

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

**SUIVI DE L'EFFICACITE DE L'OSMOSEUR AU
SEIN DE LESAFFRE MAROC**

Présenté par :

◆ **EL-HAITI TARIK**

Encadré par :

◆ **Mr A. ELKASRAOUI (Société)**

◆ **Pr A. BOULAHNA (FST)**

Soutenu Le 06 Juin 2018 devant le jury composé de :

- Pr A. ELGHAZOUALI

- Pr A. MELIANI

Stage effectué à LESAFFRE MAROC

Année Universitaire 2017 / 2018

Remerciements

Je profite par le biais de ce rapport, pour exprimer mes vifs remerciements à toute personne contribuant de près ou de loin à l'élaboration de cet humble travail.

Je tiens à remercier **Mr. BOULAHNA AHMED** mon encadrant à la faculté des sciences et techniques et **Mr. A.ELKASRAOUI** directeur qualité et chef de laboratoire, pour leurs suivis, et leurs conseils durant toute la période du stage et lors de la rédaction de ce rapport de stage.

Je présente ma gratitude à **Mr. M. OUKESSOU** et tout le personnel des laboratoires **LESAFFRE** qui m'ont soutenu conseillé et orienté afin de mener à bien ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent à tous les membres du département de chimie ainsi que les jurys constitués de **Mr A.MELIANI** et **Mr A.ELGHAZOUALI** pour avoir accepté d'évaluer ce travail et apporter leurs remarques et jugements pertinents afin d'améliorer mon projet de fin d'études.

Je présente ma reconnaissance à tous les membres de ma famille et amis qui m'ont aidé et soutenu durant tout mon parcours, Merci d'être une source d'inspiration et de motivation.

Que tous ceux qui ont contribué à mener à bien ce stage trouvent ici l'expression de ma parfaite considération.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre1 : présentation de l'entreprise.....	6
I. Présentation de la société :	6
1. LESAFFFRE :	6
2. LESAFFRE MAROC :.....	6
3. Organigramme de l'entreprise :	7
4. Description du laboratoire d'analyses LESAFFRE MAROC :.....	7
a. Salle d'analyses microbiologiques :	7
b. Salle d'analyses physicochimiques :	8
c. Salle de réception :	8
II. Procédure de la fabrication de la levure et principe fondamentaux :	8
1. Généralité sur la levure :.....	8
a. Définition :	8
b. Structure de levure :	9
c. Métabolisme de la levure :	9
d. Mode de reproduction :	9
2. Production industrielle de la levure :.....	10
a. Matières premières :	10
b. Les étapes de production :	10
Chapitre 2 : Traitement des eaux de LESAFFRE MAROC	13
I. Généralité :	13
1. Propriétés :	13
a. Etat naturel :	13
b. Les différents types d'eaux :.....	13
c. Les principaux ions dans l'eau :	14
II. Traitement de l'eau : Procédés membranaires.....	14
1. Différents types des membranes :.....	15
a. Membrane organique :	15
b. Membranes minérales :.....	15
c. Membranes composites :	16
d. Membranes échangeuses d'ions :	16
2. Différents types de filtration membranaire :.....	16

a.	Microfiltration :	17
b.	Ultrafiltration :	17
c.	Nanofiltration :	18
d.	Osmose :	18
III.	Techniques d'osmose inverse :	19
1.	L'osmose inverse :	19
2.	L'osmoseur :	20
3.	Différents types d'osmoseurs :	20
4.	Différentes étapes du traitement dans l'usine :	22
Chapitre 3 : Etude expérimentale		24
I.	Analyses physico-chimiques de l'eau	24
1.	Conductivité :	24
2.	pH :	24
3.	Titre alcalimétrique complet (TAC) :	25
4.	Titre hydrotimétrique total (THT) :	25
5.	Ions chlorure Cl ⁻ :	26
6.	Chlore :	26
II.	Résultat et discussion :	27
1.	Conductivité :	27
2.	pH :	28
3.	Titre hydrométrique total (THT) :	29
4.	Résultats de titre alcalimétrique complet (TAC) :	31
5.	Concentration en chlorure (Cl ⁻) :	32
6.	Conclusion :	33
7.	Efficacité d'osmoseur par paramètres :	33
Conclusion générale		34

Liste des figures

Figure 1 : organigramme de la société	7
Figure 2 : structure de la levure <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	9
Figure 3 : Reproduction par bourgeonnement du <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	10
Figure 4 : la chaîne de production de la levure	12
Figure 5 : échelle de taille d'espèces en solution et types d'opération de filtration associées	17
Figure 6 : principe de la microfiltration	17
Figure 7 : principe de l'ultrafiltration	18
Figure 8 : principe d'osmose	19
Figure 9 : principe d'osmose inverse	19
Figure 10 : principe d'un procédé de séparation membranaire	20
Figure 11 : module à fibres creuses.....	21
Figure 12 : structure interne d'un osmoseur spiral.....	22
Figure 13 : graphe de la variation de la conductivité des différents eaux	28
Figure 14 : variation du pH au cours du traitement de l'eau	29
Figure 15: évolution de THT au cours de traitement de l'eau.....	30
Figure 16 : évolution de TAC au cours de traitement de l'eau.....	31
Figure 17 : évolution de la concentration en chlorure au cours de traitement de l'eau	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : les principaux cations et anions dans l'eau	14
Tableau 2 : résultat de conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	27
Tableau 3 : résultat du pH	28
Tableau 4 : résultats de la dureté totale ($^{\circ}\text{f}$)	30
Tableau 5 : résultats de TAC ($^{\circ}\text{f}$)	31
Tableau 6 : résultats de la concentration en chlorure (Cl^-) en (mg/l)	32
Tableau 7 : les normes physico-chimiques de différentes eaux utilisées selon OMS	33
Tableau 8 : efficacité de l'osmoseur par rapport à chaque paramètre.....	33

Introduction générale

Les usages de l'eau sont extrêmement variés dans l'industrie, tels que le refroidissement par des échangeurs thermiques, la production de la vapeur par les chaudières..., ce qui entraîne des contraintes de qualité très diverses de l'eau afin d'éviter plusieurs problèmes soit au niveau du matériels soit au niveau du produit.

La station de traitement des eaux constitue une unité stratégique pour la société LESAFFRE Maroc, compte tenu de son importance pour le refroidissement des cuves de fermentation de la levure et la production de vapeur nécessaire pour son séchage ainsi la stérilisation des cuves. D'où l'importance d'assurer une alimentation continue en eau traitée (adoucie et osmosée).

L'opération de production d'eau osmosée se fait à l'aide d'un osmoseur selon le principe de l'osmose inverse qui débarrasse l'eau de la majeure partie de ses solutés tels que le calcium et le magnésium qui sont responsables du dépôt de calcaires au niveau de la chaudière et des échangeurs thermiques.

Ce dispositif d'osmoseur a été acquis par la société pour améliorer d'une part, l'efficacité d'échangeur thermique et la chaudière d'autre part, améliorer la qualité des conditions de multiplications cellulaire au sein des cuves de fermentation.

Dans ce contexte, nous sommes fixés comme objectif de s'assurer l'efficacité de l'osmoseur à travers des analyses physico-chimique de l'eau.

Dans ce mémoire, nous avons réparti notre travail en trois chapitres :

- l'histoire de la société et un rappel bibliographique sur la levure et ses différentes étapes de production.
- Les technologies de traitement des eaux.
- Etude expérimentale qui consiste à effectuer des analyses de l'eau avant et après l'osmoseur.

Toutes les analyses sont faites d'une façon périodique pour contrôler les paramètres physico-chimiques qui doivent respecter les normes pour avoir une bonne qualité de l'eau osmosée. Pour avoir une bonne production de la levure.

Chapitre1 : présentation de l'entreprise

I. Présentation de la société :

1. LESAFFRE :

LESAFFRE est un groupe familial, né dans le Nord de la France, **LESAFFRE** est aujourd'hui un acteur mondial de référence à la fois multi-local et pluriculturel.

Avec un chiffre d'affaires de 1,5 milliard d'euros en 2016, **LESAFFRE** emploie 7700 collaborateurs répartis dans plus de 80 filiales implantées dans une quarantaine de pays. Ses produits sont distribués dans plus de 180 pays.

2. LESAFFRE MAROC :

En 1993, la société SODERS a été majoritairement détenue par le groupe Français LESAFFRE et porte aujourd'hui comme nouvelle appellation " **LESAFFRE MAROC** ", elle présente le leader mondial dans la fabrication de la levure de panification grâce à ses connaissances approfondies sur la levure, située au quartier industriel SIDI BRAHIM Fès, son Directeur général est **Mr Damien LESAFFRE**.

LESAFFRE MAROC a choisi "l'hirondelle" comme logo, ce dernier est un symbole de proximité et de fidélité, qui traversa le temps et l'espace, c'est un logo qui identifie les produits de la société et se considère comme l'emblème fédérateur du groupe **LESAFFRE MAROC** dans le monde via ses 35 sites de production et sociétés commerciales et des distributions afin d'être plus proche de ses clients.

Elle fabrique et commercialise les marques suivantes :

- Levure fraîche : **JAUDA (500 g), RAFIAA (500 g, 225g)**.
- Levure sèche : **RAFIAA** et **NEVADA**.
- Améliorants de panification : **Ibis bleu** et **Magimix**.

