UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Département de chimie

Licence Sciences et Techniques (LST)

Techniques d'analyse chimique et contrôle de qualité

TACCQ

PROJET DE FIN D'ETUDES

Analyses physicochimiques des eaux des tours de refroidissement

Présenté par :

- **Saloua OULIKINE**

Encadré par :

- **Mr. BENNANI (Société LESAFFRE)**
- **Pr : E.M. EL HADRAMI (FST)**

Soutenu Le 11 Juin 2013 devant le jury composé de:

- Pr : E.M. EL HADRAMI
- Pr : A. BENTAMA
- Pr : B. IHSSANE

Stage effectué à la société LESAFFRE MAROC

Année Universitaire 2012 / 2013

SOMMAIRE

Introduction.....1

Chap.1 : rappel sur la levure, l'eau et les tours de refroidissement.....2

I- présentation de la société LESAFFRE MAROC.....3

1- historique de la société.....3

2- Présentation du laboratoire d'analyses.....4

3- L'organigramme de la société.....5

II- Généralité sur la levure.....6

1- Définition de la levure.....6

2- développement de la levure.....6

3- Type de la levure utilisée.....6

4- Procédé de fabrication de la levure 6

III- Généralité sur l'eau.....11

1- Définition de l'eau.....11

2- Analyses physico-chimiques de l'eau.....11

3- traitement des eaux de refroidissement.....12

4- circuit de distribution des eaux de refroidissement vers les fermenteurs.....13

VI- Généralités sur les tours de refroidissement.....14

1- *définition*……..14
2- *principe*……**15**
3- *fonctionnement*……15

Chap.2 : *analyses physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement*…**16**

I- Echantillonnage de l'eau ……17

II- Analyses physico-chimiques……..…17

1- *Conductivité*……...17
2- *pH*……...17
3- *Le titre hydrotimétrique total (THT)*……17
4- *Le TAC (titre alcalimétrique complet)*……18
5- *Chlore actif ClO^-*…….. ...19
6- *Chlorure Cl^-*……20

III- *Résultats et interprétations*……..……**21**
1- *Conductivité en ms/cm*……21
2- *PH*……22
3- *THT en °F*……23
4- *TAC en °F* ……25
5- *Chlore actif [ClO^-] en mg/l*……27
6- *Chlorure [Cl^-] en mg/l* ……..……28

Conclusion……..30

Dedicace

A mes très chers parents, qui m'ont soutenus et encouragés, qui sont une source inépuisable d'amour et de compréhension ; que ce travail soit le témoignage de mon affection pour tous les sacrifices qu'ils n'ont pas cessé de déployer pour moi.

A mes très chers frères,

A mes formateurs,

A tous mes amis (es).

Je suis sincèrement reconnaissante pour leurs soutiens et dévouement impérissable, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect et ma vive gratitude.

Remerciements

Au terme de ce stage, je saisis cette occasion pour exprimer mon vif remerciement au directeur de la société LESAFFRE qui m'a donné l'occasion d'effectuer ce stage. Et à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce stage.

Je souhaite de remercier mon encadrant le professeur Mr EL HADRAMI, et mon encadrant de stage Mr BENNANI, qui m'ont encadré avec patience durant la période de ce stage. Leurs conseils m'ont été bien utiles, notamment pour la rédaction de ce mémoire.

L'expression de ma haute reconnaissance aux techniciens de laboratoire qui n'ont épargné aucun effort pour mettre à ma disposition les explications nécessaires.

J'exprime également ma gratitude aux membres du jury, qui m'ont honorés en acceptant de juger ce modeste travail. Enfin, je tiens à remercier l'ensemble du corps de la société LESAFFRE MAROC.

Merci

Liste des illustrations

Figure 1 : *Organigramme de la société LESAFFRE.*

Figure 2 : Processus *général de la fabrication de levure.*

Figure 3 : Schéma descriptif de circuit des eaux des tours de refroidissement.

Figure 4 : Evolution de la conductivité en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

Figure 5 : Evolution du pH en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

Figure 6 : Evolution du THT en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

Figure 7 : Evolution du TAC en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

Figure 8 : Evolution du [ClO^-] en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

Figure 9 : Evolution du [Cl^-] en mg/l en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

Tableau 1 : Résultats de la conductivité en ms/cm des différents échantillons d'eaux.

Tableau 2 : Résultats du pH des différents échantillons d'eaux.

Tableau 3 : Résultats du THT des différents échantillons d'eaux.

Tableau 4 : Résultats du TAC des différents échantillons d'eaux.

Tableau 5 : Résultats du [ClO-] des différents échantillons d'eaux.

Tableau 6 : Résultats du [Cl^-] en mg/l des différents échantillons d'eaux.

INTRODUCTION

La levure de boulangerie peut, à juste titre, être considérée comme un des plus anciens produits issus de la fermentation industrielle. Aujourd'hui encore, elle est un des plus importants produits de la biotechnologie, à la fois par la quantité et par la fonction (les qualités du pain levé à la levure sont reconnues à travers le monde, dépassant les frontières nationales et culturelles).

L'industrie de la levure est une industrie de pointe qui a bénéficié de tous les progrès scientifiques, Parmi ces derniers l'utilisation des ***tours de refroidissement*** *pour garder la température optimale nécessaire a la croissance de la levure.*

Pour éviter la détérioration des installations par les dépôts du tartre et pour obtenir un produit de qualité et prévenir toutes sortes de contaminations chimiques et microbiologiques les eaux utilisées dans les tours pour effectuer le refroidissement doivent subir un contrôle de qualité très efficace d'où l'idée de mon sujet de stage : ***<<Les analyses physicochimiques des eaux des tours de refroidissement >>.***

Mon travail sera composé de deux chapitres :

Le premier chapitre *consacra un rappel sur les levures, l'eau et les tours de refroidissement.*

Le deuxième chapitre *traitera les analyses physicochimiques des eaux des tours de refroidissement que j'ai pu effectuer au cours de mon stage.*

Chapitre1:
rappel sur la levure, l'eau et les tours de refroidissement

Avant de passer aux rappels bibliographiques, je ferai une brève présentation de la société ou s'est déroulé mon stage.

