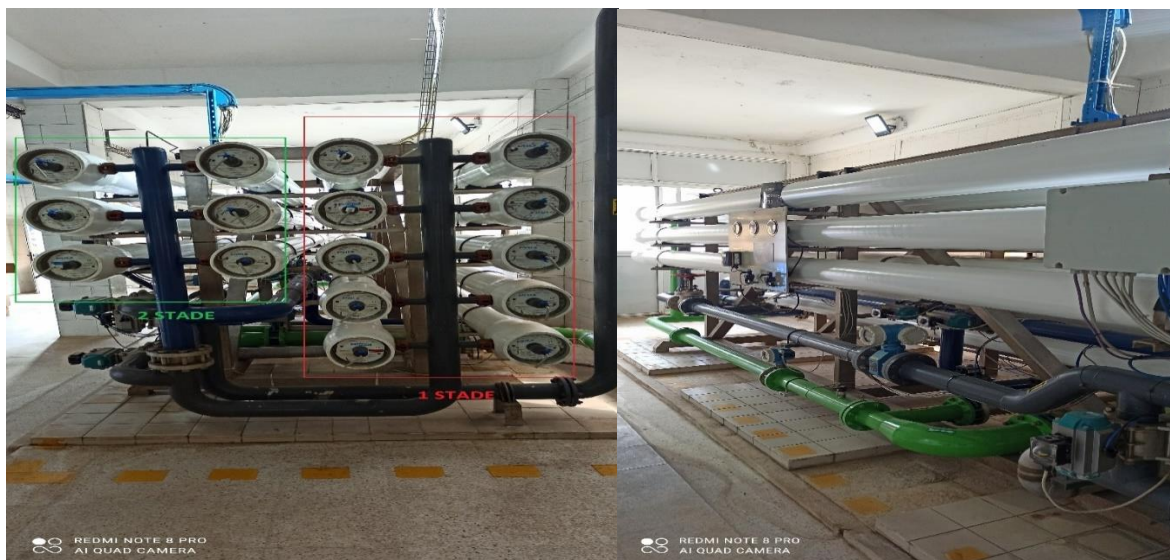


Figure II.10 : photographie de ligne d'osmose inverse à cevital

A la sortie des filtres à cartouches, l'eau est introduite au **1^{er}** stade par les pompes (HP) à hautes pression (**11 bar ≤ P ≤ 18 bar**) de la ligne d'osmose, elle assure la production de 125 m³/h d'eau osmosée et 45 m³/h du concentrât.

Les rejets (concentrât) du **1^{er}** stade vont servir à alimenter le **2^{er}** stade et cela dans le but d'augmenter le rendement de la ligne d'osmose, l'eau osmosée des deux stades est stockée au niveau du bac d'eau osmosée pour alimenter les unités de production, les chaudières, les raffineries ainsi que l'unité ultra pure (Figure II.12)

Le concentrât des lignes d'osmose est stocké au niveau du bac des rejets pour alimenter la ligne de traitement des rejets, comme il peut servir pour le nettoyage et l'arrosage des surfaces du complexe. (Figure II.11)

La filtration par ces osmoseurs permet d'éliminer toutes les particules ayant un diamètre inférieur à 0.0001 µm efficacement elle permet d'éliminer 98% à 99% des sels minéraux et 100% des microorganismes.

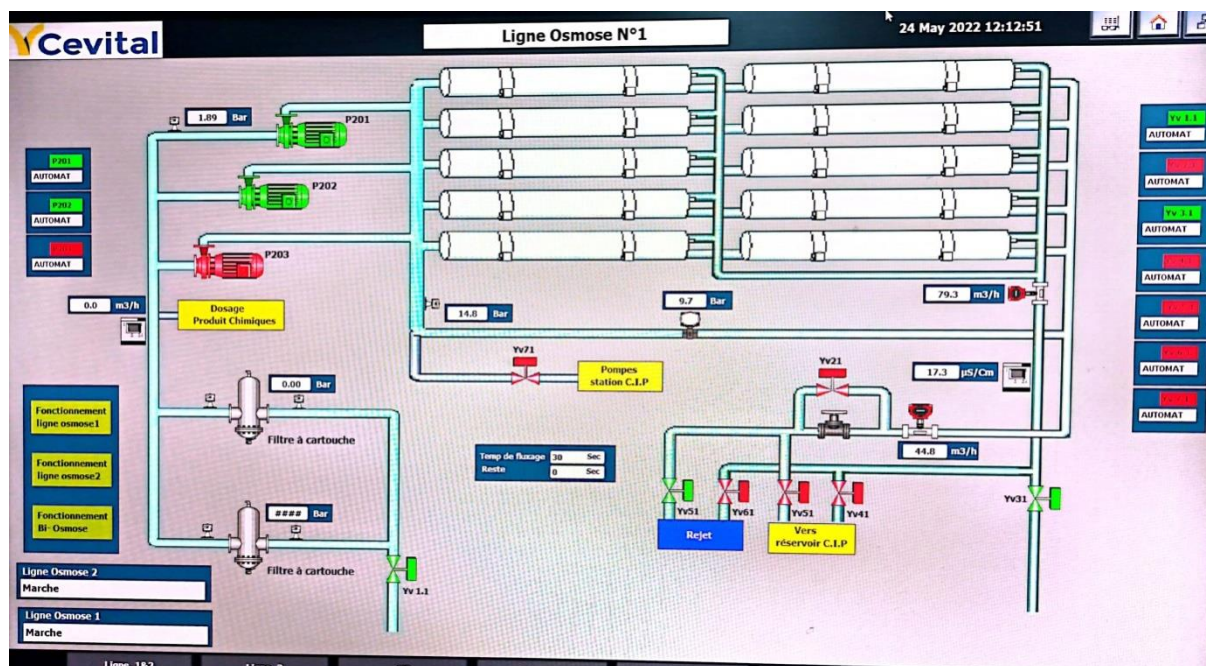


Figure II. 11 : Schéma du processus de production d'eau osmosée au niveau de la ligne d'osmose.

II.4.2.3.1. Nettoyagesurplace CIP (Cleaning In Place):

Lorsque il y'a une variation de paramètres de 10% à 15 % un CIP s'impose (pression d'exercice augmente, ΔP total augmente le débit produit diminue).

Chaque CIP s'effectue en deux phases :

- Phases basique en utilisant les produits suivants (TD WASH 2 +TD WASH 3+ TD WASH 4)
- Phases acide en utilisant les produits suivants (TD WASH 1 ou bien TD WASH 1 Fer)

II.4.2.3.1.1. Type de CIP :

CIP faible entassement : on utilise TD WASH 2

CIP fort entassement : on utilise TD WASH 3+ TD WASH 4

CIP biologique : on utilise le produit biocide (formation bio film+germes)

- Le choix de type de CIP à effectuer est lié au degré d'entassement des membranes et la nature des précipitations et des contaminants.

N.B : la pression des pompes à CIP doit être : $3 \text{ bars} \leq P \leq 4 \text{ bar}$.

II.4.2.4. Consommation d'eau osmoses au niveau du complexe cevital :

Les quantités consommées au mois d'mars et avril par les différentes unités du complexe sont résumées dans le tableau suivant :(Tableau II.1)

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

Unités	Mars 2022 (m3 /mois)	Avril 2022 (m3 /mois)
Bac Co2 (de raff. 3500T/j)	2854	2448
Raffinerie sucre 3000T	3627	4849
Raffinerie sucre 3500T	13780	19041
Raffinerie d'huile	21943	23440
Cogénération	52425	51354
Sucre liquide	10417	12727
Chaufferie LOOS	32841	41278
Production eau ultra pure	12377	12554

Consommation d'eau osmosée au niveau du complexe cevital revient avec une grande quantité à la cogénération de 51354 m³ (31%) en mois d'avril 2022. (Figure II.12)

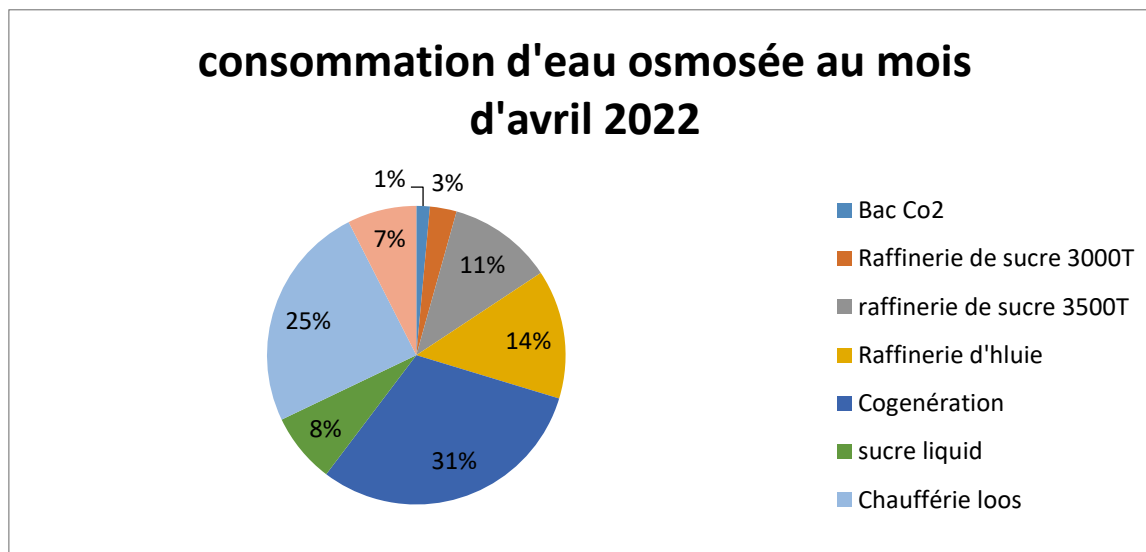


Figure II.12 : Répartition de la consommation d'eau osmosée par les différentes unités de CEVITAL au mois d'avril 2022.

II.4.3. Procédé ultra pure :

C'est un procédé qui est basé sur le phénomène d'échange d'ions, il utilise comme charge l'eau osmosée mais elle doit d'abord passer par la ligne d'osmose accouplée avant son introduction dans les lignes ultra pure (deux lignes).

On injecte de la soude caustique pour éliminer la conductibilité qui provient de gaz CO₂, du metabisulfite de sodium et le séquestrant. La conductibilité à l'entrée de la ligne ultra pure doit être $\leq 4\mu\text{s/cm}$.

A l'intérieur de la ligne ultra pure on trouve deux types de résines : anionite et cationite.

Le courant électrique au niveau des modules ultra purs est converti en courant continu, la résine anionite chargée négativement sert à capter les ions positifs. Tandis que la résine cationite sert à capter les ions négatifs. (Figure II.13)

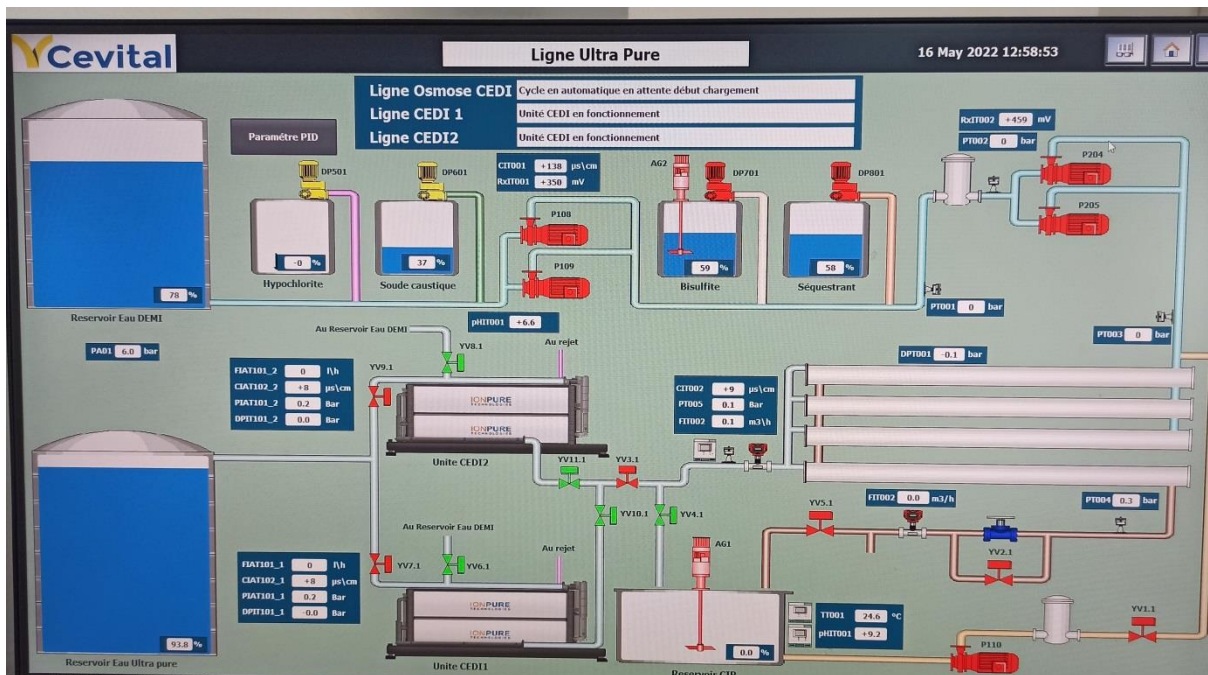


Figure II.13 : schéma représentatif del'unité ultra pur de Cevital.