3. Organigramme de l'entreprise :

L'organigramme de LESAFFRE MARPC est représentée selon la figure suivante :

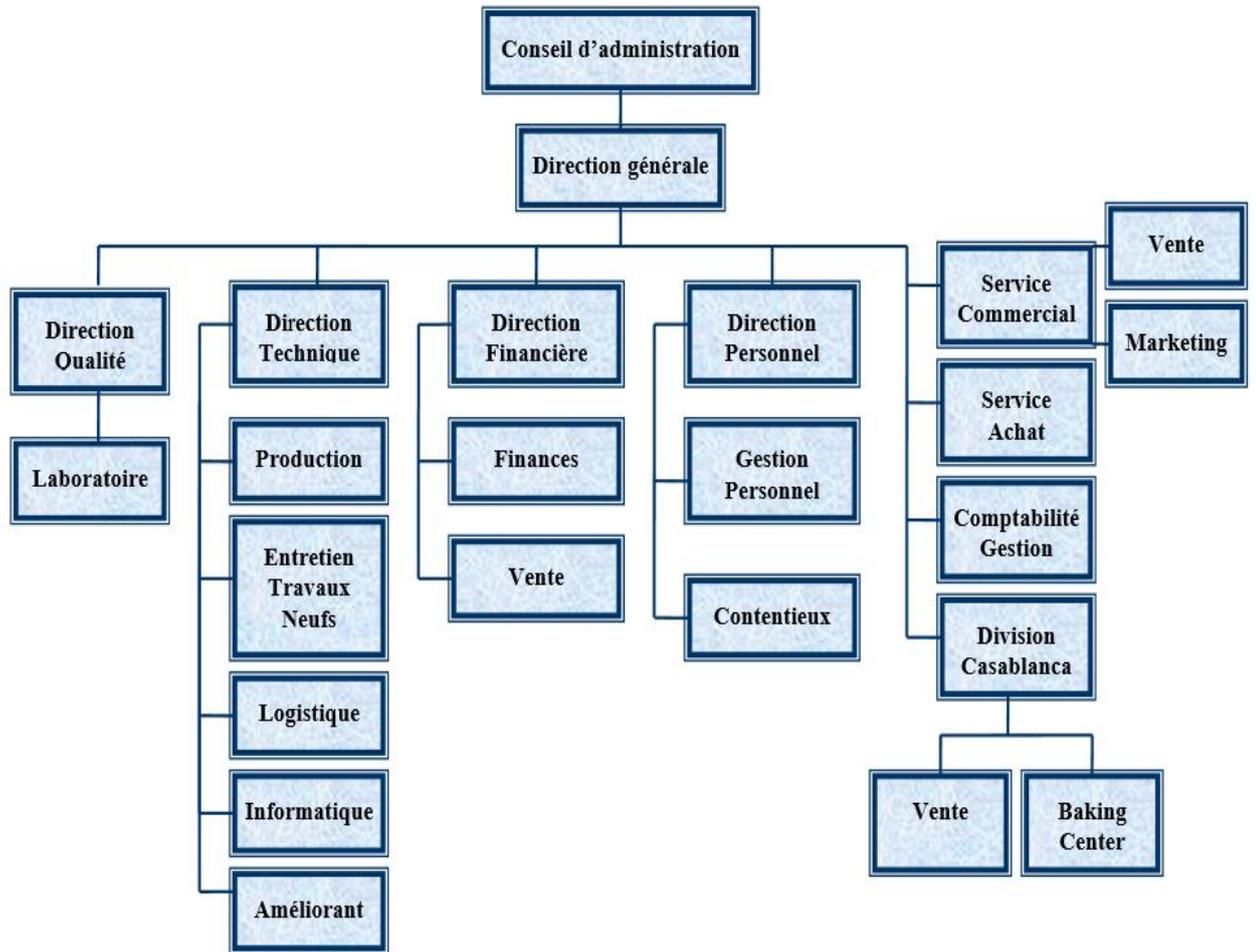


Figure 1 : organigramme de la société

4. Description du laboratoire d'analyses LESAFFRE MAROC :

LESAFFRE MAROC dispose de trois services, microbiologique et physicochimique qui sont chargés de faire des analyses le long de la chaîne de production, depuis la préparation de la matière première jusqu'à l'obtention du produit fini (levure fraîche ou sèche) ; qui répond à toutes les normes de qualité, ainsi une salle de réception.

a. Salle d'analyses microbiologiques :

Cette salle est divisée en quatre parties :

- Section des pathogènes où s'effectue les analyses des germes pathogènes ;
- Section des préparations des milieux de culture ;
- Section de stockage des réactifs chimiques ;
- Section d'analyses bactériologiques.

b. Salle d'analyses physicochimiques :

Il est divisé en trois parties :

- Salle de panification où s'évalue la force panitaire ;
- Salle de stockage où se trouvent tous les matériels et les produits initiaux ;
- Salle d'analyse physico-chimique répartie elle-même en trois sections :
 - ✓ Section des analyses d'azote et de phosphate ;
 - ✓ Section des analyses de la mélasse ;
 - ✓ Section des analyses organoleptique ;
 - ✓ Section des analyses de l'eau.

Les deux laboratoires communiquent entre eux par une laverie pour le nettoyage du matériel.

c. Salle de réception :

C'est la section qui reçoit les différents types des échantillons pour les attribuer au laboratoire.

II. Procédure de la fabrication de la levure et principe fondamentaux :

1. Généralité sur la levure :

a. Définition :

La levure est un champignon microscopique unicellulaire et eucaryote. En effet, sa taille ne dépasse pas les 6 à 8 millièmes de millimètres (micron), à peine plus grand qu'une tête d'épingle ! A noter qu'un cube de 1 cm de côté pèse environ 1g et renferme, à lui seul 10 milliards de cellules vivantes de levure. Si l'on mettait bout à bout toutes les cellules contenues dans un bloc de 1 kilogramme de levure, on obtiendrait une chaîne de 40 000 kilomètres, soit la circonférence de la Terre. [1]

Il existe plusieurs espèces de levure. La plus connue s'appelle *Saccharomyces cerevisiae* appelé aussi « levures de bière » et « levure de boulangerie ». Etymologiquement « saccharo » vient de sucre, « Myes » de champignon (moisissure) et « cerevisiae » signifie « brasserie » en latin.

b. Structure de levure :

Il existe plus de 500 espèces de levures, mais seulement une petite partie de celles-ci est considérée comme ayant une importance commerciale, parmi elles, celle utilisée dans la fabrication de la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae*. Sa structure est la suivante :

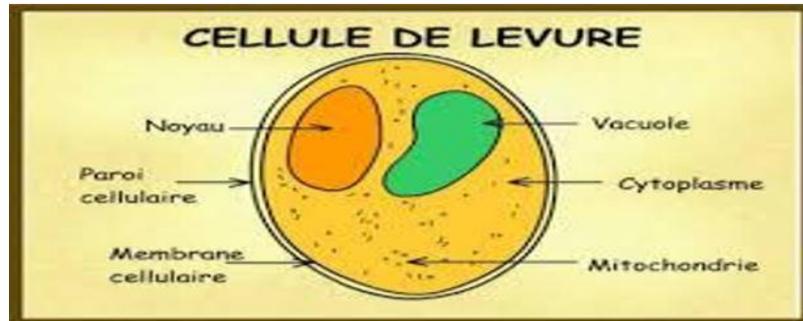


Figure 2 : structure de la levure *Saccharomyces Cerevisiae*

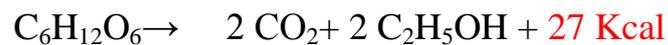
c. Métabolisme de la levure :

La levure, comme tout être vivant, vit en présence d'oxygène (aérobiose); mais elle a aussi la remarquable faculté de s'adapter à un milieu sans air (anaérobiose) :

La Respiration unicellulaire aérobie qui transforme le glucose en dioxyde de carbone (ou gaz carbonique, ou CO₂) c'est grâce à elle que l'on fait lever le pain :



La Fermentation alcoolique anaérobie qui transforme le glucose en alcool (éthanol) : les boissons alcoolisées fermentées telles que le vin et la bière fabriqués de cette façon :



d. Mode de reproduction :

Les modes de reproduction varient en fonction des espèces de levures elles peuvent se multiplier par :

- Scissiparité : fission d'une cellule de levure en deux cellules filles identiques à la cellule mère.
- Bourgeonnement : la plupart des levures se reproduisent par bourgeonnement, une petite hernie apparaît en un point de la surface d'une cellule mère, grossit et s'étrangle. Le bourgeon (cellule fille) se détache, grossit et bourgeonne à son tour.



Figure 3 : Reproduction par bourgeonnement du *Saccharomyces cerevisiae*

2. Production industrielle de la levure :

a. Matières premières :

Comme tout être vivant la levure a besoin de :

- Source de carbone : La mélasse présente pour la levure une source de carbone, sa préparation « 75% Betterave + 25% canne » consiste en une :
- Source d'azote, de sulfate et de phosphate (Urée, Sulfate d'ammoniac, mono ammonium phosphate) : sels nutritifs.
- Source de minéraux et de vitamines.

b. Les étapes de production :

✚ A l'échelle du laboratoire : Ensemencement

Chaque mois, la société LESAFFRE Maroc reçoit de la France deux souches de *Saccharomyces cerevisiae*. Une destinée à la levure fraîche et l'autre à la levure sèche. Ces souches sont ensemencées dans des tubes dans un milieu nutritif spécifique à la croissance des levures pour préparer 60 tubes par mois (30 tubes de chaque souche). Cette étape demande un travail dans des conditions strictement aseptiques pour éviter tout risque de contamination, puis le contenu des tubes est transvasé dans un petit icône appelé « Van Lear » dont le milieu nutritif très riche laissera possible une première multiplication des cellules, puis, le contenu de « Van Lear » est versé dans un ballon plus grand appelé « Carlsberg » où elles se multiplient à nouveau.

