



Département de Technologie chimique industrielle

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme
de Licence professionnelle en :

Génie chimique

Thème :

**Traitement des eaux par procédés osmose inverse sur
l'usine "HODNA LAIT"**

Réalisé par :

BELOUADAH El Djilani

Encadré par :

- Mr. BELKACEMI Samir
- Mr. N. Mohamed

MAA / Institut de technologie
Chef de laboratoire /HODNA LAIT

Remerciement

*En préambule à ce mémoire nous remercions " **ALLAH** " qui nous a aidé et nous a donné la patience, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail.*

*Je tiens avant tout à remercier mon encadreur **Mr. BELKACEMI Samir** qui m'a honoré en acceptant de diriger ce travail et pour son encadrement méthodique.*

Je lui adresse également ma gratitude pour son aide précieuse, ses conseils fructueux, son soutien continu et ses encouragements permanents. Merci de m'avoir guidé avec patience et d'avoir consacré autant d'heures pour les corrections de ce manuscrit

*Je remercie très vivement tous les membres de l'unité **SARL HODNA Lait (M'sila)** et particulièrement le Responsable Laboratoire Central **Mr N. MOHAMED**.*

Nous remercions les membres de jury d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail. Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette année universitaire.

Dédicaces

*En signe de respect et de reconnaissance, je dédie ce modeste travail
à tous mes proches particulièrement :*

*À ma chère et tendre mère **Haiziya** qui était patiente et qui m'a tout
donné: Encouragement, soutiens et surtout amour. Que dieu le tout-puissant
la protège.*

*À mon très cher père **Amer**, source de sacrifice et de soutenance, à celui qui
m'a guidé vers la voie de la réussite et qui m'a donné le courage de
poursuivre mes études jusqu'à ce jour-là .*

*À mes chers frères **said, farouk, fathi et abdelkader.***

*À mes chères sœurs **laila et chaima.***

À tous mes amis.

*À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de
ce travail.*

Résumé

Dans ce travail, nous étudierons la méthode de traitement de l'eau utilisée dans l'usine « Hodna lait » accompagnée des analyses nécessaires à chaque étape du traitement afin d'améliorer le produit et de protéger l'équipement utilisé dans la fabrication contre les dommages et la corrosion.

ملخص

في هذا العمل سوف نتحدث عن طريقة معالجة المياه المستخدمة داخل مصنع « حليب الحضنة » مرفوقة بالتحاليل اللازمة في كل خطوة من المعالجة بغية تحسين المنتج وحماية المعدات المستعملة في التصنيع من التلف والتآكل.

Summary

In this work, we will talk about how to treat the water used inside the “Hodna milk” factory with the necessary analysis at every step of the treatment in order to improve the product and protect the equipment used in manufacturing from damage and corrosion.

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I Présentation de l'entreprise	3
I.1. Introduction	3
I.2. Les produits de l'unité Hodna lait	6
I.3. Les Ateliers et capacités de production :	6
I.4. Présentation des laboratoires :	8
I.4.1. Laboratoire de microbiologie	8
I.4.2. Laboratoire de physico-chimie	8
I.4.3. Laboratoire de chimie des eaux	8
I.5. Matériel de production	9
I.6. Les installations de la station de traitement des eaux	10
I.7. Conclusion	12
Chapitre II Généralités et Définitions	12
II.1. Introduction	12
II.2. Définition de l'eau	12
II.3. Composition de l'eau	12
II.3.1. Matières inorganiques	13
II.4. Propriétés de l'eau	14
II.4.1. Propriétés organoleptiques	14
II.4.2. Propriétés physico-chimiques	15
II.5. Les sources d'eau	17
II.5.1. Eau souterraine	17
II.5.2. Eau de mer	18
II.5.3. Eau de surface	18
II.6. Filtration membranaire	18
II.6.1. Osmose inverse	19
Chapitre III Procédés de traitements des eaux	22
III.1. Introduction	22
III.2. Description de la station	22
III.2.1. Phase primaire	23
Chapitre IV Les analyses physico-chimiques	27
IV.1. Introduction	27

IV.2. Echantillonnage	27
IV.3. Conditions de prélèvement	28
IV.4. Les méthodes d'Analyses	28
IV.4.1. Mesure du pH et de la température	28
IV.4.2. Mesure de la Conductivité.....	29
IV.4.3. Dosage de Chlorure	30
IV.4.5. Mesure des titres alcalimétriques TA et TAC	32
IV.4.6. Mesure de chlore libre (Méthode de comparateur à disque de couleur)	33
IV.4.7. Mesure de la turbidité.....	34
IV.4.8. Mesure du phosphate.....	35
Chapitre V Résultats et discussions.....	36
V.1. Introduction	36
V.2. Caractéristiques de l'eau brute (forage).....	36
V.3. Caractéristiques de l'eau d'alimentation des osmoseurs après l'ajustement de pH et l'injection de séquestrant.....	37
V.4. Caractéristiques de l'eau traitée (eau de production)	38
V.5. Conclusion	39
Conclusion générale	39
Références bibliographiques.....	40

Liste des figures

Figure I.1: Entrée de l'usine	3
Figure I.2: Localisation de l'usine	4
Figure I.3: Organigramme de Hodna Lait	5
Figure I.4: Laboratoire de la station de traitement des eaux	9
Figure I.5 : Schéma de commande de l'installation de la station de traitement des eaux de l'usine	10
Figure I.6: Diagramme de traitement des eaux	12
Figure II.1: Osmoseur	19
Figure II.2: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse	20
Figure III.1: Station traitement des eaux	22
Figure III.2: Réservoir l'eau de javel.....	23
Figure III.3: Les pompes.....	24
Figure III.4: Filtres à sable.....	24
Figure III.5: Charbon active et Filtres à charbon active	25
Figure III.6: Les osmoseurs	26
Figure IV.1: Echantillonnage	27
Figure IV.2: Multimètre HQ40d	28
Figure IV.3: AgNO ₃ et K ₂ CrO ₄	30
Figure IV.4: EDTA(0.02N) et NET(noir ériochrome T).....	31
Figure IV.5: Méthyle orange , PH-PH et NET	32
Figure IV.6: Colorimètre.....	35

Liste des tableaux

Tableau II.1: Principaux éléments majeurs de l'eau	13
Tableau II.2: Classes de turbidité usuelle NTU	15
Tableau II.3: Plage de valeurs hydrotimétriques	15
Tableau V.1: Résultat d'analyse de l'eau brute	36
Tableau V.2: Résultat d'analyse de l'eau osmosée	37
Tableau V.3: Résultat d'analyse de l'eau traitée et l'eau adoucie.....	38

Liste des abréviations

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.

N.E.T : Noir Eriochrome Toluène.

UTN : Unité de Turbidité Néphélométrique.

PH : potentiel Hydrogène.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TA : Titre Alcalimétrique.

TH : Titre Hydrotimétrique.

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau est un élément naturel d'une importance primordiale indispensable à toute forme de vie et ses usages sont divers. Il couvre les trois quart (3/4) de la surface terrestre, et environ les deux tiers (2/3) du corps humain. Et utilisée pour satisfaire les besoins dans la vie humaine, dans l'agriculture, dans les processus industriels en tant que fluide thermique, fluide de nettoyage et agent intervenant dans un procédé de fabrication comme solvant ou matière première [1].

Quel que soit son utilisation l'eau doit être traité afin d'éliminer les éléments susceptibles (argile, déchets de végétations, virus, bactéries, sels, etc.) de modifier ses caractéristiques physicochimiques, organoleptiques et/ou d'agents pathogènes. Ces derniers peuvent engendrer des perturbations dans les installations de l'entreprise (entartage, corrosion... etc.) [1].

Les eaux souterraines sont considérées comme la seule ressource dans notre région (M'sila), mais elles présentent une forte salinité car la composition de ces eaux est reliée à la nature chimique des couches géologiques traversées.

L'objectif de ce présent travail consiste à vérifier la qualité (physico-chimique) de l'eau utilisée au niveau de l'usine « **HODNA lait** » et protéger le matériel utilisé dans l'usine. Et pour ce faire plusieurs analyses physico-chimiques ont été effectuées aux différents points de la chaîne de traitement (filtration, osmose, adoucissement).

Notre étude comporte cinq principaux chapitres : le premier chapitre est consacré à une vue totale de l'usine, Le deuxième chapitre se focalisera sur les eaux en montrant leurs caractéristiques organoleptiques, physicochimiques, les différentes sources, et la filtration membranaire. Le troisième chapitre est consacré pour expliquer la méthode de traitement de l'eau utilisée. Le quatrième chapitre présentera la description des protocoles analytiques suivis pour mesurer les paramètres physico-chimiques des eaux au cours du traitement. Enfin nous présenterons les principaux résultats et leurs discussions. Ce travail se termine par une conclusion générale.

Partie
Théorique

Chapitre I

Présentation de l'entreprise

Chapitre I Présentation de l'entreprise

1.1. Introduction

Créée en fin de l'année 1999, Hodna Lait est une société à responsabilité limitée (SARL), sise dans la zone industrielle du chef-lieu de la wilaya de M'sila, elle s'étale sur une superficie de 07 hectares dont 04 sont construits en ateliers de production, en magasins de stockage des matières premières, d'emballages et le reste représente les chemins et passages utiles aux camions de transport, implantation des bâches de stockage d'eau brute, générateurs d'énergies et autres [2].