I- Présentation de la société LESAFFRE MAROC

1-Historique de la société

LESAFFRE est l'une des principales filiales du groupe mondiale spécialiste en matière de production de levure boulangère.

LESAFFRE est maintenant considérée comme un des piliers de l'industrie du royaume, puisqu'elle est devenue leader en production de levure fraîche et de levure sèche active et instantanée.

Son siège est situé au cartier industriel SIDI BRAHIM Fès. Elle produit environ de 30.000 tonnes de levures par an avec un effectif de 200 personnes et un capital de 30.800.000 DH, elle est subdivisée en un site de production à Fès et un BANKING CENTER à Casablanca. Ce dernier site constitue une vitrine des produits **LESAFFRE** ou les Boulangers peuvent suivre des formations et des démonstrations applicables à leur métier.

LESAFFRE Maroc fabrique et commercialise de la levure : les marques, **Jaouda** comme levure fraîche, **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 des améliorants de panification : les marques **Ibis bleu** et **Magimix**, ces derniers apportent au consommateur le pain qu'il apprécie que ce soit en terme de volume, de texture et couleur de mie, d'aspect et couleur de croûte, de conservation et bien sûr de goût.

La politique de la société **LESAFFRE** vise une qualité et un prix plus importants que ceux de ses concurrents marocains et les principaux clients sont les boulangeries du pays qui n'hésitent à opter pour la levure **LESAFFRE**.

2- Présentation du laboratoire d'analyses

Lesaffre Maroc dispose de deux laboratoires, microbiologique et physicochimiques intervenant presque dans tous les niveaux de fabrication depuis la réception de la matière jusqu'à l'obtention du produit fini par des analyses effectuées, soit sur demande en cas de réclamation clientèle, soit régulièrement au cours de la production avant et après emballage afin que le produit fini répond à toutes les normes de la qualité.

a- laboratoire microbiologique

Il est divisé en quatre parties :

- salle de stockage des matériels et des produits
- salle de préparation des milieux de cultures, stérilisation et d'autres activités
- salle d'analyses microbiologiques
- salle de nettoyage : une laverie

b- laboratoire physicochimique

Il est divisé en quatre parties :

- salle de stockage des matériels et des produits chimiques
- salle de panification ou bien salle de férmentomètre ou s'évalue la force panaire (la capacité de la levure à faire monter le pain)
- salle d'analyses physicochimiques
- salle de nettoyage : une laverie

3- Organigramme de la société

La figure ci-dessous présente l'organigramme de la société LESAFFRE.

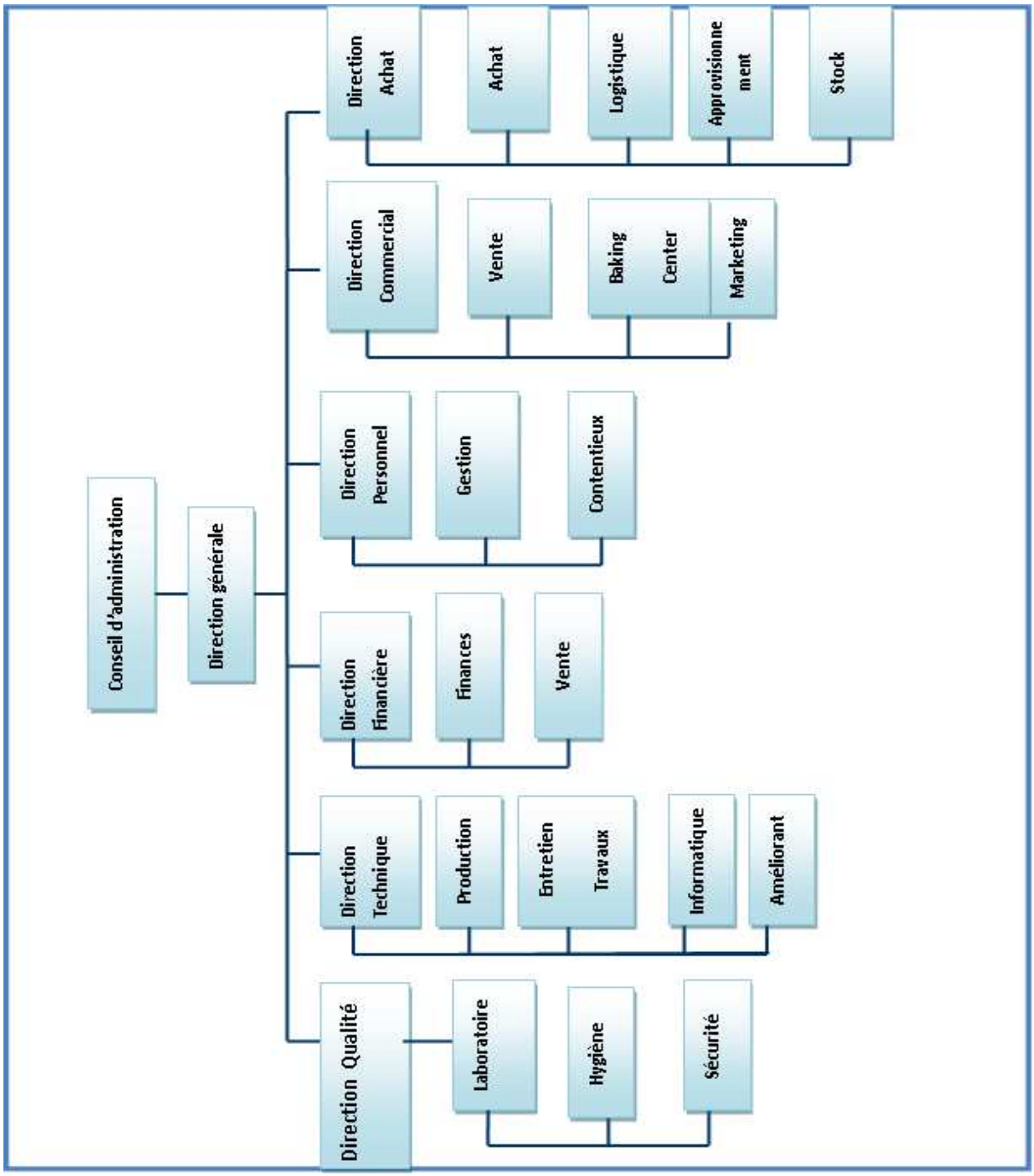
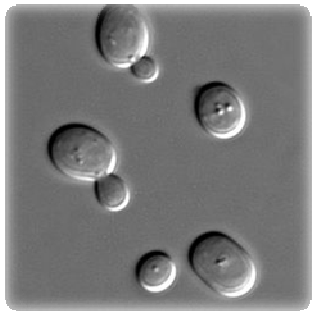