✚ A l'échelle industrielle

❖ La Pré-Fermentation :

Après l'incubation dans la cuve de 800L, le moût obtenu passe à la cuve de la pré-fermentation où on ajoute des éléments nutritifs, eau, mélasse stérile, sels minéraux,

oligoéléments et vitamines, dont cet ajout se fait d'une manière semi-continu selon les besoins.

❖ La Fermentation :

Après la pré-fermentation on passe à la fermentation qui se fait dans des grandes cuves, dans cette étape l'alimentation en mélasse et les autres ingrédients est continue après certain temps (17h) on aura une grande population de levure sous forme liquide qu'on appelle le Moût.

On ajoute aussi un anti-mousse pour éviter les mousses qui se produisent lors de la fermentation ; Les grandeurs qui influencent la levure sont la température, le pH, le taux d'alcool. La température est contrôlée à l'aide d'un régulateur lié à un échangeur de chaleur qui refroidit le mout pour ne pas tuer la levure.

❖ Séparation :

La séparation s'effectue en deux étapes de procédé : Après l'obtention de la levure mère et après l'obtention de la levure commerciale ; Le principe repose sur la séparation des cellules de levures des restes du milieu nutritif par centrifugation. On obtient un liquide léger « le moût délavé », et un liquide dense « la crème ».

❖ Filtration :

Consiste à éliminer l'eau présente dans la levure pour la préserver d'une éventuelle contamination puisque l'eau facilite l'altération par des micro-organismes.

La crème arrive au niveau d'un filtre rotatif qui contient une couche filtrante d'amidon, dont le but de ne laisser pénétrer que l'eau.

La crème étant étalée sur la surface de filtre et récupérée sous forme de levure râpée.

❖ Conditionnement :

- Levure fraîche :

Le boudin de levure pressée est découpé en pain de 500g, qu'on enveloppe individuellement dans un papier paraffiné. Après mise en carton, la levure est conservée en chambre froide afin d'être réfrigérée à cœur avant son expédition.

- Levure sèche :

Pour la levure sèche, le gâteau provenant de la filtration sous vide est transformé en vermicelle à l'aide d'une grille de porosité connue, ensuite elle est transférée au sécheur par une conduite vibratoire afin d'éliminer le maximum d'eau restant dans la cellule sans l'endommager .

Conservation :

La levure fraîche est conservée à 4°C, alors que la levure sèche est conservée a des conductions préférées.

La chaine de production de la levure est représentée selon la figure suivante :

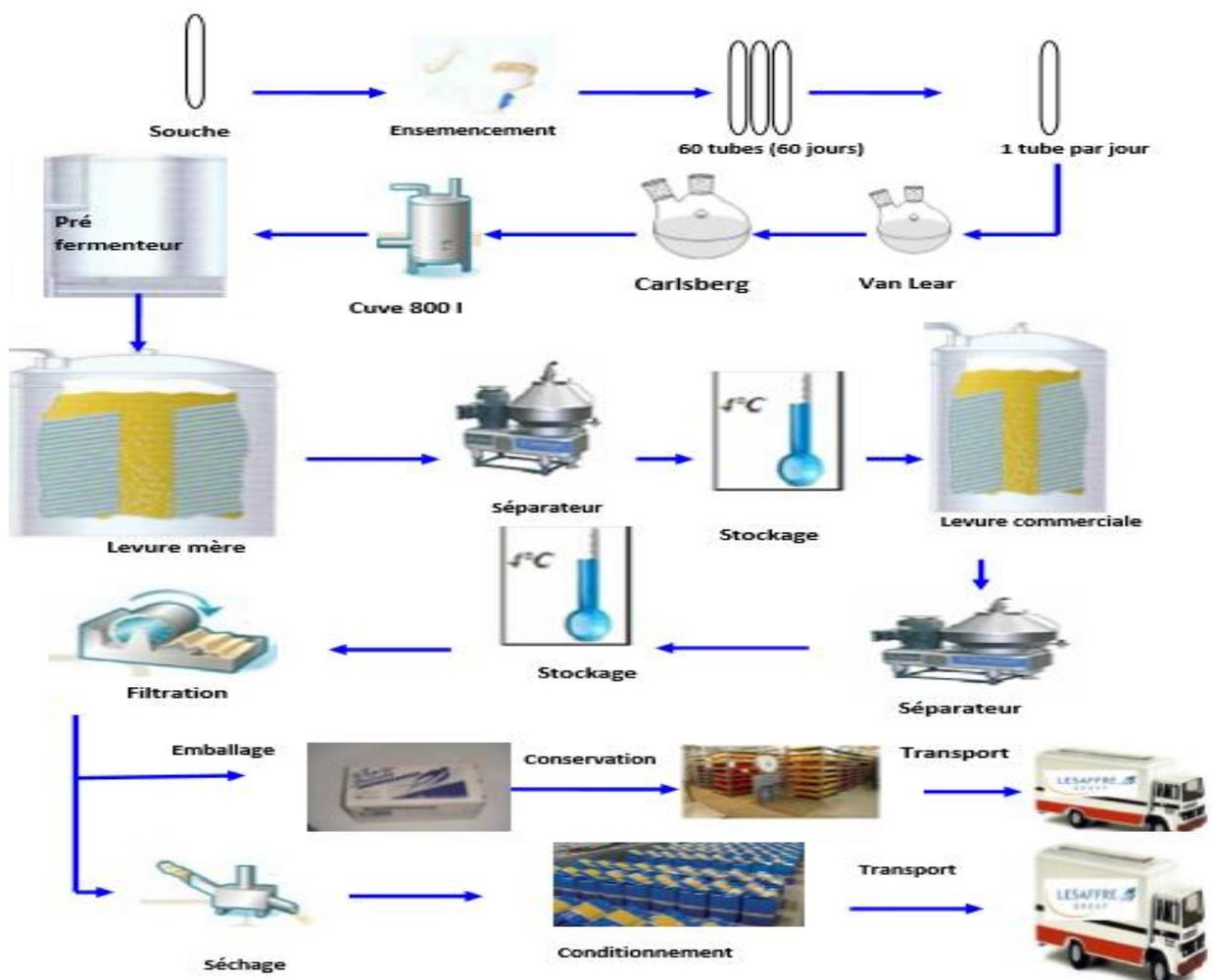


Figure 4 : la chaine de production de la levure

Chapitre 2 : Traitement des eaux de LESAFFRE MAROC

I. Généralité :

L'eau est une ressource naturelle essentielle à la vie. C'est le milieu de vie de la plupart des êtres vivants. Elle se trouve en général dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques, c'est notamment un solvant efficace.

1. Propriétés :

L'eau pure est un liquide inodore et sans goût sous une pression atmosphérique normale (760 mm de mercure) le point de congélation de l'eau est de 0°C et son point d'ébullition est de 100°C.

L'eau est un des agents ionisant les plus connus comme la plupart des substances sont solubles dans l'eau, on l'appelle fréquemment le solvant universel.

L'eau s'allie avec certains sels pour former des hydrates et réagit avec les oxydes des métaux pour former des acides.

Elle est utilisée comme Catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques importantes.

a. Etat naturel :

L'eau est le seul composé qui peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide et gazeux), aux températures ordinaires. A l'état solide glace on le trouve également sous forme de neige. Elle se présente à l'état liquide dans les nuages, gouttes et lacs d'eaux. Elle recouvre les trois quarts de la surface de la terre sous la forme de marais, On le trouve à l'état de gaz ou vapeur d'eau dans les brouillards et les nuages et l'humidité de l'atmosphère.

b. Les différents types d'eaux :

Suivant sa composition chimique qui induit son origine ou son usage, on précise :

- **Eau potable :** Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant potable, cuites ou utilisées à des fins domestiques et industrielles sans danger pour la santé. Elle peut être distribuée à partir de bouteilles, du robinet et dans l'industrie, à partir de citernes.