Historiquement, l'entreprise a connu un début très timide en se contentant de produire que du lait pasteurisé partiellement écrémé totalisant modestement 40000 L/jour. Contre toute attente, certains facteurs encourageants sont apparus motivant ainsi les propriétaires à revoir les capacités de production en investissant encore d'avantage ; parmi ces facteurs citons principalement la bonne qualité du produit, sa forte demande et surtout le fait que l'entreprise soit l'unique dans la région. Ce dernier point reste le plus déterminant ; car il faut souligner que dans le passé, le lait été fourni par des entreprises du secteur étatique ou privé des wilayas voisines (Sétif, Batna, Bordj Bouarraridj). Depuis, l'entreprise n'a pas cessé d'investir dans les moyens matériels et humains ce qui lui ont permis d'arriver aujourd'hui à conquérir le marché national et d'inscrire son nom dans la cour des grandes entreprises [2].



Figure I.1: Entrée de l'usine

-la SARL Hodna Lait positionnée au niveau du Sud de la commune de M'sila à distance de 6.5 km pour le pôle universitaire de M'sila.



Figure I.2: Localisation de l'usine [32].

----- Pôle universitaire de M'sila.

----- SARL Hodna Lait.

-L'organigramme suivant nous résume la structuration de Hodna Lait.

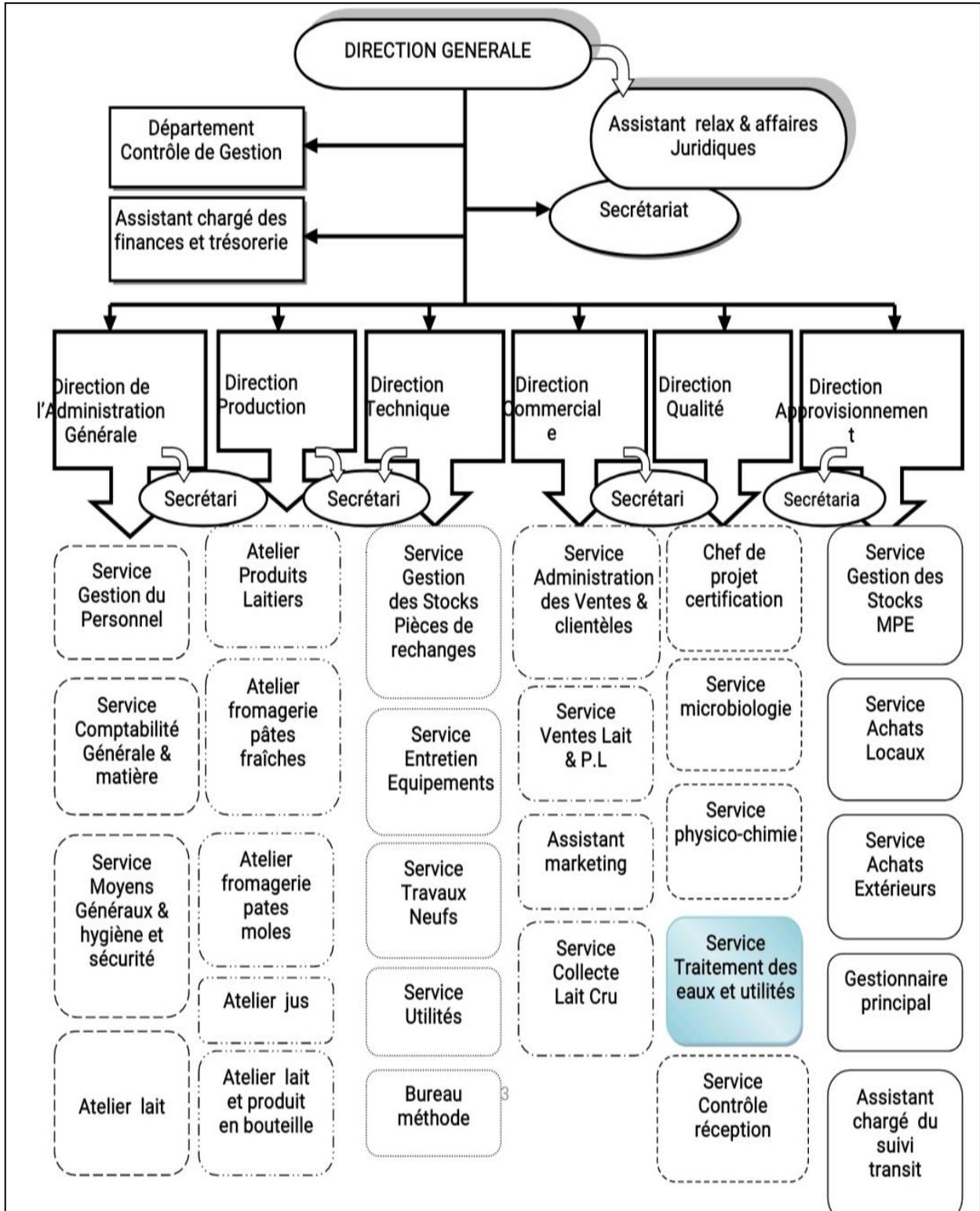


Figure I.3: Organigramme de Hodna Lai[2].

1.2. Les produits de l'unité Hodna lait

L'unité produit plusieurs types de produits qui sont :

- ✓ Lait pasteurisé en sachet de 1 litre.
- ✓ L'ben en sachet de 1 litre.
- ✓ L'ben en bouteille de 1 litre.
- ✓ Raïb en bouteille de 1 litre.
- ✓ Yaourt à boire en bouteille fruité et aromatisé de (1, 0.5 et 0.25) litre.
- ✓ Yaourt brassé en pots (fruité et aromatisé).
- ✓ Crème dessert en pots (caramel, chocolat, flan).
- ✓ Yaourt en pots étuvés.
- ✓ Lait stérilisé UHT de 1 litre et aromatisé (chocolat, grenadine).

1.3. Les Ateliers et capacités de production :

L'unité comporte 04 ateliers de production qui fonctionnent en régime continu : 03 équipes × 08 heures .

- **Atelier 01 :**

- Date d'entrée en production : octobre 1999.
- Première extension : fin année 2000.
- Deuxième extension : fin 2008.
- Production : lait pasteurisé, l'ben et raïb en coussin plastique de 01 litre.
- Capacité : 220.000 litres/jour.

- **Atelier 02 :**

- Date d'entrée en production : septembre 2003.
- Première extension : février 2005.
- Deuxième extension : juin 2007.
- Troisième extension : juillet 2010. –

- Production : produits lactofermentés (PLF) et desserts lactés :

* Conditionnement en pot thermoformé : yaourt aromatisé ferme, yaourt brassé aromatisé et fruité, crème dessert et flan au caramel de nappage.

* Conditionnement en bouteille : yaourt à boire aromatiser et fruité, l'ben et raïb.

- Capacité : 200.000 litres/jour.

- **Atelier 03 :**

- Date d'entrée en production : février 2010.

- Production : produits lactose-fermentés, fromage frais, et dessert lacté.

- Capacité : 95.000 litres/jour.

- **Atelier 04 :**

- Date d'entrée en production : aout 2010.

- Production : yaourt à boire aromatiser et fruité, l'ben, raïb.

- Capacité : 250.000 litres/jour.

- **Atelier 05 :**

- Date d'entrée en production : janvier 2012

- Production : lait UHT

- **Atelier 06 :**

- Date d'entrée en production : octobre 2013.

- Production : la crème.

I.4. Présentation des laboratoires :

L'unité HODNA LAIT possède trois laboratoires pour le contrôle de ses produits qui font partie du département Qualité :

- Laboratoire de microbiologie
- Laboratoire de physico-chimie
- Laboratoire de chimie des eaux.

I.4.1. Laboratoire de microbiologie

C'est une salle bien éclairée à l'abri du courant d'air, le sol et les murs sont lisses et très faciles à nettoyer. Il est muni d'une grande paillasse sous forme de (L) avec trois lieux pour manipulations, des étuves avec différentes températures, deux bains maris et deux grands réfrigérateurs pour stockage des milieux de cultures.

-Le contrôle des produits est un travail d'équipe qui se fait 24h / 24h et 7jours / 7jours [2].

I.4.2. Laboratoire de physico-chimie

On trouve une grande paillasse sur laquelle se trouvent les appareils : PH-mètre, balances, 2 dessiccateurs infrarouges, viscosimètre et une centrifugeuse.

Il est équipé d'une hotte qui permet le travail en sécurité, 2 réfrigérateurs pour garder les échantillons. Les analyses sont assurées 24h / 24h et 7jours / 7 jours [2].

I.4.3. Laboratoire de chimie des eaux

Afin d'avoir une bonne qualité des produits et éviter les corrosions et la destruction du matériel, on procède à des analyses qui sont assurés avec des solutions, des flacons et des appareils : pH-mètre, conductimètre ... ainsi qu'une paillasse pour manipulations. En plus des laboratoires, on trouve une salle pour lavage et stérilisation du matériel possédant une autoclave et des bains Marie. Ainsi qu'une salle des milieux [2].



Figure I.4: Laboratoire de la station de traitement des eaux

1.5. Matériel de production

- Générateurs d'énergie : Groupes électrogène, compresseurs d'air, chaudières, osmoseurs, Groupes générateur de froid
- Machines de conditionnement.
- Thermo formeuses, remplisseuses, bouchonneuses, étiqueteuses Fardeleuse, palettiseur, cartonneuses, extrudeuse, souffleuses
- Traitement du lait
 - Echangeurs à plaques (pasteurisateurs, réchauffeurs, refroidisseurs)
 - Echangeurs tubulaires (stérilisateurs, refroidisseurs)
 - Tanks, silos, cuves, écrémeuse, séparateur de caillé, mélangeurs [2].