La ligne d'osmose accouplée a une capacité de production 30m³ /h d'eau osmosée. Son concentrât est 5 m³ /h recyclée vers bac d'eau filtrée

Deux lignes d'eau ultra pure dont la capacité maximale est de 25 m³ /h chacune.

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le terme **pH** est la concentration d'ions hydrogène dans une solution. Dans l'eau, ce facteur est d'une importance exceptionnelle, en particulier dans les procédés de traitement. Il est mesuré et ajusté si nécessaire pour améliorer la coagulation/ floculation ainsi que pour contrôler la désinfection de l'eau, la valeur du **pH** allant de **0 à 14**. En dessous de **7** l'eau est considérée comme acide et au-dessus de **7** comme alcaline. L'eau au pH de **7** est neutre.

III.1.1. Le 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^+ .

III.1.2. Matériels

- PH-METRE HACH HQ40D
- BECHER
- SOLUTION PH 4,7 ET 10

III.1.3. 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 la sonde du pH-mètre dans l'échantillon
- Après stabilisation, lire le résultat.

III.2. La conductivité

La conductivité (exprimée en micro siemens par centimètre) est liée à la présence d'ions en solution. Elle augmente avec la température et la concentration des sels dissous.

III.2.1. Le principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métallique de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. elle est l'inverse de la résistivité électrique.

III.2.2. Matériels

- Conductimètre HACH HQ40D
- BECHER
- solution conductivité 25 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 1413 $\mu\text{s}/\text{cm}$

III.2.3. Mode opératoire

Après avoir étalonné le conductimètre :

- Plonger la sonde de l'appareil préalablement rincée dans un bécher avec l'eau à analyser
- Secouer la sonde légèrement afin d'éliminer les bulles d'air
- Attendre quelques secondes et mesurer.

III.3. Le titre hydrotimétrique total (dureté total)

Dureté totale est calculée comme la somme des concentrations des ions calcium et magnésium dans l'eau, exprimés en carbonate de calcium.

III.3.1. Principe

Le TH total est déterminé par dosage complexométrique en présence de sel disodique (EDTA) et du Noir Eriochrome comme indicateur coloré. Le sel disodique de l'EDTA (complexon) se combine aux ions calcium puis magnésium en donnant des complexes solubles peu dissociés. La fin de la réaction est mise en évidence par le noir Eriochrome T, qui vire lorsque les dernières traces d'ions magnésium sont complexées.

III.3.2. Matériel nécessaire

- burette de 50 ml
- pipette volumétrique de 25 ml
- bécher de 100 ml
- flacon Erlenmeyer de 250 ml

III.3.3. Réactifs

- de la solution standard d'EDTA (0,02N)
- solution tampon ammoniacal $\text{pH}=10$
- indicateur noir ériochrome T(NET) indicateur coloré

III.3.4.Mode opératoire

- Prendre 100 ml d'échantillon
- placer dans un bécher de 100 ml et ajouter 1 à 2 ml de la solution tampon pour augmenter le pH à $10 \pm 0,1$;
- placer dans un flacon Erlenmeyer de 250 ml et ajouter environ 0,05 grammes de l'Indicateur noir ériochrome T (N.E.T) et mélanger.

Si une coloration bleu apparaît, le TH est nul ($TH = 0^{\circ}f$)

Si une coloration violette apparaît (présence d'ions de Ca^{++} et Mg^{++})

- titrier avec l'EDTA 0,02N en remuant continuellement jusqu'à disparition de la couleur violette et l'apparition de la couleur bleue (fin du titrage) (**figure III.1**)

III.3.4.Expression de résultats

Le calcul du TH total :

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

- TH total : Titre hydrotimétrique total.
- $^{\circ}f$: Degrés français ($1^{\circ}f = 10 \text{ mg/l de } CaCo_3$).
- V : Volume, chute de la burette.

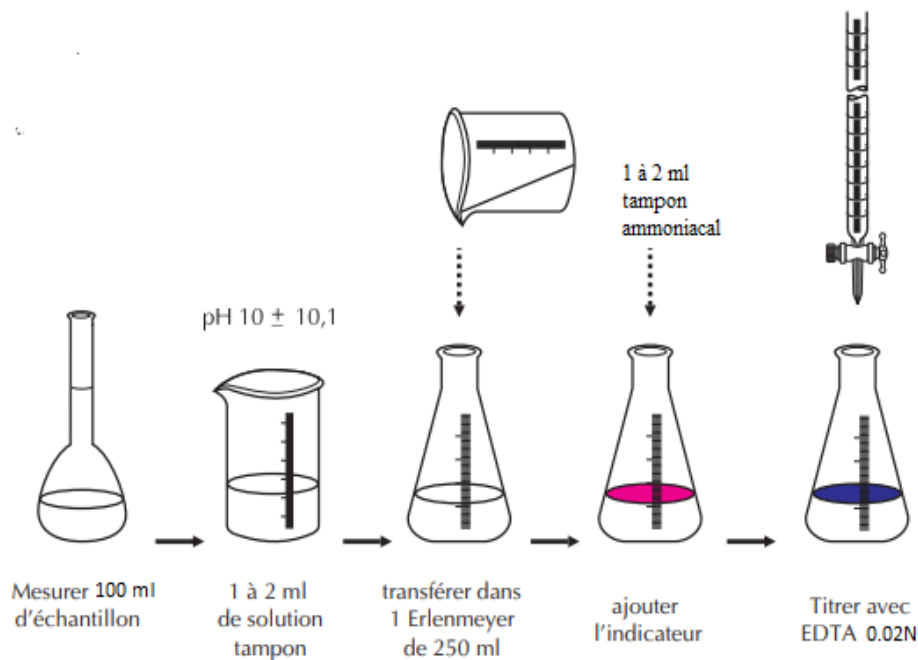


Figure III.1 : schéma de titrage de la dureté total de l'eau.

III.4.La dureté calcique (TH Ca²⁺)

III.4.1. Matériels

- Erlenmeyer 250 ml
- Becher
- Burette graduée de 100 ml

III.4.2. Réactifs

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

III.4.3.Mode opératoire

- Prendre 100 ml de l'eau à analyser dans un ERLLENMEYER
- Ajouter 25 gouttes de NaOH à 5N (soude), en remuant délicatement
- Ajouter une pincée de Murexide (indicateur coloré) et mélanger
- Une coloration rose doit alors se développer ; titrer alors avec la solution d'EDTA
- (sel tétrasodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique) à 0,02N jusqu'au virage du rose au violet. (Figure III.2)

III.4.4.Expression des résultats

Le calcul du TH Ca⁺⁺ :

$$\text{TH Ca}^{++} (\text{°f}) = V \text{ ml}$$

- TH Ca⁺⁺ : Titre hydrométrique calcique.
- °f : Degrés français (1°f = 10 mg/l de CaCo₃)
- V : Chute de la burette en ml

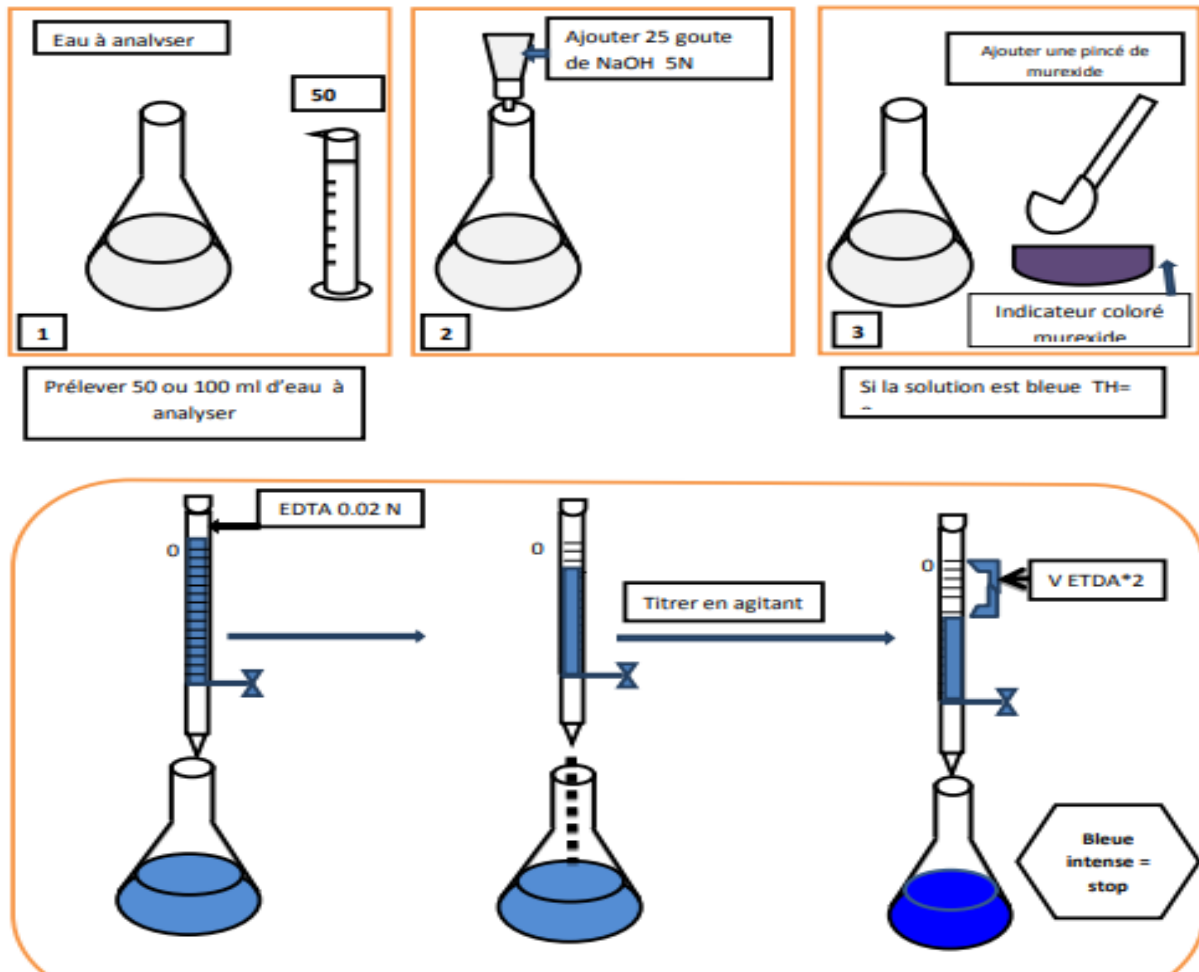


Figure III.2 : schéma de la mesure de la dureté calcique.

III.5.L'alcalinité

L'alcalinité totale de l'eau est donnée par la somme des différentes formes d'alcalinité existantes, soit, par la concentration des hydroxydes, des carbonates et des bicarbonates, exprimée en termes de carbonate de calcium. On peut dire que l'alcalinité mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides.

III.5.1.Le titre alcalimétrique (TA)

III.5.1.1Principe

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

III.5.1.2.Réaction chimique



III.5.1.3. Matériels

- ERLLENMEYER 250 ml
- Fiole de 100 ml
- Burette graduée de 10 ml.

III.5.1.4. Réactifs

- Acide sulfurique (0.02 N)
- Phénolphtaléine.