- Eau minérale : Les eaux minérales sont des eaux de source mais leur composition en minéraux et oligo-éléments est constante. L'eau minérale naturelle possède des propriétés favorables à la santé, mais certaines eaux contiennent des éléments qui prisent en grande quantité ou quotidiennement peuvent être néfastes.
- Eau dure : Une eau dure est une eau qui contient beaucoup de sels dissous, en particulier des sels de calcium et de magnésium en quantité variable selon la nature du sol lessivé par les eaux de pluie.
- Eau distillée : est une eau qui a subi une distillation, donc est théoriquement exempte de tous ses sels minéraux et organismes que l'on pourrait retrouver dans l'eau naturelle.
- Eau purifiée : est une eau issue d'un traitement physique destiné à supprimer les impuretés.
- Eau douce : est généralement caractérisée comme ayant de faibles Concentrations en solution des sels et d'autres solides dissous totaux.

c. Les principaux ions dans l'eau :

L'eau contient les anions et les cations :

<i>les cations</i>		<i>les anions</i>	
<i>calcium</i>	Ca^{2+}	<i>carbonate</i>	CO_3^{2-}
<i>magnésium</i>	Mg^{2+}	<i>bicarbonate</i>	HCO_3^-
<i>sodium</i>	Na^+	<i>chlorure</i>	Cl^-
<i>potassium</i>	K^+	<i>sulfate</i>	SO_4^{2-}
<i>Fer</i>	Fe^{2+}, Fe^{3+}	<i>nitrate</i>	NO_3^-
<i>manganèse</i>	Mn^{2+}	<i>silice</i>	SiO_2
<i>Zinc</i>	Zn^{2+}	<i>phosphate</i>	PO_4^{3-}
<i>cuivre</i>	Cu^{2+}	<i>hydroxyle</i>	OH^-

Tableau 1 : les principaux cations et anions dans l'eau

II. Traitement de l'eau : Procédés membranaires

Avant d'entamer les différents types de procédés membranaires et leurs modes de fonctionnement il est nécessaire de définir les termes suivants :

-La filtration sur membrane : est une technique qui utilise une membrane poreuse ou un filtre, pour séparer des particules dans un liquide. Les particules sont séparées selon leur taille et leur forme sous l'effet de la pression à travers des membranes munies de pores de différentes tailles.

Bien qu'il existe différentes méthodes de filtration sur membrane (osmose inverse, nano filtration, ultrafiltration et microfiltration). [3]

- Les membranes : Une membrane est une barrière physique permettant sous l'effet d'une force l'arrêt ou le passage de substances entre les deux milieux qu'elle sépare.
- Solvo-transfert : C'est une opération consiste, en revanche à faire traverser des membranes semi perméables par un fluide par convection forcée.

1. Différents types des membranes :

Les membranes sont classées Selon la nature de leurs matériaux constitutifs on parle également de :

- Membranes Organiques.
- Membranes Inorganiques (minérales).
- Membranes composites.
- Membranes échangeuses d'ions

Les matériaux doivent avoir une résistance chimique, thermique et mécanique en accord avec le procédé et le fluide utilisé. [4]

a. Membrane organique :

Elles sont fabriquées, pour la plupart d'entre elles, à partir des polymères (acétate cellulose, poly-sulfones, polyamides, etc.). Les qualités de ces matériaux leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. Environ 90 % des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constitués de membranes organiques.

b. Membranes minérales :

Les membranes minérales sont composées de corps entièrement minéraux (matières céramiques, métal fritté, verre...).

Les principales membranes inorganiques commercialisées sont réalisées aujourd'hui avec des supports composés d'éléments tubulaires ou multicanaux, généralement préparés par extrusion.

c. Membranes composites :

Apparues au début des années 1990, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo- minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels la zircone, l'alumine et le titane)

d. Membranes échangeuses d'ions :

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

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

2. Différents types de filtration membranaire :

Il existe quatre procédés membranaires à gradient de pression : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI). Ces procédés se distinguent par la taille et le type des espèces qu'ils peuvent séparer. [2]

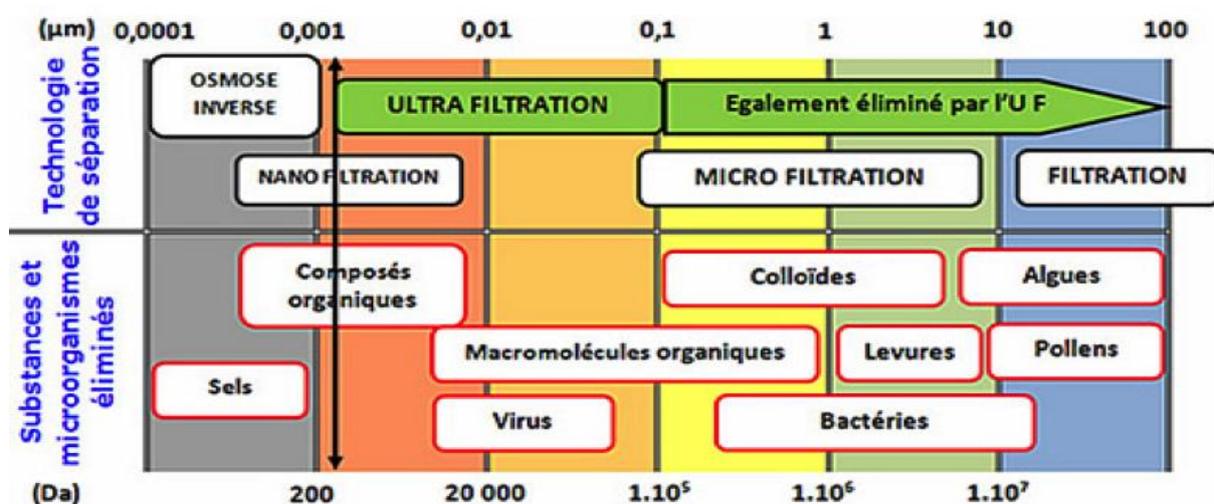


Figure 5 : échelle de taille d'espèces en solution et types d'opération de filtration associées

a. Microfiltration :

La microfiltration est un procédé de conservation des aliments par lequel les bactéries et germes indésirables sont extraits de l'aliment liquide. Cet aliment peut ultérieurement se conserver au froid pour une période limitée.

Ce procédé de séparation solide-liquide met en œuvre des membranes dont les diamètres de pore sont compris entre 0,1 et 10 μm . Il permet donc la rétention des particules en suspension et les bactéries.

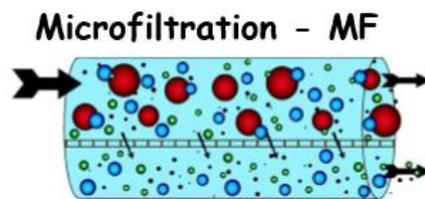


Figure 6 : principe de la microfiltration

b. Ultrafiltration :

L'Ultrafiltration utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes).

Les applications sont multiples. Parmi celles qui nous intéressent, on retrouve la séparation des métaux lourds après complexation ou précipitation, mais cela nécessite donc un ajout de produits chimiques.

L'Ultrafiltration (UF) est une sorte de filtration sur membrane où le liquide traverse une membrane semi-perméable grâce à une différence de pression (pression transmembranaire ou TMP). Les particules en solution ou en suspension à haut poids moléculaire sont retenues tandis que l'eau et les molécules de faible poids moléculaire passent à travers la membrane.

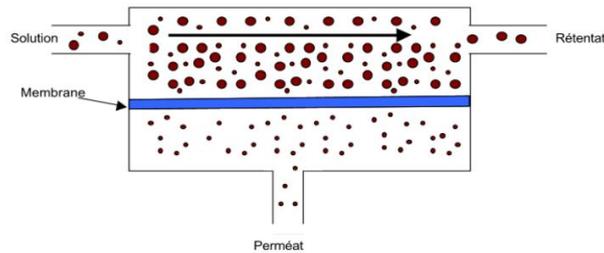


Figure 7 : principe de l'ultrafiltration

c. Nanofiltration :

Cette technique se situe entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å) d'où son nom.

Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 200 - 250 g/mol ne sont pas retenus par ce type de membrane.

Les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à environ 250 g/mol sont, par contre, fortement retenus.

La nanofiltration est effectuée sur une membrane semi-perméable et est principalement utilisée pour enlever les ions tels que les métaux lourds. Cette technique peut être perçue comme une filtration membranaire de type osmose inverse et de piètre qualité. En effet, la nano filtration utilise des membranes moins fines, la pression d'alimentation d'un système de nano filtration est généralement faible comparée à celle d'une osmose inverse.

Elle a été surtout utilisée dans l'adoucissement de l'eau (enlèvement des ions bivalents, en l'occurrence le calcium et le magnésium responsables de la dureté). Actuellement, c'est un procédé de choix pour le traitement des eaux de surface (eaux de lacs et rivières) et des eaux saumâtres (eaux de qualité intermédiaire entre l'eau de surface et l'eau de mer du point de vue de la salinité).

d. Osmose :

L'osmose est un phénomène de diffusion de la matière mis en évidence lorsque des molécules de solvant traversent une membrane semi-perméable séparant deux solutions dont les concentrations en soluté sont différentes ; le transfert de solvant se fait alors de la solution la moins concentrée (milieu hypotonique) vers la solution la plus concentrée (milieu hypertonique) jusqu'à l'équilibre (milieux isotoniques).

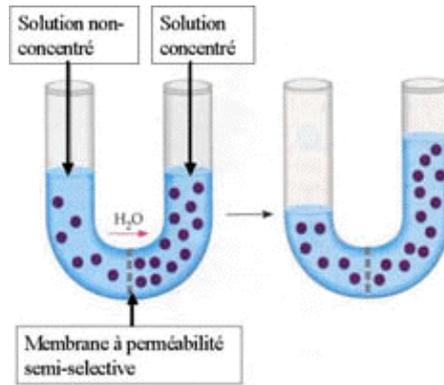


Figure 8 : principe d'osmose

III. Techniques d'osmose inverse :

1. L'osmose inverse :

Il s'agit de transférer le solvant d'une solution concentrée au travers d'une membrane semi perméable par mise sous pression, en vue d'obtenir un solvant quasi pur d'une part (perméat) et une solution hyper concentrée d'autre part (rejet).

