



Année Universitaire : 2013-2014

**Master Sciences et Techniques : CMBA
Chimie des Molécules Bio Actives**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Etude de l'efficacité d'osmoseur
et son impact sur la levure**

Présenté par:

Ali EL JANATI

Encadré par:

Mr : Ali BENNANI (LESSAFRE Maroc)

Pr: Mr. Mohammed ELASRI (FST Fès)

Soutenu Le 20 juin 2014 devant le jury composé de:

- **Pr : Mr. Mohammed ELASRI**
- **Pr : Mr. Fouad OUAZZANI CHAHDI**
- **Pr : Mr. Youssef KANDRI RODI**

Stage effectué à : LESAFFRE Maroc





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques



Nom et prénom: ELJANATI Ali

Année Universitaire : 2013/2014

Titre: Etude de l'efficacité d'eau par osmoseur et son impact sur la levure.

Résumé

La fermentation de la levure au sein de LESAFFRE Maroc se réalise selon deux échelles (laboratoire et industriel). Lors de la multiplication de la cellule de la levure, elle libère une quantité d'énergie thermique, c'est une réaction exothermique qui entraîne l'augmentation de la température, qui peut tuer les cellules de levure. D'autre part, la stérilisation des fermenteurs et le séchage de la levure sèche se réalisent par la vapeur produite par la chaudière. D'où l'importance d'assurer une alimentation continue en eau traitée.

Pour cela, la société dispose d'une station de traitement d'eau par osmoseur. Ce dispositif a été acquis par la société LESAFFRE Maroc à la fin de l'année 2013, pour améliorer d'une part, l'efficacité de l'échangeur thermique et la chaudière d'autre part, améliorer la qualité des conditions de multiplications cellulaire au sein des cuves de fermentation (optimisation de la biomasse).

Dans ce contexte, nous sommes fixés comme objectif de s'assurer de l'efficacité de l'osmoseur et son impact sur le produit fini et ce à travers, d'une part, des analyses de l'eau et du traitement statistique des résultats, et d'autre part, l'établissement du bilan hydraulique de l'osmoseur.

Mots clés: levure, osmose inverse, osmoseur, membrane, calcaire, traitement statistique.



Table des matières

| | |
|---|----|
| Introduction générale..... | 1 |
| Chapitre I : Présentation générale de la société | 2 |
|  | |
| I. Présentation de la société LESAFFRE Maroc | 3 |
| II. Généralités sur la levure..... | 4 |
| III. Procédé de production de la levure..... | 6 |
| a) Echelle laboratoire | 6 |
| b) Echelle industriel | 6 |
| Chapitre II : Les technologies de traitement d'eau | 10 |
| I. Généralités sur l'eau | 11 |
| 1) Les différents types d'eaux..... | 11 |
| 2) Les principaux ions dans l'eau | 12 |
| 3) Les procédés de traitement | 12 |
| II. Procédés membranaires | 13 |
| 1) Classification des procédés membranaires | 14 |
| 2) Modes de fonctionnement..... | 14 |
| 3) Les différents types des membranes..... | 16 |
| 4) Les différents types de filtration membranaire..... | 18 |
| III. L'OSMOSEUR..... | 22 |
| 1) Définition | 22 |
| 2) Différents types d'osmoseurs | 23 |
| Chapitre III : Partie expérimentale..... | 25 |
| I. Introduction..... | 26 |
| II. Traitement d'eau avant utilisation d'osmoseur (adoucisseur)..... | 26 |



| | |
|---|----|
| 1. Définition d'un adoucisseur..... | 26 |
| 2. Principe de fonctionnement d'un adoucisseur..... | 26 |
| 3. Interprétation des analyses d'eau adoucie | 27 |
| III. Traitement d'eau par osmoseur | 28 |
| 1. Circuit d'eau | 28 |
| 2. Paramètres physico-chimiques d'eau | 30 |
| 3. Les caractéristiques physico-chimiques des différents eaux utilisées.... | 32 |
| 4. Etude expérimentale | 33 |
| 5. Efficacité d'osmoseur par paramètres | 45 |
| 6. Bilan hydraulique d'osmoseur..... | 46 |
| IV. Impact de traitement d'eau sur la levure | 47 |
| 1. Influence sur la biomasse..... | 47 |
| 2. Influence sur les dépenses | 49 |
| Conclusion générale | 50 |



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 LESAFFRE Maroc à la fin de l'année 2013 pour améliorer d'une part, l'efficacité de l'échangeur thermique et la chaudière d'autre part, améliorer la qualité des conditions de multiplications cellulaires au sein des cuves de fermentation (optimisation de la biomasse).

Dans ce contexte, nous sommes fixés comme objectif de s'assurer de l'efficacité de l'osmoseur et son impact sur le produit fini et ce à travers, d'une part, des analyses de l'eau et du traitement statistique des résultats, et d'autre part, l'établissement du bilan hydraulique de l'osmoseur.

Durant notre stage, nous avons réparti notre travail en deux parties :

- La première partie : est consacrée à un rappel bibliographique sur la levure et ses différentes étapes de production, ainsi les technologies de traitement des eaux.
- La deuxième partie : traite la partie expérimentale qui consiste à effectuer des analyses de l'eau avant et après utilisation d'osmoseur, un traitement statistique des résultats ainsi que l'étude de l'impact du traitement de l'eau par osmose inverse sur la levure.

Chapitre I : Présentation générale de la société



I. Présentation de la société Maroc

En 1993, la société SODERS a été majoritairement détenue par le groupe Français LESAFFRE et portant aujourd'hui comme nouvelle appellation « LESAFFRE Maroc », elle présente la première entreprise privatisée du Maroc bénéficiant de l'expérience et de l'expertise du leader mondial dans la fabrication de la levure de panification.

LESAFFRE Maroc fabrique et commercialise de la levure et des améliorants de panification : les marques Jaouda comme levure fraîche, et Rafiaa et Nevada comme levure sèche, ajoutant à cela un type spécial destiné et fabriqué pour saturer les besoins des forces armées royales (FAR) en levure, ainsi que Ibis bleu et Magimix comme des améliorants de panification. Sa large gamme de produits a fait aujourd'hui de LESAFFRE Maroc le leader avec excellence sur le marché professionnel.

Bénéficiant de l'expertise et du savoir-faire du groupe LESAFFRE, elle possède un laboratoire d'analyse qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et bactériologiques. La qualité des levures est ainsi sans cesse évaluée afin d'optimiser leurs performances : force fermentative, pureté, stabilité et résistance par rapport au contexte climatique et il a reçu 2 trophées :

- le trophée du prestige arabe en 1984 à Barcelone.
- le trophée international de la qualité en 1985 à Madrid.

Par ailleurs, le service qualité de la Société assure un suivi des produits en faisant réaliser quotidiennement des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'à la livraison aux clients, il valide à chaque étape de fabrication la conformité des produits à un cahier de charge très strict.

II. Généralités sur la levure

Les levures sont des champignons microscopiques unicellulaires et eucaryotes, sont utilisées dans la fabrication du vin, du pain, de la bière et sont souvent utilisées comme aliments pour le bétail en raison de leur richesse en protéines et en vitamines B.

Elles sont capables de :

- Dégrader les aliments qui se trouvent dans leur milieu de culture grâce à une gamme très étendue d'enzymes d'hydrolyse telles que des lipases, protéases, saccharases et lactases.
- Effectuer les synthèses dont elles ont besoin pour leur croissance.

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* qui est naturellement présente dans l'air et peut se déposer sur la paroi des végétaux ou sur les aliments. En absence d'air, elle tire l'énergie nécessaire à sa vie du processus de fermentation paninaire. En présence d'air, elle réalise des réactions de respiration et se multiplie abondamment. Ce processus est exploité lors de sa production industrielle.

La mécanisation des opérations de panification s'accroît. Les fermentations sont de mieux en mieux maîtrisées, soutenues notamment par une recherche active qui touche une meilleure connaissance du métabolisme des levures, la sélection des souches et l'amélioration des techniques de fabrication.

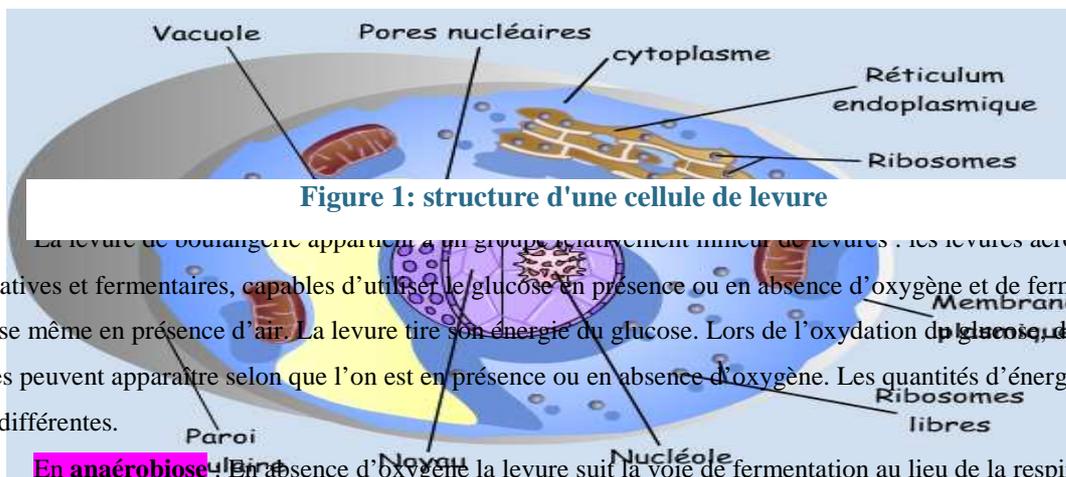


Figure 1: structure d'une cellule de levure

La levure de boulangerie appartient à un groupe relativement limité de levures : les levures acrobies facultatives et fermentaires, capables d'utiliser le glucose en présence ou en absence d'oxygène et de fermenter le glucose même en présence d'air. La levure tire son énergie du glucose. Lors de l'oxydation du glucose, deux cas de figures peuvent apparaître selon que l'on est en présence ou en absence d'oxygène. Les quantités d'énergie libérées sont alors différentes.

En anaérobiose, en absence d'oxygène la levure suit la voie de fermentation au lieu de la respiration dont le sucre est fermenté et son oxydation est incomplète selon la réaction suivante :



La levure assimile le glucose à l'aide de plusieurs enzymes en produisant le gaz carbonique, l'éthanol et une énergie thermique de 56 kcal.



En aérobiose : En présence d'oxygène la levure suit la voie de respiration au lieu de la fermentation dont l'oxydation du glucose est complète selon la réaction suivante :



La levure assimile le glucose à l'aide de plusieurs enzymes en produisant le gaz carbonique, l'eau et une énergie thermique de 688 kcals.

L'ensemble de ces réactions est la base de la fermentation panair : le gaz carbonique provoque la levée de la pâte tandis que les métabolites secondaires contribuent à la création du goût et de l'arôme du pain.

III. Procédé de production de la levure

a) Echelle laboratoire

A partir d'une souche soigneusement sélectionnée on obtient une cellule de "Saccharomyces cerevisiae" qui est inoculée dans un ballon de culture appelé Van Lear à une température inférieure à 5°C contenant un milieu nutritif pour favoriser la première multiplication et donc l'obtention de plusieurs cellules, après 24h les levures obtenues sont inoculées dans une autre verrerie nommée Carlsberg à une température de 28°C et on laisse 24h avec une agitation pour l'aération de la levure.

On obtient donc une quantité de levure suffisante pour passer à l'échelle semi industriel qui se déroule dans une cuve de 800 litres en ajoutant cette fois la mélasse et d'autres ingrédients tels que l'Urée qui contient de l'azote et le phosphate que la levure nécessite ainsi qu'une quantité d'air (O₂).

b) Echelle industriel

* Pré-fermentation

Cette opération se poursuit dans un pré-fermenteur bien nettoyé par la soude à une température de 90 °C et rincé à l'eau. Avant le refoulement du volume de 800L, le milieu doit être préparé par les éléments suivants : la cuve est remplie par le volume d'eau nécessaire, on ajoute le sulfate de magnésium, les vitamines, l'eau de javel pour la stérilisation et l'acide sulfurique pour ajuster le pH.

La mélasse, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate sont ajoutés graduellement au cours du pré-fermentation selon les besoins de la levure. L'air aussi est apporté graduellement avec le temps suivant la concentration de la levure dans le milieu.

* fermentation de la levure mère



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

On ajoute aussi une anti-mousse pour éviter les mousses qui se produisent lors de la fermentation.