III.5.1.5. Mode opératoire

- Prendre 100 ml d'une eau à analyser dans un ERLLENMEYER ;
- Ajouter deux gouttes de Phénolphtaléine (un indicateur de pH) et agiter.

Si la solution reste incolore, le TA est considéré comme nul ($TA = 0$), et cela indique que le pH est inférieur à 8,3.

Dans le cas où une coloration rose se forme, titrer avec une solution étalon d'acide sulfurique à 0,02 N jusqu'à la décoloration totale. (Figure III.3)

III.5.1.6. Expression des résultats

Le calcul du TA :

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

TA : Titre alcalimétrique.

$^{\circ}f$: Degrés français ($1^{\circ}f = 10\text{mg/l}$ de CaCo_3).

V : Volume de la chute de la burette en ml.

III.5.2. Le titre alcalimétrique complet (TAC)**III.5.2.1. 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.

III.5.2.2. Réactions chimiques du TAC



- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ déjà existant $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ formé dans la 2^{ème} réaction

III.5.2.3. Matériels

- ERLLENMEYER 250 ml.
- Fiole de 100 ml.
- Burette graduée de 10 ml.

III.5.2.3. Réactifs

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

III.5.2.4. 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 (H_2SO_4) jusqu'au virage de la coloration jaune vers l'orange. (figure III.3)

III.5.2.5. Expression des résultats

Le calcul du TAC

$$\text{TAC } ^\circ\text{f} = (\text{V}'' - 0,1) \text{ ml}$$

III.6. Les chlorures

En général, les chlorures sont présents dans eaux à l'état brut et transformés à des concentrations allant de petites traces jusqu'à plusieurs centaines de mg/l. Ils sont présents sous la forme de chlorures de sodium, de calcium et de magnésium.

III.6.1.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 brun rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

III.6.2.Matériel nécessaire

- une burette de 50 ml
- un bécher de 250 ml
- un flacon Erlenmeyer de 250 ml
- un bécher de 100 ml

III.6.2.Réactifs

- de la solution titrée de nitrate d'argent 0,02N
- de la solution de chromate de potassium indicateur K_2CrO_4

III.6.3. Mode opératoire

- placer 100 ml d'échantillon dans le flacon Erlenmeyer
- ajouter 1 ml de la solution indicatrice de K_2CrO_4
- titrer la solution avec du nitrate d'argent 0,02N jusqu'à ce que la solution vire au jaune rougeâtre qui est le point de fin de titrage (Figure III.3)
- effectuer un essai en blanc de la même façon que pour l'échantillon.

III.6.4.Expression des résultats

Le calcul des chlorures :

$$Cl^- \text{ } ^\circ F = V \text{ ml}$$

- Cl^- : chlorures
- $^\circ F$: degrés français ($1^\circ F = 7.1 \text{ mg / l de } Cl^-$)
- V : chute de burette.

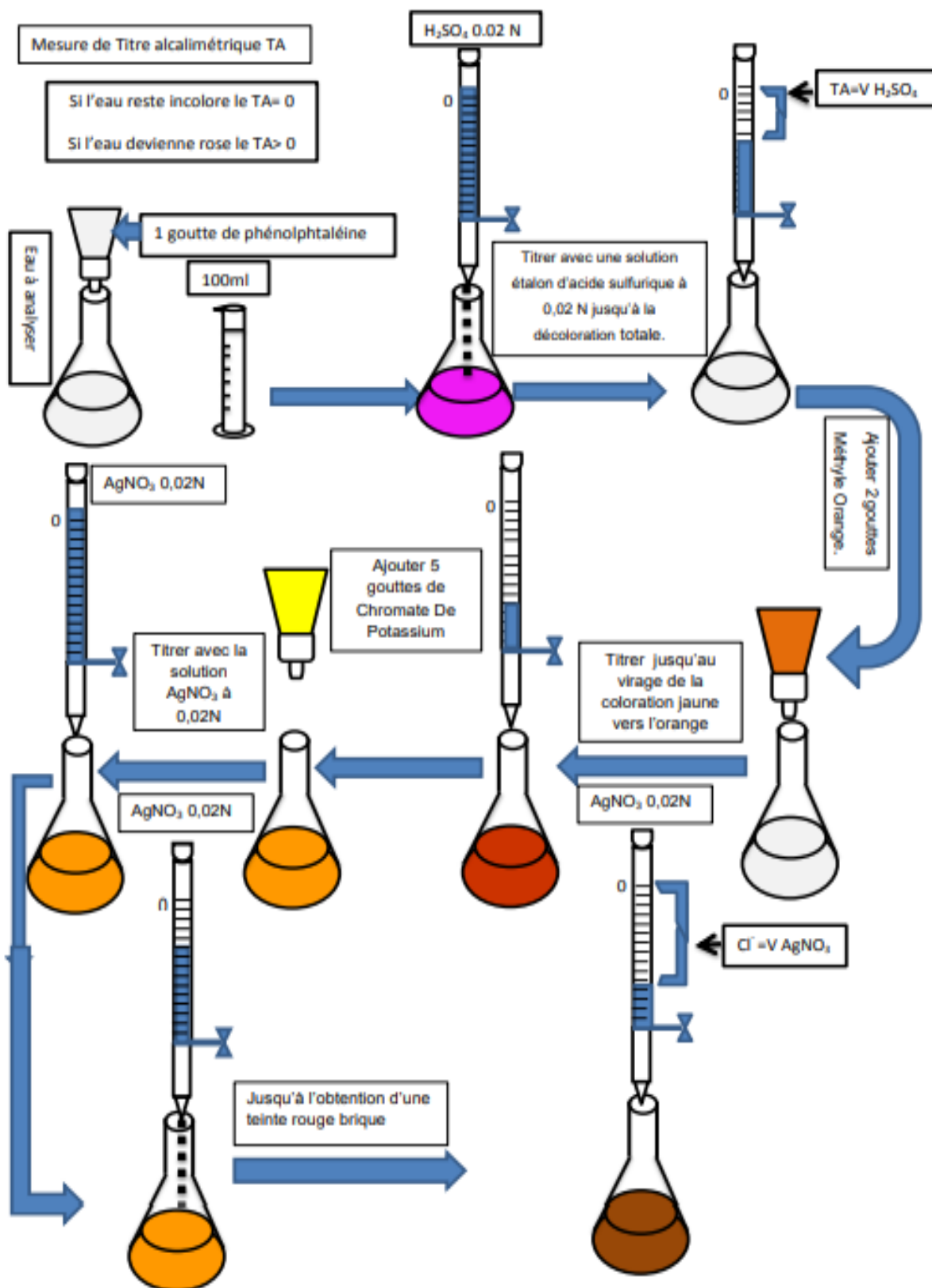


Figure III.3 : le schéma du dosage de TA, TAC et chlorures

III.7.METHODES SPECTROPHOTOMETRIQUES

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

III.7.1.La silice: NANOCOLOR® Silice Test 1-48Art. N° 918 48

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).

III.7.1.1.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.

III.7.1.2.Matériels

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

III.7.1.3.Réactifs

- Réactifs 1, 2 et 3 NANOCOLOR UV/VIS

III.7.1.4.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.

III.7.2. Le chlore libre : NANOCOLOR® Chlore Test 1-16 1

Le chlore est un produit chimique utilisé pour la désinfection de l'eau. Il est important de le mesurer, car cela sert à contrôler le dosage qui est appliqué ainsi que son évolution durant le traitement. Et Le chlore libre est un gaz halogène de couleur jaune vert ; contenue dans l'hypochlorite de sodium ajouté à l'eau de forage. Il agit comme un désinfectant et un régénérateur du MnO_2 .

III.7.2.1. 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.

III.7.2.2. Matériels

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

III.7.2.3. Réactifs

- Réactifs 1 et 2 NANOCOLOR

III.7.2.4. 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.

III.7.3.Le fer: NANOCOLOR® Fer 3 Test 0-37 Art. N° 985 037 1

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).

III.7.3.1.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.

III.7.3.2.Matériels

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

III.7.3.3.Réactifs

- Réactifs 2 NANOCOLOR

III.7.3.4.Mode opératoire

Dans une cuve ronde, ajouter 04 ml 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

III.7.4.Le manganèse : NANOCOLOR® Manganèse 10 Test 0-58 Art. N° 985 058 1

Métal de transition ; gris argent avec une teinte rosé. Le minerai le plus abondant est la pyrolusite MnO₂, utilisé dans les process industriels des filtres à sables.

III.7.4.1.Principe

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

III.7.4.2.Matériels

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

III.7.4.3.Réactifs

- Réactifs 2,3 NANOCOLOR

III.7.4.4.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 5 mn. Le blanc est préparé avec 04 ml de l'échantillon à analyser, 0.5 ml de R2 et une cuillère de mesure de R3.

III.7.5.Aluminium : NANOCOLOR® Aluminium 07 Test 0-98 Art. N°985 098 1

L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés, et aussi l'un des composés les plus abondants dans l'écorce terrestre. La forme soluble dans l'eau de l'aluminium, c'est-à-dire les ions, est la plus nocive. En général, on trouve ces ions aluminiums en combinaison avec d'autres ions, par exemple sous forme de chlorure d'aluminium. L'aluminium est quasiment insoluble dans l'eau à des pH supérieurs à 6. En revanche, sa solubilité croît rapidement en milieu acide.

III.7.5.1.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.

III.7.5.2.Matériels

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

III.7.5.3.Réactifs

- Réactifs 2, 3 et 4 NANOCOLOR

III.7.5.4.Mode opératoire

Dans une cuve ronde ajouter :

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

Fermer et mélanger et mesurer après 5 mn. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm.

Chapitre IV

Résultat et discussions

Cette partie de notre travail sera consacrée à la présentation des résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux de process au cours de notre stage (Avril-Mai 2022).

Durant les différentes étapes du traitement (après le passage des eaux par l'unité d'osmose inverse), les paramètres étudiés sont : le pH, la conductivité, TH, TH Ca^{++} , TA, TAC, Cl^- , Cl_2 , Mn, Al, à l'entrée (l'eau brute) et à la sortie (au niveau de l'unité d'osmose inverse). Les résultats issus des mesures hebdomadaires sur la silice (SiO_2) effectués sur des échantillons des différentes étapes du traitement y sont aussi présentés.

IV.1.Potentiel d'hydrogène

La figure ci-dessous représente l'évolution du (pH) des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

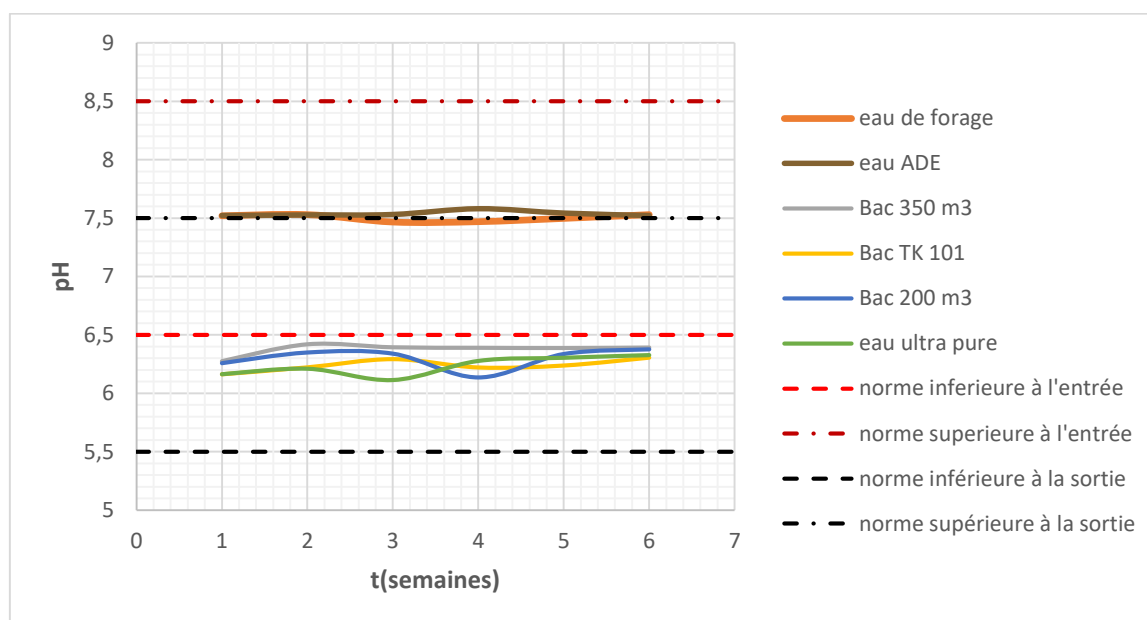


Figure IV.1 : l'évolution du (pH) des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

D'après la figure IV.1, nous remarquons que les valeurs du pH, à l'entrée (eau de forage, ADE) ils sont généralement neutres, les valeurs maximale et minimale sont de 7.58 et 7.46, respectivement, avec une moyenne 7.569.