On parle d'osmose inverse puisqu'on effectue le transfert du solvant dans le sens inverse de l'osmose. En clair, l'osmose inverse est un procédé physique naturel qui permet d'extraire de l'eau du réseau non seulement les éléments solides en suspension, les matières organiques dissoutes, mais aussi les substances non ioniques, telles que les bactéries, les virus, les pesticides et de manière générale toutes les macromolécules

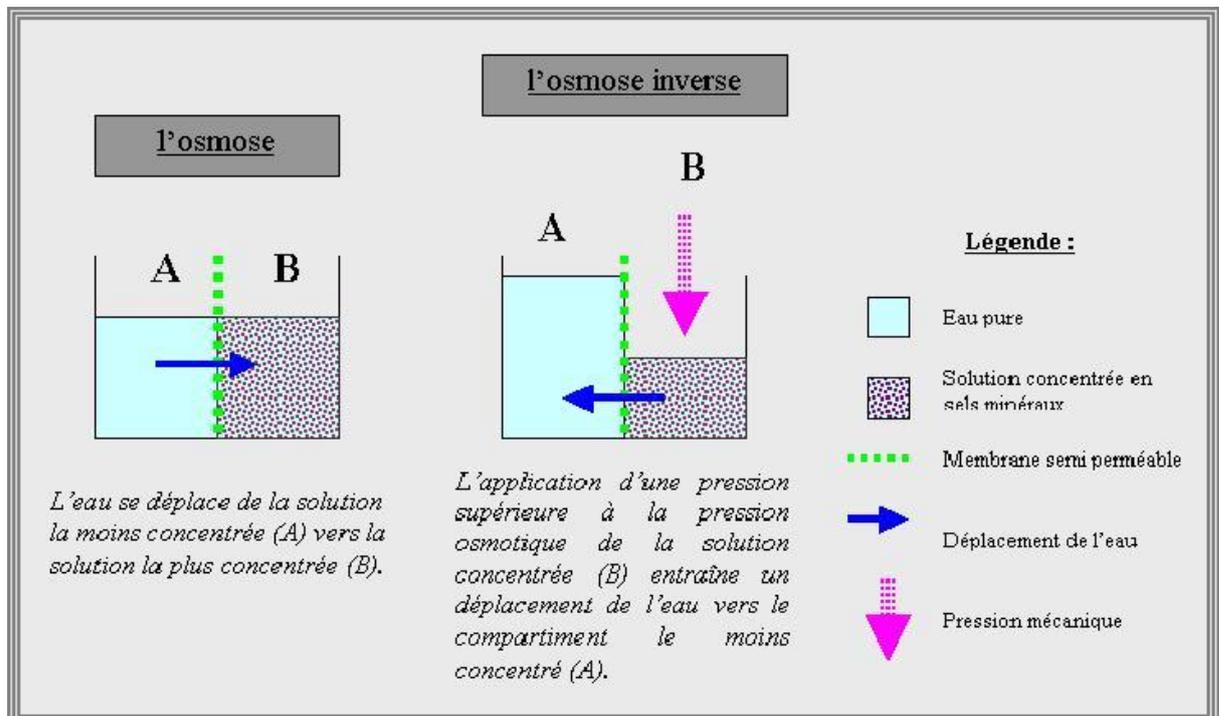


Figure 9 : principe d'osmose inverse

2. L'osmoseur :

L'osmoseur est un dispositif permettant de produire de l'eau considérée comme pure selon le principe de l'osmose inverse. Il débarrasse l'eau de la majeure partie de ses solutés tels que le chlore, les sulfates, les phosphates, etc....

L'élément principal du système est une membrane semi-perméable, généralement en composite polyamide/polysulfone, dont la taille des pores n'autorise que le passage des molécules d'eau pure. L'eau brute arrive donc sous pression sur la membrane et la traverse par osmose inverse. Cette pression doit être supérieure à 2.5 bars et la température de l'eau idéalement aux alentours de 20°C. Si on ne dispose pas de ce minimum de pression, on peut alimenter l'osmoseur par une pompe de surpression électrique (booster)

3. Différents types d'osmoseurs :

Il existe quatre types de modules sont :

- Les modules tubulaires
- Modules plans
- Modules à fibres creuses
- Modules spiraux

Dans la plupart des cas, le module membranaire est constitué au final d'une entrée (alimentation) et deux sorties, la partie du fluide étant passé à travers la membranaire (perméat) et la partie ayant été retenue (retentat).

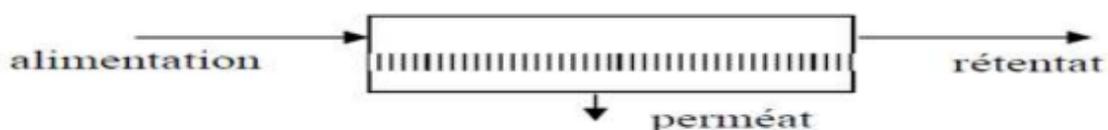


Figure 10 : principe d'un procédé de séparation membranaire

- 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 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.

L'écoulement à l'intérieur des tubes est turbulent. A cause de la taille des canaux tangentiels, cette configuration entraîne a priori une dépense d'énergie plus importante que dans les autres configurations.

➤ Modules plans : les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides.

➤ Modules à fibres creuses : les fibres creuses sont assemblées en parallèle suivant deux configurations :

-Configuration Int-Ext (schéma a) : comme c'est le cas pour les modules tubulaires, l'eau à traiter circule à l'intérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'extérieur des fibres. Il y a écoulement tangential canalisé à l'intérieur des fibres.

-Configuration Ext-Int (schéma b et c) : l'eau circule à l'extérieur des fibres et le perméat est récupéré à l'intérieur des fibres. L'écoulement entre les fibres est libre

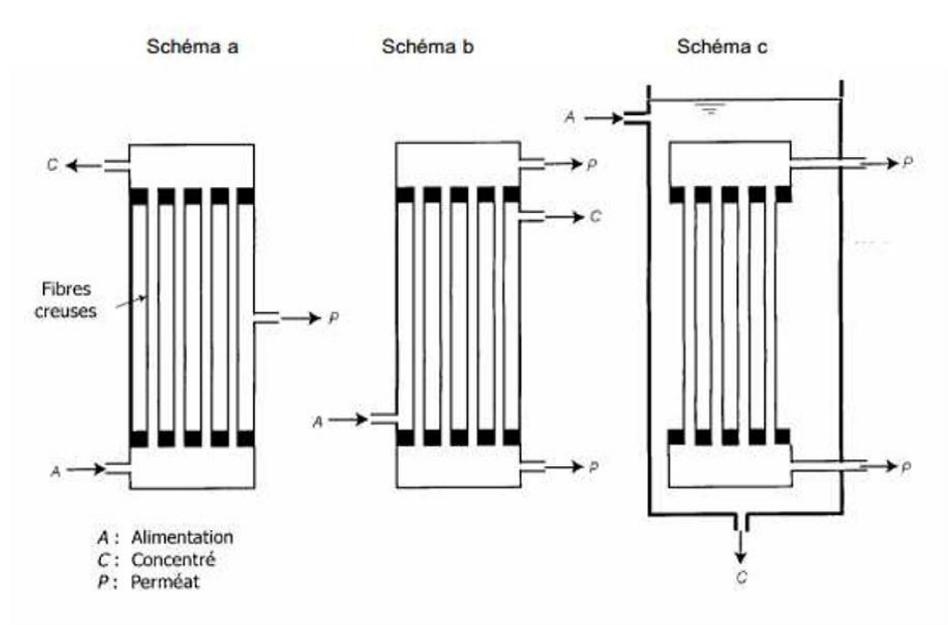


Figure 11 : module à fibres creuses

➤ Modules spiraux :

Au sein des modules spiraux, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour de tube poreux qui recueille le filtrat. On obtient ainsi un cylindre multicouche où le perméat s'écoule selon un chemin spiralé vers le tube poreux tandis que l'alimentation circule axialement dans les canaux.

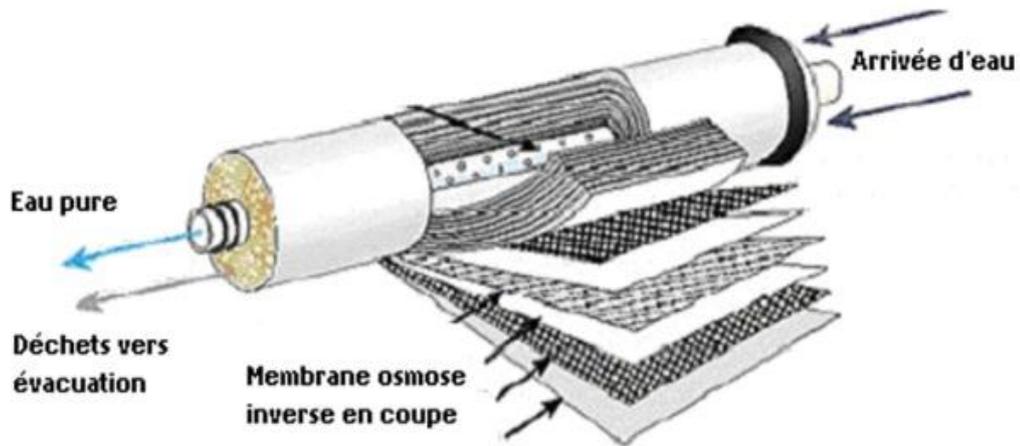


Figure 12 : structure interne d'un osmoseur spiral

4. Différentes étapes du traitement dans l'usine :

En amont de tout procédé de déminéralisation, comme c'est le cas de LESAFFRE MAROC, il est souvent nécessaire d'installer une unité de prétraitement pour donner à l'eau de ville des caractéristiques physico-chimiques (pH, THT, TAC, conductivité, chlorure...) qui soient compatibles avec la nature des membranes afin d'éviter leur colmatage par les matières en suspension et/ou par des dépôts de sels tels que CaCO_3 , CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , etc. Ainsi, le type de prétraitement dépend de la nature, des caractéristiques physico-chimiques de l'eau concernée et des conditions de fonctionnement choisies (taux de conversion, pression, etc.).