Figure 1 : Organigramme de la société LESAFFRE

II- Généralité sur la levure

1- Définition de la levure

La levure est un champignon unicellulaire minuscule que les scientifiques appellent « micro-organisme ». Cette cellule a la forme d'un œuf et n'est visible qu'au microscope. Sa taille est de 6 à 12 µm de long et 6 à 8 µm de large.



2- Développement de la levure

La levure est capable de vivre en présence ou en absence d'oxygène :

- ***Avec air :***

En aérobiose (en présence d'air), les levures respirent et se multiplient abondamment.

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ATP (Adénosine Tri-Phosphate)}$$

- ***Sans air :***

En anaérobiose (absence d'air), le sucre est en grande partie transformé en alcool au détriment de l'énergie libérée. C'est le cas de la panification.

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} \rightarrow 2CO_2 + 2CH_3CH_2OH \text{ (éthanol)} + \text{ATP (Adénosine Tri-Phosphate)}$$

3- Type de la levure utilisée

La levure la plus connue porte le nom de *Saccharomyces cerevisiae* : Saccharo pour sucre et Myces pour champignon. Le genre *cerevisiae* signifie en latin « brasserie ». C'est cette levure qui est utilisée pour la fabrication du pain. Elle se multiplie par bourgeonnement

4- Procédé de fabrication de la levure

a- échelle laboratoire

Chaque mois la société Lesaffre Maroc reçoit deux souches de *Saccharomyces cerevisiae*. Une est 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 leur croissance, pour préparer 60 tubes par mois (30 tubes pour chaque souche); cette étape exige un travail dans des conditions aseptiques pour éviter le risque de contamination. On transvase le contenu de chaque tube dans deux petites fioles de 250ml appelé « van Lear », dont le milieu nutritif très riche (sucres, vitamines, sels …..) rendra possible une première multiplication, suivie d'une

agitation. Le contenu de chaque fiole est introduit dans une autre fiole plus grande (7L) appelée « calsberg », où elles se multiplient à nouveau, suivie également d'une agitation.

b- échelle semi industrielle

Cette étape se déroule dans une cuve de 800L, en ajoutant cette fois la mélasse au lieu des sucres et d'autres ingrédients tels que l'urée qui contient de l'azote, le phosphate, le sulfate, chlorure de magnésium, les vitamines que la levure nécessite pour sa multiplication.

c- échelle industrielle

- ✓ **La préfermentation**

Cette opération se poursuit dans un préfermenteur pendant 18h. Avant le refoulement du volume de 800L, le milieu doit être préparé par les éléments suivants : l'eau, le sulfate de magnésium, les vitamines, l'eau de javel pour la stérilisation et l'acide sulfurique. Le contenu de la cuve de 800L est refoulé dans le préfermenteur.
La mélasse, le sulfate d'ammonium, le mono ammonium phosphate et l'urée sont ajoutés graduellement au cours de la préfermentation, ainsi que l'air. On obtient alors la levure mère.

- ✓ **La fermentation de la levure mère**

Cette opération se poursuit dans un fermenteur de 18 à 20 heures. La levure mère servira à ensemencer le fermenteur avec un milieu nutritif bien spécifique. L'eau, l'acide sulfurique, le sulfate de magnésium, les vitamines, l'eau de javel sont introduits tout d'abord dans le fermenteur, ensuite le contenu du préfermenteur est refoulé, puis la mélasse, les sels et l'air sont ajoutés graduellement. Le mout levuré est obtenu.

- ✓ **La séparation de la levure mère**

La séparation consiste à éliminer le reste du milieu nutritif.
Dés que la fermentation de la levure mère touche sa fin, le mout levuré est envoyé vers un séparateur centrifuge. Un liquide dense (crème) est obtenu ainsi qu'un liquide léger (mout délevuré) qui est rejeté vers les égouts.
La crème obtenue sera stockée dans des cuves munies d'un système de refroidissement pour assurer une température de 4°C. La levure commerciale est obtenue.

- ✓ **La fermentation de la levure commerciale**

Cette étape de fermentation se déroule dans des fermenteurs, elle permet d'obtenir une biomasse importante, son principe est le même que celui de la fermentation de la levure mère. Après 18h de fermentation, le moût levuré obtenu est refoulé vers la station de séparation.