Station Traitement des eaux :

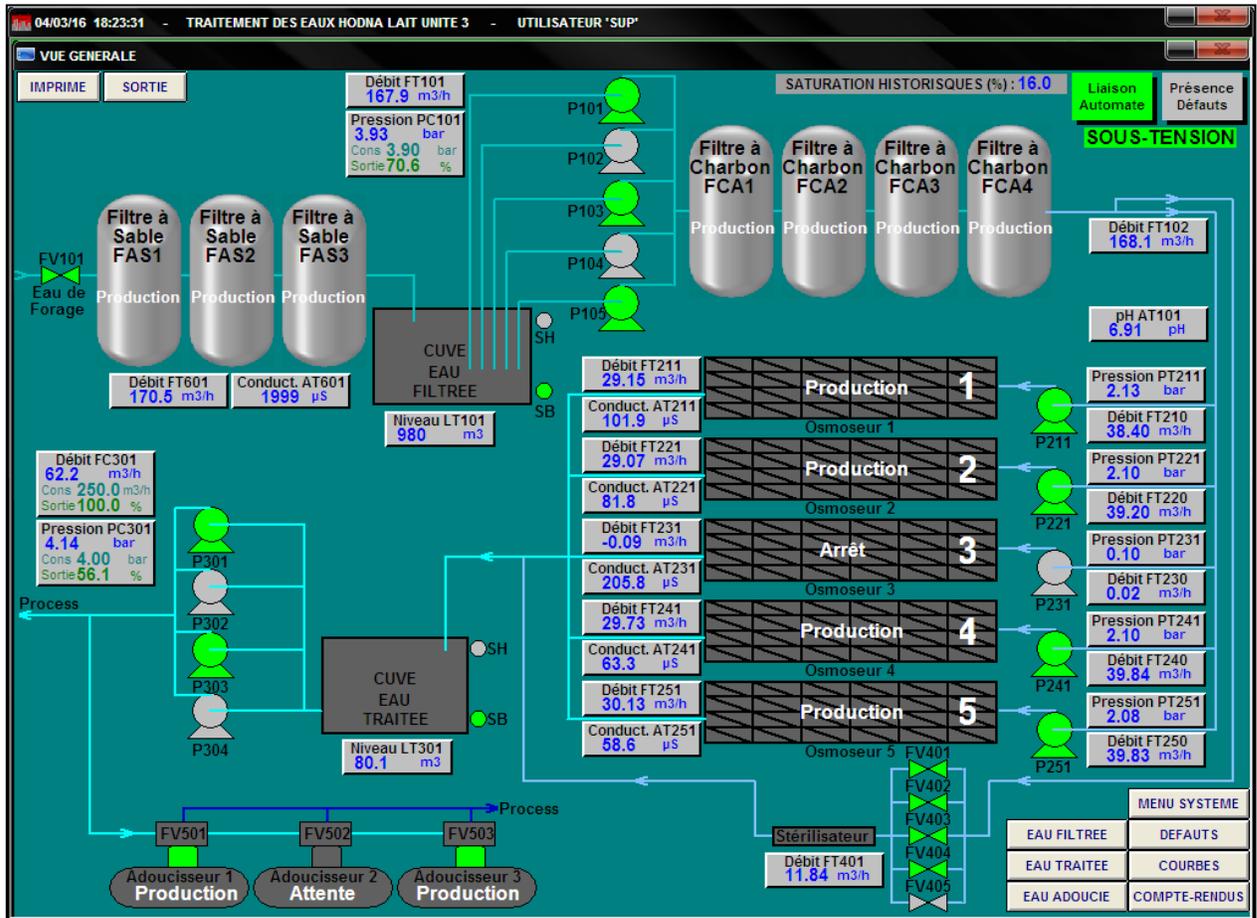


Figure I.5 : Schéma de commande de l'installation de la station de traitement des eaux de l'usine [2].

-Cette vue reprend l'ensemble des fonctions principales de l'installation et permet de visualiser l'état de l'ensemble de l'installation [2].

1.6. Les installations de la station de traitement des eaux

- 07 forages dans l'usine
- Filtre à sable (03 Filtres $Q_{\text{nominale}} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ chaque bouteille (dans l'usine).
- **Bâche à eau 1000 m^3** (dans l'usine) :
 - Groupe de pompage (05 pompe à $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ chaque pompe).
- **Station de traitement des eaux**
 - Filtres à charbon actif (04 filtres à $Q_{\text{nominale}} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ chaque bouteille.
 - 02 Pompes d'injection H_2SO_4 (98 %).
 - 05 Osmoseurs avec 05 pompes HP à $Q = 35 \text{ m}^3/\text{h}$ chaque osmoseur.

- 05 Filtres 05 μm de 40 pouces.
- 05 Filtres 01 μm de 40 pouces.
- Pompe doseuse d'injection eau de javel.
- Pompe doseuse d'injection SOUDE caustique liquide 30 %.
- 05 Filtres 05 μm de 20 pouces + lampes UV.
- 04 Cuves d'eau traitée (60 m³ chaque cuve).
- Groupe de pompage (04 pompe à Q= 60 m³/h chaque pompe).
- 03 Adoucisseurs Q_{nominale} = 22 m³/h chaque bouteille.
- Chaudières :03 chaudières de 06 Tonnes/heure [2].

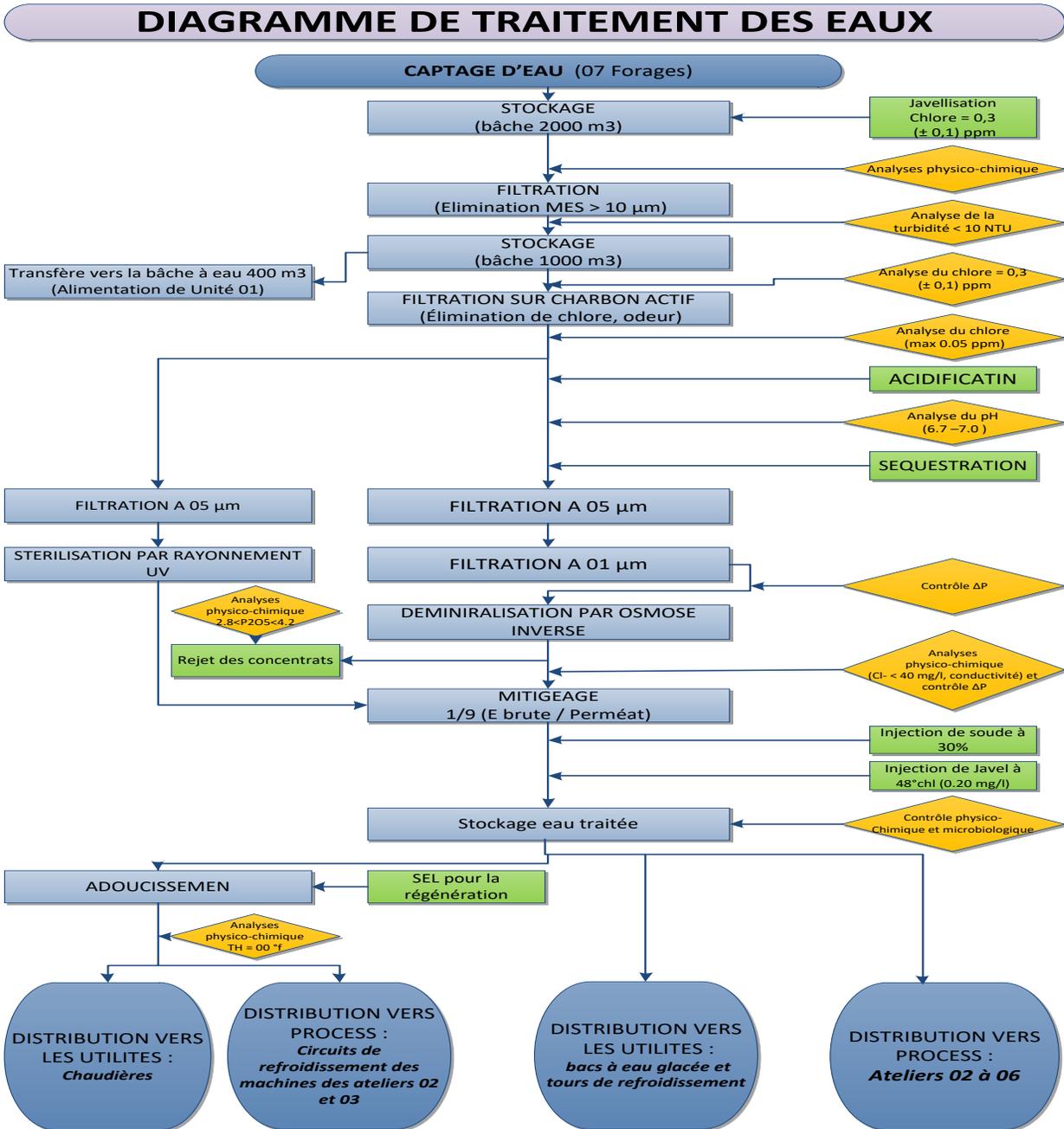


Figure I.6: Diagramme de traitement des eaux [2].

1.7. Conclusion

L'usine de HODNA LAIT est l'une des plus grandes et meilleures Usines en Algérie et en Afrique du nord pour ses capacités et équipements en plus de la qualité de ses produits.