* Séparation de la levure mère

Dès que la fermentation de la levure mère touche sa fin, on arrête la nutrition, le moût levuré est envoyé vers un séparateur centrifuge afin de séparer la phase solide (crème) de la phase liquide (moût délevuré). La crème obtenue sera stockée dans des cuves munies d'un système de refroidissement pour assurer une température de 4°C.

* Fermentation de la levure commerciale

La crème déjà séparée constitue le pied d'ensemencement pour la fermentation commerciale. Cette étape de fermentation se déroule dans des fermenteurs de capacité plus grande, elle permet d'obtenir le produit fini, son principe est le même que celui de la fermentation de la levure mère, Après 17 h de fermentation, le contenu est refoulé vers la station de séparation.

* Séparation de la levure commerciale

Cette station comporte deux lignes de séparation en parallèle, et au niveau de chaque ligne se trouvent deux séparateurs montés en série, le premier sépare le moût délevuré de la crème et le deuxième séparateur fini le travail en mélangeant la crème avec l'eau pour éliminer le maximum de mout délevuré et éclaircir sa couleur. La crème commerciale ainsi obtenue est stockée dans des cuves de garde à une température de 4°C.

* Conditionnement

• Levure fraîche

Le conditionnement débute par la filtration de la crème sur des filtres rotatifs sous vide. Cette phase essentielle permet de passer d'une crème de levure à 22% de matière sèche à un gâteau de levure à 32% de matière sèche, donnant après boudinage la levure bien fiable que le boulanger recherche.

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 mélangé avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et donne aussi la couleur blanche caractéristique de la levure.

Le gâteau obtenu 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, tout en augmentant le taux de matière sèche.

On distingue deux types de levure sèche :

➤ **La levure sèche active ou SPH :**

Sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ quatre heures pour une qualité de 400kg à 500kg, et s'effectue à 45°C.

➤ **La levure sèche instantanée ou SPI :**

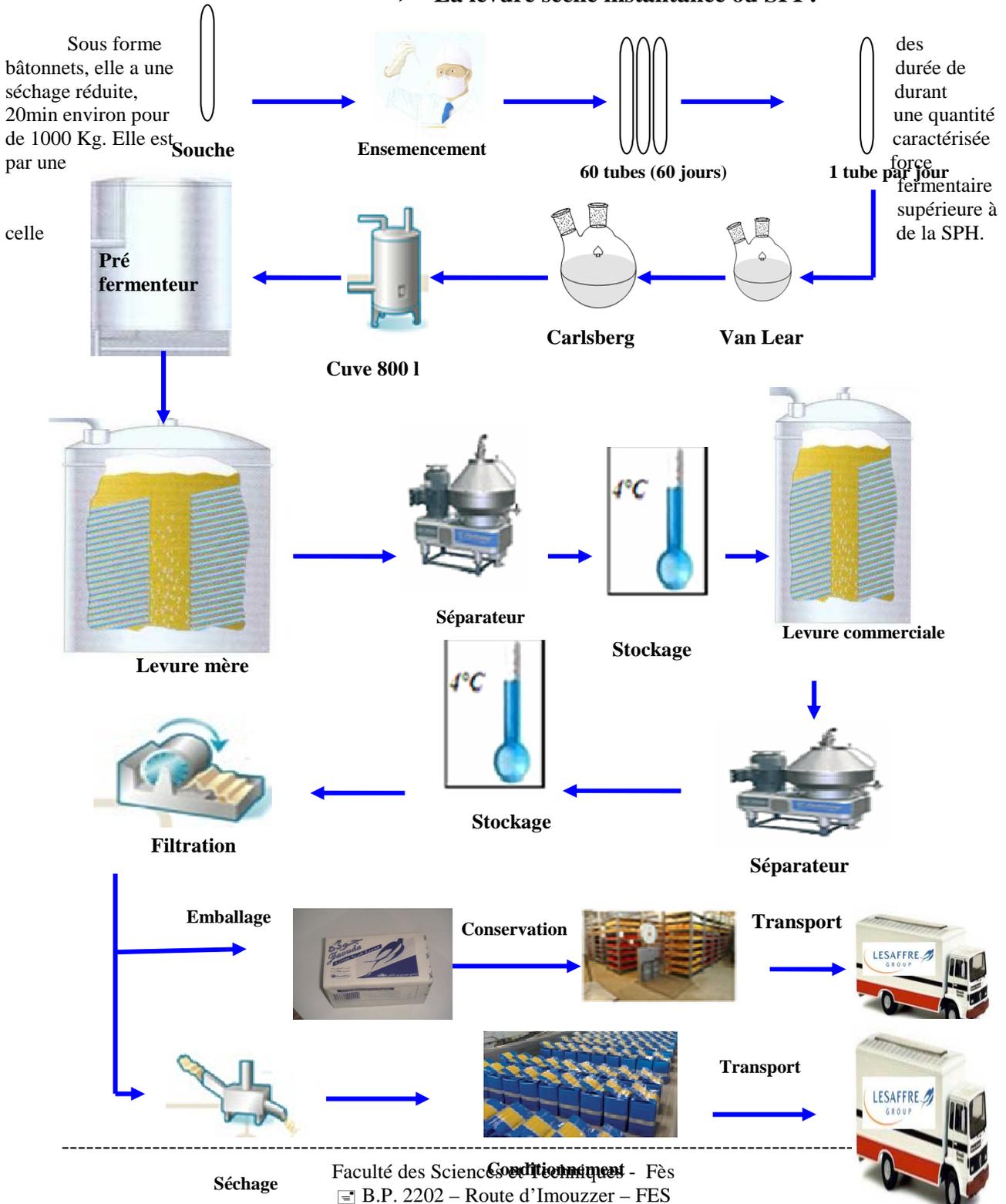


Figure 2: la chaîne de production de la levure



Chapitre II : Les technologies de traitement d'eau

I. Généralités sur l'eau

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.

L'alimentation en eau potable de la ville de FES et des centres gérés par la Régie est assurée à partir :

- Une production RADEEF : Forages et Sources (24% de la production totale).
- Une production ONEP : Forages et eau traitée de l'oued Sebou (76%).
- La Régie assure également l'alimentation en eau potable des villes et centres suivantes: SEFROU-BHALIL, SIDI HRAZEM, SKHINAT, RAS TBOUDA, BIR TAMTAM et TIMGANAY [1].

1) 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, cuite ou utilisée 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 [2].
- ❖ **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 [3].
- ❖ **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 [4].
- ❖ **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 [5].
- ❖ **Eau purifiée :** est une eau issue d'un traitement physique destiné à supprimer les impuretés [6].
- ❖ **Eau douce :** est généralement caractérisée comme ayant de faibles concentrations en solution des sels et d'autres [solides dissous](#) totaux [7].

2) Les principaux ions dans l'eau

| les cations | | les anions | |
|-------------|------------------|------------|--------------------|
| calcium | Ca^{2+} | carbonate | CO_3^{2-} |



| | | | |
|-----------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| magnésium | Mg ²⁺ | bicarbonate | HCO ₃ ⁻ |
| sodium | Na ⁺ | chlorure | Cl ⁻ |
| potassium | K ⁺ | sulfate | SO ₄ ²⁻ |
| Fer | Fe ²⁺ , Fe ³⁺ | nitrate | NO ₃ ⁻ |
| manganèse | Mn ²⁺ | silice | SiO ₂ |
| Zinc | Zn ²⁺ | phosphate | PO ₄ ³⁻ |
| cuiivre | Cu ²⁺ | hydroxyle | OH ⁻ |

3) Les procédés de traitement

Selon les valeurs paramétriques de qualité des eaux potables imposée par la réglementation, on peut classer les objectifs de traitement :

- ◆ Elimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des micro-organismes qui représentent des objectifs prioritaires.
- ◆ Elimination de la matière organique.

- ◆ Elimination des matières organiques dissoutes (micropolluants organiques).
- ◆ Elimination des matières minérales dissoutes (micropolluants minéraux).

Pour atteindre ces objectifs de qualité, un nombre de procédé s'offre au concepteur et exploitateur des eaux potables parmi ceci on peut distinguer :

- * Les procédés est dont le but principal est de clarifier les eaux (coagulation, floculation, décantation, flottation, filtration...).
 - * Les procédés dont l'objectif est d'éliminer les composés dissous (adsorption sur charbon actif, précipitation des sels dissous, échange d'ions, techniques membranaires...).
 - * Les procédés dont le but est de désinfecter les eaux (oxydation, techniques membranaires...)
- [8].

II. 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).

De manière à accroître la taille des pores, toutes ont pour but de purifier, fractionner ou concentrer des espèces dissoutes ou en suspension dans un solvant au travers d'une membrane.

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 [9].

1) Classification des procédés membranaires

On peut classer les procédés membranaires selon deux types de classifications :

- * A partir des composés qui passent à travers la membrane (soluté ou solvant).
- * A partir du type de membrane et de la forme d'énergie mise en jeu pour assurer le transfert du solvant et/ou du soluté [10].

| Source d'énergie | Mécanisme | Technique |
|----------------------------|-------------|---|
| -Gradient de concentration | -Diffusion | -osmose inverse et nano filtration -Micro, nano et ultrafiltration |
| -Gradient de pression | -convection | -électrodialyse |
| -Gradient de potentiel | -migration | |

Tableau 1: procédés membranaires en fonction d'énergie mise en jeu

2) Modes de fonctionnement

Les membranes peuvent être utilisées en filtration selon deux fonctionnements principaux. La filtration frontale (Dead end) ou la filtration tangentielle (cross flow). Ces deux modes sont très importants et correspondent à deux technologies et deux approches complètement différentes de la filtration.

a) Filtration frontale

La filtration frontale est la plus simple à mettre en œuvre et la moins onéreuse, dont le principe est de filtrer la solution perpendiculairement à la surface de la membrane. Toute la matière retenue s'accumule sur la membrane. Ce

type de procédé n'atteint jamais un état stationnaire. La filtration frontale est une technique qui nécessite un faible investissement, et des coûts énergétiques de fonctionnement qui sont faibles. Par contre, ce type de fonctionnement permet essentiellement de filtrer des suspensions qui sont considérées comme faiblement colmatantes dans un secteur d'activité donné.

Cette technique est utilisée en traitement de l'eau pour sa potabilisation, mais aussi dans le secteur médical pour enlever toute trace de virus ou de bactérie [11].

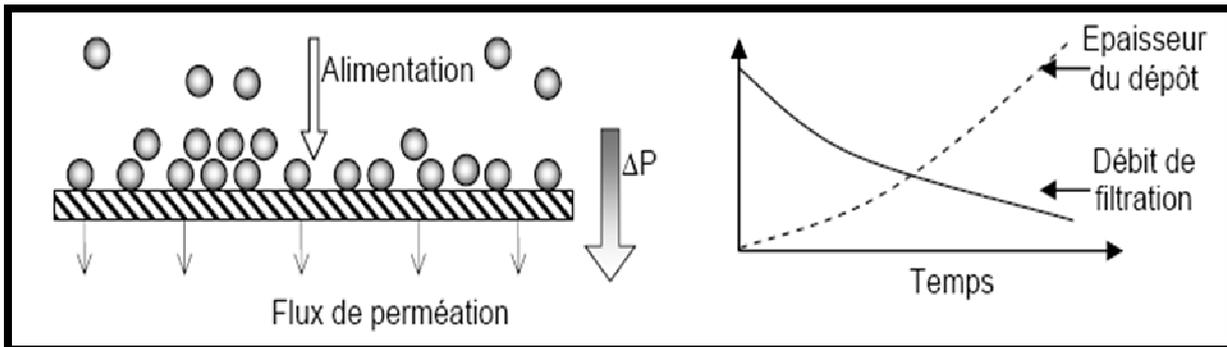


Figure 3: présentation du fonctionnement de la filtration frontale

b) Filtration tangentielle

La filtration tangentielle consiste à faire circuler le liquide à filtrer parallèlement à une membrane poreuse, sous l'action d'un gradient de pression, le liquide passe au travers de la membrane et se clarifie. Le flux tangentiel crée des turbulences, des contraintes de cisaillement qui limitent l'accumulation de particules à la surface de la membrane. [12].