Pour cela Lesaffre Maroc a posé la procédure suivante :

- ✓ Filtration sur cartouches 50 μm

L'eau de ville passe par un filtre de porosité de 50 μm pour éliminer les matières en suspension.

- ✓ Filtre à charbon actif

Cette filtration se fait par deux filtres à charbon actif qui sont situés en aval de filtre de 50 μm afin d'éliminer :

- Les matières organiques

- les matières en suspension qui se sont échappées à pondant la filtration
- Cl₂ (élément néfaste pour les résines échangeurs d'ions)

- ✓ Pré filtration sur cartouches 10 µm et 1 µm

Pour clarifier l'eau.

- ✓ Le prétraitement pour éviter les précipitations de sels

Ajustement du pH : on ajoute de l'acide sulfurique (H₂SO₄) pour empêcher l'entartrage par CaCO₃ (pas d'ion carbonate dans l'eau).

Pour éliminer tout risque de précipitation de sels sur les membranes, un traitement est nécessaire afin d'éliminer ou de séquestrer soit l'anion, soit le cation du composé risquant de se précipiter.

Par l'intermédiaire d'une pompe doseuse asservie à un compteur d'impulsions, l'utilisation d'un dosage de séquestrant sera injecté afin d'éviter la précipitation de calcium sur les membranes.

Le séquestrant agit sur les ions susceptibles de former des complexes insolubles en augmentant la limite de solubilité du complexe.

- ✓ Osmose inverse

L'eau arrive au cœur du système, la membrane d'osmose inverse. Filtrant à hauteur de 1 nanomètre (0,001 micron), elle ne laisse passer que l'eau pure et élimine 98% des matières indésirables.

- ✓ Adoucisseur

Il alimente l'adoucisseur pour vérifier l'élimination complète des cations Mg²⁺ et Ca²⁺ qui sont responsables du tartre dans l'installation, l'eau est stockée dans un bac alimentaire de la chaudière responsable de la production de vapeur utilisée dans le procédé de fabrication de la levure.

Chapitre 3 : Etude expérimentale

La société LESAFFRE Maroc a installé un osmoseur afin d'éviter les problèmes de dépôt, de bouchage des installations et des conduites causées par le calcaire lors du traitement par les adoucisseurs.

Aux cours de mon stage au sein de cette société, nous avons procédé à faire des prélèvements des échantillons de différentes eaux dans la salle d'osmoseur à savoir, l'eau potable, l'eau déchlorée, l'eau avant l'osmose et après eau l'osmose.

L'objectif de notre travail consistait à faire des analyses physico-chimiques pour suivre les paramètres caractéristiques de ces eaux : THT, TAC, pH, Conductivité, Chlorure, Chlore, et mettre en évidence l'efficacité de l'osmoseur

I. Analyses physico-chimiques de l'eau

1. Conductivité :

La conductivité est la capacité d'une solution à transmettre le courant électrique ; Cette mesure est le signe de présence d'ions dans l'eau.

Plus l'eau contient d'ions (de sel dissous), plus sa capacité à conduire le courant est importante et plus sa conductivité est grande.

➤ Mode opératoire :

Cette mesure s'effectuera en immergeant dans la solution une cellule de mesure comportant l'électrode afin d'afficher directement sur l'écran électronique du conductimètre la valeur correspondante de la conductivité en en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

2. pH :

Le pH est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline et il est en fonction de l'activité des ions d'hydrogène H^+ présents dans cette eau.

➤ Mode opératoire :

La mesure effectuée par deux plaques combinées : une électrode hydrogène et une électrode de référence.

La différence du potentiel existant entre les deux plaques plongées dans la même eau est en fonction linéaire du pH de celle-ci.

3. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Généralement l'alcalinité est due à la présence des ions ; carbonates CO_3^{2-} , bicarbonates HCO_3^- et Hydroxydes OH^- .

Le titre alcalimétrique complet correspond à la neutralisation de toutes ces formes par un acide fort.

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

➤ Mode opératoire :

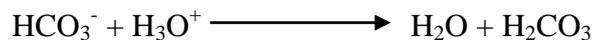
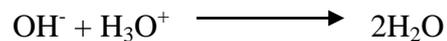
On prend 50 ml de l'eau à analyser, on ajoute quelques gouttes de méthyle orange comme indicateur coloré (la couleur de la solution devient jaune) et on dose la solution par l'acide chlorhydrique HCl (N/10) jusqu'à une coloration orange.

➤ Calcul :

$$\text{TAC} = (\text{volume tombé} \times 10)$$

TAC est exprimé en degré français (°f).

➤ Réaction mise en œuvre :



4. Titre hydrotimétrique total (THT) :

Le titre hydrométrique total est une caractéristique très importante. Il est dû aux ions bivalents; Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Sr^{2+} libres ou associés.

➤ Mode opératoire :

On ajoute pour 100 ml l'eau analysé, 5 ml de la solution tampon (pH=10), quelques gouttes d'indicateur (Noir Eriochrome) et on titre par l'EDTA (N/50) jusqu'au virage (coloration bleue).

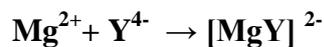
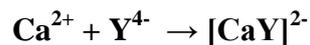
➤ Calcul :

$$\text{THT} = (\text{volume tombé}) * 2$$

THT est exprimé en degré français (°f).

➤ **Réaction mise en œuvre :**

C'est la réaction de complexation entre les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} et l'ion éthylène diamine tétra-acétate (EDTA) qui sera noté Y^{4-} .



5. Ions chlorure Cl^- :

Les ions chlorure peuvent provoquer des effets sur le taux de corrosion de l'acier et de l'aluminium. Ils peuvent favoriser la corrosion de certains métaux qui entrent dans la fabrication des canalisations, des pompes...

➤ **Mode opératoire :**

Dans un bécher on introduit 100ml d'un échantillon et quelque goutte de chromate de potassium (indicateur coloré). On dose par le nitrate d'argent $\text{AgNO}_3(\text{N}/10)$ jusqu'à l'apparition d'une coloration rouge brique.

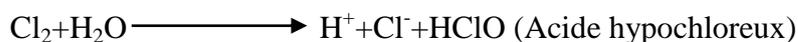
➤ **Calcul :**

$$[\text{Cl}^-] = 35,5 * (\text{volume tombé})$$

$[\text{Cl}^-]$ est exprimés en mg /l

6. Chlore :

Puissant désinfectants, le chlore et ses dérivés sont largement utilisé dans l'eau potable, l'eau des piscines, l'eau de refroidissement ainsi que dans d'autres systèmes de traitement afin de contrôler l'activité microbologique. La réaction de base est la suivante :



La concentration en chlore peut être exprimé en chlore libre, chlore actif, chlore total.

➤ **Chlore total :**

C'est la quantité de chlore injectée dans l'eau (avant transformation). C'est le potentiel de désinfection du chlore.

$$\text{Chlore Total} = \text{Chlore Libre} + \text{Chlore Actif}$$

➤ **Chlore Actif :**

C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans le mécanisme de la désinfection, c'est pourquoi il est appelé 'chlore actif'.

Le chlore actif possède l'action biocide la plus efficace et il est majoritaire en milieu acide.

➤ **Chlore résiduel libre :**

Après action du chlore sur la matière organique, azotés et autres composés oxydables, il subsiste un résiduel de chlore pour traiter la contamination éventuelle ultérieure de l'eau dans les réseaux, ce qui assurent le pouvoir rémanent du chlore.