Chapitre II

Généralités et Définitions

Chapitre II Généralités et Définitions

II.1. Introduction

L'eau est un fluide indispensable à la vie, très largement répandue à la surface de la terre et jouant un rôle essentiel dans la structure organique des êtres vivants et des végétaux. Elle a aussi une importance industrielle considérable liée à son abondance relative, de revient peu « onéreux » et surtout à ses propriétés physico-chimiques particulièrement intéressantes. Actuellement nous sommes confrontés à ces propriétés dont d'une part nous profitons des avantages, mais qui d'autre part peuvent être à l'origine de nombreux désagréments lorsqu'elles sont mal connues ou mal maîtrisées.

II.2. Définition de l'eau

L'eau est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante) composé sous sa forme pure de molécule qui associent deux atomes d'hydrogènes et un atome d'oxygène sous la forme H₂O [3].

L'eau représente le constituant majeur de la matière vivante. L'eau liquide est souvent perçue comme une substance assez ordinaire car elle est transparente, inodore, insipide et présente sur terre en grande quantité. Cependant, c'est un composé chimique remarquable. Bien que nous la buvions et que nous l'utilisons pour laver ou cuisiner, nous oublions presque toujours la relation spéciale qu'elle a avec nos vies. En effet, il y a très peu de molécules qui sont plus petites ou plus légères qu'elle. La taille de la molécule d'eau, cependant, montre la complexité de ses actions ainsi que ses capacités uniques et ses propriétés anormales semblent s'adapter idéalement pour créer les conditions de la vie [3].

II.3. Composition de l'eau

L'eau n'est pas seulement un ensemble de molécules de H₂O, elle contient en réalité naturellement une très grande variété de matières dissoutes inertes ou vivantes : gaz, substances minérales ou organiques, microorganismes (bactéries, virus plancton) ainsi que des particules en suspension. En effet, l'eau est un excellent solvant qui se charge en composé solides ou gazeux tout au long de son cycle, suivant les milieux (rivières, roches, atmosphère) dans laquelle elle circule. La composition chimique de l'eau est ainsi complètement liée aux caractéristiques du bassin versant dans lequel elle opère son cycle (la nature du sol et du sous-sol, les espèces végétales et animales mais également les activités humaines) [4].

II.3.1. Matières inorganiques

II.3.1.1. Constituants majeurs

Ce sont essentiellement de composés ioniques, anions et cations, qui proviennent de la dissolution des roches dans l'eau qui circulent à leurs contacts. Les principaux éléments majeurs rencontrés dans l'eau sont réunis dans le tableau II.1 ci-dessous [5].

Tableau II.1: Principaux éléments majeurs de l'eau [5].

Types de minéraux	Anions (-)	Cations(+)
Sels minéraux	Carbonates CO_3^{-2} Bicarbonates HCO^{-3} Silicates SiO_2^{-2} Sulfates SO_4 Chlorures Cl^- Nitrates NO_3^-	Sodium Na^+ Calcium Ca^{2+} Magnésium Mg^{+2} Fer Fe^{+2} Potassium K^+

II.3.1.2. Eléments traces métalliques (ETM)

Ils sont définis comme les éléments métalliques présents avec une concentration, une partie par millions ($10^{-3}\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en masse, au moins. Les principaux éléments traces métalliques présents dans l'eau sont : titane Ti, zinc Zn, nickel Ni, aluminium Al, chrome Cr, cadmium Cd, cuivre Cu, manganèse Mg, plomb Pb [6].

II.3.1.3. Eléments nutritifs

Ces éléments sont composés principalement par le nitrate NO_3^- et l'ammoniac NH_3 , le phosphate PO_4^{-3} et le silicium SiO_2 [6].

II.3.2. Matières organiques

II.3.2.1. Matières organiques dissoutes

La plupart du carbone organique dans l'eau est sous la forme de matières dissoutes et principalement des molécules à faible poids moléculaire et d'origine diverse. La concentration des matières organiques dissoutes et particulaires dépend du type d'eau et sa profondeur. L'eau de mer surfacique a une concentration plus élevée que l'eau en profondeur. On peut trouver des

milliers de molécules différentes dans l'eau comme les produits de déchets végétaux, produits de synthèse organique soluble, et matières azotées [7].

II.3.2.2. Matières organiques particulières

C'est les matières en suspension et en émulsion. Elles peuvent être classées selon leur taille. Dans l'eau surfacique, la plupart d'entre elles sont d'origine biologique. Les plus petites particules (moins de $1\mu\text{m}$ jusqu'à quelques dizaines de μm) se composent de bactéries et d'autres détritiques organiques fins, et des particules inorganiques particulièrement des minéraux d'argile et des composés hydratés insolubles tels que $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La gamme de taille allant de quelques dizaines à quelques centaines de μm comporte des grands détritiques et des agglomérats fécaux, produits l'agrégation biologique [8].

II.4. Propriétés de l'eau

II.4.1. Propriétés organoleptiques

Ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. Ce dernier doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe. Ces propriétés constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé [34].

- **Turbidité :**

La turbidité est une caractéristique optique de l'eau, permet de préciser 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) [35]. Tableau II.2 :

Tableau II.2: Classes de turbidité usuelle NTU [35].

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

- **Couleur :**

Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées et cette coloration varie selon la nature et la concentration des pigments, du jaune pâle à peine perceptible au brun rougeâtre. Ces matières colorantes proviennent de la dégradation des végétaux ou de la dissolution de certains minéraux, tels que les oxydes de fer [36].

II.4.2. Propriétés physico-chimiques

- **Dureté TH (Ca²⁺ , Mg²⁺) :**

Le titre hydrotimétrique (TH), ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est due uniquement aux ions calcium et magnésium. La dureté s'exprime en ppm ou mg/l de CaCO₃ ou en degrés français (°F), un degré français correspond à 10 ppm de calcaire représentant 10⁻⁴mol/l de calcium, soit 4 mg/l de Ca²⁺ ou encore 2,4 mg/l de magnésium par litre d'eau : TH= 10 ([Ca²⁺] + [Mg²⁺]) avec les concentrations en mmol/l La classification de la dureté de l'eau est résumée [37]. Dans le tableau II.3 ci-dessous :

Tableau II.3: Plage de valeurs hydrotimétriques [37].

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+40
Eau	Très douce	Douce	Plutôt dure	Dure	Très dure

- **Acidité :**

L'acidité d'une eau correspond à la présence d'anhydride carbonique libre HCO₃⁻², d'acide minéraux, de sel d'acide fort et de base faible. L'acidité est attribuable à la présence du gaz carbonique provenant de la dissolution de CO₂ atmosphérique et de la respiration des êtres

vivants aquatiques. En solution, cet acide faible, se dissocie comme suit [10] : $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

- **Alcalinité :**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates HCO_3^- , carbonates CO_3^{2-} et hydroxydes. Cette alcalinité est déterminée par la mesure du titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique totale (TAC) [9].

➤ **TA (titre alcalimétrique simple) :**

Il est défini comme étant la somme de la concentration totale en ions hydroxyde et la demi concentration en ions carbonate [9].

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] \dots\dots\dots (1)$$

➤ **TAC (titre alcalimétrique complet ou total) :**

Le titre alcalimétrique complet ou TCA correspond à la teneur de l'eau en alcalin libre, carbonates et hydrogénocarbonates [4].

Avec: $\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \dots\dots\dots (2)$

- **Conductivité :**

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. La plupart des sels minéraux en solution sont de bons conducteurs. Elle peut être comme la somme des conductivités des différents ions présents dans l'eau. La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par centimètre (ms/cm) [10].

- **Potentiel d'hydrogène pH :**

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H^+). L'échelle des pH s'étend en pratique de pH=0 (très acide) à pH=14 (très alcalin) ; la valeur médiane pH=7 correspond à une solution neutre à 27 °C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de la présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons [11].

- **Température :**

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et des gaz, dans la dissociation des sels dissous, donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH [12].

La température optimale d'une eau d'alimentation se situe entre 9 et 12°C. Les eaux souterraines, qui circulent à des profondeurs moyennes, présentent des températures sensiblement constantes, qui sont autour de 10 à 12°C. Les eaux de rivières sont transmises à des variations de température selon les saisons (de 0 à 25°C) [13].

Les eaux du sud algérien d'une grande profondeur sont caractérisées par une température variante de 25 à 73°C et à une minéralisation forte, menant à une dureté très forte [14].

II.5. Les sources d'eau

Sur notre planète, l'eau est partout sous des formes diverses. On trouve quatre sources principales d'eau brute : l'eau de pluie, l'eau de surface, nappe phréatique et l'eau de mer. Les caractéristiques de chacune de ses sources reflètent l'interaction de l'eau avec le milieu environnant.

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium, elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités qui utilisent cette source d'eau [15].

II.5.1. Eau souterraine

Elles sont souvent de meilleures qualités que les eaux de surface. Leurs teneurs en matière organiques dépendent du chemin suivi par les eaux d'infiltration qui alimentent les nappes souterraines. Les caractéristiques principales de ces eaux sont présentées ci-dessous [15].

- Turbidité faible
- Contamination bactérienne faible
- Dureté élevée

Une nappe souterraine est une masse d'eau contenue dans les interstices ou fissures du sous-sol. On trouve deux types de nappes : libres ou phréatiques et captives. Les nappes captives sont piégées sous des formations géologiques imperméables. Le niveau des nappes peut varier en fonction des infiltrations et des prélèvements d'eau [16].