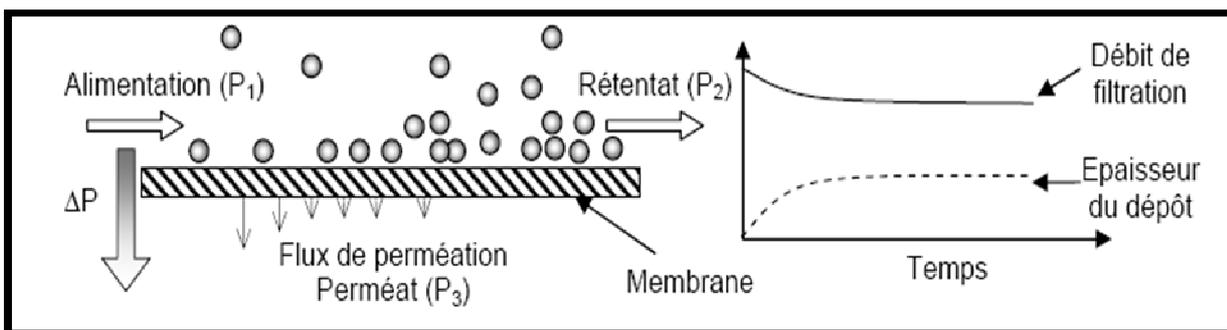


Figure 4: principe du fonctionnement de la filtration tangentielle

3) Les 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.

a) *Membranes organiques*

Elles sont fabriquées, pour la plupart d'entre elles, à partir de polymères organiques (acétate de 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 [13].

| | Avantages | Inconvénients |
|----------------------|---|---|
| Acétate de cellulose | Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faible => colmatage moindre | Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible aux microorganismes |
| Type polyamide | Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique. | Grande sensibilité au chlore Faible perméabilité Phénomènes d'adsorption |
| Type polysulfone | Bonne stabilité thermique et au pH Résistance au chlore 5 mg/l fonctionnement normal 50 mg/l stockage 200 mg/l traitement de choc | Sensible au compactage Adsorptions |
| Matériaux acryliques | Bonne stabilité thermique et chimique Stockage à sec possible | Faible résistance mécanique Pores de diamètres assez élevés |
| Matériaux fluorés | Bonne stabilité thermique et chimique | Faible perméabilité Microfiltration uniquement |
| Membranes composites | Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité de pH 2 à 11 Bonne tenue en température | |

Tableau 2: différents types des 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 [14].

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) [15].

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 [16].

4) Les différents types de filtration membranaire

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

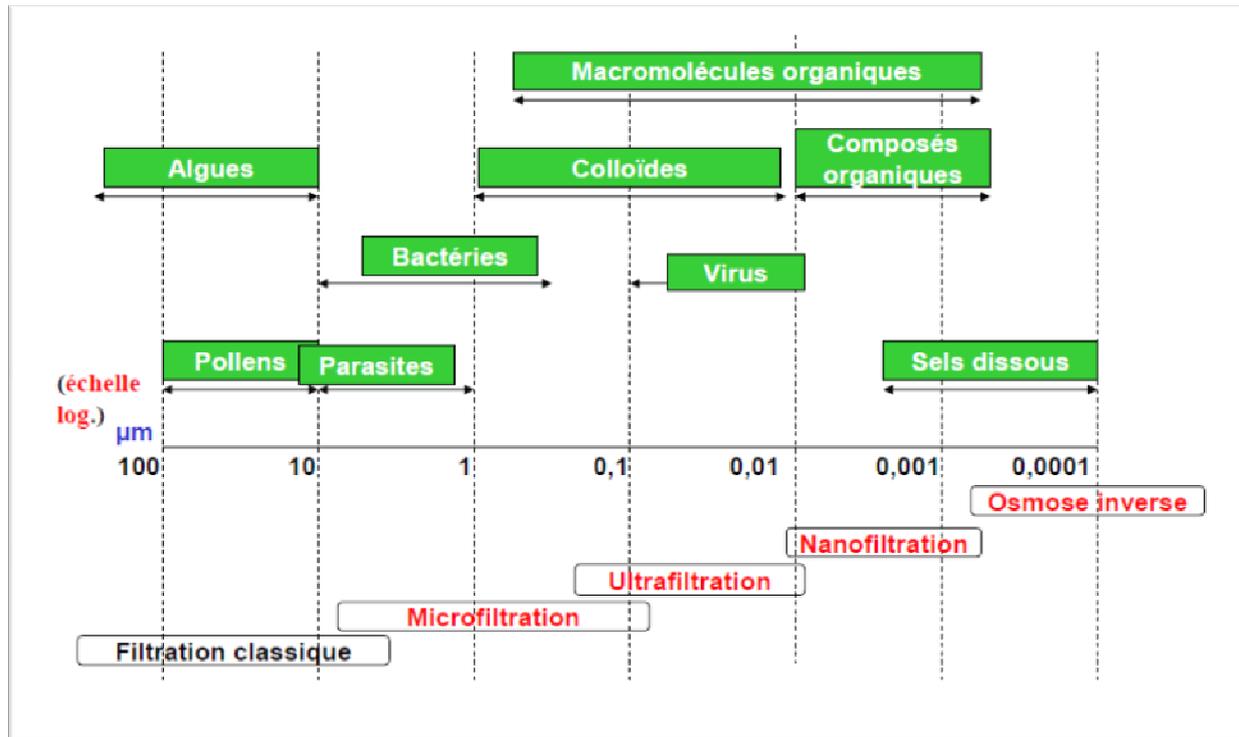


Figure 5: échelle de taille d'espèces en solution et types d'opérations de filtration associées

a) *Microfiltration (MF)*

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 pores sont compris entre 0,1 et 10 µm. Il permet donc la rétention des particules en suspension et les bactéries [17].

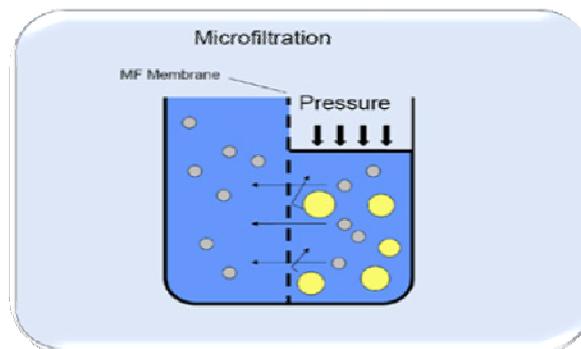


Figure 6: principe de la microfiltration

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 de haut poids moléculaire sont retenues tandis que l'eau et les molécules de faible poids moléculaire passent à travers la membrane [18].

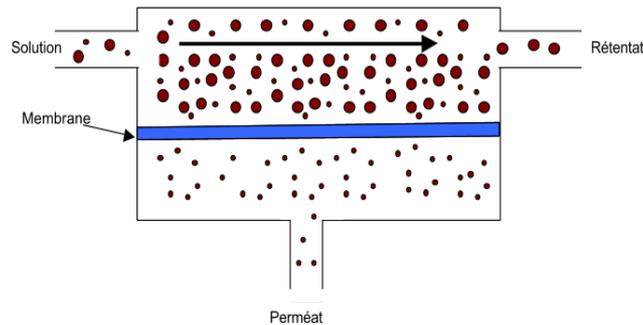


Figure 7: principe de l'ultrafiltration

c) La 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 \AA) 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) [19].

d) L'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).

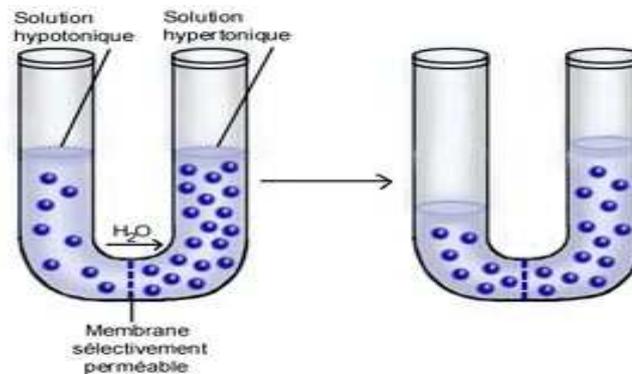


Figure 8: principe d'osmose

e) *Osmose inverse*

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 [21].

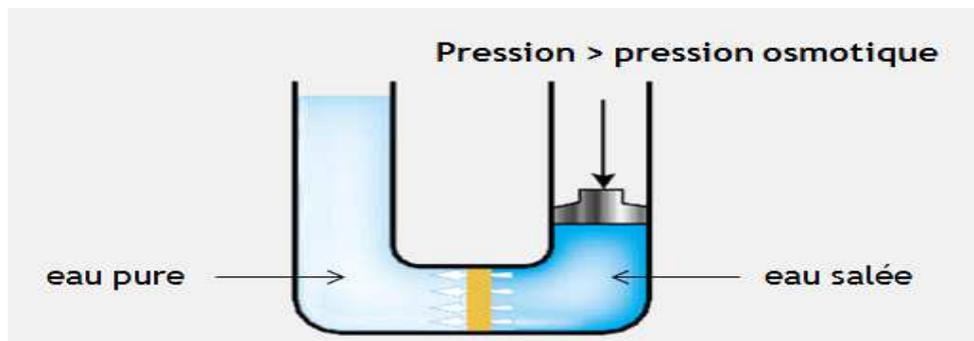


Figure 9: principe d'osmose inverse

On peut résumer les techniques de séparation par membrane en fonction des tailles de particules retenues dans le schéma ci-dessous:

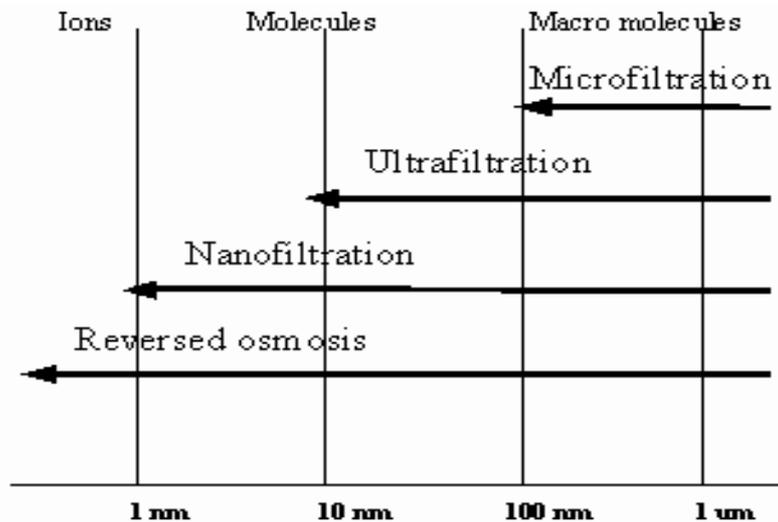


Figure 10: séparation en fonction de la taille

III. L'OSMOSEUR

1) Définition

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) [22].

2) Différents types d'osmoseurs

Il existe 4 grands types de modules sont :

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



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

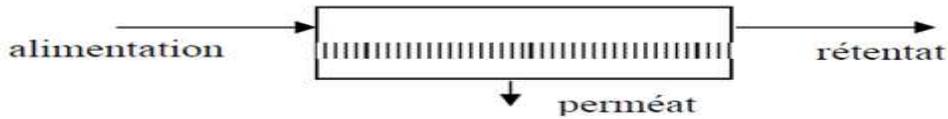


Figure 11: principe d'un procédé de séparation membranaire

a) Les 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 tangentiels. 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 [23].

b) Les modules plans

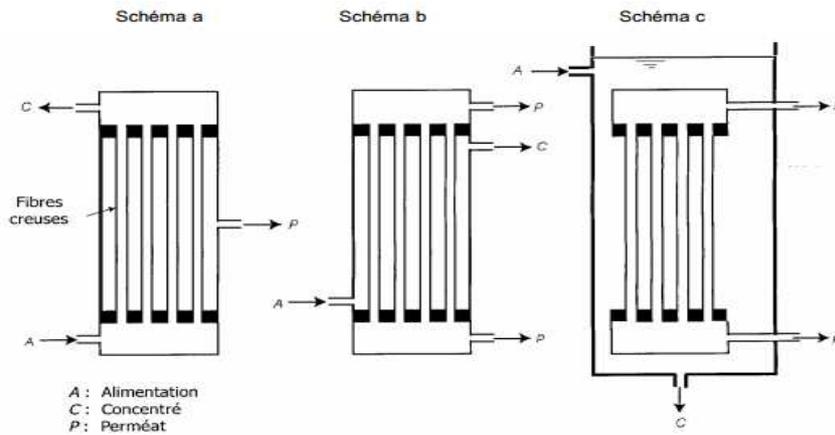
Les modules plans sont les plus anciens et les plus simples : les membranes sont empilées en mille-feuilles séparées par des cadres intermédiaires qui assurent la circulation des fluides [24].

c) Les 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 tangentiels canalisés 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 12: module à fibres creuses

d) *Les modules spiraux*

Au sein des modules spiraux, une membrane plane est enroulée sur elle-même autour d'un 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 [26].