La même évolution est remarquée pour les valeurs du pH à la sortie (osmose inverse) avec un maximum de 6.39 et un minimum de 6.16, avec une moyenne 6.287, ce changement serait dû à la rétention des sels minéraux y compris les ions hydrogénocarbonates par les membranes d'osmose inverse : C'est une déminéralisation. Cette diminution des valeurs moyennes du pH de 7.569 à 6.287, n'est pas fortuite, mais elle est étudiée, de sorte à répondre aux normes adoptées par l'entreprise (eau de forage et ADE $6.5 < \text{pH} < 8.5$, eau osmosée et ultra pure $5.5 < \text{pH} < 7.5$).

IV.2. Conductivité

La figure ci-dessous représente l'évolution de la conductivité des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

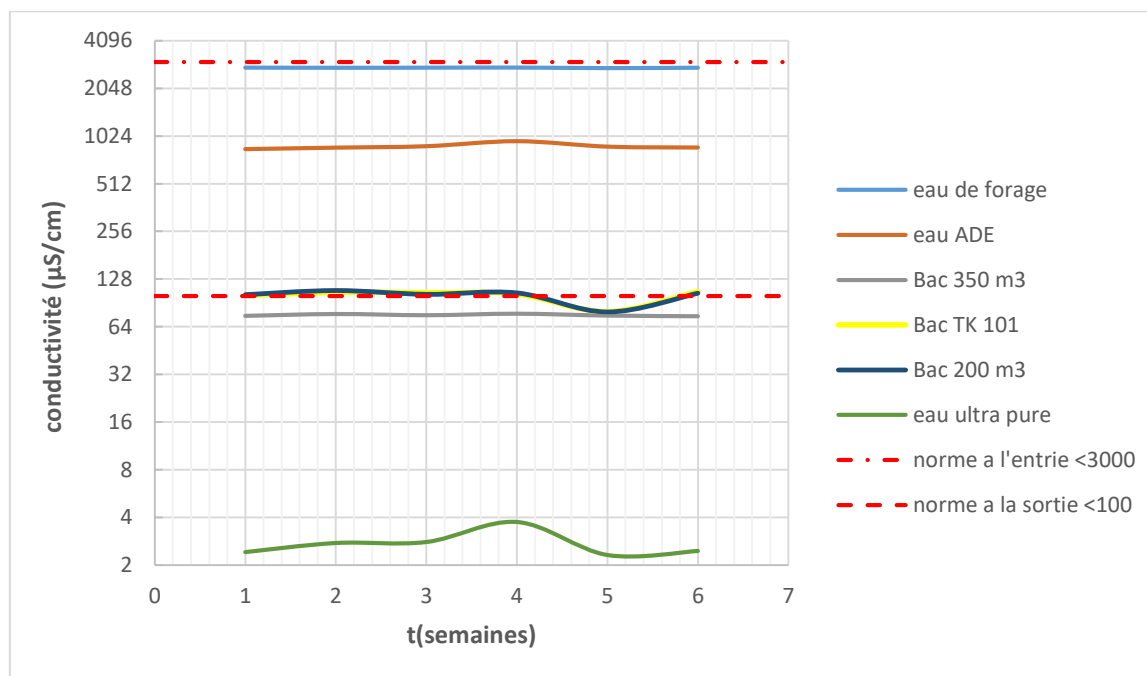


Figure IV.2 : l'évolution de la conductivité des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

D'après la figure IV.2, on remarque une forte variation des valeurs de la conductivité à l'entrée et à la sortie de l'unité d'osmose inverse. Nous remarquons, avant le traitement, la conductivité de l'eau à l'entrée (eau de forage et ADE) est très élevée avec une valeur maximale de 2773.57 $\mu\text{S}/\text{cm}$, une valeur minimale de 846.42 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et une moyenne de 1823.892 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ceci s'expliquerait par la forte présence d'ions minéraux dans cette dernière. Tandis que l'eau traitée à l'osmose inverse présente une conductivité moyenne de 92.06 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une valeur maximale de 108.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et minimale de 74.48 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ceci s'expliquerait par l'élimination de la quasi-totalité des ions présents dans l'eau par les membranes de l'osmoseur. Nous en concluons donc que le traitement par technique d'osmose inverse est très efficace pour l'élimination des sels. Les résultats obtenus répondent aux normes de Cevital.

IV.3. Le titre hydrométrique TH total

La figure ci-dessous représente l'évolution de **TH total** des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

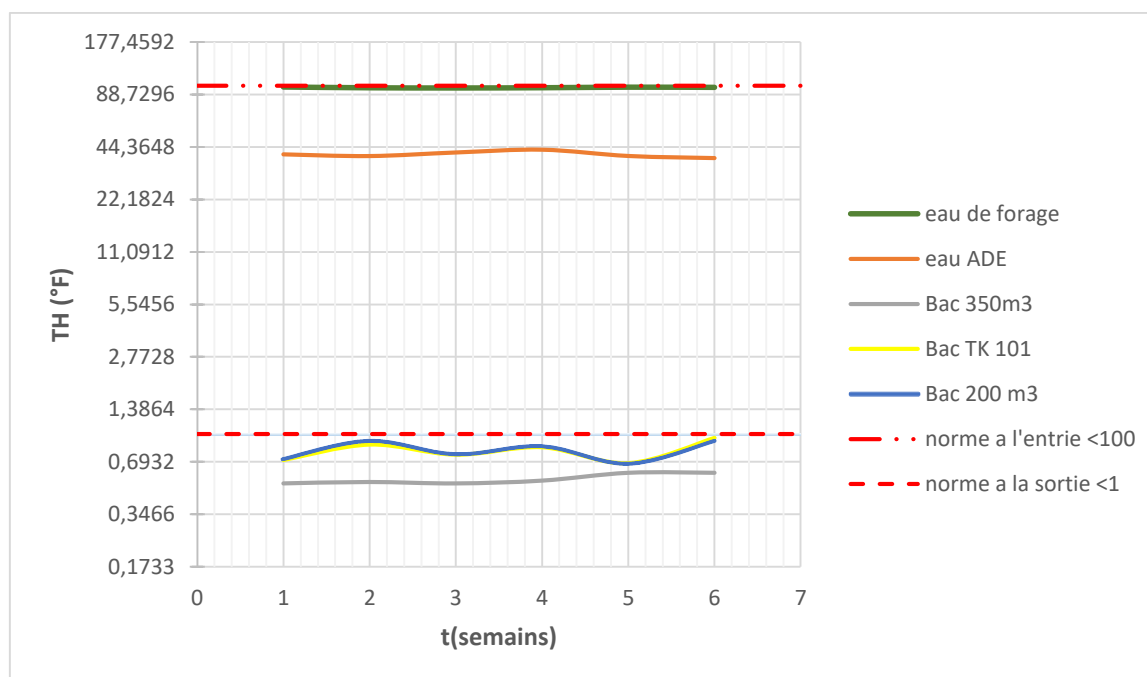


Figure IV.3 : l'évolution de TH total des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

D'après la figure IV.3, nous remarquons La stabilité de ce paramètre est bien présente à l'entrée de l'unité d'osmose durant toute la période d'étude. En effet, les données à l'entrée oscillent entre une valeur maximale de 98.02 °F et une valeur minimale de 96.78 °F avec une moyenne de 97.37.

La qualité de l'eau est dure mais elle reste conforme aux normes. Cette dureté serait liée à la nature des terrains traversés par l'eau que ce soit ceux de nature calcaire ou gypseuse. Elle pourrait présenter un risque d'entartrage des conduites. A la sortie, nous enregistrons des valeurs plus basses que celles à l'entrée avec un maximum de TH de 0.95°F et un minimum est de 0.52°F avec une moyenne de 0.72°F. La totalité des ions carbonates de calcium et carbonates de magnésium ont été éliminés et par la suite entraînés dans les rejets. Donc les membranes sont très efficaces et les résultats obtenus du TH sont conformes aux normes de l'entreprise Cevital.

IV.4. Titre alcalimétrique complet (TAC)

La figure ci-dessous représente l'évolution de TAC des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

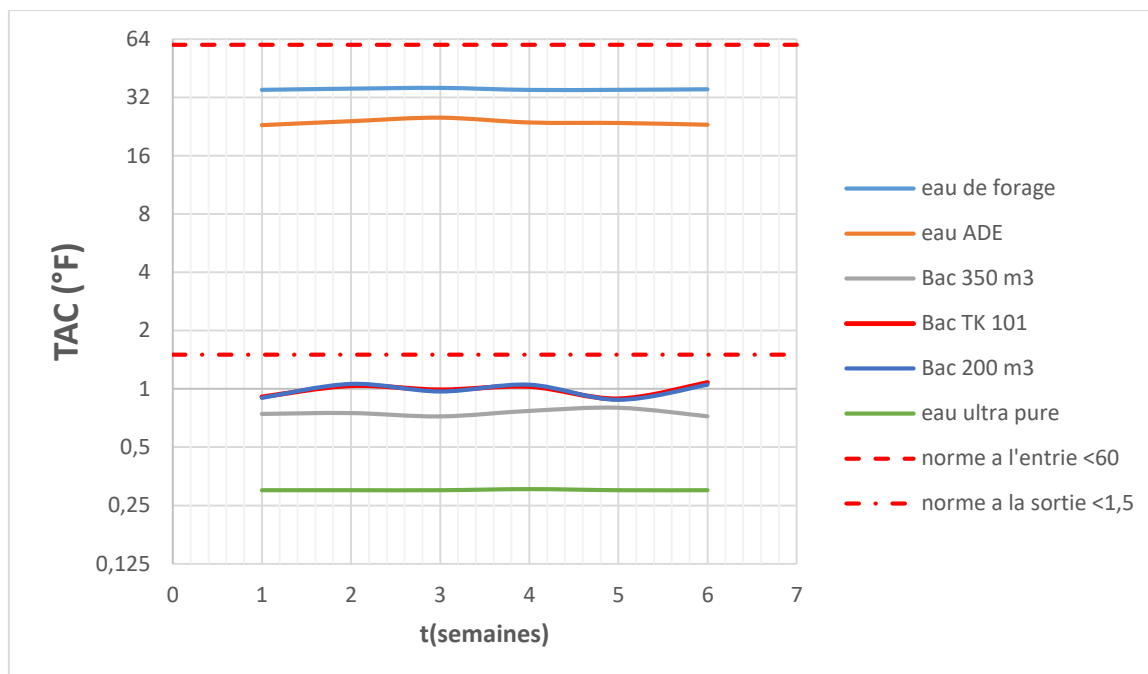


Figure IV.4 : l'évolution de TAC des eaux de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

La figure IV.4 nous montre des différences insignifiantes des résultats au cours de la période d'étude. La plus grande valeur enregistrée du TAC est de 35.88°F et la plus petite est de 35.07°F dans l'eau de forage avec une moyenne de 35.34 °F. La même évolution est observée avec des valeurs largement inférieures à celles enregistrées à l'entrée en marquant le maximum de 1.08°F et le minimum de 0.72°F avec une moyenne totale de 0.90 °F donc une faible alcalinité dans l'eau osmosée. Ce qui expliquerait l'efficacité des osmoseurs à éliminer une très grande partie des ions hydrogénocarbonates et carbonates présents dans l'eau. Ces résultats du TAC obtenus sont conformes aux normes (TAC<1.5°F) de l'entreprise (Cevital).