- ✓ **séparation de la levure commerciale**

La levure commerciale passe par deux séparateurs : le premier sépare le mout délevuré de la crème et le deuxième finit le travail en mélangeant la crème avec l'eau, pour éliminer le maximum de mout délevuré et éclaircir sa couleur. La crème commerciale obtenue est refroidit dans un échangeur de chaleur jusqu'une température d'environ 7°C, avant son stockage dans les cylindres de garde à une Température de 4 °C.

d- Conditionnement

✓ Levure fraiche

Le conditionnement débute par la filtration de la crème, qui se fait à l'aide de trois déshydrateurs rotatoires sous vide sur lesquels une couche d'amidon est déposée, afin de ne pas laisser passer les cellules de la levure.

Une eau de lavage est ajoutée à la crème au cours de la filtration, pour éclaircir davantage sa couleur. La filtration de la crème entraine sa déposition sur la couche d'amidon. Les déshydrateurs sont munis des racleurs qui servent à racler la crème déposée. La crème sous forme de pâte tombe dans des trémies.

L'emballage s'effectue grâce à une machine spéciale constituée d'une boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Une levure pressée, coupée sous forme de parallélépipèdes et enveloppée individuellement dans un papier paraffiné est obtenue; quand le gâteau de la levure fraiche passe par cette machine.

Le produit fini, sous forme de paquets de poids net de 500g, est mis en cartons disposés sur des palettes de manière à avoir un vide entre eux pour faciliter la circulation d'air froid. Après mise en carton, la levure est conservée en chambre froide de 0 à 4°C afin d'être réfrigérée à cœur.

✓ Levure sèche

Après déshydratation de la crème, le gâteau obtenu passe vers la boudineuse où il est mélangé avec un émulsifiant, qui protège les cellules de la levure contre la chaleur et leur donne une brillance caractéristique de la levure.

Le gâteau obtenu est transformé en vermicelle, à l'aide d'une grille cylindrique de porosité connue pour avoir une granulométrie bien déterminée. Ensuite il est transféré, à l'aide d'une conduite vibratoire qui le dégrade, dans des bols pour passer dans des séchoirs, qui fonctionnent par l'envoi d'un courant d'air sec et chaud auparavant filtré; afin d'éliminer le maximum d'eau restante dans la cellule sans l'endommager.

On distingue deux types de levure sèche :

- La levure sèche active

Sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ trois heures pour une quantité de 500 kg, et s'effectue à 45°C. Elle est emballée sous air ou sous vide dans des sachets de 500g. Elle se conserve un à deux ans.

- La levure sèche instantanée

Sous forme des bâtonnets, elle a une durée de séchage réduite, durant 30min environ pour une quantité de 150 Kg, et s'effectue à 70°C. Elle est caractérisée par une force fermentaire supérieure à celle de la levure sèche active. La levure sèche instantanée est emballée sous vide ou sous azote dans des sachets de 10g, 125g, 500g. Elle se conserve jusqu'à deux ans.

Le schéma suivant représente le processus général de la fabrication de la levure.