II. Résultat et discussion :

1. Conductivité :

Les résultats de la conductivité des différents échantillons sont portés dans le tableau et le graphe suivants :

	A	B	C	D	E
1	date	eau potable	eau déchlorée	avant osmose	après osmose
2	27/04/2018	1218	1237	1230	148,4
3	30/04/2018	1223	1236	1236	150
4	01/05/2018	1208	1222	1221	146,8
5	02/05/2018	1192	1206	1211	143,2
6	03/05/2018	1188	1210	1211	137,3
7	04/05/2018	1174	1201	1193	138
8	07/05/2018	1035	1057	1056	123,5
9	08/05/2018	863	830	831	92,1
10	Moyenne	1137,625	1149,875	1148,625	134,9125
11	ECARTYPE	126,1913938	141,6912514	140,7682366	19,26480414

Tableau 2 : résultat de conductivité (µs/cm)

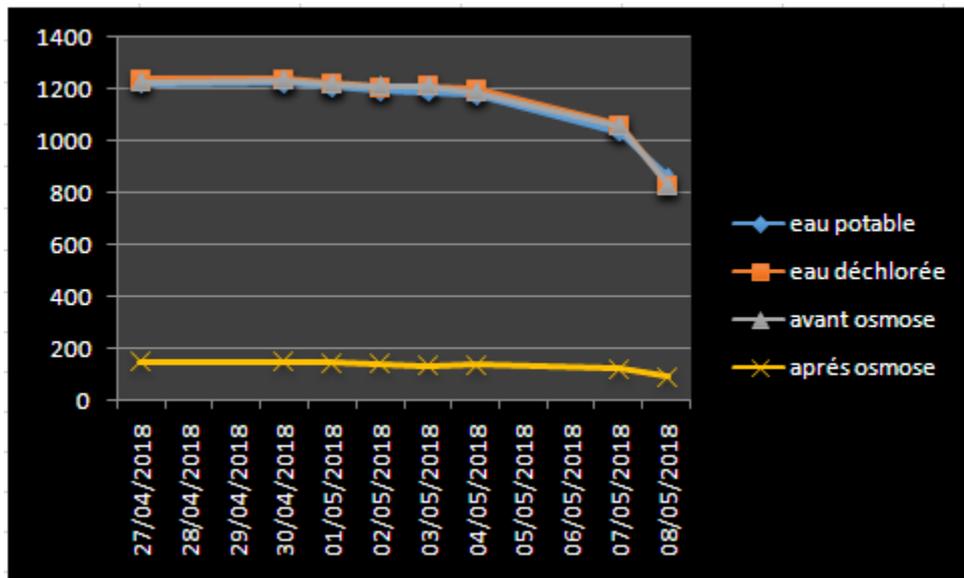


Figure 13 : graphe de la variation de la conductivité des différents eaux

Pour les premières étapes du traitement qui contiennent l'eau potable, l'eau déchlorée et l'eau avant l'osmose inverse, la conductivité est très élevée ceci est dû à la présence d'ions (de sel dissous) dans l'eau.

Après passage de l'eau dans l'osmoseur, la conductivité de l'eau ne dépasse pas 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à cause de la déminéralisation de ces eaux au niveau de l'osmoseur.

2. pH :

Le pH des différentes eaux sont regroupés dans le tableau suivant :

	A	B	C	D	E
1	date	eau potable	eau déchlorée	avant osmose	après osmose
2	27/04/2018	7,74	6,55	6,73	6,5
3	30/04/2018	7,9	7,2	6,83	6,8
4	01/05/2018	7,86	7,17	6,91	6,64
5	02/05/2018	7,83	7,08	6,85	6,56
6	03/05/2018	7,7	6,85	6,78	6,53
7	04/05/2018	7,9	7,05	6,84	7,16
8	07/05/2018	7,7	7,13	6,76	7,03
9	08/05/2018	7,8	7,06	6,94	6,84
10	Moyenne	7,80375	7,01125	6,83	6,7575
11	ECARTYPE	0,082797084	0,214571833	0,072111026	0,243706498

Tableau 3 : résultat du pH

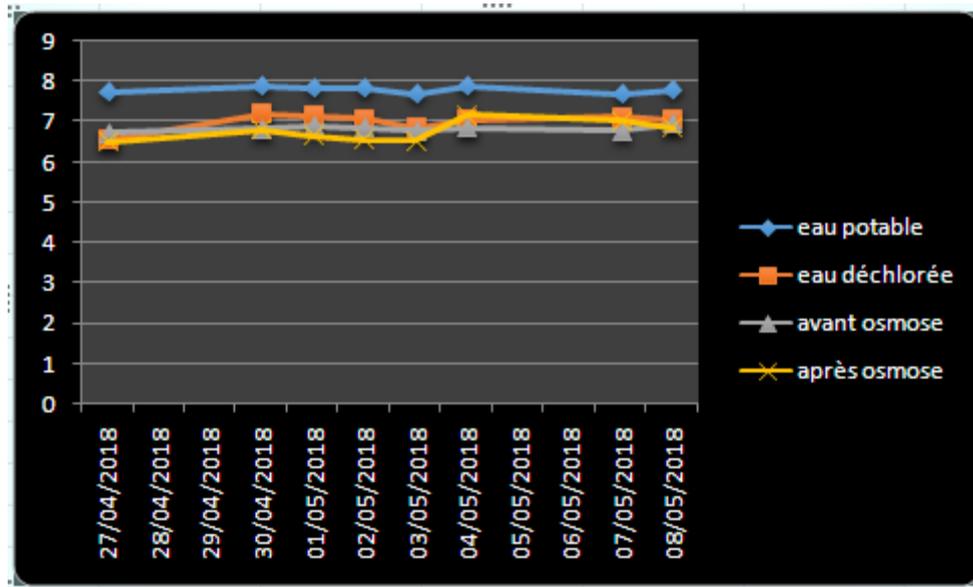


Figure 14 : variation du pH au cours du traitement de l'eau

D'après ce graphe, le pH de l'eau potable qui alimente la station est légèrement alcalin, sa valeur est presque constante, elle varie entre 7.7 et 7.9.

En comparant le pH de l'eau déchlorée avec le pH de l'eau avant l'osmose, on remarque une diminution du pH à la sortie des filtres à cartouches ou à leur niveau (entrée) s'effectue l'injection de l'acide sulfurique. Le rôle de ce dernier d'une part de modérer le coefficient du pH à 6,8 à l'entrée des membranes d'osmose inverse, car la membrane de l'osmoseur est sensible aux pH basiques.

D'autre part, l'injection de cette acide (H_2SO_4) à l'entrée de l'osmoseur a pour but d'éviter la précipitation des sels à base de sulfate et de carbonate sur les membranes.

Après passage de l'eau dans l'osmoseur, on constate un pH légèrement acide qui varie entre ($6 < pH < 7$).

3. Titre hydrométrique total (THT) :

Les résultats de THT exprimés en % des différentes eaux sont représentés dans le tableau et le graphe suivants :

	A	B	C	D	E
1	date	eau potable	eau déchlorée	avant osmose	après osmose
2	27/04/2018	30,4	32	30,8	0,2
3	30/04/2018	32	31,2	32	0,4
4	01/05/2018	32,96	28,8	30	0,3
5	02/05/2018	33,2	31,8	30,4	0,2
6	03/05/2018	31,2	31,2	33,6	0,2
7	04/05/2018	32,4	33,6	33,2	0,15
8	07/05/2018	28,8	28,8	30,4	0,3
9	08/05/2018	28	29,2	29,6	0,7
10	Moyenne	31,12	30,825	31,25	0,30625
11	ECARTYPE	1,918570897	1,738431148	1,503329638	0,178160241

Tableau 4 : résultats de la dureté totale (°f)

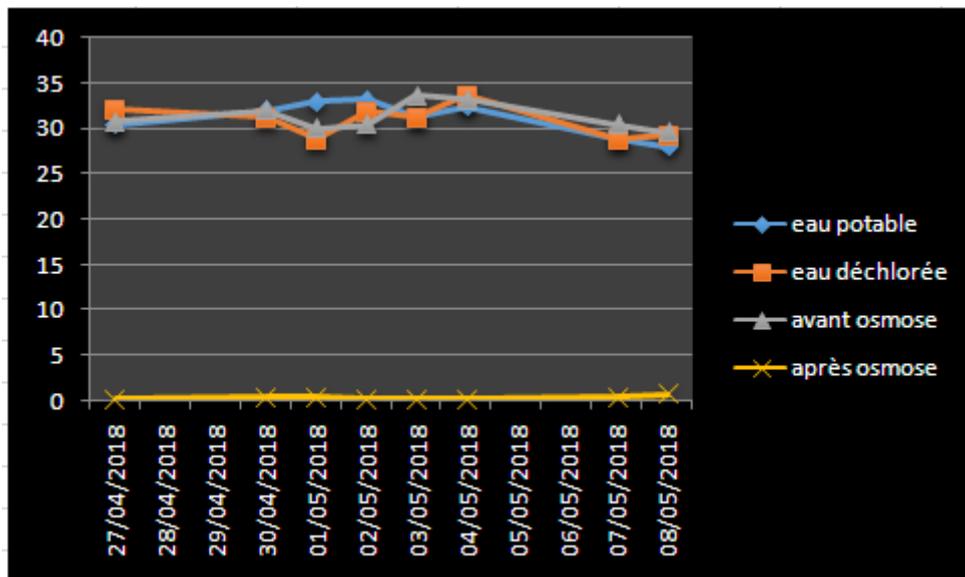


Figure 15: évolution de THT au cours de traitement de l'eau

Pour les premières étapes du traitement qui contiennent l'eau potable, l'eau déchlorée et l'eau avant l'osmose inverse, le THT est élevée ceci est dû à la présence des cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}) dans l'eau.

L'eau après l'osmose a une THT presque nulle, ceci est dû à l'élimination des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} par l'osmoseur.

L'élévation des valeurs de THT dans certains points, est expliquée par le fait d'encrassement des filtres placés avant l'osmoseur et qui créent une dépression au niveau de la pompe d'alimentation de l'osmoseur.

L'élimination de ces cations au niveau de l'osmoseur inverse réduit la durée de vie de la membrane. Pour cela on fait un nettoyage par un anti-scalant .