II.5.2. Eau de mer

Les eaux de mers sont une source d'eau brute qu'on utilise lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leur concentration en sel dissout ; c'est ce qu'on appelle salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie dans un intervalle de 33000 à 37000 mg/l [17].

II.5.3. Eau de surface

Les eaux de surface sont toutes eaux circulantes ou stagnantes à la surface des continents. On peut y accéder facilement mais elles se polluent rapidement et aisément à cause de l'activité humaine [18]. On peut répartir l'eau de surface en trois catégories : eaux de rivières (partie amont), eaux de rivière (partie aval), et les eaux de lac [15].

II.6. Filtration membranaire

Le terme technologie membranaire est un terme générique pour différents procédés de séparations très caractéristiques. La filtration membranaire est de plus en plus utilisée comme procédé de séparation dans de nombreux domaines notamment dans le cycle de l'eau (potabilisation de l'eau, traitement des effluents, réutilisation de l'eau, adoucissement, dessalement ...). On peut définir une membrane comme étant une paroi mince, liquide ou solide, qui oppose une résistance sélective au transfert des différents constituants d'un fluide. Elle possède donc la propriété de séparer sélectivement des espèces chimiques moléculaires ou ioniques [18]. Les critères de séparations des particules, des molécules et/ou des ions dépendent de :

- ✓ La dimension et la forme
- ✓ La nature chimique
- ✓ L'état physique
- ✓ La charge électrique...etc [18].

La filtration sur membrane est considérée ces dernières années comme une technique d'avenir, très utilisée dans le domaine du traitement de l'eau, à cause du fait qu'elle fonctionne sans ajout de produits chimiques [19]. L'application d'une différence de pression provoque le transfert du solvant à travers une membrane dont la taille des pores assure la rétention de solutés. Les différents procédés de séparations sont classés selon une taille des pores décroissantes, on peut citer : la microfiltration, l'ultrafiltration, la nano filtration et l'osmose inverse.

La microfiltration, l'ultrafiltration et nano filtration mettent en jeu des membranes possédant une structure poreuse tandis que les membranes d'osmose inverse sont des matériaux denses [20,21].

II.6.1. Osmose inverse

II.6.1.1. Définition

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement celle électrique consommée principalement par les pompes haute pression [22].



Figure II.1: Osmoseur

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Considérons un système de deux compartiments séparés par une membrane semi perméable sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le solvant (généralement l'eau) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins

concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée, c'est le phénomène d'osmose. Si on applique progressivement une pression sur le compartiment de la solution la plus concentrée, le flux d'eau qui traverse la membrane va diminuer, puis s'annuler quand la pression appliquée atteindra la pression osmotique. Si on applique une pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse du flux osmotique, c'est le phénomène d'osmose inverse [23].

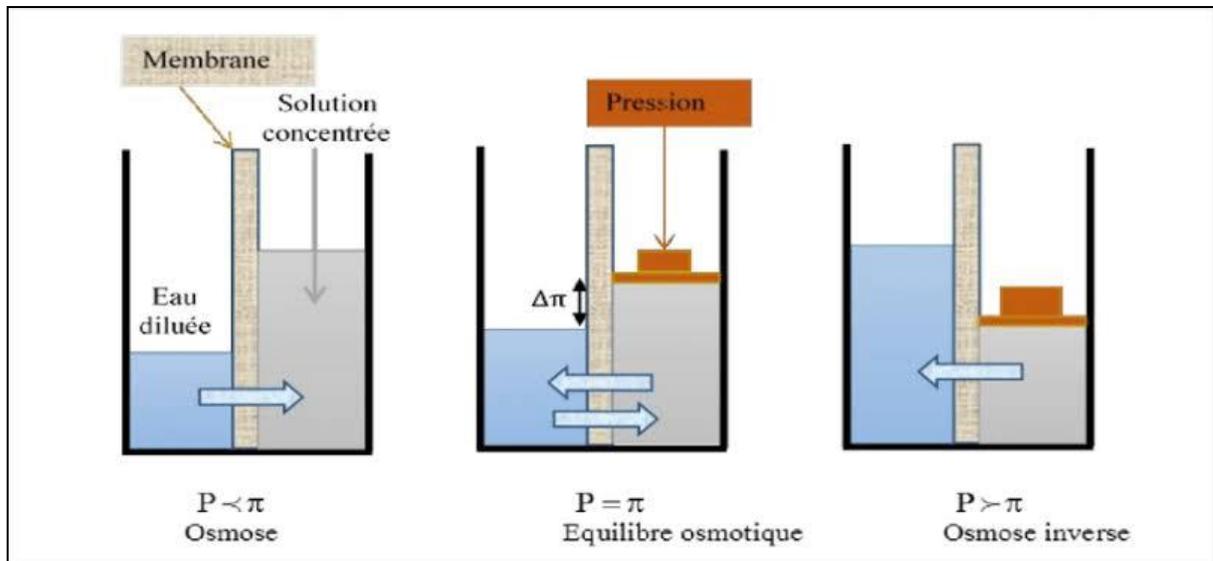


Figure II.2: Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

II.6.1.2. Modules d'osmose inverse

Un système membranaire est constitué d'une membrane de séparation et d'un module servant de support. Les modules permettent une circulation étanche de l'alimentation, du perméat et du retentât, ainsi qu'une minimisation des pertes de charges lors de la circulation des fluides. Ils permettent aussi de maximiser le rapport surface filtrante/volume occupé, et de faciliter le nettoyage. Il existe différents types de modules, les plus utilisés actuellement dans le traitement de l'eau sont :

a. Modules tubulaires

Un module tubulaire contient plusieurs tubes qui peuvent être en série ou en parallèle. L'eau à traiter circule à l'intérieur des tubes et le perméat est recueilli à l'extérieur des tubes. Les tubes constituent des canaux d'écoulement tangentiel. C'est le seul type de module qui peut être nettoyé mécaniquement avec un système de balles de mousse qui raclent les parois des tubes [24,25].

b. Modules fibres Creuses

Ces modules associent un ensemble de fibres creuses de diamètre inférieur au micromètre, sous forme de faisceaux en polymère organique. La couche filtrante peut être placée à l'intérieur de la fibre, alors que la filtration est réalisée de l'intérieur vers l'extérieur de la fibre. En osmose inverse, le perméat circule à l'intérieur des fibres et est collecté aux extrémités, rassemblé d'un même côté et fixé sur un support époxy [25].

c. Modules plans

Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples peut se présenter sous forme de plaques unitaires ou sous forme de cartouches. La forme varie selon le fabricant. Elles sont disposées parallèlement les unes aux autres et sont séparées par des séparateurs joints et des supports qui font office de compartiments amont et aval [26].

d. Modules spiralés

Des cylindres multicouches constitués d'une superposition de feuillets de membranes enroulés autour d'un tube percé qui collecte le perméat. Ce dernier s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube central tandis que le retentât circule le long de l'axe dans les canaux formés par les feuillets de membranes [27].

Partie
Pratique

Chapitre III

Procédés de traitements des eaux

Chapitre III Procédés de traitements des eaux

III.1. Introduction

La station de traitement des eaux de l'usine est une station de traitement des eaux souterraines utilisant le procédé d'osmose inverse.

La mise en services était en 2008. Après une année de service la station a pu réaliser un succès remarquable en produisant et fournissant une quantité d'eau douce assez importante de l'ordre de 20 m³ /h pour et l'industrie (fabrication de produits laitiers). Ce succès est le résultat d'une bonne gestion de cet ouvrage, par des techniciens du suivi qui ont remonté le défi et surmonté les difficultés rencontrées durant les premiers mois d'exploitation.

III.2. Description de la station

Dans ce qui suite nous allons voir les composantes d'une station d'osmose inverse et les différentes étapes à suivre dans le traitement des eaux (forage → jusqu'à la fin).



Figure III.1: Station traitement des eaux

III.2.1. Phase primaire

III.2.1.1. Dessablage

Dessablage elle consiste à l'élimination des sables présent dans les eaux brutes, c'est une opération indispensable pour :

- Eviter les dépôts dans les amenées et installations.
- Protéger les pompes et les autres organes mécaniques contre l'abrasion.
- Eviter de perturber les autres stades de traitement [28].

III.2.1.2. Stockage

Dans cette étape, l'eau brute sans sable arrive par gravité dans les réservoirs (*Bâche à eau 1000 m³*) pour le stabiliser et pour l'alimentation de la station.

III.2.1.3. La javellisation

Après le stockage de l'eau dans les réservoirs, les réservoirs constituent un maillon privilégié de sédimentation des dépôts et par la même une zone à tant risque pour la dégradation de la qualité de l'eau, leur nettoyage doit être donc fréquent. Cette opération se fait d'une façon périodique par l'eau de javel.



Figure III.2: Réservoir l'eau de javel

- A côté des réservoirs, il y a 05 pompes à $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ chaque pompe.



Figure III.3: Les pompes

III.2.2.4. Filtres à sable

Un filtre à sable est un type de filtre mécanique fréquemment utilisé, qui est constitué de sable disposé en couches de granulométrie croissante de haut en bas. Souvent utilisé pour le traitement d'eau et l'obtention d'un fort degré de purification, non seulement par l'élimination des matières en suspension mais également par la dégradation de la matière organique dissoute [29].