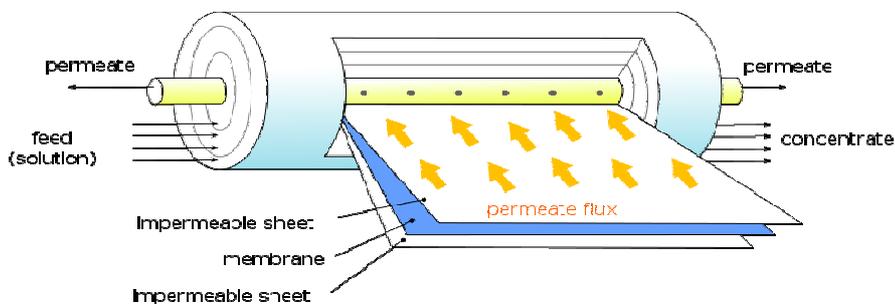


Figure 13: structure interne d'un osmoseur spiral



Chapitre III : Partie expérimentale

I. Introduction

Au cours du processus de la fermentation de la levure *Saccharomyces cerevisiae* à une température idéal de 30°C à 35°C, elle libère une quantité d'énergie qui entraîne une augmentation de la température au niveau des fermenteurs ($T^{\circ}\text{C} > 35^{\circ}\text{C}$) qui peut tuer les cellules de la levure, d'où l'importance d'un refroidissement par des échangeurs thermiques.

La stérilisation des fermenteurs pour détruire les micros organismes présent dans les cuves, et le séchage de la levure commerciale sèche se réalise par la vapeur produite par la chaudière.

Le refroidissement et la production de la vapeur ont besoin d'une eau bien traitée, d'où la nécessité de faire un traitement au sein de la société.

A la fin de l'année 2013, LESAFFRE Maroc a décidé d'installer un osmoseur afin d'éviter les problèmes de dépôt et de bouchage des installations et des conduites causé par le calcaire lors du traitement par les adoucisseurs.

II. Traitement d'eau avant utilisation d'osmoseur (adoucisseur)

1. Définition d'un adoucisseur



L'**adoucisseur d'eau** est un dispositif composé d'un bac de résine et d'un bac à sel, qui réduit la dureté de l'eau en réduisant la quantité de calcaire (carbonates principalement de calcium et de magnésium) en suspension dans l'eau, C'est au contact de la résine échangeuse d'ions que l'eau dure va se transformer en eau adoucie.

2. Principe de fonctionnement d'un adoucisseur

Il fonctionne sur le principe de la captation des ions calcium (Ca^{2+}) et des ions magnésium (Mg^{2+}) responsables de la présence du tartre dans les installations. L'eau qui passe par le bac de résine va être débarrassée des ions calcium et magnésium qui sont remplacés par des ions sodium (Na^+).

L'**adoucisseur** fonctionne sur deux modes : production et régénération.

- * Pendant la phase de **production**, l'adoucisseur produit de l'eau adoucie. Puis, dès que les résines de l'adoucisseur arrivent à saturation, l'adoucisseur passe en phase régénération
- * Pendant la phase de **régénération**, la principale étape consiste en l'aspiration de la saumure présente dans le bac à sel. Le mélange d'eau salée va alors passer à travers le lit de résine pour permettre son lavage et rinçage.

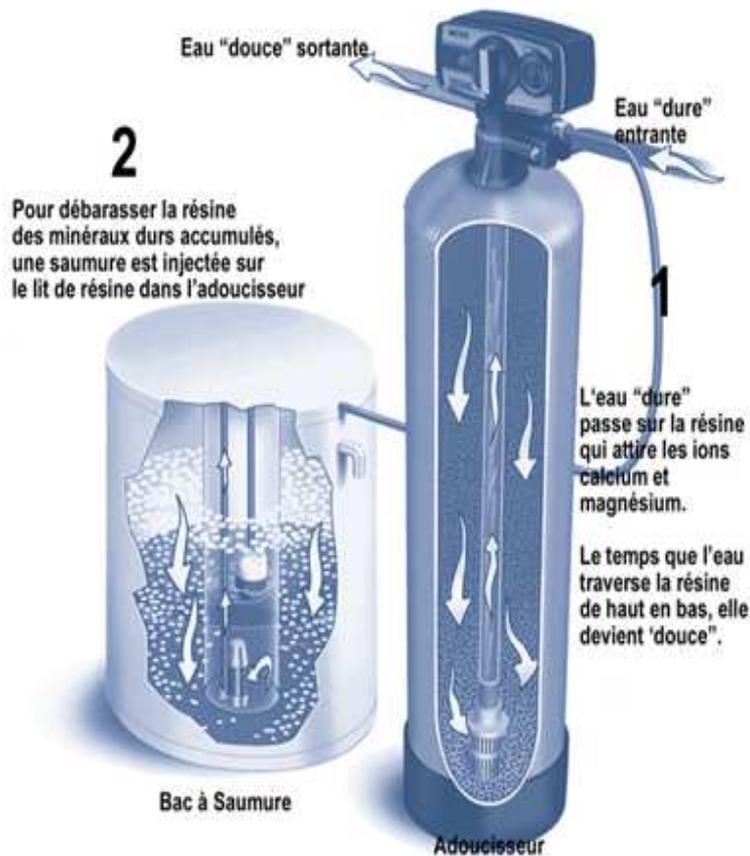


Figure 14: principe de fonctionnement d'un adoucisseur

3. Interprétation des analyses d'eau adoucie

L'adoucisseur a un rôle principal d'éliminer la dureté d'eau et n'agit pas sur les chlorures, les carbonates, les bicarbonates et les hydroxydes, mais lors de son usage tout seul, reste une quantité des cations Mg^{2+} et Ca^{2+} présente dans l'eau, qui sont responsable du dépôt de calcaire au niveau de la chaudière et au niveau des échangeurs thermiques, d'où la nécessité de l'alimenter par une eau pré-traitée.

| Date | pH | THT | TAC | Cl ⁻ | CD |
|---------|------|-----|------|-----------------|-------|
| 7-mai. | 7,45 | 0,6 | 34 | 0,04 | 646,2 |
| 21-mai | 7,85 | 0,5 | 25,9 | 0,03 | 650 |
| 28-mai | 7,72 | 0,4 | 30 | 0,04 | 648 |
| 4-juin | 7,8 | 0,6 | 36 | 0,04 | 648 |
| 11-juin | 7,8 | 0,7 | 32,5 | 0,04 | 630 |
| 18-juin | 7,9 | 0,7 | 38,0 | 0,04 | 645,0 |
| 2-juil. | 7,8 | 0,8 | 31,0 | 0,06 | 700,0 |
| 9-juil. | 7,6 | 0,7 | 29,0 | 0,12 | 703,0 |



| | | | | | |
|----------|-----|-----|------|-----|-------|
| 16-juil. | 7,7 | 0,6 | 30,0 | 0,1 | 693,0 |
| 23-juil. | 7,8 | 0,6 | 32,0 | 0,1 | 687,0 |

Tableau 3: analyses effectuées sur l'eau adoucie de l'année 2013

D'après le tableau, les analyses effectuées sur les paramètres d'eau traitée par adoucisseur de l'année 2013 sont élevés. Cela provoque plusieurs problèmes, on citera quelques uns :

- Le dépôt du calcaire CaCO_3 , de chlorure de calcium CaCl_2 ,...qui entraînent un bouchage au niveau du bête alimentaire de la chaudière et par conséquent, une diminution de la quantité de vapeur produite.
- Une augmentation au niveau du nombre d'arrêt pour le nettoyage des installations ceci provoque une augmentation des pertes de charges (produits de nettoyage, main d'œuvre,...)

III. Traitement d'eau par osmoseur

1. Circuit d'eau

Dans le but de satisfaire les besoins des ateliers de production de la levure en eau traitée, l'usine dispose d'une station de traitement d'eau qui produit deux types d'eaux :

- * Eau osmosée.
- * Eau adoucie.

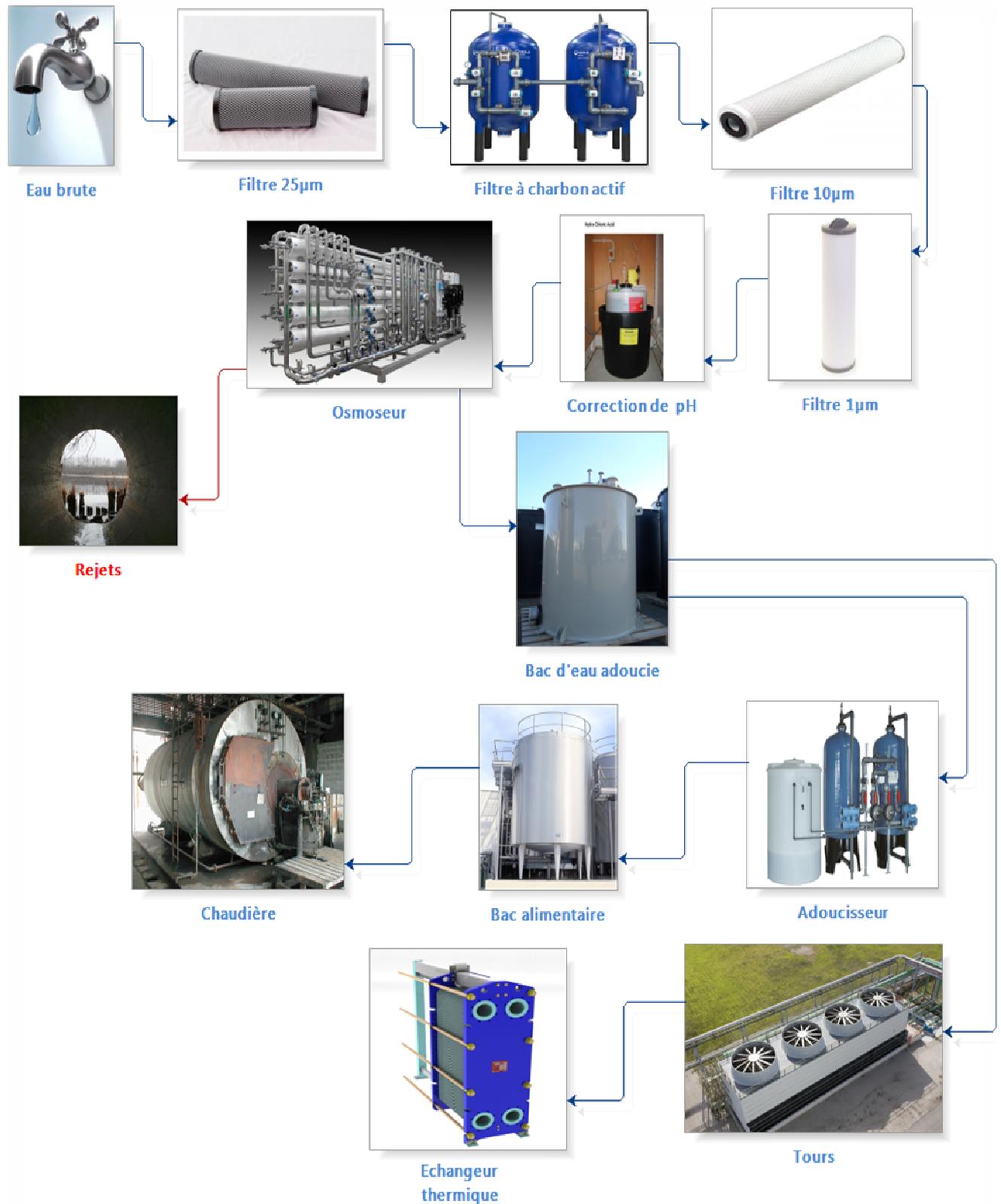




Figure 15: Circuit d'eau

L'eau potable distribuée par la RADEEF, passe par un filtre de porosité de 25 μm pour éliminer les matières en suspension, l'eau est traitée par le charbon actif dont le but d'éliminer les traces du chlore libre dissout dans l'eau grâce à son pouvoir d'adsorption, passant ensuite par des filtres de diamètres de 10 μm et 1 μm pour clarifier l'eau.

La station est alimentée par un correcteur du pH remplie d'acide sulfurique pour avoir une eau à pH neutre. L'injection se fait automatiquement.