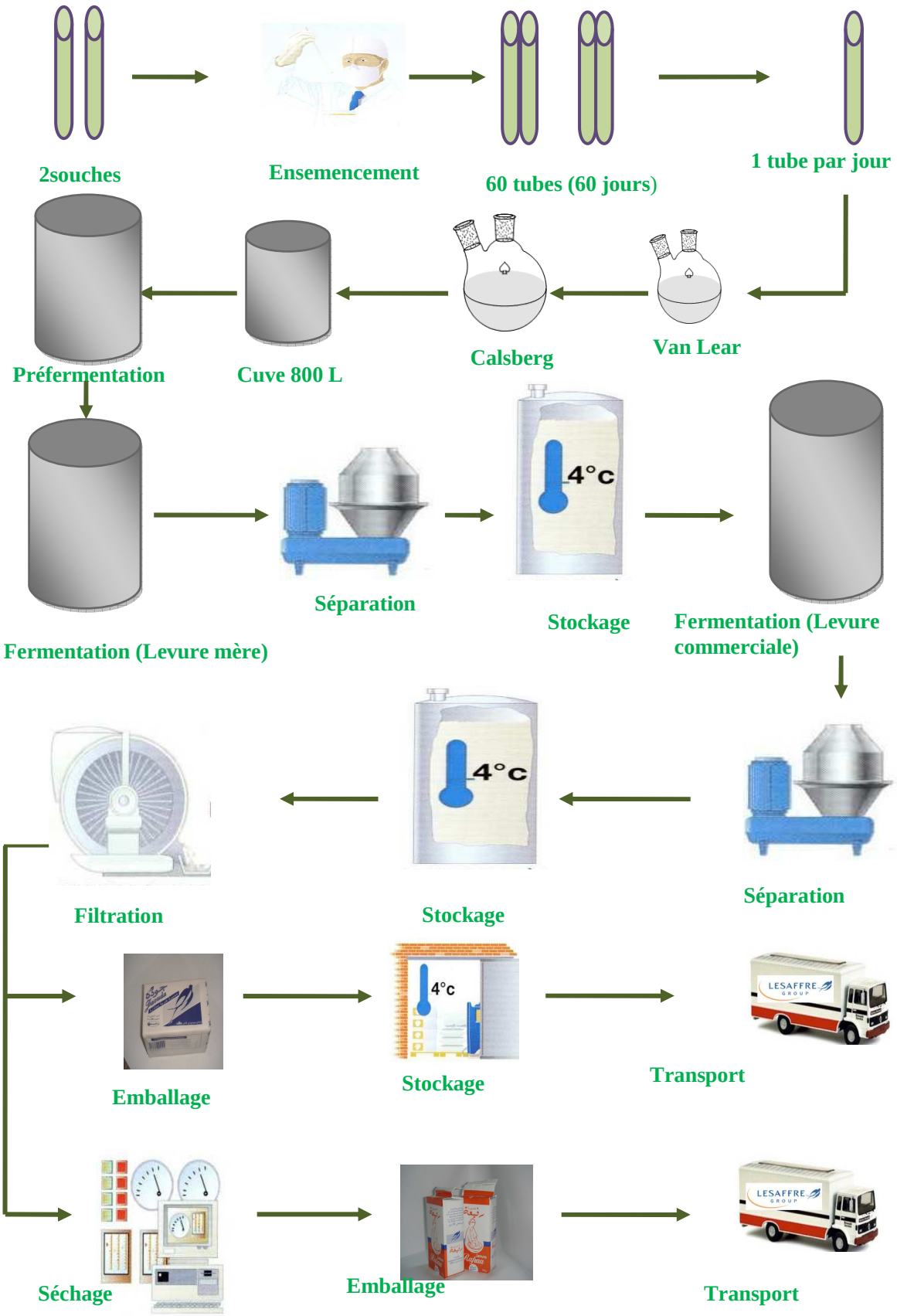


Figure 2 : Processus général de la fabrication de levure

III- Généralité sur l'eau

5- Définition de l'eau

L'eau est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante), composé sous sa forme pure de molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène sous la forme H_2O.

Les chimistes utilisent de l'eau distillée pour leurs solutions, cette eau étant pure à 99 %, il s'agit d'une solution aqueuse.

L'eau dissout la majorité des corps solides et facilite ainsi les réactions chimiques, L'eau est en effet un solvant essentiel, parfois qualifié de « solvant universel ».

2- Analyses physico-chimiques de l'eau

- ✓ ***Conductivité***

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

- ✓ ***pH***

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 et 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

- ✓ ***Le titre hydrotimétrique total (T.H.T)***

Le **titre hydrotimétrique** total (T.H.T), ou **dureté de l'eau**, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

La dureté s'exprime en ppm (ou mg/l) de $CaCO_3$ ou en degré français (symbole °f ou °fH). 1 degré français correspond à 10^{-4} mol/L, soit 4 milligrammes de calcium ou 2,4 milligrammes de magnésium par litre d'eau.

- ✓ ***Le TAC (titre alcalimétrique complet)***

Le TAC (titre alcalimétrique complet) est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau, son unité est le degré français (°f ou °fH).

- ✓ ***Chlore actif ClO^-***

Chlore actif ClO^- : c'est un produit de l'eau de javel

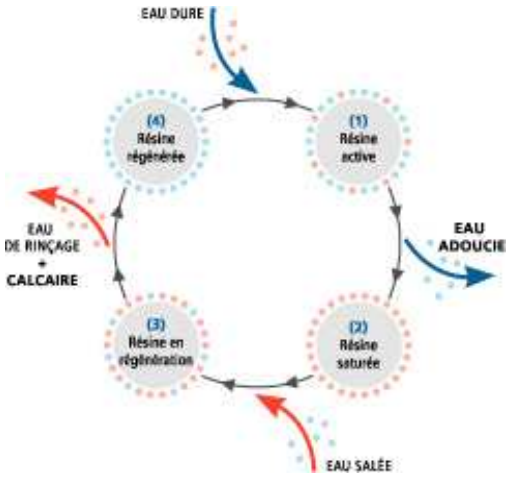
$$NaClO \rightarrow Na^+ + ClO^-$$

- ✓ ***Chlorure Cl^-***

Chlorure Cl^- : Il est produit lors de la dissociation du chlorure de sodium des résines dans l'eau.

$$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$$

3- traitement des eaux de refroidissement



L'eau distribuée par la RADEEF est riche en calcaire, c'est une eau dure, cela signifie simplement qu'elle contient plus de minéraux, ces minéraux sont le calcium et le magnésium. Le degré de dureté de l'eau augmente avec la quantité en calcium et magnésium dissoute.

Donc son utilisation dans l'alimentation comme eau de refroidissement et comme eau de chaudière, nécessite en minimum de précaution pour limiter la dégradation des installations.

Le calcaire présent dans l'eau dur (non traitée) peut obstruer les tuyaux et compliquer la dissolution des détergents dans l'eau, il détériore les canalisations, la robinetterie, la chaudière et les tours de refroidissement, il réduit considérablement la longévité des installations même correctement exécutées, il accroit également d'une façon importante la consommation d'énergie.

On constate enfin une surconsommation de l'eau, d'énergie et de produits d'entretien. Et afin de réduire les dégâts du calcaire, un procédé d'adoucissement doit être appliquer.

L'**adoucissement de l'eau** est un procédé de traitement destiné à éliminer la dureté de l'eau (due à la présence des sels alcalino-terreux : carbonates, sulfates et chlorures de calcium et de magnésium). Et pour effectuer ce procédé on utilise **l'adoucisseur d'eau** qui est un appareil qui utilise **une résine qui échange des ions** et qui permet de **réduire la présence de calcaire dans l'eau**. Cet appareil consiste à échanger les ions calcium et le magnésium qui participent à la dureté de l'eau par des ions sodium lié à la résine de l'adoucisseur. L'adoucissement se fait sur un support constitué d'une résine qui affiche un taux élevé de sodium.