IV.5.Teneur en chlorures

La figure ci-dessous représente l'évolution de la teneur en Cl^- d'eau de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

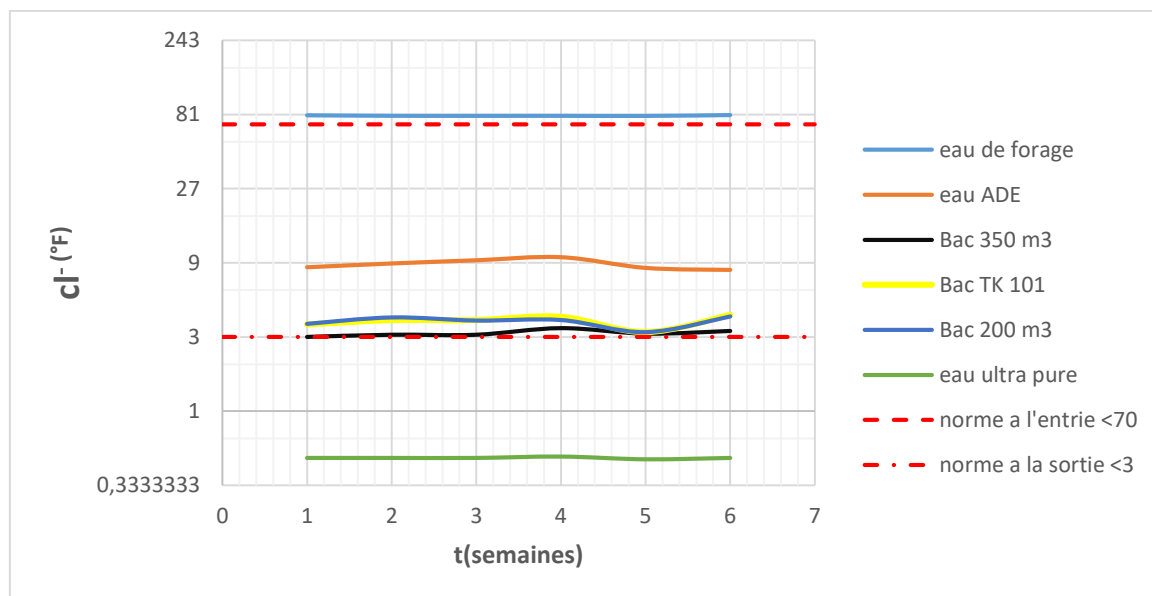


Figure VI .5 : l'évolution de la teneur en Cl^- d'eau de process. (Mois d'avril et mai 1-15)

Nous observons, d'après les résultats obtenus, que les teneurs en chlorures sont stables pour l'eau de forage et ADE, les valeurs maximales sont de 80.35°F , 9.76°F , et minimales 79.41°F , 8.1°F respectivement.

Les valeurs de Cl^- obtenues à l'entrée (eau de forage) dépassent légèrement les normes de Cevital ($<70^\circ\text{F}$), Cela pourrait s'expliquer par le passage de l'eau sur des terrains salins, par contre les valeurs à l'entrée (ADE) sont conformes aux normes de Cevital ($<70^\circ\text{F}$).

Les valeurs de Cl^- obtenues à la sortie eaux osmosées dépassent légèrement la norme de Cevital ($<3^\circ\text{F}$), et cela est dû au mauvais fonctionnement des osmoseurs (colmatage des membranes) qui ont besoin d'un CIP (nettoyage en place).

IV.6. La teneur en chlore libre

La figure ci-dessous représente l'évolution de la teneur en Cl_2 d'eau de forage et ADE et eau filtrée avec des filtres à sable (avant et après injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (mois d'avril et mai 1-15)

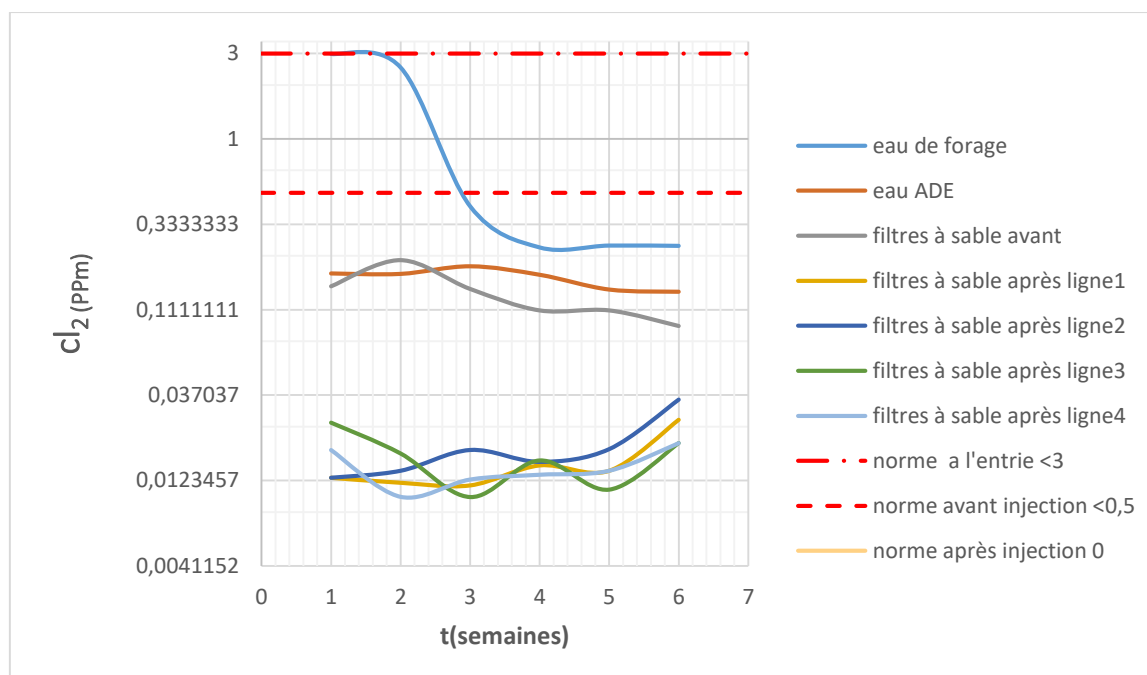


Figure VI.6: l'évolution de la teneur en Cl_2 d'eau de forage et ADE et eau filtrée avec des filtres à sable (avant et après injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) (mois d'avril et mai 1-15)

Nous observons, à l'entrée, une concentration de chlore pour l'eau de forage qui varie entre 0,248 ppm et 2,99 ppm mais elle reste dans la norme de Cevital (<3ppm). Celle-ci diminue par suite d'un niveau de traitement à l'autre en allant d'une moyenne de 0,1358ppm à l'entrée avant l'injection de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$. L'addition de métabisulfite de sodium n'a pas complètement éliminé les traces de chlore dans l'eau filtrée qui est entre 0,0146 ppm et 0,0190 ppm. Cela s'expliquerait par l'insuffisance de la déchloration ou la faible quantité de métabisulfite de sodium ajoutée. Il est important de signaler que les membranes d'osmose inverse sont très sensibles au chlore. L'accumulation de ce gaz sur la surface des membranes accélérerait le processus de dégradation et réduit ainsi la durée de vie de ces membranes.

IV.7.Teneur en manganèse

La figure ci-dessous représente l'évolution de la teneur en **Mn** d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15)

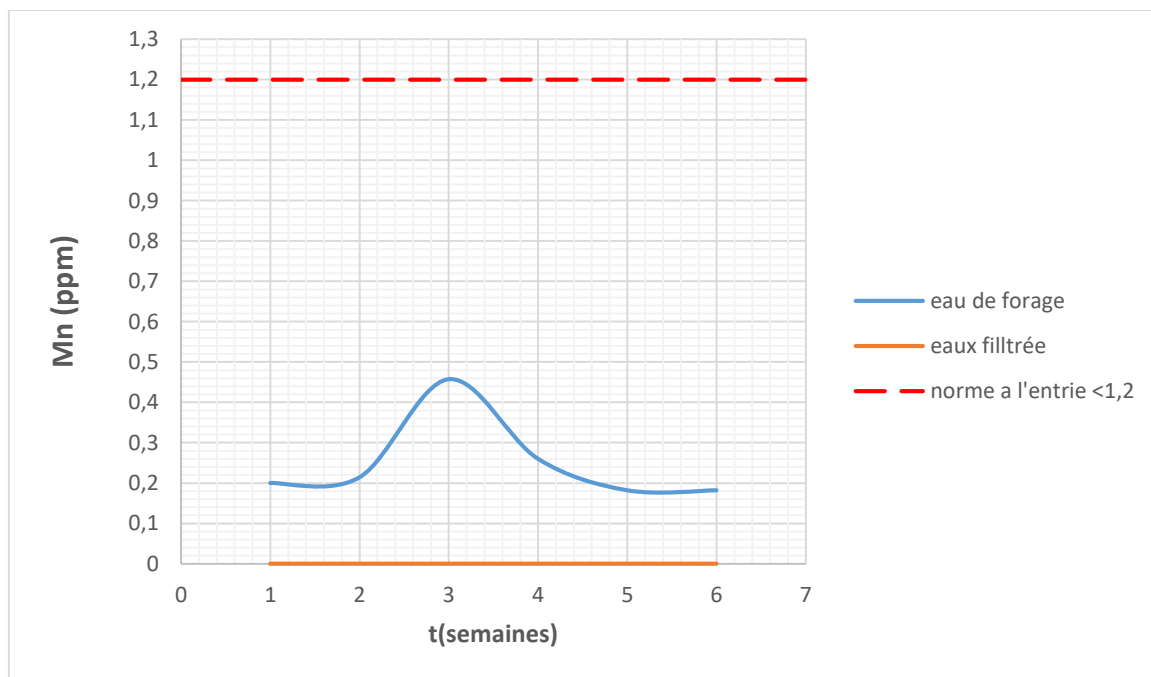


Figure VI.7 : La figure ci-dessous représente l'évolution de la teneur en **Mn** d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15)

Nous remarquons d'après la figure IV.7 que la présence du manganèse est uniquement à l'entrée de la station avec une valeur maximale de 0.457ppm, une valeur minimale de 0.182ppm et une moyenne de 0.249 ppm inférieure à la norme exigée qui est de 1.2ppm. Après traitement, nous remarquons l'absence totale de l'ion manganèse dans toutes les lignes osmoseurs. Cela s'expliquerait par son élimination complète dans les filtres à sable lors de l'injection de l'hypochlorite de sodium qui favorise la régénération du dioxyde de manganèse, qui précipite, et est retenu par le filtre.

IV.8.Teneur en aluminium

La figure ci-dessous représente l'évolution de la teneur en AL d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15)

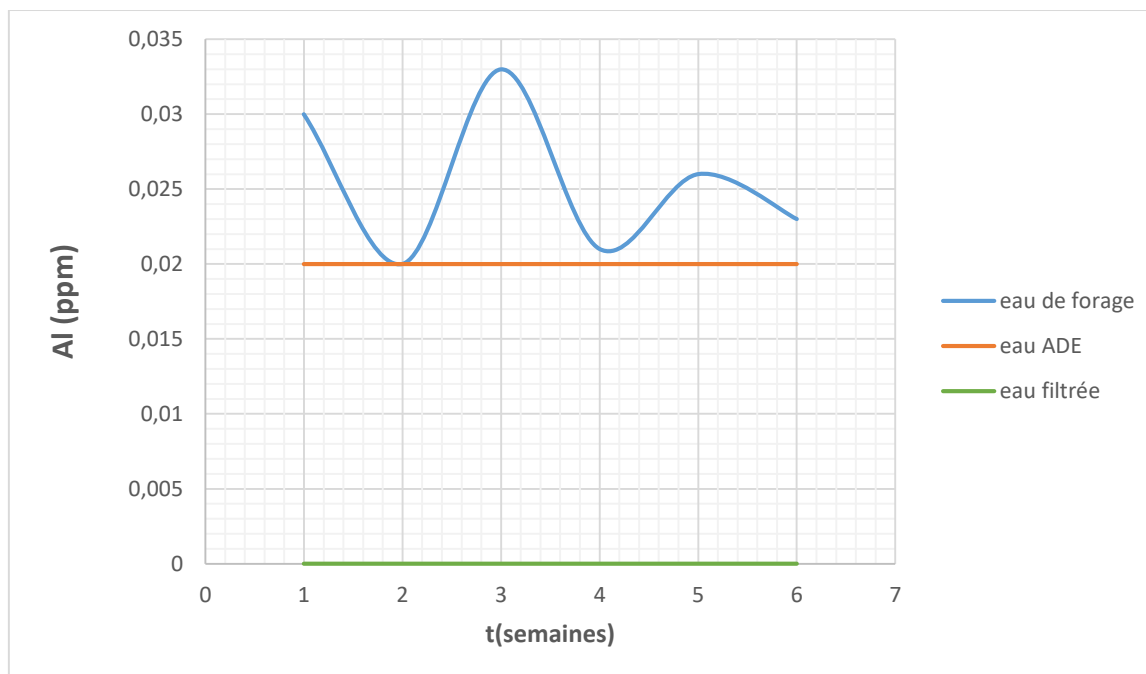


Figure IV.8 : l'évolution de la teneur en AL d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15)

D'après cette figure IV.8, les teneurs en Aluminium des eaux analysées à l'entrée (eau de forage) sont très variables, les valeurs oscillent entre 0.033 ppm, et 0.02ppm, avec une moyenne de 0.026ppm, par contre, nous avons enregistré une valeur constante 0.02ppm à l'entrée (ADE).