Figure III.4: Filtres à sable

III.2.2.5. Filtres à charbon active

Le charbon actif est d'un très grand intérêt industriel vu son utilisation pour la gestion et le contrôle des déchets polluants aqueux et gazeux. 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 (Il est utilisé pour éliminer le chlore) [30].



Figure III.5: Charbon active et Filtres à charbon active

III.2.2.6. Phase d'ajout d'acide sulfurique

Ajouter de l'acide sulfurique pour réduire la valeur du pH (Potentiel d'hydrogène), pour éviter les problèmes dans l'osmoseur.

→Après cette étape l'eau passe a travers des filtres (5 μ m) et (1 μ m) avant de traverser dans l'osmoseur.

III.2.2.7. Osmose inverse

L'eau filtrée traversé les membranes d'osmose inverse pour cela les membranes constituent le cœur de traitement ou encore servir d'étape d'affinage à un traitement plus conventionnelle. Ce dernier est caractérisé par des pores de très petites tailles $\approx 0.0001\mu$ m qui retiennent la majorité des minéraux présents dans l'eau et permettent donc d'obtenir une eau déminéralisée.



Figure III.6: Les osmoseurs

III.2.2.8. Désinfection

La désinfection est sans aucun doute l'étape la plus importante du traitement de l'eau destinée à la consommation [31]. Elle est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies hydriques. Ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction totale des organismes vivants dans un milieu donnée. On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : « **le chlore** », le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, « **ultraviolets** » ou rayons gamma [32].

- La désinfection par ultra-violet n'a pas effet rémanent c'est dire que son effet désinfectant ne persiste pas. Pour cela : si l'on stocker l'eau dans le réservoir plus 24 heures.
- Ajouter la javel (javellisation).

-Ensuite, l'eau est stockée sur les réservoirs et dirigée vers l'utilisation.

Chapitre IV

Les analyses physico- chimiques

Chapitre IV Les analyses physico-chimiques

IV.1. Introduction

L'évaluation des caractéristiques d'une eau se fait sur des échantillons qui sont correctement prélevés ; comme pour les eaux de consommation des analyses n'ont guère de valeur si l'échantillon n'est pas vraiment représentatif des conditions ou de la qualité existant réellement dans la pratique.

IV.2. Echantillonnage

Les échantillons pour l'analyse doivent être prélevés avec soin pour être sûr d'obtenir l'échantillon le plus représentatif possible. En règle générale, ils doivent être prélevés au centre du récipient ou du conduit et sous la surface. N'utiliser que des récipients propres (flacons, béchers) pour contenir les échantillons. Rincer d'abord le récipient plusieurs fois avec l'eau à prélever.

Les échantillons doivent être prélevés aussi près que possible de la source d'alimentation pour minimiser les effets d'un système de distribution. L'eau doit s'écouler un temps suffisant pour rincer le système de prélèvement et le récipient doit être rempli lentement pour éviter les turbulences et les bulles d'air. Les prélèvements dans des puits doivent être effectués après que la pompe a fonctionné un temps suffisant pour délivrer un échantillon représentatif de l'eau d'alimentation du puits.



Figure IV.1: Echantillonnage

IV.3. Conditions de prélèvement

Pour l'analyse chimique de l'eau, trois règles essentielles doivent être respectées :

- Utiliser des récipients extrêmement propres.
- Rincer plusieurs fois le flacon avec de l'eau à analyser.
- Le bouchon sera placé de tel façon qu'il n'ait aucune bulle d'air, et qu'il ne soit pas éjecté au cours de transport.

IV.4. Les méthodes d'Analyses

IV.4.1. Mesure du pH et de la température

- Moyes techniques

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre, vérifié et étalonné avec au moins deux solutions étalons (7 et 10 ou 7 et 4 suivant la gamme de mesure à réaliser).



Figure IV.2: Multimètre HQ40d

- Mode opératoire

- On vérifie que le pH-mètre est connecté au réseau électrique ou que ses batteries sont en état de fonctionnement.
- On retire la capsule contenant la solution de stockage (KCl 3 mol/l) protégeant la sonde de mesure.
- On rince cette dernière à l'eau déminéralisée avant toute mesure

- On plonge la sonde dans le milieu à analyser. On remue avec soin et légèrement la sonde et on attend que la lecture se stabilise.
- On mesure la température du milieu à analyser avec un thermomètre, puis on affiche la valeur sur le pH-mètre. On relève la valeur de pH à la température mesurée.

IV.4.2. Mesure de la Conductivité

-Objet : Déterminer la quantité d'électricité que la solution peut déplacer ou la quantité d'électrons capables de transmettre en solution.

-La conductivité électrique d'une solution est liée à la présence d'ions en solution.

-La conductivité des eaux s'exprime en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

- **Mode opératoire**

L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de conductivité.

- On allume l'instrument en poussant le bouton ON/OFF. Lorsque l'afficheur indique zéro, l'instrument est prêt pour la mesure de conductivité (le même appareil « Multimètre HQ40d »).
- On plonge la sonde dans la solution à mesurer et on appuie sur le bouton de mesure. Ou on sélectionne la gamme de mesure en appuyant sur l'un des boutons correspondants en commençant par la gamme la plus basse.
- on effectue la mesure de la conductivité à la température relevée ou on ramène le prélèvement d'eau à la température souhaitée.

Il suffit d'environ 5 minutes pour que le capteur atteigne l'équilibre thermique avec la solution au cas où la température de la sonde serait totalement différente de celle de la solution.

Aussi, avant d'effectuer toute mesure, faut-il attendre que la stabilisation thermique se soit réalisée.

- On tape légèrement la sonde sur le fond du bécher et on l'agite afin de vérifier que des bulles d'air ne se soient pas formées à l'intérieur.

IV.4.3. Dosage de Chlorure

- **Objet** : Déterminer la concentration d'ions chlorure dans l'eau.

Dosage du chlorure par solution de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur brun-rouge caractéristique du chromate d'argent.



Figure IV.3: Solution de $AgNO_3$ et de K_2CrO_4 .

- **Mode opératoire**

- On introduit 100 ml de l'échantillon, ou une plus petite quantité diluée à 100 ml (Volume V_a) dans un bécher conique. Placé sur un fond blanc.
- On ajoute 01 ml d'indicateur de chromate de potassium à 10 % et on titre la solution par l'addition goutte à goutte de solution de nitrate d'argent (0.02 mol/l) jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brune-rougeâtre (volume V_s). L'addition d'une goutte de chlorure de sodium cette coloration doit disparaître.

- **Expressions des résultats**

La concentration en chlorure exprimée en mg/l, est donnée par la formule suivante :

$$[Cl^-] = \frac{V_s \times C \times f \times 1000}{V_a} \dots \dots \dots (3)$$

V_a : volume, de l'échantillon en ml

V_s : volume, en ml de la solution de nitrate d'argent utilisé pour le titrage de l'échantillon.

C : est la concentration réelle, exprimée en mole d' $AgNO_3$ par litre

f : est le facteur de conversion $f = 35,5 \text{ mg/mol}$.

IV.4.4. Dosage de la dureté totale

- **Objet** : Déterminer la concentration d'ions de calcium et de magnésium.
- Titrage par complexométrie du calcium et du magnésium avec une solution aqueuse (EDTA= Acide Ethylène Diamine Tétra Acétique.) à un pH de 10. Le noir d'ériochrome T.

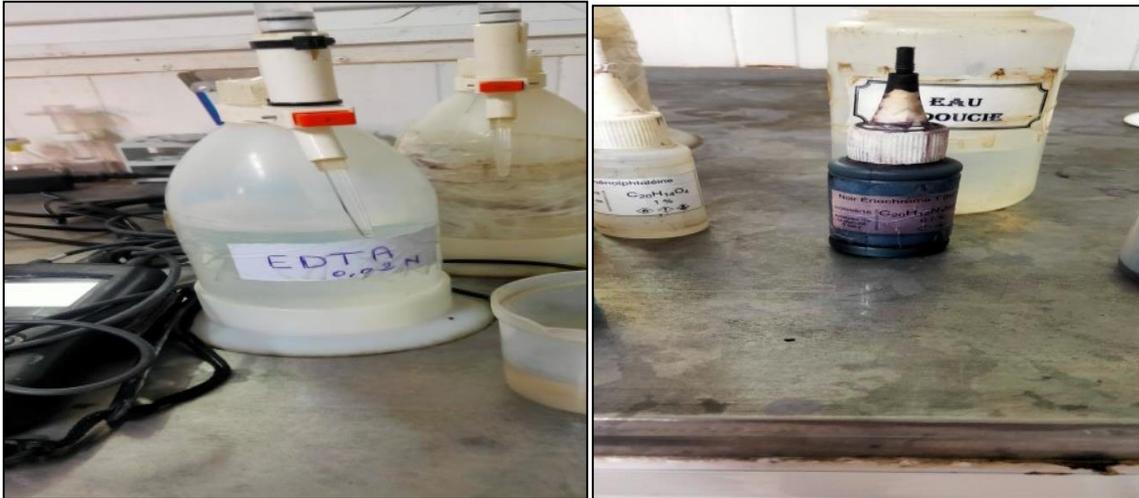


Figure IV.4: EDTA (0.02N) et NET (Noir ériochrome toluène)

- **Mode opératoire**
 - A l'aide d'une pipette, on introduit 10 ml de l'échantillon dans une fiole conique de 250 ml.
 - On ajoute 02 à 03 ml de la solution tampon et 03 gouttes de l'indicateur «NET ». La solution doit se colorer en rouge foncé violet.
 - On titre immédiatement à l'aide de la solution d'EDTA 0.02N versée à partir de burette, tout en agitant constamment. On verse rapidement au début du dosage puis lentement vers la fin. On ajoute la solution d'EDTA goutte à goutte dès que la couleur de la solution commence à virer de violet au bleu.
- **Expressions des résultats :**

La teneur globale en calcium et en magnésium $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ exprimée en milli mole par litre, est donnée par l'équation.

$$C_{\text{TH}} = \frac{C_1 \times V_1}{V_0} \dots \dots \dots (4)$$

C_1 : est la concentration, exprimée en milli mole par litre, de la solution d'EDTA

V_0 : est le volume, en millilitre, de l'échantillon utilisé.