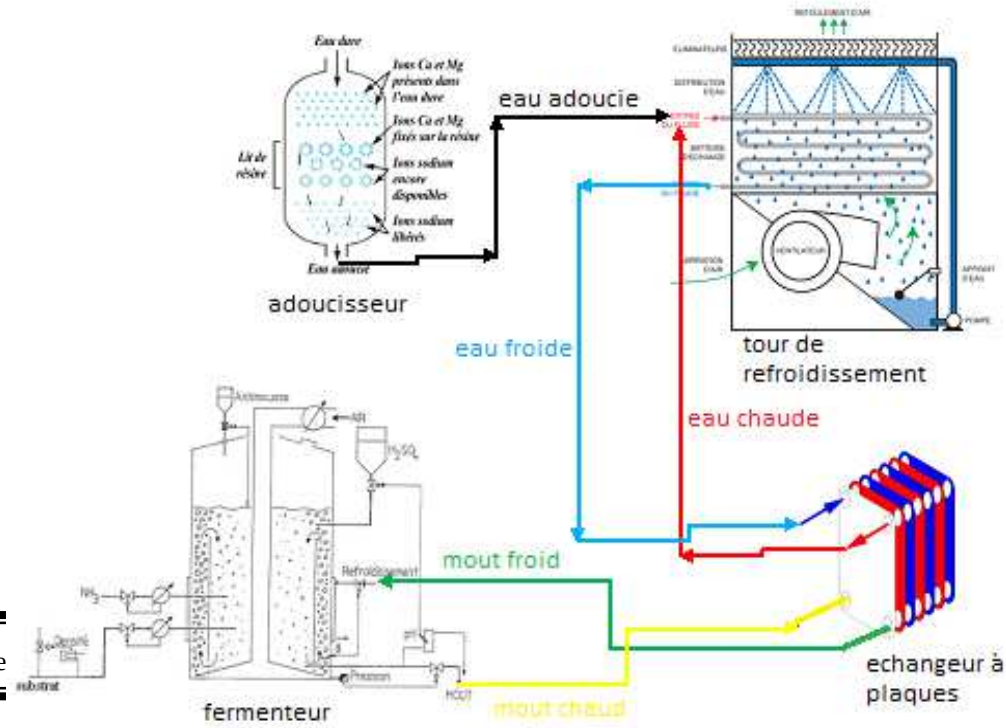
À noter que chaque ion Ca^{2+} et Mg^{2+} va éliminer 2 ions Na^+ de la résine. L'opération va continuer jusqu'à ce que les ions Na^+ sur la résine soient complètement éliminés. Une fois que l'échange est terminé, la résine est saturée et doit être régénérée. Ce qui fait qu'il faut la

recharger en ions sodium afin qu'il retrouve son pouvoir adoucissant. La régénération s'effectue avec de la résine avec une saumure (solution de NaCl saturée). Les ions Na^{+} se fixent sur la résine alors que les ions Cl^{-} vont entrainer les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} fixés sur la résine vers les égouts. Ainsi, les ions calciums sont évacués sous forme de chlorures et les ions sodiums retrouvent leur place sur les résines. À noter que plusieurs cycles de rinçages permettront d'éliminer entièrement la saumure.

4- *circuit de distribution des eaux de refroidissement vers les fermenteurs*

La société LESAFFRE dispose de trois tours de refroidissement ALPHA LAVAL et d'une tour de refroidissement BALTIMORE, ces quatre tours sont alimentées par de l'eau adoucie et elles sont destinées à refroidir cinq fermenteurs.

Le schéma ci-dessous décrit le circuit de distribution des eaux de la tour de refroidissement vers l'échangeur de chaleur à plaque pour refroidir le mout arrivé du fermenteur.



Figure

IV- *Généralités sur les tours de refroidissements*

4- *définition*

Les tours de refroidissement ou tours aéroréfrigérantes sont utilisées pour refroidir un fluide (liquide ou gaz) à l'aide d'un moyen de refroidissement. Il s'agit d'un cas particulier d'un échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct ou indirect entre les flux. Le moyen de refroidissement de telles installations est le plus souvent l'air ambiant. Les tours de refroidissement sont des équipements courants, présents dans des installations de climatisation, ou dans des procédés industriels et énergétiques (centrales électriques, installations de combustion, sucreries, chimie...).

La société LESAFFRE MAROC dispose de deux types de tours : ALPHA LAVAL et BALTIMORE.

5- *principe*

Les tours aéroréfrigérantes ont pour fonction d'évacuer vers le milieu extérieur la chaleur issue de systèmes de refroidissement (climatisation ou procédé industriel) en pulvérisant de l'eau chaude dans un flux d'air. Cette eau tombe par gravitation à l'intérieur d'un flux d'air frais remontant dans la tour. Cette circulation d'air permet

de refroidir l'eau par vaporisation d'une partie de l'eau pulvérisée.

6- fonctionnement

Une **tour aéroréfrigérante** (TAR) est un système de refroidissement de circuits d'eaux chaudes utilisés notamment dans les installations de climatisation. C'est un échangeur de chaleur entre l'eau et l'air ambiant. L'eau chaude (dont la température dépend des équipements à refroidir, généralement 25-40 °C), (pour la fermentation de la levure25-30°C) est pulvérisée vers le haut de la TAR. L'air induit naturellement ou mécaniquement par une ventilation, permet de refroidir l'eau par évaporation. La surface de l'échange air/eau est augmentée par la présence de structures, généralement en forme de nids d'abeilles. L'air rejeté par la tour est chargé de vapeur d'eau due à l'évaporation (panache), et de fines gouttelettes d'eau. L'eau refroidie (entre 5 et 10 °C de moins que la température de l'eau chaude) est récupérée dans un bassin avant d'être pompée vers les équipements à refroidir.

Chapitre2:
Analyses physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement

J'ai effectué plusieurs analyses physico-chimiques sur les eaux de refroidissement pour évaluer leurs qualités et dans ce chapitre je vais décrire les modes opératoires suivit durant ce stage ainsi les résultats et leurs interprétations.