A la sortie des lignes osmoseurs, les concentrations en Aluminium atteignent des seuils nuls en raison de l'efficacité des modules d'osmose inverse.

IV.9. La teneur en silice

La figure ci-dessous représente la variation des teneurs des silices (SiO_2) à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

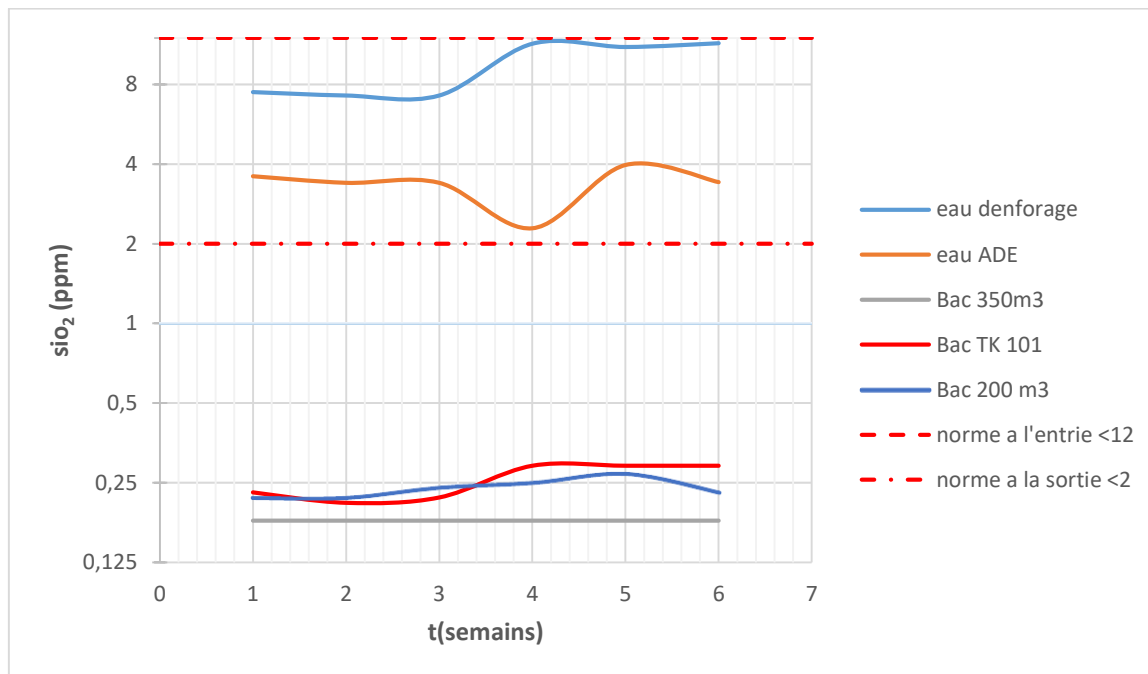


Figure IV.9: la variation des teneurs des silices (SiO_2) à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

La teneur en silice observée à l'entrée est d'une moyenne de 9.32ppm, elle reste dans la norme exigée qui est de 12 ppm. 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 moyenne de 0,22ppm à la sortie des osmoseurs, en conformité avec les normes en vigueur (2ppm).

IV.9. La teneur en fer

La figure ci-dessous représente la variation de fer à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

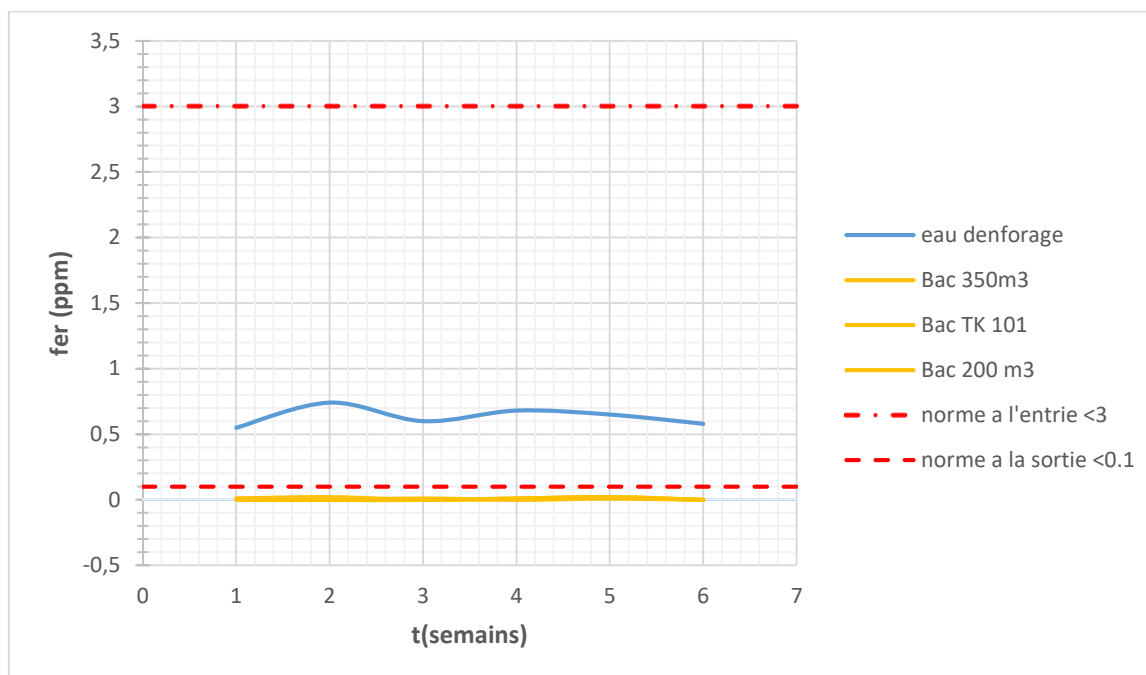


Figure IV.10: la variation des teneurs de fer à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

D'après cette figure, les teneurs en fer affichant une certaine variation au niveau des eaux de forage, leurs valeurs varient entre une maximal de 0.74 ppm une minimale de 0.55 avec une moyenne de 0.63 ppm. 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. En conformité avec les normes.

Conclusion générale

Bibliographie

Liste de références

- A.Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, édition office des publications universitaires, Alger, 2^{ème} édition, (2006).
- Chaufer.B et Rabiller, 1996 B. chaufer et M. Rabiller-Baudry. « Rétention of ions innanofiltration at various ionic strength ». 1996 (450 pages)
- CHAUSSADE (J.L) et PELLAY 6 Les 100 mots de l'eau (2012)
- Dégrément ,2005 «Mémento technique de l'eau », 2005 Lavoisier technique de l'eautome 1, paris. (280 pages)
- Dégrément, 1978. « Mémento technique de l'eau », 8^{ème} Édition, paris 1978. (490 pages)
- Dégrément, 2009 « Mémento technique de l'eau. » Tome I.2009 (559 pages)
- Desjardins.R, 1984« le traitement des eaux édition de l'école l'école polytechnique de Montréal », janvier 1990. (355 pages)
- Desjardins.R, 1990« le traitement des eaux 2^{ème} édition de Bonnin.J ,1982 « Aide-mémoire hydraulique urbaine », 1982, édition. Eyrolles. (127 pages)
- Desjardins.R, 1997« le traitement des eaux édition de l'école polytechnique de Montréal », France (1997). (304 pages)
- Gheret.S, (2017) « Les grandes catégories d'usages de l'eau dans l'industrie », techniques de l'ingénieur.
- GOMELLA C et GUERREE, 1978 « le traitement des eaux publiques industrielles etprivés ». Edition Eyrolles. (313 pages)
- [Http// : www.fao.org](http://www.fao.org)
- [Http// : www.lentech.fr](http://www.lentech.fr)
- [Http// :www.suez.com](http://www.suez.com)
- J-P. Brun, Procédés de séparation par membranes transport techniques membranaires applications, paris, France 1989, (288 p)
- KHEZAMI.L, 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

Liste de références

autres application en traitement des eaux », (2018) (180 pages)

- L. Khezami, 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 , Livre , Édition universitaire européennes ,(2018) .
- M.Satin, R.Bourrier, B. Selmi. Guide technique del'assainissement. 4ème édition. Ed. Lemoniteur référence technique, (2010).
- Manuel.A, 2006. Manuel du complexe Cevital (Laboratoire des eaux), Bejaia, 2006 (91pages)
- R.Villaginés. Eau, Environnement et santé publique. 2ème édition.Ed. TEC & DOC, Paris, (2000).
- Rodier, 2009« l'analyse de l'eau », 9ème édition, DUNOD (éditeur), Paris, France (2009). (1600 pages)
- Tardat-Henry, 1984« Chimie de eaux » 1ere édition griffon d'argile INC, paris (1984) (340pages)

Annexes

Annexe I**❖ 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 ($C_{10}H_{16}N_{20}O_8$).
- Acitrate de sodium (CH_3COONa).

• 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.

• Flocculant (TD-FLOC) :

C'est un nom commercial du flocculant utilisé au niveau des filtre à sable. Un flocculant 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 ($Na_2S_2O_3$) :

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 ($1^{\circ}f$) 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

Element	Formule	Masse molaire
Carbonate de calcium	CaCO ₃	100
Carbonate de magnésium	MgCO ₃	84
Calcium	Ca ⁺²	40
Magnésium	Mg ⁺²	24.3
Carbonate	CO ₃ ⁻²	60
Bicarbonate (hydrogénocarbonate)	HCO ₃ ⁻	61
Chlorure	Cl ⁻	35.5
hydroxyde	OH ⁻	17

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

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

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

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

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

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

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

On a °F = 10 mg/l de CaCO₃

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

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

Même démonstration pour la TH Ca⁺⁺

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

En appliquant la loi de la volumétrie on a :

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

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

ANNEXE I

$$TA \text{ g/l} = \frac{0.02 * V_{H_2SO_4}}{100} * \frac{\text{Masse molaire } CaCO_3}{\text{Valence}(Z)} = \frac{0.02 * V_{H_2SO_4}}{100} * \frac{100}{2}$$

$$TA \text{ mg/l} = \frac{0.02 * V_{H_2SO_4}}{100} * \frac{100}{2} * 1000$$

On a 1 °F = 10 mg/l de CaCO₃

$$TA \text{ °F} = \frac{0.02 * V_{H_2SO_4}}{100} * \frac{100}{2} * 1000 * \frac{1}{10}$$

$$TA \text{ °F} = \frac{0.02 * V_{H_2SO_4}}{100} * \frac{100}{2} * 1000 * \frac{1}{10} * V_{H_2SO_4} \longrightarrow TA \text{ °F} = 1 * V_{H_2SO_4}$$

$$TA \text{ °F} = V_{H_2SO_4}$$

$V_{H_2SO_4}$ = Chute de burette

➤ **Même démonstration pour le TAC**

➤ **Démonstration de Cl⁻(°F) = Chute de burette**

En appliquant la loi de la volumétrie, on a :

$$N_{CaCO_3} = [Cl^-] \text{ eqg/l} = \frac{N_{AgNO_3} * V_{AgNO_3}}{V_{CaCO_3}} \longleftrightarrow [Cl^-] \text{ eqg/l} = \frac{0.02 * V_{AgNO_3}}{100}$$

$$[Cl^-] \text{ eqg/l} = \frac{0.014 * V_{AgNO_3}}{100} \longleftrightarrow [Cl^-] \text{ g/l} = \frac{0.02 * V_{AgNO_3}}{100} * \text{Meq } Cl^-$$