L'eau pré-traitée, passe par un osmoseur de type spiral composé d'une membrane organique constituée d'éthylène-propylène-diène monomère (EPDM), qui subit le phénomène d'osmose inverse. On injecte un séquestrant qui est un acide organique très actif, qui sert à former des complexes chimiques avec les ions métalliques, cela facilite la séparation, et par conséquent limite la disponibilité des cations tels que le cuivre, le nickel et le fer, afin de produire une eau purifiée et un rejet chargé mené vers les égouts.

L'eau osmosée est stockée dans un bac qui alimente d'une part, les tours pour le refroidissement des cuves de fermentations. Cette eau est aspirée par des pompes centrifuges vers les échangeurs à plaques selon le besoin. Lorsque la température du fermenteur atteint 35°C, une électrovanne se déclenche automatiquement permettant à la pompe d'aspirer le moût du fermenteur vers l'échangeur à plaques pour le refroidir, Le mout refroidi revient vers les fermenteurs.

D'autre part, il alimente l'adoucisseur pour vérifier l'élimination complète des Mg^{2+} et Ca^{2+} qui sont responsable 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.

2. Paramètres physico-chimiques d'eau

a) Le pH

Le pH d'une solution 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.

La nature de la mesure effectuée au laboratoire est électrométrie qui exige un pH-mètre utilisant deux électrodes : une électrode hydrogène et une électrode de référence.

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

b) La conductivité

Mesurer la conductivité électrique de l'eau, c'est-à-dire sa capacité à transporter le courant électrique. Sa mesure permet d'évaluer la quantité totale de solides dissous dans l'eau. Elle



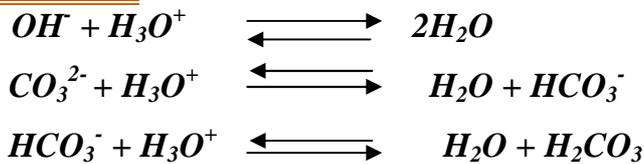
correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm , l'unité en micro siemens par centimètre ($\mu\text{s/cm}$).

c) *Le titre alcalimétrique complet (TAC)*

Définition

Il correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates, bicarbonates et hydroxydes. Il est mesuré selon une méthode qui consiste à la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

Réactions mise en œuvre

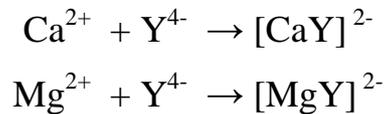


d) *Le titre hydrotimétrique total (THT)*

Définition

Le titre hydrotimétrique total correspond à la totalité des sels de calcium et de magnésium.

Réactions mise en œuvre



e) *Dosage des chlorures Cl*

Définition

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium K_2CrO_4 , la fin de la réaction est indiquée par l'apparition du teint rouge caractéristique du chromate d'argent (Ag_2CrO_4).

Réactions mise en œuvre

L'argent présent dans la solution de nitrates d'argent forme avec le chlorure un précipité blanc selon l'équation :





Lorsque tous les chlorures présentent dans la solution sont épuisés, l'argent se combine avec le chromate de potassium pour former un précipité de couleur rouge brique selon l'équation :



3. Les caractéristiques physico-chimiques des différents eaux utilisées

Les normes physico-chimiques de différentes eaux utilisées au cours de notre expérience sont :

| Eau | THT (°f) | TAC (°f) | Cl ⁻ (mg/l) | pH | Conductivité (µs/cm) |
|--------------|----------|----------|------------------------|-----------|----------------------|
| E. potable | 10 à 40 | < 50 | < 250 | 6,5 à 8,5 | 400 à 2000 |
| E. osmosée | < 1 | < 5 | < 50 | 6 à 8 | < 20 |
| E. adoucie | < 1 | < 10 | < 50 | 6 à 8 | < 20 |
| E. chaudière | < 0,5 | 70 à 140 | < 100 | 10,5 à 12 | < 3000 |
| E. tour | 10 à 15 | < 35 | < 250 | 7 à 9 | < 2000 |

Tableau 4: caractéristiques physico-chimiques des eaux

D'après le tableau tous les eaux utilisées au sein de la société LESAFFRE Maroc suivent les normes.

4. Etude expérimentale

L'eau potable distribuée par la RADEEF, n'est pas l'eau dont on a besoin car il contient des sels dissouts, c'est pourquoi l'osmoseur rend bien des services en sortant une eau de bonne qualité (THT quasiment nul, sans germes ni bactéries, une conductivité inférieure à 20µs/cm).

Pendant notre stage, nous avons effectué une série d'analyse sur les différents points de prélèvement :

- Eau potable,
- Eau avant osmoseur,
- Eau osmosée,
- Rejet d'osmoseur,
- Eau de tour de refroidissement,
- Eau adoucie,
- Eau de chaudière.

Pour interpréter les résultats de ces analyses nous avons adopté une méthode consiste à analyser des graphes par paramètres.



a) Résultats de la dureté (THT)

| Date | RADEEF | Avant.osm | Osm | Rejet | AD | Tour | Chaudière |
|----------|--------|-----------|------|-------|------|-------|-----------|
| 13-févr. | 14,80 | 14,30 | 0,40 | 27,30 | 0,20 | 16,50 | 2,80 |
| 14-févr. | 16,40 | 15,50 | 0,10 | 28,10 | 0,20 | 16,70 | 3,00 |
| 17-févr. | 17,50 | 16,60 | 0,20 | 28,00 | 0,10 | 17,20 | 3,20 |
| 18-févr. | 17,00 | 16,00 | 0,20 | 27,20 | 0,10 | 16,90 | 3,10 |
| 19-févr. | 16,80 | 16,00 | 0,20 | 27,50 | 0,10 | 17,00 | 3,00 |
| 20-févr. | 16,80 | 16,00 | 0,30 | 31,00 | 0,20 | 16,80 | 2,60 |
| 21-févr. | 17,20 | 16,80 | 0,10 | 26,80 | 0,20 | 16,40 | 3,60 |
| 24-févr. | 16,80 | 16,50 | 0,20 | 27,00 | 0,10 | 17,00 | 3,70 |
| 25-févr. | 17,00 | 15,80 | 0,30 | 28,00 | 0,20 | 17,30 | 3,80 |
| 26-févr. | 16,40 | 15,60 | 0,40 | 26,90 | 0,20 | 16,40 | 3,60 |
| 27-févr. | 15,80 | 15,60 | 0,40 | 28,00 | 0,20 | 16,40 | 3,00 |
| 28-févr. | 16,00 | 15,60 | 0,40 | 31,40 | 0,20 | 13,80 | 3,60 |
| 03-mars | 15,40 | 14,90 | 0,40 | 28,20 | 0,20 | 9,00 | 3,00 |
| 04-mars | 15,40 | 15,00 | 0,30 | 27,30 | 0,20 | 9,00 | 3,00 |
| 05-mars | 16,00 | 15,80 | 0,40 | 28,00 | 0,20 | 9,20 | 2,80 |
| 07-mars | 17,60 | 16,90 | 0,30 | 32,00 | 0,10 | 9,20 | 2,80 |
| 10-mars | 16,70 | 16,80 | 0,40 | 27,80 | 0,10 | 9,10 | 3,00 |
| 11-mars | 16,60 | 16,10 | 0,40 | 28,00 | 0,20 | 9,00 | 2,90 |



| | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| 12-mars | 16,50 | 16,20 | 0,30 | 29,40 | 0,10 | 9,20 | 2,90 |
| 13-mars | 16,80 | 16,00 | 0,40 | 28,60 | 0,20 | 9,10 | 3,00 |
| Moyenne | 16,48 | 15,90 | 0,31 | 28,33 | 0,17 | 13,56 | 3,12 |
| Max | 17,60 | 16,90 | 0,40 | 32,00 | 0,20 | 17,30 | 3,80 |
| Min | 14,80 | 14,30 | 0,10 | 26,80 | 0,10 | 9,00 | 2,60 |
| Variance | 0,522 | 0,445 | 0,011 | 2,230 | 0,002 | 14,448 | 0,120 |

Tableau 5 : THT (°f) des eaux en fonction des jours de prélèvements

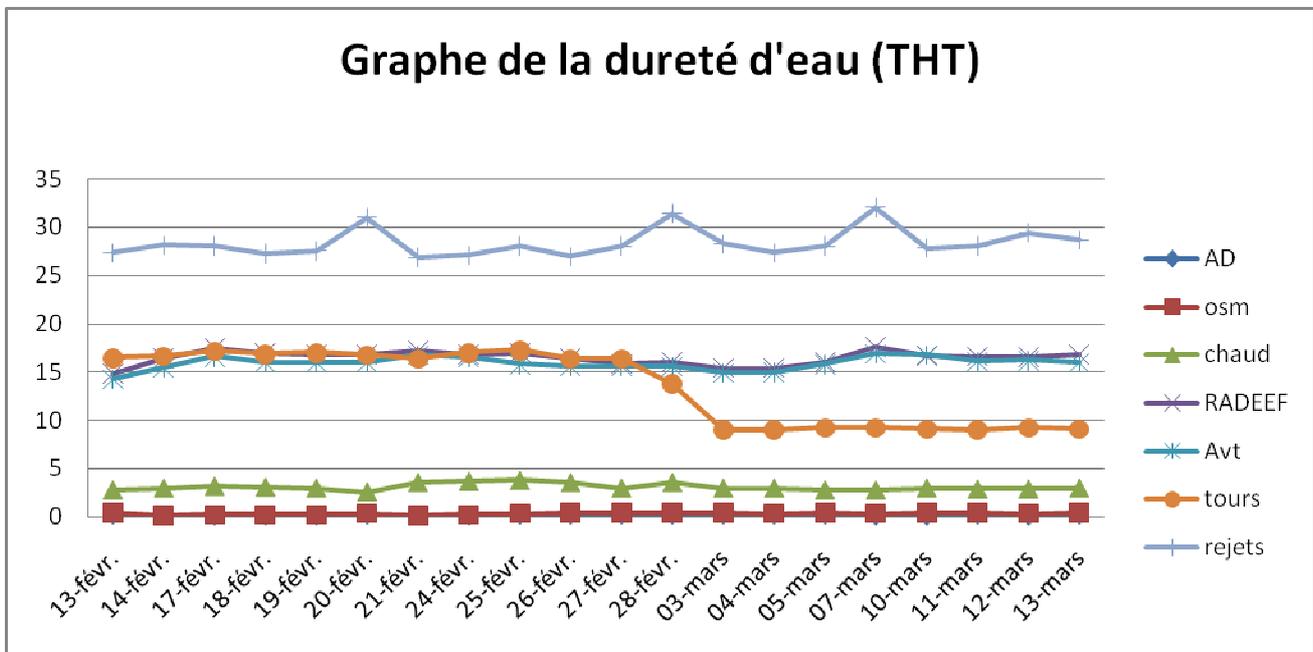


Figure 16: Graphe de THT

Voici le tableau représentatif de la dureté de l'eau :

| | | | | | |
|----------|-------------------|--------------|--------------------|-------------|------------------|
| THT (°f) | 0 à 7 | 7 à 15 | 15 à 30 | 30 à 40 | plus 40 |
| Eau | très douce | douce | plutôt dure | dure | très dure |

D'après le graphe, on remarque que :

- ◆ L'eau osmosée, eau adoucie et l'eau de chaudière ont une moyenne de THT dans l'intervalle des eaux très douces.



- ◆ L'eau osmosée a une moyenne de $THT=0.31^{\circ}f$, favorise le bon fonctionnement d'osmoseur.
- ◆ L'eau adoucie a une moyenne de $THT=0.17^{\circ}f$, donc une très faible quantité des sels de magnésium Mg^{2+} et des sels de calcium Ca^{2+} , cette eau peut être utilisée pour produire de la vapeur sans avoir ni traces de calcaire, ni dépôt de tartre au niveau de la chaudière.

- ◆ L'eau de chaudière <<STEIN>> a une moyenne de $THT=3.12^{\circ}f$, cette valeur est un peu élevée par rapport à l'eau en amont de la chaudière ceci s'explique par une augmentation de la concentration par l'effet d'évaporation.
- ◆ L'eau de ville (RADEEF) et l'eau avant osmoseur, sont des eaux plutôt dures, la différence entre ces deux eaux c'est que l'eau avant osmoseur est une eau dépourvue des matières en suspension, pour cela on remarque aucune différence entre les deux courbes.
- ◆ la partie des eaux de la tour Alfa-Laval qui refroidie le pré-fermenteur par pulvérisation extérieure et les fermenteurs par des échangeurs thermiques et qui retourne vers le bassin de rétention. composée d'un mélange d'eau osmosée et d'eau de ville, avec des proportions différentes selon les besoins.