I- Echantillonnage de l'eau

L'échantillonnage se fait dans des flacons propres d'un volume presque de 250 ml à partir de :

- l’eau de robinet : l’eau potable.
- l’eau adoucie : l’eau qui a subit un traitement dans l’adoussiceur.
- l’eau des tours : l’eau du bassin des tours ALPHA AVAL 1, 2 et 3.
- l’eau rejetée : l’eau rejetée automatiquement lorsque sa conductivité dépasse 2,1ms/cm.

II- *Analyses physico-chimiques*

7- Conductivité

On introduit un volume de l’échantillon dans un bécher et à l’aide d’un conductimètre on mesure la conductivité. Elle est exprimée en ms/cm.

8- pH

Le même protocole pour mesurer la conductivité est suivit pour mesurer le pH, On introduit un volume de l’échantillon dans un bécher. A l’aide d’un pH-mètre, on mesure le pH. Il est sans unité.

9- Le titre hydrotimétrique total (THT)

- ***Principe***

  Le dosage s'effectue par titrage. Il utilise 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-}. Les réactions supports du titrage sont :

  $$Ca^{2+} + Y^{4-} \longrightarrow CaY^{2-}$$

  $$Mg^{2+} + Y^{4-} \longrightarrow MgY^{2-}$$

  Elles s'effectuent simultanément.

- ***Matériels***
  - éprouvette de 100ml
  - Pipette de 5ml
  - Erlenemeyer de 250ml
  - burette

- ***Réactifs***
  - Tampon pH 10
  - EDTA(l’acide éthylène diamine tétra-acétique)
  - L’indicateur coloré le Noir d’ériochrome.

- ***Protocole expérimental***

  - Prise d'essai de 100ml de l'eau à analysée
  - L'adition de 5ml Tampon pH 10
  - L'adition de quelques goutes l'indicateur coloré le Noir d'ériochrome (coloration violette).
  - Titrage avec l'EDTA (l'acide éthylène diamine tétra-acétique) N/50 jusqu'à ce que la couleur de la solution vire en bleu.

- ***Expression des résultats***

THT= volume de titrage

THT est exprimé en °F (degré français).

10- Le TAC (titre alcalimétrique complet)

- ***Principe***

L'ion hydrogénocarbonate $HCO3^-$ prédomine dans l'eau par rapport aux autres espèces carbonatées. L'équation de la réaction modélisant la transformation qui a lieu lors du titrage est donc :

$$HCO3^- + H3O^+ \longrightarrow CO2, H2O + H2O$$

- ***Matériels***

  - éprouvette de 100ml
  - Erlenemeyer de 250ml
  - burette

- ***Réactifs***

  - L'acide chloridrique
  - L'indicateur coloré l'orange de méthyle.
  - Protocole expérimental
  - Prise d'essai de 50ml de l'eau à analysée
  - L'adition de quelques goutes l'indicateur coloré l'orange de méthyle (coloration orange).
  - Titrage avec l'HCL 0,1N jusqu'à ce que la couleur de la solution vire en rouge brique.

- ***Expression des résultats***

TAC= volume de titrage*10

TAC est exprimé en °F (degré français)

5-Chlore actif ClO^-

- ***Principe***

C'est un dosage volumétrique par le thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3$ qui se déroule en deux étapes :

- La coloration brune résulte de l'oxydation des ions iodure, par les ions hypochlorite, en ions tri-iodure.

Couples Ox/Red : I_3^- / I^- ; ClO^- / Cl^-.

$3I^- = I_3^- + 2e^-$ oxydation

$ClO^- + 2e^- + 2H^+ = Cl^- + H_2O$ réduction

$3I^- + ClO^- + 2H^+ = Cl^- + I_3^- + H_2O$

-Réaction du dosage : réduction des ions tri-iodure en ions iodure par les ions thiosulfate.

Couples Ox/Red : I_3^- / I^- ; $S_4O_6^{2-} / S_2O_3^{2-}$

$I_3^- + 2e^- = 3I^-$ réduction

$2\ S_2O_3^{2-} = S_4O_6^{2-} + 2e^-$ oxydation

$I_3^- + 2\ S_2O_3^{2-} = 3I^- + S_4O_6^{2-}$

- ***Matériels***

- éprouvette de 50ml
- Erlenemeyer de 250ml
- burette

- ***Réactifs***

- Thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3$
- Acide acétique CH_3COOH
- Iodure de potassium KI
- L'indicateur coloré empois d'amidon.

- ***Protocole expérimental***

- Prise d'essai de 50ml de l'eau à analysée
- L'adition d'une spatule de KI
- L'adition de 10 ml d'acide acétique
- L'adition de quelques goutes l'indicateur coloré l'empois d'amidon (coloration noirâtre).
- Titrage avec thiosulfate de sodium $Na_2S_2O_3$ 0,01N jusqu'à ce que la couleur de la solution vire.

- ***Expression des résultats***

$$[ClO^-] = V*35,46*10^{-2} /50$$

V : le volume de titrage

$[ClO^-]$: en mg/l

11- Chlorure Cl^-

- ***Principe***

C'est un dosage volumétrique par le nitrate d'argent $AgNO_3$. Ou il ya formation d'un précipité blanc résulte de la réaction entre les ions argent et chlorure selon l'équation chimique :

$$Ag^+ + C\ell^- \longrightarrow AgC\ell$$

- ***Matériels***
  - éprouvette de 50ml
  - Erlenemeyer de 250ml
  - burette

- ***Réactifs***
  - Le nitrate d'argent $AgNO_3 10^{-2}$ N
  - L'indicateur coloré chromate de potassium.