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

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

$$[Cl^-] \text{ mg/l} = \frac{0.02 * V_{AgNO_3}}{100} * 35.5 * 100$$

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

On a 1 °F = 10 mg/l de CaCO₃

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

$$Cl^-(\text{°F}) = 1 * V_{AgNO_3}$$

V_{AgNO_3} = chute de burette

Préparation des solutions

1N d'NaOH \longrightarrow Masse équivalente (NaOH) = Masse molaire (NaOH)/valence \longrightarrow 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 x 40,8) / 1 = 4,08g \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 → Masse équivalente (H₂SO₄)=molaire (H₂SO₄)/valence → 1000
de solution 1N d' H₂SO₄ → 98/2 = 49g → 1000 ml de solution

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

m = (0,02 x 49) / 1 = 0,98g → 1000 ml de solution

$$m = 0,98 \text{ g d' H}_2\text{SO}_4$$

$$V = \frac{m * 100}{P * d} = \frac{0,98 * 100}{96 * 1,84} = 0,5548 \text{ ml}$$

- 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.9 : variation des teneurs des silices (SiO_2) à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	<12 ppm	--	<2 ppm			<0 ppm
Semaine 1	7.48	3.6	0.18	0.23	0.22	0
Semaine 2	7.26	3.4	0.18	0.21	0.22	0
Semaine 3	7,26	3,4	0,18	0,22	0,24	0
Semaine 4	11.4	4.29	0.18	0.29	0.25	0
Semaine 5	11.08	3.97	0.18	0.29	0.27	0
Semaine 6	11.45	3.42	0.18	0.29	0.23	0

Tableau IV.10 : variation des teneurs en fer total à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	<3 ppm	0.3 mg/l	<0.1ppm			<0 ppm
Semaine 1	0.55	0.02	0.01	0.00	0.01	0
Semaine 2	0.74	0.02	0.00	0.00	0.02	0
Semaine 3	0.6	0.02	0,00	0,01	0,00	0
Semaine 4	0.68	0.02	0.01	0.00	0.01	0
Semaine 5	0.65	0.02	0.02	0.01	0.02	0
Semaine 6	0.58	0.02	0.00	0.00	0.00	0

ANNEXE II

Tableau I.1 : prélèvement d'eau mondiale et par continent par secteur d'activité.

Afrique	2007	2012	2017	MOYENNE
l'agriculture	152.576	178.9129	185.2033	172.230733
industriels	9.5196	8.3626	14.9213	8.200875
les municipalités	29.8479	33.3642	34.6481	32.6200667
total eau	191.9435	220.6397	234.7727	213.051675
Asie	2007	2012	2017	MOYENNE
l'agriculture	2002.2773	2134.9862	2165.2678	2100.84377
industriels	238.8515	234.8379	225.6674	233.118933
les municipalités	224.0192	233.7545	246.7039	234.825867
total eau	2465.148	2603.5786	2637.6391	2568.78857
Europe	2007	2012	2017	MOYENNE
l'agriculture	79.7962	84.1587	85.1552	83.0367
industriels	172.1275	163.2226	145.059	160.136367
les municipalités	65.423	63.7444	69.5985	66.2553
total eau	191.9435	220.6397	234.7727	309.428367
Amériques	2007	2012	2017	MOYENNE
l'agriculture	411.4616	437.9044	451.8181	433.728033
industriels	351.5229	304.8074	277.038602	311.122967
les municipalités	123.1484	122.8974	122.6034	122.883067
total eau	886.1329	865.6092	851.460102	867.734067
Océanie	2007	2012	2017	MOYENNE
l'agriculture	12.844	14.327	15.277	14.1493333
industriels	3.4846	3.8816	4.7936	4.05326667
les municipalités	4.4583	4.4583	3.8377	4.25143333
total eau	20.7869	22.6669	23.9083	22.4540333
Mondial	2007	2012	2017	MOYENNE
l'agriculture	2658.9551	2851.2392	2902.7214	2804.30523
industriels	775.5061	715.1121	667.479902	719.366034
les municipalités	446.8968	458.2188	477.3916	460.835733
total eau	2465.148	2603.5786	2637.6391	2451.80237

Tableau 1.3 : Prélèvements d'eau par source en Algérie

En Algérie	2007	2012	2017
Prélèvement d'eau superficielle ($10^3 \text{ m}^3/\text{an}$)	-	4.8	1.699
Prélèvement d'eau souterraine ($10^3 \text{ m}^3/\text{an}$)	-	3	8.103
Eau dessalée produite ($10^9 \text{ m}^3/\text{an}$)	0.316	0.615	0.631
Utilisation directe d'eaux usées municipales traitées ($10^9 \text{ m}^3/\text{an}$)	-	0.01	0.05
Total d'eau ($10^9 \text{ m}^3/\text{an}$)	-	8.425	10.483

Tableau 1.3 : Prélèvements d'eau par secteur en Algérie

En Algérie	1982	1987	1992	1997	2002	2007	2012	2017
Eau agricole ($10^9 \text{ m}^3/\text{an}$)	2.368	2.634	2.846	3.21	3.637	4.314	4.99	6.671
Eau industrielle ($10^9 \text{ m}^3/\text{an}$)	0.128	0.356	0.644	0.554	0.4858	0.4504	0.415	0.191
Eau municipale ($10^9 \text{ m}^3/\text{an}$)	0.704	0.91	1.24	1.541	1.938	2.479	3.02	3.6
Total d'eau	3.2	3.9	4.73	5.305	6.061	7.243	8.425	10.46

ANNEXE II

Tableau IV.1: variation du pH des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	6.5<pH>9	6.5<pH>8.5	5.5<pH>7.5			5.5<pH>7.5
Semaine 1	7.52	7.521	6.275	6.161	6.258	6.164
Semaine 2	7.53	7.526	6.42	6.221	6.35	6.211
Semaine 3	7.467	7.53	6.394	6.292	6.34	6.114
Semaine 4	7.47	7.58	6.39	6.22	6.315	6.278
Semaine 5	7.498	7.542	6.388	6.237	6.337	6.305
Semaine 6	7.535	7.521	6.392	6.305	6.377	6.328

Tableau IV.2 : variation de la conductivité des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	<3000 μS/cm	<2800 μS/cm	<100 μS/cm			<0.5μS/cm
Semaine 1	2771.42	846.42	74.86	101.03	102.03	2.42
Semaine 2	2764.28	865	77.035	105.54	108.37	2.76
Semaine 3	2768.57	883.4	75.62	105.10	102.55	2.80
Semaine 4	2773.57	951.6	77.36	102.92	104.68	3.74
Semaine 5	2751.42	878	75.23	79.57	79.4	2.32
Semaine 6	2766.42	866.66	74.48	107.04	104.27	2.46

ANNEXE II

Tableau IV.3: variation du TH total des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	<100 °F	<50 °F	<1 °F			<0 °F
Semaine 1	98.02	40.28	0.52	0.71	0.72	0
Semaine 2	97	39.36	0.53	0.87	0.91	0
Semaine 3	96.78	41.3	0.52	0.762	0.767	0
Semaine 4	97.07	42.88	0.54	0.84	0.85	0
Semaine 5	97.81	39.4	0.6	0.681	0.685	0
Semaine 6	97.55	38.33	0.6	0.95	0.91	0

Tableau IV.4 : variation du TAC des eaux de l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	<60 °F	<5.5 °F	<1.5°F			<0 °F
Semaine 1	35.1	23.02	0.742	0.91	0.9	0.3
Semaine 2	35.58	24.13	0.75	1.04	1.06	0.3
Semaine 3	35.88	25.16	0.72	0.99	0.97	0.3
Semaine 4	35.07	23.76	0.77	1.03	1.05	0.304
Semaine 5	35.11	23.62	0.8	0.89	0.88	0.3
Semaine 6	35.32	23.13	0.721	1.08	1.05	0.3

ANNEXE II

Tableau IV.5: variation de la teneur en chlorures (cl⁻) à l'entrée et à la sortie de l'unité Osмосe inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	<70 °F	<70 °F	<3°F			<0 °F
Semaine 1	80.1	8.42	3	3.61	3.64	0.5
Semaine 2	79.54	8.9	3.10	3.85	4	0.5
Semaine 3	79.47	9.33	3.1	3.85	3.82	0.51
Semaine 4	79.51	9.76	3.42	4.04	3.85	0.55
Semaine 5	79.41	8.34	3.15	3.22	3.221	0.49
Semaine 6	80.35	8.1	3.28	4.16	4.06	0.5

Tableau VI.6: variation de la teneur en cl₂ d'eau de forage et ADE et eau filtrée avec des filtres à sable (avant et après injection de Na₂S₂O₅) (mois d'avril et mai 1-15)

	eau de forage (ppm)	eau ADE (ppm)	Eau filtrée avant injection	Eau filtrée avec des filtres à sable : après injection			
				ligne1	ligne2	ligne3	ligne4
norme	1.5<cl ₂ <3	-	<0.5 ppm	00			
Semaine 1	2,99	0,177	0,15	0,0128	0,0128	0,026	0,0183
Semaine 2	2,51	0,176	0,21	0,012	0,014	0,0175	0,01
Semaine 3	0,421	0,194	0,145	0,0116	0,0183	0,01	0,0125
Semaine 4	0,248	0,174	0,11	0,015	0,0157	0,016	0,0133
Semaine 5	0,254	0,144	0,11	0,014	0,0185	0,011	0,014
Semaine 6	0,253	0,14	0,09	0,027	0,035	0,02	0,02

ANNEXE II

Tableau VI.7 : variation de la teneur en **Mn** d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15)

	eau de forage	eaux filtrée
norme	<1.2 ppm	0.0
Semaine 1	0,2	0
Semaine 2	0,214	0
Semaine 3	0,457	0
Semaine 4	0,26	0
Semaine 5	0,182	0
Semaine 6	0,182	0

Tableau IV.8 : variation de la teneur en **AL** d'eau de forage et ADE et à la sortie des filtres à sable (mois d'avril et mai 1-15)

	eau de forage	eau ADE	eau filtrée
norme	0,0 ppm	0,2 mg/l	0,0 ppm
Semaine 1	0,03	0,02	0
Semaine 2	0,02	0,02	0
Semaine 3	0,033	0,02	0
Semaine 4	0,021	0,02	0
Semaine 5	0,026	0,02	0
Semaine 6	0,023	0,02	0

ANNEXE II

Tableau IV.9 : variation des teneurs des silices (SiO_2) à l'entrée et à la sortie de l'unité osmose inverse (mois d'avril et mai 1-15).

	Eau de forage	Eau ADE	Eau osmosée			Eau ultra pure
			Bac 350 m ³	Bac TK 101	Bac 200 m ³	
norme	<12 ppm	--	<2 ppm			<0 ppm
Semaine 1	7.48	3.6	0.18	0.23	0.22	0
Semaine 2	7.26	3.4	0.18	0.21	0.22	0
Semaine 3	7,26	3,4	0,18	0,22	0,24	0
Semaine 4	11.4	4.29	0.18	0.29	0.25	0
Semaine 5	11.08	3.97	0.18	0.29	0.27	0
Semaine 6	11.45	3.42	0.18	0.29	0.23	0

ANNEXE II

Tableau IV.11 : support suivi quotidien des analyses physico-chimique des eaux forage(avril)