V_1 : est le volume, en millilitre, de la solution d'EDTA utilisé pour le titrage.

IV.4.5. Mesure des titres alcalimétriques TA et TAC

- **TA (titre alcalimétrique simple):**

- Mesurée par titrage jusqu'au point de virage de la phénolphtaléine (pH 8.3).

$$TA = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] \dots\dots\dots (1)$$



Figure IV.5: Méthyle orange, PH-PH et NET

- **TAC (titre alcalimétrique complet ou total) :**

- On ajoute 02 à 03 gouttes méthyle orange à la solution sur laquelle a été déterminée l'alcalinité composite à pH 8.3.
- On continue à titrer avec de l'acide jusqu'au virage rose orange. On note le volume total V_2 en millilitre d'acide consommé.

- **Réactifs :**

- Phénolphtaléine
- Acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique
- Méthyle orange

-Expressions des résultats :

$$TA : TA (^{\circ}F) = V_1 \times 5 \dots\dots\dots (5)$$

V_1 : représente le volume en ml de la solution d'acide nécessaire au titrage.

$$TAC : TAC (^{\circ}F) = (V_2 - 0.1) \times 5 \dots\dots\dots (6)$$

V_2 : représente la chute de burette de la solution d'acide nécessaire pour la neutralisation.

IV.4.6. Mesure de chlore libre (Méthode de comparateur à disque de couleur)

-Le chlore présent dans l'échantillon sous forme d'acide hypochloreux et / ou d'ion hypochlorite (chlore libre ou chlore libre disponible) réagit immédiatement avec le DPD (N, N - diéthyl p - phénylène - diamine) en même temps que le chlore libre présent dans l'échantillon pour former une coloration rouge proportionnelle à la concentration du chlore.

IV.4.6.1. Détermination du chlore libre actif (pastilles DPD)

- On remplit deux cuves avec l'échantillon jusqu'à la marque 10 ml.
- On place une cuve dans la chambre de mesure de gauche du comparateur (solution témoin).
- On ajoute une pastille DPD dans l'autre cuve.
- On referme la cuve et dissout la pastille en agitant la cuve.
- On place celle-ci dans la chambre de mesure de droite.
- On fait concorder la couleur obtenue avec le disque et on lit le résultat en (mg/l) de chlore libre actif.

IV.4.6.2. Détermination du chlore total et combiné (pastilles DPD)

Après avoir déterminé le chlore libre

- On retire la cuve de la chambre de mesure de droite et on ajoute à son contenu une pastille DPD.
- On referme la cuve et on dissout la pastille en agitant doucement.
- On place la cuve dans la chambre de mesure de droite du comparateur.
- On attend un temps de réaction de deux minutes. On fait concorder la couleur obtenue avec le disque et on lit le résultat en mg/l de chlore total.

- Chlore combiné

- On retire le résultat de chlore libre de la valeur obtenue de chlore total la différence correspond à la valeur de chlore combiné.

IV.4.7. Mesure de la turbidité

-La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon d'eau qui résulte de la dispersion et de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspension présentes dans l'échantillon. La quantité de turbidité mesurée dépend de variables telles que la taille, la forme et les propriétés de réfraction des particules.

-Mode opératoire

- On entre le numéro de programme mémorisé pour la turbidité en FAU. On presse PRGM
L'affichage indique : PRGM
- 1 FAU = 1 NTU pour la mesure de formazine. Elles ne sont pas équivalentes pour la mesure d'autres types d'étalons ou d'échantillons.
- On presse : 95 ENTER L'affichage indique FAU et le symbole ZERO.
- On remplit une cuvette jusqu'au trait 25 ml avec de l'eau dé ionisée (le blanc).
- On place le blanc dans le puits de mesure. On ajuste le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- On presse : ZERO Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique : 0 FAU
- On verse 10 ml d'échantillon dans une autre cuvette
- L'échantillon doit être mélangé soigneusement avant de le transvaser dans la cuvette colorimétrique.
- On essuie l'extérieur de la cuvette avec un tissu doux sans peluches immédiatement, on place cette cuvette dans le puits de mesure. On ajuste le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- On presse : READ Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en unités FAU de turbidité s'affiche.



Figure IV.6: Colorimètre

IV.4.8. Mesure du phosphate

Dans notre cas on utilise cette méthode pour l'analyse du Phosphate ortho dans les eaux de chaudières.

- *Principe de la méthode*

Dans la méthode molybdovanadate, l'orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate. En présence de vanadium, l'acide vanadomolybdo phosphorique jaune se forme. L'intensité de la coloration jaune est proportionnelle à la concentration du phosphate.

-On analyse les échantillons immédiatement après le prélèvement pour obtenir les résultats les plus fiables.

- *Mode opératoire*

- On analyse les échantillons immédiatement après le prélèvement pour obtenir les résultats les plus fiables on entre le numéro de programme mémorisé pour l'orthophosphate, méthode molybdovanadate.

- On presse PRGM L'affichage indique : PRGM? Presser : 77

-ENTER L'affichage indique mg/l, PO₄ et le symbole ZERO.

- On remplit une cuvette avec 25 ml d'eau dés ionisée (le blanc).
- On remplit une autre cuvette avec 25 ml d'échantillon (l'échantillon préparé).
- On ajoute 1,0 ml de réactif molybdovanadate à chaque cuvette. On bouche les cuvettes pour mélanger.

-En présence de phosphate, une coloration jaune se développe. Le réactif donne une légère coloration jaune au blanc.

- On presse : TIMER ENTER Une période de réaction de 5 minutes commence.

-Lorsque le minuteur sonne, on place le blanc dans le puits de mesure. On ajuste le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.

- On presse : ZERO Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique : 0.0 mg/l PO₄
- On place l'échantillon préparé dans le puits de mesure. On Ajuste le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- On Presse : READ Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l de PO₄³⁻ s'affiche.

Chapitre V

Résultats et discussions

Chapitre V Résultats et discussions

V.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des valeurs et des paramètres physicochimiques obtenues durant les différentes étapes de traitements de l'eau de forage.

V.2. Caractéristiques de l'eau brute (forage)

- **Date de prélèvement** : 20/04/2022
- **Lieu de prélèvement** : L'entrée et la sortie des filtres à sables et la sortie de filtre à charbon actif.

-La caractérisation de l'eau brute concerne l'eau de forage qui est stockée par la suite dans les bâches à eaux. Cette eau subit la filtration sur sable et sur le charbon actif. Les résultats sont représentés dans le tableau V.1 suivant :

Tableau V.1: Résultat d'analyse de l'eau brute

Echantillons	Eau de forage	Eau filtrée (sortie FAS= filtres à sables)	Eau filtrée (Entrée FCA= filtre à charbon actif.)	Eau déchlorée (sortie FCA= filtre à charbon actif.)
pH	7.53		7.24	
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	1863		1852	
TH °F	85		97	
TA °F	0		0	
TAC °F	18.5		19	
CL mg/l	236		223	
CL ₂ mg/l	0.31	0.46	0.34	0
PO ₄ mg/l	0.18			
Nitrate mg/l	30.1			
Sulfate mg/l	40.6			
Fer mg/l	0.02			
Silice mg/l	10.4			
Turbidité NTU	0	0	0	0

- On voit d'après le tableau ci-dessus que l'eau brute est une eau très dure (TH = 85 > 50 F°), c'est pour cela que l'eau doit être traitée convenablement.
- On constate que l'eau est bien filtrée (turbidité égale 0 NTU).
- On note que la déchloration des eaux par charbon actif est efficace (Cl₂ égale 0 mg/l).

V.3. Caractéristiques de l'eau d'alimentation des osmoseurs après l'ajustement de pH et l'injection de séquestrant

- **Date de prélèvement** : 20/04/2022
- **Lieu de prélèvement** : Entrée et sortie osmoseurs

Rappel : En ajoute l'acide sulfurique pour réduire la valeur du pH .