Lors de retour d'eau de refroidissement vers le bassin de rétention, emporte avec elle une quantité considérable d'ions, notamment ceux responsable de la dureté, ce qui est expliqué par l'élévation des résultats en THT.

La chute remarquée d'après le graphe, s'explique par une diminution de volume d'eau de ville mélangée.

- ◆ L'eau des rejets d'osmoseur est trop chargée, c'est pour cela que ca courbe de THT est au dessus des autres courbes.

L'élévation des résultats dans certains points, est expliquée par le fait du colmatage des filtres placés avant osmoseur qui crée une dépression au niveau de la pompe d'alimentation d'osmoseur.



b) Résultats de titre alcalimétrique complet (TAC)

| Date | RADEEF | Avant.osm | Osm | Rejet | AD | Tour | Chaudière |
|----------|--------|-----------|-----|-------|-----|------|-----------|
| 13-févr. | 28 | 27 | 2,0 | 86 | 2 | 23 | 32 |
| 14-févr. | 29 | 27 | 2,0 | 84 | 1,8 | 25 | 33 |
| 17-févr. | 30 | 29 | 2,0 | 87 | 2,0 | 24 | 32 |
| 18-févr. | 30 | 27 | 2,0 | 89 | 2,0 | 26 | 33 |
| 19-févr. | 30 | 28 | 1,5 | 88 | 2,0 | 27 | 30 |
| 20-févr. | 30 | 28 | 2,0 | 107 | 1,7 | 26 | 32 |
| 21-févr. | 30 | 28 | 2,0 | 90 | 2,0 | 27 | 33 |
| 24-févr. | 30 | 28 | 2,0 | 87 | 2,0 | 25 | 33 |
| 25-févr. | 30 | 29 | 2,0 | 90 | 2,0 | 25 | 31 |
| 26-févr. | 29 | 28 | 2,0 | 89 | 2,0 | 22 | 30 |
| 27-févr. | 30 | 29 | 2,0 | 90 | 2,0 | 23 | 30 |
| 28-févr. | 28 | 26 | 2,0 | 110 | 2,0 | 20 | 28 |
| 03-mars | 30 | 28 | 2,0 | 89 | 2,0 | 10 | 30 |
| 04-mars | 29 | 27 | 1,8 | 93 | 1,8 | 11 | 31 |
| 05-mars | 29 | 28 | 2,0 | 90 | 2,0 | 11 | 29 |
| 07-mars | 30 | 26 | 2,0 | 111 | 2,0 | 11 | 28 |
| 10-mars | 30 | 28 | 2,0 | 87 | 2,0 | 11 | 29 |
| 11-mars | 29 | 27 | 2,0 | 84 | 1,8 | 10 | 29 |



| | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 12-mars | 30 | 27 | 2,0 | 83 | 2,0 | 11 | 28 |
| 13-mars | 29 | 28 | 2,0 | 85 | 2,0 | 11 | 29 |
| Moyenne | 29,50 | 27,65 | 1,96 | 90,95 | 1,96 | 18,95 | 30,50 |
| Max | 30 | 29 | 2 | 111 | 2 | 27 | 33 |
| Min | 28 | 26 | 1,5 | 83 | 1,7 | 10 | 28 |
| variance | 0,474 | 0,766 | 0,014 | 69,313 | 0,009 | 49,839 | 3,211 |

Tableau 6 : TAC en (°f) des eaux en fonctions des jours de prélèvements

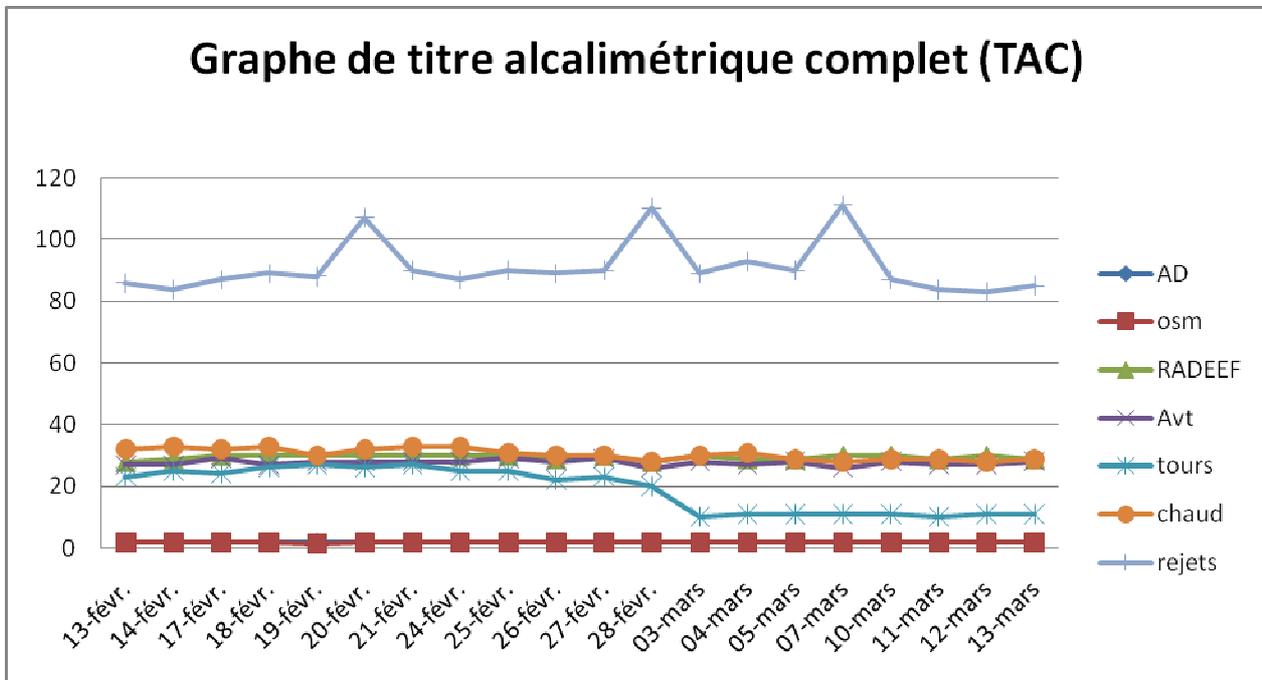


Figure 17: graphe de TAC

D'après le graphe :

- On constate qu'il y a une grande différence entre l'eau avant et après osmoseur, pour l'eau avant osmoseur a une moyenne de TAC=27.65°f et l'eau osmosée a une moyenne de TAC=1.96°f, cet écart est du à la capacité d'osmoseur d'éliminer la majorité des carbonates CO_3^{2-} , bicarbonates HCO_3^- et hydroxydes OH^- .



◆ On distingue qu'il n'y a aucune différence entre l'eau osmosée et l'eau adoucie avec une moyenne de TAC=1.96°f pour les deux, cela s'explique par le fait que l'adoucisseur n'agit pas sur le titre alcalimétrique complet.

◆ Sachant qu'une cuve de la soude NaOH se trouve juste à coté du pré fermenteur, il est fort probable que les eaux de refroidissement entraînent avec eux la soude qui est une base forte, car elle dissocie totalement en milieu aqueux libérant ainsi l'ion hydroxyle OH⁻ : $NaOH + H_2O \rightarrow Na^+ + OH^-$

Le dioxyde de carbone CO₂ présent dans l'air peut se dissoudre en milieu aqueux et réagir avec l'hydroxyle de sodium NaOH pour former des carbonates :



Qui par la suite, fait augmenter le TAC. Un autre facteur à signaler est l'effet de la température sur la concentration des différents éléments par vaporisation.

◆ Au niveau de la chaudière, parfois il y a injection de la soude donc une augmentation des ions OH⁻ et par conséquent, une augmentation des résultats de TAC.

c) Résultats la concentration en chlorure (Cl⁻)

| Date | RADEEF | Avant.osm | Osm | Rejet | AD | Tour | Chaudière |
|----------|--------|-----------|------|-------|------|------|-----------|
| 13-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,60 | 0,01 | 0,17 | 0,18 |
| 14-févr. | 0,18 | 0,19 | 0,01 | 0,58 | 0,00 | 0,19 | 0,19 |
| 17-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,61 | 0,00 | 0,19 | 0,18 |
| 18-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,00 | 0,61 | 0,01 | 0,18 | 0,18 |
| 19-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,61 | 0,01 | 0,18 | 0,18 |
| 20-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,70 | 0,01 | 0,19 | 0,19 |
| 21-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,57 | 0,01 | 0,20 | 0,18 |
| 24-févr. | 0,18 | 0,19 | 0,01 | 0,57 | 0,01 | 0,19 | 0,18 |
| 25-févr. | 0,19 | 0,19 | 0,01 | 0,60 | 0,00 | 0,19 | 0,18 |
| 26-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,62 | 0,01 | 0,18 | 0,18 |
| 27-févr. | 0,19 | 0,19 | 0,01 | 0,63 | 0,00 | 0,19 | 0,18 |
| 28-févr. | 0,18 | 0,18 | 0,00 | 0,72 | 0,00 | 0,14 | 0,17 |



| | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 03-mars | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,62 | 0,01 | 0,07 | 0,18 |
| 04-mars | 0,18 | 0,18 | 0,00 | 0,62 | 0,01 | 0,08 | 0,18 |
| 05-mars | 0,18 | 0,18 | 0,00 | 0,61 | 0,00 | 0,08 | 0,17 |
| 07-mars | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,73 | 0,01 | 0,08 | 0,18 |
| 10-mars | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,61 | 0,01 | 0,08 | 0,18 |
| 11-mars | 0,19 | 0,19 | 0,00 | 0,63 | 0,00 | 0,07 | 0,19 |
| 12-mars | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,59 | 0,01 | 0,08 | 0,19 |
| 13-mars | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,60 | 0,01 | 0,08 | 0,18 |
| Moyenne | 0,18 | 0,18 | 0,01 | 0,62 | 0,01 | 0,14 | 0,18 |
| max | 0,19 | 0,19 | 0,01 | 0,73 | 0,01 | 0,20 | 0,19 |
| min | 0,18 | 0,18 | 0,00 | 0,57 | 0,00 | 0,07 | 0,17 |
| variance | 1,34E-05 | 1,97E-05 | 1,97E-05 | 1,99E-03 | 2,39E-05 | 2,93E-03 | 3,05E-05 |

Tableau 7: Evolution de la concentration en chlorure (g/l) des eaux en fonctions des jours de prélèvements

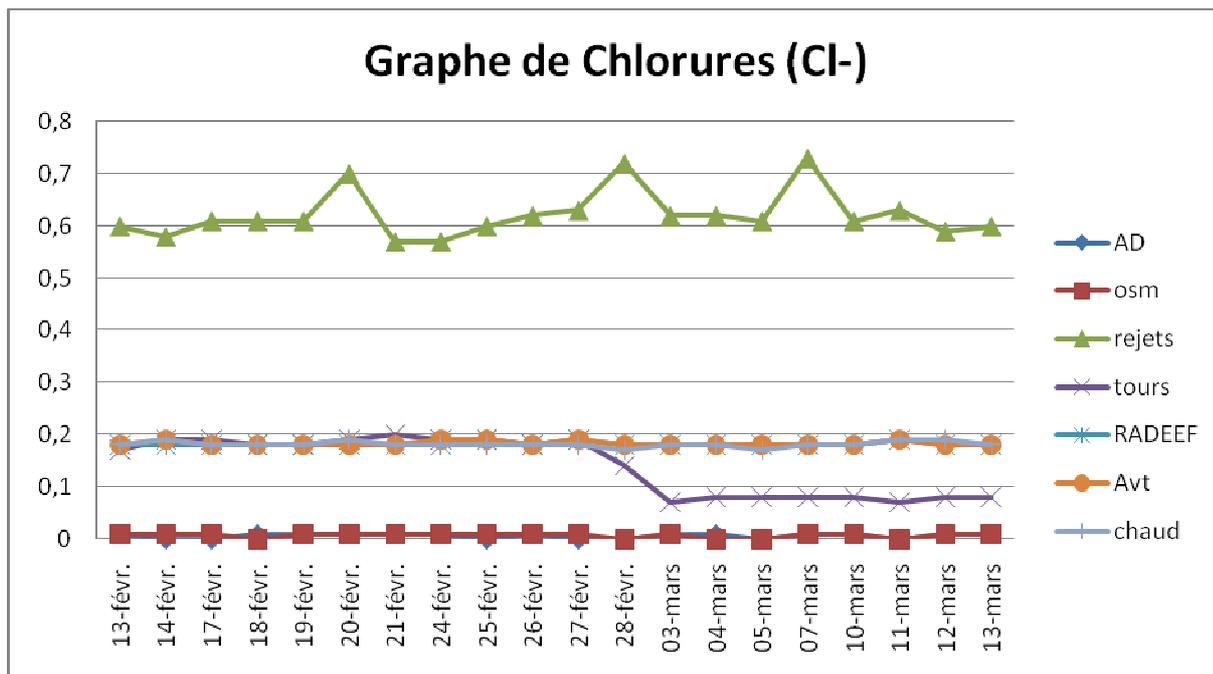
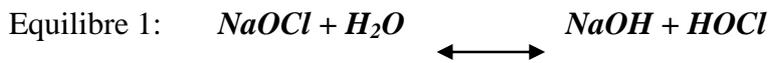


Figure 18: Graphe de Chlorures

D'après le graphe :



- ◆ La concentration en chlorure ne dépasse pas 0,25 g/l pour l'eau potable ce qui est identique aux spécifications des normes.
- ◆ La concentration en ion chlorure des autres eaux (eau osmosée, eau adoucie) ne dépasse pas 0,01 g/l.
- ◆ On remarque une élévation de cette concentration au niveau de la tour de refroidissement, due aux injections de l'eau de Javel pour les désinfections. Dans l'Eau de Javel les équilibres de dissociation suivants sont en jeu simultanément :



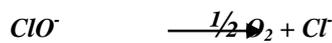
L'Eau de Javel en solution donne de la soude et de l'acide hypochloreux.