4. Résultats de titre alcalimétrique complet (TAC) :

Les résultats de TAC exprimés en °f des différentes eaux sont représentés dans le tableau et le graphe suivants :

	A	B	C	D	E
1	date	eau potable	eau déchlorée	avant osmose	après osmose
2	27/04/2018	26	20	20	4
3	30/04/2018	30	24	24	6
4	01/05/2018	25	22	22	4
5	02/05/2018	28	24	20	4
6	03/05/2018	26	20	20	4
7	04/05/2018	30	24	20	5
8	07/05/2018	26	22	22	5
9	08/05/2018	24	20	20	4
10	MOYENNE	26,875	22	21	4,5
11	ECARTYPE	2,232071427	1,8516402	1,511857892	0,755928946

Tableau 5 : résultats de TAC (°f)

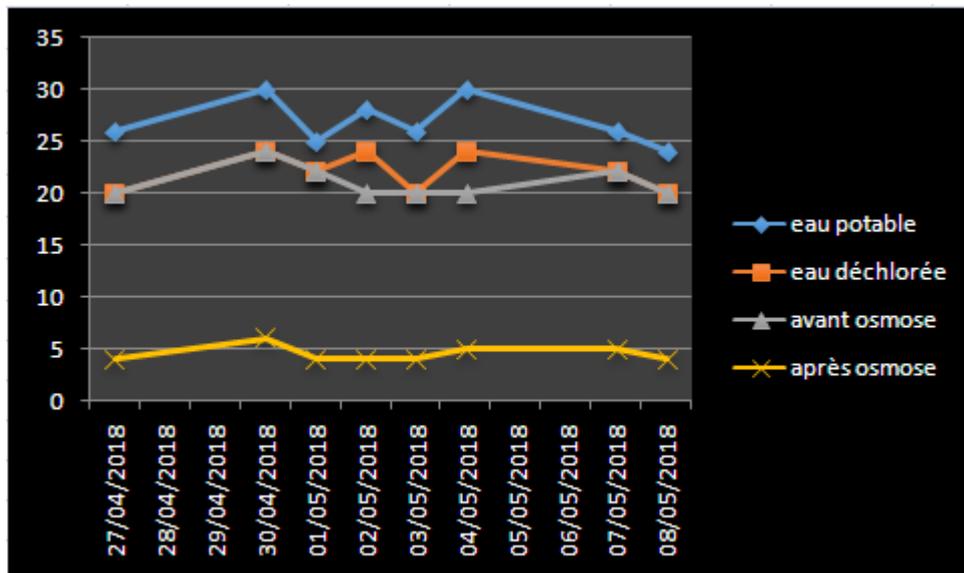


Figure 16 : évolution de TAC au cours de traitement de l'eau

On constate qu'il y a une variation importante de TAC entre l'eau avant et après l'osmose.

Avant L'osmose la moyenne de TAC est 21 °f alors que pour l'eau après l'osmose TAC est 4.5 °f. Cet écart est dû à la capacité d'osmoseur d'éliminer la majorité des carbonates CO_3^{2-} , bicarbonates HCO_3^- et hydroxyles OH^- .

5. Concentration en chlorure (Cl-) :

Les concentrations en chlorure exprimés en mg/l des différents eaux sont représentées dans le tableau et le graphe suivants :

	A	B	C	D	E
1	date	eau potable	eau déchlorée	avant osmose	après osmose
2	27/04/2018	241,4	225,425	225,425	84,49
3	30/04/2018	268,026	253,825	253,825	63,545
4	01/05/2018	225,425	225,425	211,58	52,185
5	02/05/2018	211,58	225,425	211,58	70,29
6	03/05/2018	225,425	211,58	225,425	70,29
7	04/05/2018	225,425	211,58	225,425	56,445
8	07/05/2018	183,18	183,18	183,18	67,45
9	08/05/2018	162,325	197,38	140,935	28,4
10	MOYENNE	217,84825	216,7275	209,671875	61,636875
11	ECARTYPE	32,8823069	21,2331212	34,07521218	16,6065185

Tableau 6 : résultats de la concentration en chlorure (cl-) en (mg/l)

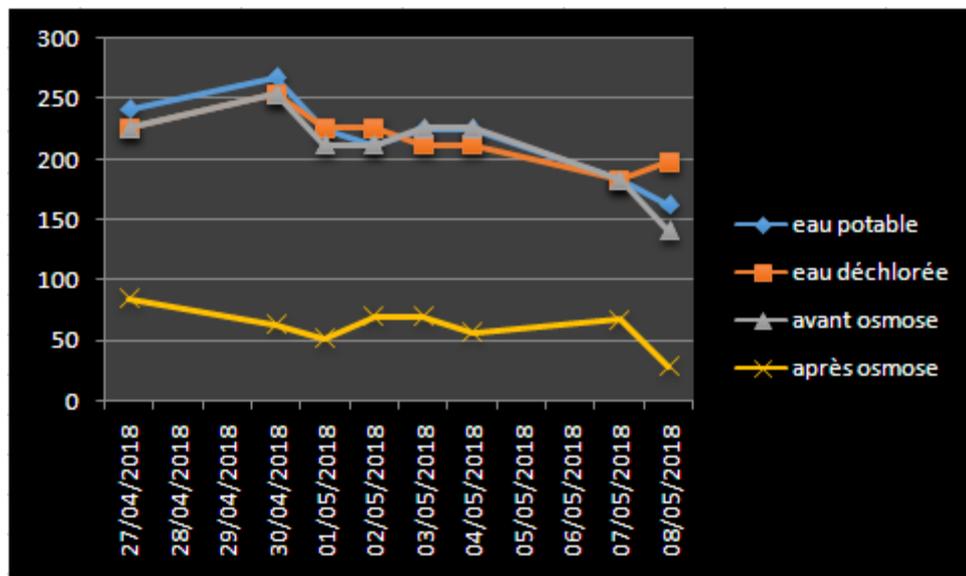


Figure 17 : évolution de la concentration en chlorure au cours de traitement de l'eau

La concentration en chlorure ne dépasse pas 270 mg/l pour l'eau potable ce qui est en conformité avec les normes.

La concentration en ion chlorure d'eau osmosée ne dépasse pas 90 mg/l.

6. Conclusion :

D'après l'étude expérimentale effectuée sur le traitement des eaux, on peut conclure que:

-L'eau après l'osmose a une meilleure qualité au niveau pureté par rapport aux autres types d'eau utilisés dans l'usine.

-Pour l'eau avant osmose, l'eau déchlorée, et l'eau potable nous avons obtenu les mêmes résultats d'analyses.

- La différence constatée c'est que l'eau avant osmoseur a subi un traitement par des filtres et par charbon actif ce qui explique cette différence.

	THT (°f)	TAC (°f)	Cl- (mg/l)	pH	Conductivité (µs/cm)
Eau. Potable	10 à 40	< 50	< 250	6,5 à 8,5	400 à 2000
E.osmosée	< 1	< 5	< 50	6 à 8	< 20

Tableau 7 : les normes physico-chimiques de différentes eaux utilisées selon OMS

Presque toutes les valeurs d'analyse de notre étude sont incluses dans la fourchette de la norme, par contre certaines valeurs comme le cas des chlorures ne sont pas incluses de cette norme, ce qu'implique que la société utilise des matériels selon un cahier de charge bien précis.

7. Efficacité d'osmoseur par paramètres :

$$\text{Efficacité} = 100 - (\text{moyenne eau osmosée/moyenne eau potable}) * 100$$

Les moyennes d'eau potable et d'eau osmosée pour chaque paramètre sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	THT	TAC	Cl ⁻	Conductivité
Eau potable	31,12	26.875	217,848	1137,625
Eau après l'osmose	0,306	4.5	61,637	134,912
Efficacité %	99.01%	83,25%	71,7%	88,14%

Tableau 8 : efficacité de l'osmoseur par rapport à chaque paramètre

Conclusion générale

La station de traitement des eaux constitue une unité stratégique pour la société LESAFFRE Maroc, compte tenu de son importance pour le refroidissement des cuves de fermentation de la levure et la production de vapeur nécessaire pour son séchage ainsi la stérilisation des cuves. D'où l'importance d'assurer une alimentation continue en eau traitée.

Depuis longtemps, la société LESAFFRE se base sur un traitement de l'eau par adoucissement qui ne permet pas d'avoir une eau à THT faible afin d'éviter le dépôt de calcaire au niveau de la chaudière et des échangeurs thermique. Par conséquent, LESAFFRE a eu recours, à la fin de l'année 2013, à la méthode de l'osmose inverse qui non seulement élimine les ions calcium et magnésium mais aussi élimine tous les ions trouvés dans l'eau.

Le travail demandé était de s'assurer de l'efficacité de l'osmoseur et son impact sur le produit fini et le matériel, ainsi que son rendement et ce par l'établissement d'un bilan hydraulique d'osmoseur.

Pour atteindre ces objectifs, des analyses de l'eau avant (eau potable) et après osmoseur (eau osmosée) ont été effectuées, et qui ont permis de constater que l'osmoseur élimine 99.01% des actions Mg^{2+} et Ca^{2+} (THT), 83.25% des carbonates (CO_3^{2-}) bicarbonates (HCO_3^-) et les hydroxydes (OH^-), 71.7% des ions chlorures (Cl), de l'eau d'alimentation, et par conséquent une efficacité de 88,14% au niveau de la conductivité. Cela signifie le bon fonctionnement d'osmoseur à avoir une eau qui tend vers le maximum de pureté, donc une réduction du risque de formation de tartre au niveau du matériel (chaudière et échangeurs thermique), ainsi l'amélioration de la qualité des conditions de multiplication cellulaire au sein des fermenteurs (optimisation de la biomasse).