Tableau V.2: Résultats d'analyse de l'eau osmosée

Echantillons		pH	Cond µs/cm	TH °f	TA °f	TAC °f	Cl mg/l	Cl ₂ mg/l	PO ₄ mg/l	turb NTU
Alimentation osmoseurs		6,87	1855							
Osmoseur 01	Permeat	5,9	131,9	0,8			36			
	Concentra	7,41	6990	334			950		4,2	
Osmoseur 02	Permeat	5,88	107	0,6			31			
	Concentra	7,56	6880	392			1020		5,1	
Osmoseur 03	Permeat	5,84	101	0,4			30			
	Concentra	7,56	7030	414			1030		4,6	
Osmoseur 04	Permeat	5,67	71,7	0,3			25			
	Concentra	7,53	7220	414			1040		3,92	
Osmoseur 05	Permeat	5,7	726	0,3			25			
	Concentra	7,52	7190	420			1050		4,32	

- Selon le Tableau V.2 et Tableau V.1, On constaté que les valeurs du pH de l'eau de forage ne varient pas beaucoup au cours de la période de traitement, elles sont entre 7.53 et 6.87, par contre les valeurs du pH de l'eau traité par l'osmose inverse sont conformes à la norme entre (5.5 et 7.5) adoptée par l'entreprise.
- Selon les résultats de la conductivité, il est constaté que l'eau de forage est très chargée en ions minéraux avec une valeur de la conductivité de 1863 µs/cm. Après traitement par l'osmose inverse, on constate une grande diminution de la conductivité jusqu'à la valeur 71.7µs/cm, Cela est dû à l'élimination des ions présents dans l'eau d'alimentation par les membranes de l'osmoseur. D'après les résultats obtenus, les valeurs de la conductivité pour l'osmoseur répondent largement aux normes exigées par l'entreprise (< 100 µs/cm), les résultats montrent le rôle important que jouent les membranes de l'osmose inverse

ainsi que leurs efficacités dans la séparation des particules de l'eau.

- L'évolution des valeurs de TH des eaux de forage ne varient pas au cours de la première étape, avec des valeurs enregistrées entre 85 °F et 97°F. L'eau dure provoque l'entartrage et la corrosion des différentes installations de l'entreprise d'où la nécessité du traitement de cette eau. Après traitement avec les membranes d'osmose inverse, la dureté des eaux traitées retrouve des valeurs conformes aux normes (1°F), jusqu'au 0.3°F. Cette diminution de TH indique une élimination des ions carbonates de calcium et Magnésium dans l'eau à la sortie des membranes d'osmoseurs.
- On remarque que les valeurs en chlorures varient entre 236 mg/l et 223mg/l, ce qui met en évidence la présence d'une forte concentration en ions chlorures dans l'eau de forage. À la sortie de l'osmoseur on remarque une grande diminution des valeurs de la concentration en chlorure par rapport à celle de l'entrée. En effet la majorité des ions chlorures sont retenus par les membranes indiquant ainsi l'efficacité du traitement.
- On remarque que les valeurs à la sortie de l'osmoseur le concentrât de PO₄ entre 4 et 5 mg/l

V.4. Caractéristiques de l'eau traitée (eau de production)

- **Date de prélèvement** : 20/04/2022
- **Lieu de prélèvement** : Cuve de stockage eau traitée.

Tableau V.3: Résultat d'analyse de l'eau traitée et l'eau adoucie

Echantillons	pH	Cond	TH	TA	TAC	Cl ⁻
		µs/cm	°f	°f	°f	mg/l
Eau traitée (cuves de stockage)	7,01	329	10	0	5	45
Eau adoucie	7,21	336	0			

- Lorsque l'eau sort du dispositif d'osmose inverse est d'environ TH≈0.3 °F nous en prenons une partie pour l'utilisation de la production des produits laitiers ce qui nécessite d'augmenter la valeur de TH à TH=10 °F afin de respecter les normes de l'entreprise

(parce que ne peut pas produire de lait et TH=0) et la deuxième partie passe à l'appareil **adoucisseur** pour obtenir le TH=0 afin d'utiliser cette eau dans des équipements tels que les **Chaudières...**

V.5. Conclusion

On note l'efficacité de la méthode d'osmose inverse utilisée dans le processus de purification de l'eau et ses résultats très satisfaisants.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le but d'étudier la performance des différents procédés de traitement des eaux qui utilisées par l'usine « **HODNA LAIT** », on a effectué une série d'analyses physico-chimiques journaliers et hebdomadaires sur différents échantillons, à savoir l'eau brute avant et après traitement.

D'après les résultats journaliers obtenus des différents paramètres physico-chimiques : pH, conductivité, TH, TA et TAC de l'eau à l'entrée et à la sortie de chaque étape, on peut témoigner de l'efficacité des différents procédés de traitement. En effet, à la fin du traitement, ces derniers sont conformes aux normes exigées par l'entreprise. Nous concluons que l'osmose inverse est très efficace dans la purification de l'eau et la diminution de sa dureté.

Les résultats de la concentration en chlorures des eaux traitées sont conformes à la norme exigée par l'entreprise.

D'après les résultats hebdomadaires, les teneurs en calcium et en magnésium au niveau des différents circuits de traitement indiquent une diminution graduelle en passant par les différentes étapes de production d'eau osmosée jusqu'à atteindre des valeurs quasi-nulles (de calcium et magnésium) à la fin du processus. Cela montre l'efficacité de chaque étape de traitement dans la production d'une eau qui répond aux normes exigées par l'entreprise. D'une manière générale, à l'issue de notre travail, nous pouvons conclure que l'unité osmose inverse de l'entreprise « **HODNA LAIT** », est performante et produit une eau de très bonne qualité qui répond aux normes exigées.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] : S. Cheret, Les grandes catégories d'usages de l'eau dans l'industrie, Article , techniques de l'ingénieur ,G1150 v2 , France (2017).

[2] : documentation de l'usine.

[3] : Rodriguez G, (2004), Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux applications spécifiques, Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
(2004).

[4] :K.Sardi, Contrôle de la qualité de l'eau de la station de L'EHU 1 er Novembre, Mémoire de Master, Faculté e chimie Département de chimie physique, Université de sciences et de technologie d'Oran, Mohamed Boudiaf,(2014).

[5] :B. Régis, B. Selim, Technique de la gestion et de la distribution de l'eau, Livre édition du Moniteur, paris,(2011).

[6]:E.Brown , A.Colling, D.Park, J.Phillips, D.Rothery, et J.Wright, Sea water its composition properties and behavior , livre, The Open University, Second edition, (1997) .

[7] :M.Whitehouse, J.Priddle et Symon , Seasonal and annual change in seawater temperature salinity nutrient and chlorophyll a distribution around south Georgia , South Atlantic Deep Sea Research ,(1996).

[8]:R. Benner, B.Biddanda, B.Blac, et M. Mccarthy, Abundance size distribution and stable carbon and nitrogen isotopic compositions of marine organic matter isolated by tangential flow ultra filtration,Thèse Doctorat, Marine Chemistry57,(1997).

[9] :M.Trdat-Henry, chimie des eaux . 1ère édition griffon argyle INC,Canada ,(1984) .

[10] :M.dore, Chimie des oxydants et traitement des eaux, édition technique et documentation, Lavoisier,(1995) .

[11] :J. Villers, M.Squibin, C.Yourassowsky ,Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface , Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement,(2005) .

[12] :J.Rodier, Analyse de l'eau, eaux de mer, eaux résiduaire, 7ème édition, Paris, (1984).

[13] :A.dupont, Hydraulique urbaine, tome 1, Hydrologie-Captage et traitement des eaux, livre , 5 ème édition , Paris, (1981).

[14] :S.Chamebrek, M.bezzi, Conception et réalisation d'une installation d'étude du phénomène d'entartrage par la méthode de dégazage contrôlé LCGE , Influence de certains paramètres, thèse d'ingénieur, Université Bejaia, (2005).

[15] : R. Desjardins, Le traitement des eaux. Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, (1997).

[16] : https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaireenvironnement/definition/nappe_souterraine.php4

[17] :H. Bair, F .Ghemari, Techniques et méthodes de traitement des eaux Primaires. Mémoire , Université Bejaia , (2018) .

- [18] :B.Ranson,K.Shea, P.Bennett, R. Bennett, ET R.Baerwald Comparison of pelagic and nepheloid layer marine snow implications for carbon cycling, Marine Geology, (1998) .
- [19] :A. Maurel, Traitement des eaux avant utilisation Filières de traitement, Technique de l'ingénieur, (2007).
- [20] :M. Metaiche. Technologie Membranaire. Mémoire d'ingénieur. Université de Bouira,, (2014).
- [21] :S.Ouali ,Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, édition office des publications universitaires, Alger, 1^{ere}édition, (2001).
- [22] :<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamiquechimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux>
- [23] :<https://www.actu-environnement.com>
- [24] :C.Bouchard, P.Kouadio,D. Ellis, M.Rahni, R.E. Lebrun.Les procédés à membranes et leurs applications en production d'eau potable, Vecteur Environnement, (2000).
- [25] :J-M .Berland, et C.Juery, Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau. Edition Office international de l'eau, France page 71, (2002)[42]J-M .Berland, et C.Juery, Les procédés membranaires pour le traitement de l'eauEditionOffice international de l'eau, France page 71, (2002).
- [26] :J-P. Brun,Procédés de séparation par membranes transport techniques membranaires applications, (1989).
- [27] :P. Danis. Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, J2700 v1, (2003).
- [28] :C.Bassompierre, Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles, Thèse de Doctorat ,Institut National Polytechnique de Grenoble ,(2007) .
- [29] : <https://www.aquaportail.com/definition-6310-filtre-a-sable.html>.
- [30] : Dégagement. Mémento technique de l'eau, 8^{ème} Édition, paris, (1978).
- [31] : OMS. Directives de qualité pour l'eau de boisson volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2^{ème} édition, (2000).
- [32] : R.Bourrier ,B.Selmi. Technique de la gestion et de la distribution de l'eau,Edition Moniteur, Paris (2011).
- [33] : Google Maps.
- [34] : www.filtropure.fr.
- [35] :rdoc.univ-sba.dz – S Lahreche, D harrache ,(2014).
- [36] : <http://univ-bejaia.dz/dspace>.
- [37] : Dégagement, Mémento technique de l'eau, tomes1 , livre , 10^{ème} Edition , paris , (2005).