L'acide hypochloreux (HOCl), se transforme en ion hypochlorite (ClO⁻).

L'ion hypochlorite en solution dans l'eau est, quant à lui, fortement oxydant et en particulier susceptible d'oxyder l'eau.

La réaction globale est la suivante :



- ◆ Chaudière a une moyenne de Cl⁻ = 0,18 g/l, due à l'augmentation de la température donc une évaporation qui augmente la concentration.

d) Résultats de la conductivité

| Date | RADEEF | Avant.osm | Osm | Rejet | AD | Tour | Chaudière |
|----------|--------|-----------|-------|-------|-------|------|-----------|
| 13-févr. | 1157 | 1128 | 19,00 | 4100 | 16,10 | 1120 | 2232 |
| 14-févr. | 1102 | 1103 | 18,00 | 4130 | 16,00 | 1134 | 2200 |
| 17-févr. | 1123 | 1124 | 18,50 | 3987 | 15,80 | 1180 | 2140 |
| 18-févr. | 1136 | 1124 | 19,00 | 4015 | 16,00 | 1142 | 2270 |
| 19-févr. | 1132 | 1127 | 18,00 | 3992 | 15,80 | 1200 | 2370 |
| 20-févr. | 1134 | 1120 | 19,00 | 4500 | 15,80 | 1223 | 2260 |
| 21-févr. | 1127 | 1129 | 19,30 | 4045 | 16,20 | 1215 | 2350 |
| 24-févr. | 1122 | 1124 | 18,90 | 4078 | 16,50 | 1220 | 2220 |



| | | | | | | | |
|-----------------|----------------|----------------|--------------|------------------|--------------|-------------------|-----------------|
| 25-févr. | 1128 | 1125 | 18,00 | 3988 | 15,90 | 1189 | 2112 |
| 26-févr. | 1133 | 1136 | 19,00 | 4020 | 15,70 | 1203 | 2321 |
| 27-févr. | 1131 | 1130 | 19,20 | 4060 | 16,00 | 1144 | 2125 |
| 28-févr. | 1120 | 1121 | 18,90 | 4524 | 15,90 | 770 | 2230 |
| 03-mars | 1112 | 1110 | 18,10 | 3990 | 15,80 | 445 | 2299 |
| 04-mars | 1160 | 1120 | 18,90 | 3867 | 16,10 | 472 | 2150 |
| 05-mars | 1117 | 1115 | 19,00 | 4050 | 16,00 | 509 | 2215 |
| 07-mars | 1106 | 1121 | 19,30 | 4536 | 15,70 | 504 | 2315 |
| 10-mars | 1130 | 1113 | 18,90 | 4056 | 15,60 | 502 | 2216 |
| 11-mars | 1123 | 1124 | 19,00 | 4098 | 15,80 | 489 | 2198 |
| 12-mars | 1112 | 1128 | 18,60 | 3986 | 16,00 | 476 | 2234 |
| 13-mars | 1115 | 1119 | 18,40 | 3979 | 16,10 | 504 | 2278 |
| Moyenne | 1126 | 1122,05 | 18,75 | 4100,05 | 15,94 | 882,05 | 2236,75 |
| max | 1160 | 1136 | 19,3 | 4536 | 16,5 | 1223 | 2370 |
| min | 1102 | 1103 | 18 | 3867 | 15,6 | 445 | 2112 |
| variance | 213,263 | 57,103 | 0,189 | 36049,945 | 0,043 | 118169,418 | 5267,039 |

Tableau 8: La conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ des eaux en fonction des jours de prélèvement

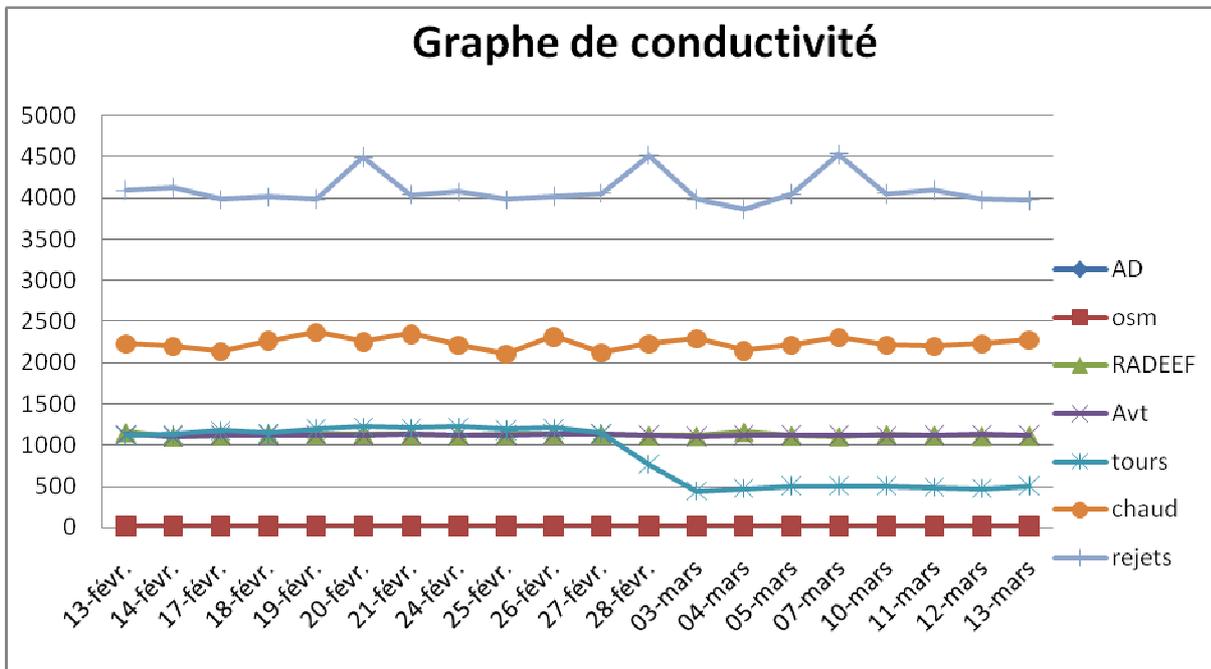


Figure 19: Graphe de Conductivité

D'après le graphe :



- ◆ La conductivité des eaux osmosée et adoucie ne dépasse pas 20 $\mu\text{s/cm}$ cause de la déminéralisation de ces eaux.
- ◆ La conductivité de l'eau de chaudière est d'environ 2300 $\mu\text{s/cm}$ cette valeur est expliquée par l'augmentation de la concentration en ions causée par l'évaporation.
- ◆ L'eau de rejet est très chargée en sels dissouts, c'est pour cela que sa conductivité est trop élevée.
- ◆ L'eau de tour de refroidissement, a une moyenne = 882 $\mu\text{s/cm}$, ceci est expliqué par le mélange d'eau osmosée et l'eau potable.

e) Résultats du pH

| Date | RADEEF | Avant.osm | Osm | Rejet | AD | Tour | Chaudière |
|----------|--------|-----------|------|-------|------|------|-----------|
| 13-févr. | 7,56 | 7,65 | 6,34 | 7,94 | 7,02 | 8,61 | 10,48 |
| 14-févr. | 7,72 | 7,56 | 6,56 | 7,93 | 7,00 | 8,70 | 11,24 |
| 17-févr. | 7,57 | 7,58 | 6,94 | 7,67 | 7,05 | 8,35 | 11,14 |
| 18-févr. | 7,35 | 7,43 | 7,06 | 7,71 | 7,1 | 8,75 | 10,94 |
| 19-févr. | 7,65 | 7,53 | 6,73 | 7,57 | 6,96 | 8,65 | 10,98 |
| 20-févr. | 7,42 | 7,15 | 6,45 | 7,56 | 7,05 | 8,39 | 10,74 |
| 21-févr. | 7,67 | 7,27 | 6,73 | 7,57 | 6,89 | 8,28 | 11,17 |
| 24-févr. | 7,27 | 7,39 | 7,02 | 7,45 | 6,96 | 8,18 | 10,62 |



| | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 25-févr. | 7,53 | 7,57 | 6,85 | 7,81 | 7,07 | 8,30 | 11,13 |
| 26-févr. | 7,54 | 7,62 | 7,03 | 8,09 | 6,79 | 8,34 | 10,91 |
| 27-févr. | 7,64 | 7,41 | 6,91 | 8,09 | 7,04 | 8,62 | 11,04 |
| 28-févr. | 7,86 | 7,53 | 7,13 | 7,87 | 6,99 | 7,83 | 10,69 |
| 03-mars | 7,41 | 7,54 | 7,12 | 7,66 | 7,20 | 7,76 | 10,92 |
| 04-mars | 7,80 | 7,63 | 7,03 | 7,84 | 7,03 | 7,85 | 10,95 |
| 05-mars | 7,52 | 7,46 | 6,79 | 7,71 | 6,96 | 8,24 | 10,98 |
| 07-mars | 7,74 | 7,76 | 7,10 | 8,05 | 6,91 | 7,94 | 11,34 |
| 10-mars | 7,53 | 7,57 | 6,68 | 8,07 | 6,86 | 7,96 | 10,92 |
| 11-mars | 7,60 | 7,63 | 6,55 | 7,89 | 6,72 | 8,32 | 11,26 |
| 12-mars | 7,46 | 7,48 | 6,89 | 7,92 | 6,96 | 8,18 | 10,98 |
| 13-mars | 7,39 | 7,59 | 7,04 | 8,06 | 7,02 | 8,26 | 11,15 |
| Moyenne | 7,56 | 7,52 | 6,85 | 7,82 | 6,98 | 8,28 | 10,98 |
| max | 7,86 | 7,76 | 7,13 | 8,09 | 7,20 | 8,75 | 11,34 |
| min | 7,27 | 7,15 | 6,34 | 7,45 | 6,72 | 7,76 | 10,48 |
| variance | 0,024 | 0,019 | 0,056 | 0,040 | 0,012 | 0,088 | 0,049 |