Eau de forage												
	pH	Condu- ctivité ($\mu\text{S/cm}$)	TH total ($^{\circ}\text{F}$)	TH Ca^{2+} ($^{\circ}\text{F}$)	TA ($^{\circ}\text{F}$)	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	cl^{-} ($^{\circ}\text{F}$)	siO_2 (ppm)	Cl_2 (ppm)	Fer (ppm)	Mn (ppm)	Al (ppm)
Norme	6.5<math>\text{pH}>9	<3000 $\mu\text{s/cm}$	<100 $^{\circ}\text{F}$	-	0 $^{\circ}\text{F}$	<60 $^{\circ}\text{F}$	<70 $^{\circ}\text{F}$	<12 pmm	1.5<math>\text{cl}_2>3	<3	<1.2	0.00
1/04/22	7.46	2760	97.8	64.2	0	36	81.1	-	0.22	0.74	0.20	-
2/04/22	7.43	2755	97.5	64.10	0	36.6	81.1	-	0.25	0.48	0.2	-
3/04/22	7.58	2770	98.2	64.7	0	36	80.3	7.48	4.82	0.55	0.2	0.03
4/04/22	7.53	2825	99.2	65.2	0	35.6	80.4	-	5.20	0.63	0.2	-
5/04/22	7.46	2770	98.2	64.6	0	34.2	80.1	-	5.12	0.72	0.2	-
6/04/22	7.50	2790	99	64.9	0	34.4	80.2	-	4.88	0.62	0.2	-
7/04/22	7.50	2770	97.90	64.90	0	35.20	80.2	-	0.48	0.62	0.2	-
8/04/22	7.53	2735	96.6	64.2	0	35.2	79.8	-	0.24	0.65	0.2	-
9/04/22	7.45	2740	97.1	64.3	0	35.1	79.7	-	0.22	0.45	0.2	-
10/04/22	7.48	2735	95.30	64.2	0	34.9	79.3	7.26	0.26	0.32	0.2	0.02
11/04/22	7.6	2830	99.8	65.6	0	36	80.1	-	5.4	0.47	0.2	-
12/04/22	7.48	2785	98.3	65.1	0	36.7	79.2	-	5.6	0.75	0.3	-
13/04/22	7.47	2775	97.8	64.5	0	36.3	79.1	-	5.12	0.9	0.2	-
14/04/22	7.57	2725	95.10	62.4	0	35.1	79.5	-	0.44	0.9	0.2	-
15/04/22	7.56	2765	96.6	63.9	0	35.1	80	-	0.29	0.7	0.2	-
16/04/22	7.55	2735	96.10	63.4	0	35	79.6	-	0.49	0.74	0.2	-
17/04/22	7.56	2730	94.9	63	0	35.8	79.8	6.95	0.42	0.66	1.1	0.33
18/04/22	7.54	2755	95	62.4	0	35.2	79.7	-	0.35	0.55	1.1	-
19/04/22	7.31	2790	98.10	64.2	0	35.5	79.5	-	0.44	0.63	0.20	-
20/04/22	7.47	2785	97.6	63.8	0	36.3	79.5	-	0.43	0.45	0.20	-
21/04/22	7.5	2790	97.6	63.7	0	36.4	79.5	-	0.51	0.3	0.2	-
22/04/22	7.47	2775	97.4	63.3	0	36.3	79.3	-	0.41	0.69	0.2	-
23/04/22	7.43	2755	96.8	63.2	0	35.7	79.6	-	0.57	0.66	0.2	-
24/04/22	7.38	2790	97.3	63.8	0	35.1	79.9	11.4	0.08	0.8	0.2	0.21
25/04/22	7.5	2770	96.2	64.1	0	35.1	79.2	-	0.25	0.7	-	-
26/04/22	7.52	2750	95.8	64.1	0	35.1	79.5	-	0.22	0.96	-	-
27/02/22	7.46	2795	97.9	63.9	0	36.90	79.3	-	0.31	1	0.2	-
28/04/22	7.47	2785	97.7	63.7	0	34.9	79.7	-	0.33	0.79	0.3	-
29/04/22	7.5	2780	97.3	63.4	0	34.5	79.5	-	0.29	0.56	0.3	-
30/04/22	7.46	2745	97.3	63.3	0	34.5	79.5	-	0.26	0.88	0.3	-

ANNEXE II

Tableau IV.12 : support suivi quotidien des analyses physico-chimique des eaux forage (mai)

Eau de forage												
	pH	Condu- ctivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TH total ($^{\circ}\text{F}$)	TH Ca^{2+} ($^{\circ}\text{F}$)	TA ($^{\circ}\text{F}$)	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	cl^{-} ($^{\circ}\text{F}$)	siO_2 (ppm)	Cl_2 (ppm)	Fer (ppm)	Mn (ppm)	Al (ppm)
Norme	6.5<math>\text{pH}>9	<3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	<100 $^{\circ}\text{F}$	-	0 $^{\circ}\text{F}$	<60 $^{\circ}\text{F}$	<70 $^{\circ}\text{F}$	<12 pmm	1.5<math>\text{cl}_2>3	<3	<1.2	0.00
1/05/22	7.51	2755	98.4	64	0	35.2	79.7	0.33	-	0.2	0.20	-
2/05/22	7.49	2740	97.5	64.1	0	35.2	78.8	-	-	0.3	0.2	-
3/05/22	7.47	2725	97.3	63.7	0	35.2	79.7	-	0.21	0.5	0.2	-
4/05/22	7.44	2730	97.5	63.8	0	35.5	80	-	0.22	0.6	0.18	-
5/05/22	7.53	2770	98.10	64.1	0	34	79.4	-	0.31	0.74	0.1	-
6/05/22	7.52	2765	97.7	63.8	0	35.1	79.2	-	0.28	0.55	0.2	-
7/05/22	7.53	2775	98.1	64.3	0	35.2	79.1	-	0.25	0.48	0.2	-
8/05/22	7.54	2740	97.3	63.80	0	35.2	80	11.08	0.46	0.76	0.2	-
9/05/22	7.57	2710	97.2	63	0	35.1	80	-	-	0.77	0.1	-
10/05/22	7.51	2810	97.8	64.1	0	35.8	80.8	-	0.15	0.65	0.1	-
11/05/22	7.52	2805	97.9	64	0	36	81.9	-	0.18	0.14	0.2	-
12/05/22	7.57	2760	97.2	63.4	0	35.1	80.5	-	0.14	1.2	0.2	-
13/05/22	7.49	2770	97.7	63.5	0	34.9	79.7	-	0.32	0.66	0.2	-
14/05/22	7.54	2770	97.8	63.8	0	35.2	79.6	-	0.27	0.74	0.3	-
15/04/22	7.51	2815	96.6	65.3	0	35	81.3	11.45	0.36	0.85	0.2	-

ANNEXE II

Tableau IV.13 : support suivi quotidien des analyses physico-chimique des eaux (avril)

ADE (Algérienne des eaux)												
	pH	Condu- ctivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TH total ($^{\circ}\text{F}$)	TH Ca^{2+} ($^{\circ}\text{F}$)	TA ($^{\circ}\text{F}$)	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	cl^{-} ($^{\circ}\text{F}$)	siO_2 (ppm)	Cl_2 (ppm)	Fer (ppm)	Mn (ppm)	Al (ppm)
Norme	6.5-8.5	<2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$	<50 $^{\circ}\text{F}$	<50 $^{\circ}\text{F}$	0 $^{\circ}\text{F}$	<5.5 $^{\circ}\text{F}$	<70 $^{\circ}\text{F}$	-	-	0.3 mg/l	50 $\mu\text{g}/\text{l}$	0.2 (mg/l)
1/04/22	-	-	-	-	-	--	-	-	-	0.02	-	-
2/04/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-
3/04/22	7.56	886	41	28	0	21.4	9	3.6	0.22	0.02	0	0.02
4/04/22	7.53	870	41	38	0	22.8	9	-	0.16	0.02	0.	-
5/04/22	7.52	878	41	38	0	22.8	9	-	0.23	0.02	0	-
6/04/22	7.79	798	38	24	0	22.8	7.6	-	0.21	0.02	0	-
7/04/22	7.52	857	42	29.2	0	24	8.2	-	0.09	0.02	0	-
8/04/22	7.51	812	39.4	24.8	0	23.6	8	-	0.17	0.02	0.00	-
9/04/22	7.52	824	39.6	24.4	0	23.8	8.2	-	0.16	0.02	0	-
10/04/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-
11/04/22	7.54	856	40.6	27.2	0	22.4	8.6	-	0.18	0.02	0	-
12/04/22	7.47	907	39.4	26.6	0	25	9.6	-	0.16	0.02	0	-
13/04/22	7.5	888	39	26.4	0	24.6	9.2	-	0.21	0.02	0	-
14/04/22	7.52	892	39.2	27	0	24.4	9	-	0.23	0.02	0	-
15/04/22	7.55	811	38.6	26.4	0	23.8	8.4	-	0.11	0.02	0	-
16/04/22	7.58	836	39.4	28	0	24.6	8.6	-	0.17	0.02	0	-
17/04/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18/04/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19/04/22	7.44	920	43	29.4	0	24.6	9.8	-	0.22	0.02	0	-
20/04/22	7.53	895	42.2	28.8	0	24.4	9.6	-	0.17	0.02	0	-
21/04/22	7.55	889	42	27.8	0	24.4	9.4	-	0.19	0.02	0	-
22/04/22	7.52	870	41.4	27.4	0	24.2	9.2	-	0.17	0.02	0	-
23/04/22	7.61	843	40	28.2	0	25	8.8	-	0.22	0.02	0	-
24/04/22	7.61	934	43.8	29.6	0	25.8	9.6	4.29	0.06	0.02	0	0.02
25/04/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26/04/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27/02/22	7.5	960	43.4	29	0	22.6	10	-	0.16	0.02	0	-
28/04/22	7.61	988	43.6	29.2	0	23.4	10.4	-	0.24	0.02	0	-
29/04/22	7.57	978	42.4	28.6	0	23.4	10	-	0.25	0.02	0	-
30/04/22	7.54	898	41.2	26.8	0	23.6	8.8	-	0.16	0.02	0	-

ANNEXE II

Tableau IV.14 : support suivi quotidien des analyses physico-chimique des eaux ADE (mai)

ADE (Algérienne des eaux)												
	pH	Condu- ctivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TH total ($^{\circ}\text{F}$)	TH Ca^{2+} ($^{\circ}\text{F}$)	TA ($^{\circ}\text{F}$)	TAC ($^{\circ}\text{F}$)	cl^{-} ($^{\circ}\text{F}$)	siO_2 (ppm)	Cl_2 (ppm)	Fer (ppm)	Mn (ppm)	Al (ppm)
Norme	6.5-8.5	<2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$	<50 $^{\circ}\text{F}$	<50 $^{\circ}\text{F}$	0 $^{\circ}\text{F}$	<5.5 $^{\circ}\text{F}$	<70 $^{\circ}\text{F}$	-	-	0.3 mg/l	50 ug/l	0.2 (mg/l)
1/05/22	7.5	909	42.2	29.4	0	25.6	8.8	-	0.11	0.02	0	-
2/05/22	7.55	881	40	27.2	0	24.8	8.6	-	0.09	0.02	0	-
3/05/22	7.52	875	39.6	26.8	0	24	8.4	-	0.11	0.02	0	-
4/05/22	7.55	845	38.8	26.4	0	23.6	8.2	-	0.15	0.02	0	-
5/05/22	7.53	891	38.6	26	0	22.4	8.2	-	0.12	0.02	0	-
6/05/22	7.15	875	38.4	26	0	22.6	8.2	-	0.21	0.02	0	-
7/05/22	7.54	870	38.2	26.4	0	22.4	8	-	0.22	0.02	0	-
8/05/22	7.52	877	38.4	26.4	0	22.4	8	3.97	0.19	0.02	0.00	-
9/05/22	7.58	881	39	27.87	0	23.8	8	-	0.12	0.02	0	-
10/05/22	7.53	867	39	27.4	0	23.6	8	-	-	0.02	-	-
11/05/22	7.52	874	38.6	26.8	0	24	8.2	-	-	0.02	-	-
12/05/22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-
13/05/22	7.48	852	37.6	25	0	22.4	8.2	-	0.1	0.02	0	-
14/05/22	7.5	849	37.4	25	0	22.6	8.2	-	0.15	0.02	0	-
15/04/22	7.51	881	38.4	27	0	24.4	8	3.42	0.20	0.02	0	-

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à faire un suivi des traitements physico-chimiques des eaux provenant de trois forages situés à Ibourassene (Bejaia) utilisées par le complexe agroalimentaire Cevital et de déterminer l'efficacité de la technique de filtration de l'osmose inverse dans la rétention ou l'élimination des sels minéraux.

A la lumière des résultats obtenus, la station de traitement d'osmose inverse a un fonctionnement normal et efficace permettant d'obtenir une eau osmosée de bonne qualité grâce notamment au système de prétraitement, l'entretien et le nettoyage permanent des membranes d'osmoseur.

Abstract

The objective of this work is to monitor the physicochemical treatment of water coming from three boreholes located in Ibourassene (Bejaia), used by the Cevital food complex and to determine the effectiveness of the reverse osmosis filtration technique in the retention or elimination of mineral salts.

In the light of the results obtained, the reverse osmosis treatment station operates normally and efficiently, making it possible to obtain good quality osmosis water thanks in particular to the pre-treatment system, maintenance and permanent cleaning of the osmosis membranes.