Tableau 9: pH des eaux en fonctions des jours de prélèvements

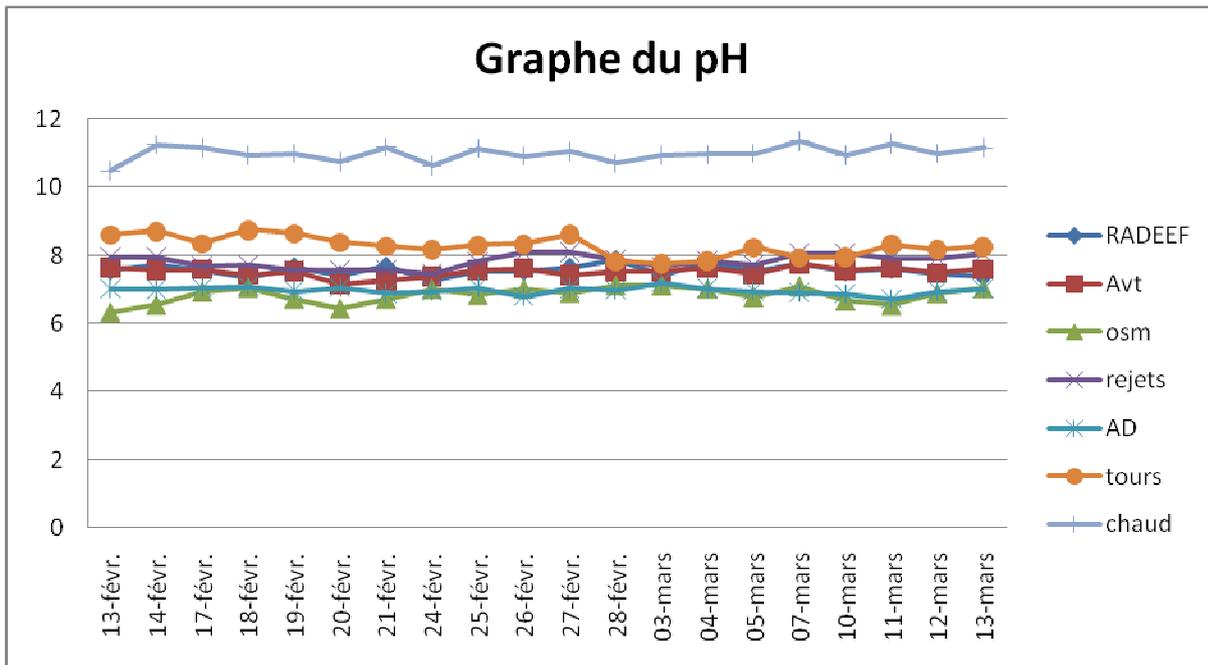


Figure 20: Graphe du pH

- ◆ L'eau potable a un pH de 7 à 8 qui est un pH neutre.
- ◆ L'eau osmosée et l'eau adoucie sont des eaux déminéralisées, leur pH varie entre 6 et 7, due à la présence d'un correcteur du pH pour le neutraliser avant sa déminéralisation.
- ◆ L'eau des tours de refroidissement a un pH égal ou supérieure à 8. Cette élévation est due essentiellement à la concentration élevée en ion OH^- attribué à l'évaporation de l'eau de refroidissement et aussi due au mitigeage.
- ◆ L'eau de la chaudière, a un pH élevé entre 10 et 12. Cette élévation est expliquée d'une part par l'ajout de la soude afin d'éviter les problèmes de corrosion au niveau de la chaudière, et d'autre part, par le phénomène d'évaporation.



f) Conclusion d'étude expérimentale

Selon l'étude statistique effectuée par les graphes par paramètres, on peut conclure que:

- * L'eau osmosée et l'eau adoucie, ont une meilleure qualité au niveau pureté par rapport aux autres types d'eau dans l'usine.
- * L'eau avant osmoseur et l'eau de ville ont presque les mêmes résultats des 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.
- * L'eau des rejets d'osmoseur, est une eau très chargée suite à l'accumulation de la charge à travers les membranes.
- * D'après les interprétations citées ci-dessus, l'eau des tours de refroidissement est une eau constituée d'un mélange d'eau osmosée et d'eau de ville, suite aux commentaires cités, toutes variations au niveau de la composition au niveau des tours est du à l'action de metigeage entre ces deux eaux.
- * L'eau de chaudière a un pH de 11 dû à l'ajout de la soude pour ne pas avoir une corrosion au niveau de la chaudière.

5. Efficacité d'osmoseur par paramètres

$$\text{efficacité} = 100 - \left(\frac{\text{moyenne eau osmosée}}{\text{moyenne eau potable}} * 100 \right)$$

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

| | THT | TAC | Cl- | conductivité |
|--------------|-------|-------|-------|--------------|
| eau potable | 16,34 | 29,56 | 0.18 | 1127,5 |
| eau osmosée | 0,32 | 1,96 | 0,01 | 18,76 |
| efficacité % | 98,04 | 93,37 | 94,44 | 98,34 |

Tableau 10: efficacité par paramètre

D'après les calculs effectués, on constate que l'osmoseur élimine 98,04% des cations Mg^{2+} et Ca^{2+} (THT), 93,37% des carbonates (CO_3^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-) et les hydroxydes (OH^-), 94,44% des ions chlorures (Cl^-), de l'eau d'alimentation, et par conséquent une efficacité de 98,34% au niveau de la conductivité.

Cela signifie l'efficacité d'osmoseur à avoir une eau qui tend vers le maximum de pureté.

6. Bilan hydraulique d'osmoseur

Pour bien traité le fonctionnement d'osmoseur, il est nécessaire de connaître son rendement et par conséquent contrôler la quantité d'eau à l'entrée et à la sortie au niveau d'osmoseur afin d'établir son bilan hydraulique.



Figure 21: bilan hydraulique à l'entrée et la sortie d'osmoseur

Pour caractériser son fonctionnement, il est primordial de déterminer son taux de conversion :

$$T_c = \frac{Q_p}{Q_a} * 100$$

Avec :

Q_p : débit de perméat.

Q_a : débit d'alimentation donné.

❖ Tableau des débits d'entrée et de sortie

| Date | Eau prétraitée (m^3/j) | eau osmosée (m^3/j) | Taux de conversion |
|--------|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| 19-mai | 428 | 342 | 79,91 |



| | | | |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 20-mai | 419 | 335 | 79,95 |
| 21-mai | 431 | 345 | 80,05 |
| 22-mai | 418 | 334 | 79,90 |
| 23-mai | 426 | 341 | 80,05 |
| 24-mai | 441 | 353 | 80,05 |
| 26-mai | 429 | 343 | 79,95 |
| 27-mai | 435 | 348 | 80,00 |
| 28-mai | 426 | 341 | 80,05 |
| 29-mai | 433 | 346 | 79,91 |
| moyenne | 428,6 | 352,8 | 79,98 |

Tableau 11: taux de conversion d'osmoseur

D'après les résultats trouvés, il est bien clair qu'on sort avec une grande quantité d'eau osmosée (79.98%), le reste d'alimentation est un rejet chargé (20,02%) qui s'avère vers les égouts.

IV. Impact de traitement d'eau sur la levure

1. Influence sur la biomasse

L'influence de traitement d'eau sur la biomasse est expliquée par le refroidissement des fermenteurs au cours de la fermentation de la levure (réaction exothermique).

Le travail effectué dans cette partie consiste à réaliser une comparaison entre la fermentation à une température idéale, et une autre à une température supérieure à 35°C, à travers une fermentation panairie faite au laboratoire :

❖ Fermentation à une température idéale (30 – 35 °C) :

| | | | | |
|------------------------------------|----|----|-----|-----|
| temps (min) | 30 | 60 | 90 | 120 |
| T°C | 34 | 34 | 34 | 34 |
| CO ₂ (Cm ³) | 45 | 80 | 104 | 130 |

Tableau 12: Fermentation à une température idéale

❖ Fermentation lors d'une augmentation de Température (>35°C) :

| | | | | |
|------------------------------------|----|----|----|-----|
| temps (min) | 30 | 60 | 90 | 120 |
| T°C | 36 | 36 | 36 | 36 |
| CO ₂ (Cm ³) | 35 | 60 | 80 | 110 |

Tableau 13: Fermentation lors d'une augmentation de température

❖ Graphe comparatif des fermentations de la levure

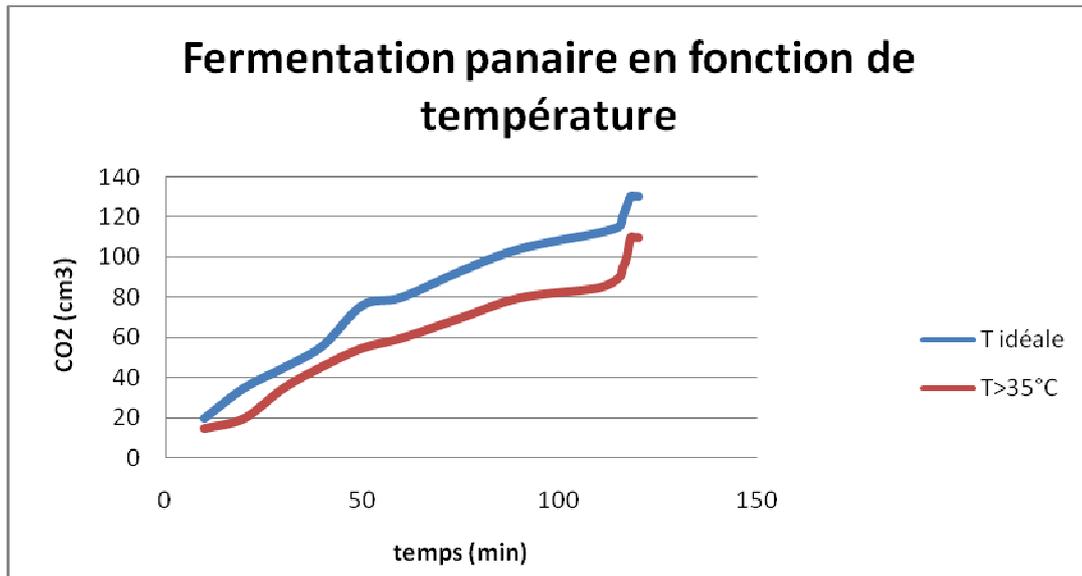


Figure 22: graphe de fermentation en fonction de temps

Selon les tableaux représentatifs de la fermentation, et le graphe comparatif en fonction de la température, on remarque que l'élévation de la température a un effet indésirable sur la fermentation.

L'impact d'une telle augmentation de la température, conduit à :

- * Un retard de la multiplication des cellules.
- * Un manque d'oxygène qui entraîne un problème de multiplication.

→ *Le refroidissement assure une optimisation de la multiplication cellulaire au cours de la fermentation.*

2. Influence sur les dépenses

Durant l'année 2013, LESAFFRE Maroc a connu deux types de problèmes :

- Des problèmes résultants du mauvais refroidissement des fermenteurs et un manque au niveau de la quantité de vapeur produite, conduisant à des diminutions au niveau de la production.
- Des problèmes conduisant à des arrêts pour faire un nettoyage complet, soit au niveau de la chaudière et ses conduites, soit au niveau des échangeurs thermiques.

Pendant l'année 2014, LESAFFRE Maroc n'a connu aucun arrêt ; par contre durant l'année 2013, la société a connu trois arrêts au niveau de la production à cause des problèmes cités précédemment.



D'autre part, lors de traitement avant utilisation d'osmoseur (adoucisseur), une grande quantité d'énergie a été consommée, par rapport à la quantité consommée lors d'utilisation d'osmoseur traité. Cette différence est expliquée par la quantité produite par l'osmoseur qui est plus grande relativement à la quantité produite par l'adoucisseur.

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 98,04% des cations Mg^{2+} et Ca^{2+} (THT), 93,37% des carbonates (CO_3^{2-}), bicarbonates (HCO_3^-) et les hydroxydes (OH^-), 94,44% des ions chlorures (Cl^-), de l'eau d'alimentation, et par conséquent une efficacité de 98,34% 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).

Aussi, nous avons établie le bilan hydraulique de l'osmoseur qui a donné un rendement de près de 80 %, le reste est un rejet chargé qui contient tous les sels qui n'ont pas traversé la membrane, il représente 20 % du débit entrant, d'où l'importance de minimiser cette quantité afin d'augmenter sa rentabilité.



Bibliographie

Sites internet

- [1] <http://www.radeef.ma/Accueil/Pr%C3%A9sentationetactivit%C3%A9s/Activit%C3%A9s/Activit%C3%A9EauPotable.aspx>
- [2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_potable
- [3] <http://marc.morin35.free.fr/lycee/1ereL/Chapitre%20C1%20eaux.pdf>
- [4] http://www.eauplus.fr/fre/Adoucissement/Qu_est-ce_qu_une_eau_dure.html
- [5] http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_distill%C3%A9e
- [6] http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_purifi%C3%A9e
- [7] http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_douce
- [9] <http://patricebacchin.fr/images/doc/filtrationmembranaire.pdf>
- [10],[13] [19] <http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae14.pdf>
- [11],[12] <http://wiesner.cee.duke.edu/files/wiesner/Benjamin%20Th%C3%A8se%20F.pdf>
- [20] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Osmose>
- [21] [22] <http://jmsnat.free.fr/site/osmoseur.html>
- [23] [24] [25] [26] <http://www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae14.pdf>

Document

- [8] [Cours déjà étudié à la licence par Mr. HASSANI](#)