- ***Protocole expérimental***
  - Prise d'essai de 50ml de l'eau à analysée
  - L'adition de quelques goutes l'indicateur coloré chromate de potassium K_2CrO_4 (coloration jaune).
  - Titrage avec le nitrate d'argent $AgNO_3 10^{-2}$ N jusqu'à ce que la couleur de la solution vire en orange.

- ***Expression des résultats***

$$[Cl^-] = V*35*10^{-2}/50$$

V : le volume de titrage

$[Cl^-]$: en mg/l

III- Résultats et interprétations

1- Conductivité en ms/cm

Les résultats d'analyses de la conductivité en ms/cm des différents échantillons des eaux sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n° 1 : Résultats de la conductivité en ms/cm des différents échantillons d'eaux.

Dates	Eau Potable	Eau Adoucie	Eau des tours 1 ; 2 et 3	Eau Rejetée des tours
18-avr	0,633	0,646	2,29	2,25
19-avr	0,591	0,641	2,09	2,09
22-avr	0,578	0,579	2,17	2,16
23-avr	0,578	0,576	2,29	2,3
24-avr	0,579	0,576	2,35	2,35
25-avr	0,573	0,574	2,14	2,18
26-avr	0,574	0,566	2,07	2,08
29-avr	0,574	0,574	2,28	2,29
30-avr	0,573	0,574	2,28	2,29
02-mai	0,572	0,575	2,25	2,28
03-mai	0,572	0,577	2,36	2,37
06-mai	0,561	0,572	2,41	2,41
07-mai	0,572	0,579	2,34	2,44
09-mai	0,636	0,642	2,97	2,97
10-mai	0,64	0,642	3,25	3,24
13-mai	0,634	0,643	3,07	3,08
14-mai	0,646	0,637	2,83	2,8

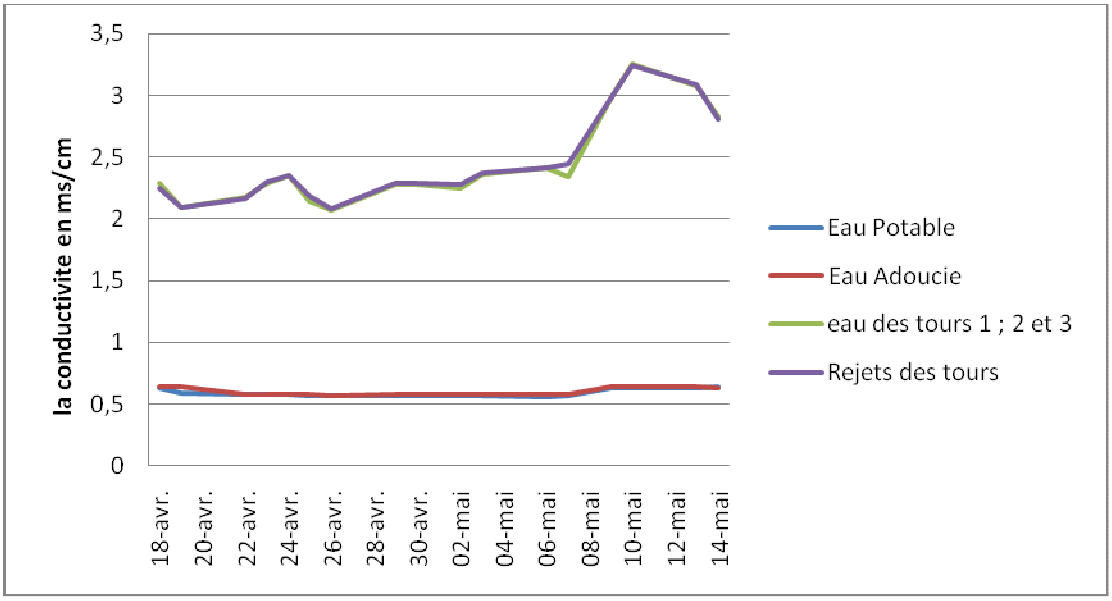


Figure n°4 : Evolution de la conductivité en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

⇒ Pour l'eau Potable: tous les résultats respectent les normes.

⇒ Pour l'eau Adoucie: les résultats de la conductivité sont aussi tous normaux.

⇒ Pour l'eau des tours 1 ; 2 et 3 : la conductivité était élevée durant toute la période des analyses et c'est à cause de l'évaporation de l'eau lors du refroidissement et aussi à cause l'ajout de l'eau javel dans le bassin de la tour, ce qui contribue à l'augmentation de la concentration de sels dissouts.

⇒ Pour l'eau Rejetée des tours : la conductivité était élevée et le résultat trouvé est normal car l'eau commence à être rejetée dés que la conductivité est supérieure à 2,1 ms/cm.

2- pH

Les résultats d'analyses du pH des différents échantillons des eaux sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n° 2 : Résultats du pH des différents échantillons d'eaux.

Dates	Eau Potable	Eau Adoucie	eau des tours 1 ; 2 et 3	Rejets des tours
18-avr	7,63	7,73	9,12	9,13
19-avr	7,54	7,54	9,13	9,15
22-avr	7,56	7,61	9,14	9,2
23-avr	7,55	7,64	9,16	9,22
24-avr	7,53	7,7	9,21	9,21
25-avr	7,58	7,66	9,17	9,14
26-avr	7,52	7,7	9,14	9,11
29-avr	7,66	7,8	9,23	9,14
30-avr	7,68	7,8	9,19	9,23
02-mai	7,56	7,65	9,13	9,1
03-mai	7,76	7,61	9,1	9,08
06-mai	7,56	7,85	9,08	9,06
07-mai	7,46	7,54	9,09	9,11
09-mai	7,39	7,51	9,13	9,16
10-mai	7,65	7,71	9,13	9,12

13-mai	7,54	7,61	9,05	9,03
14-mai	7,52	7,67	9,14	9,13

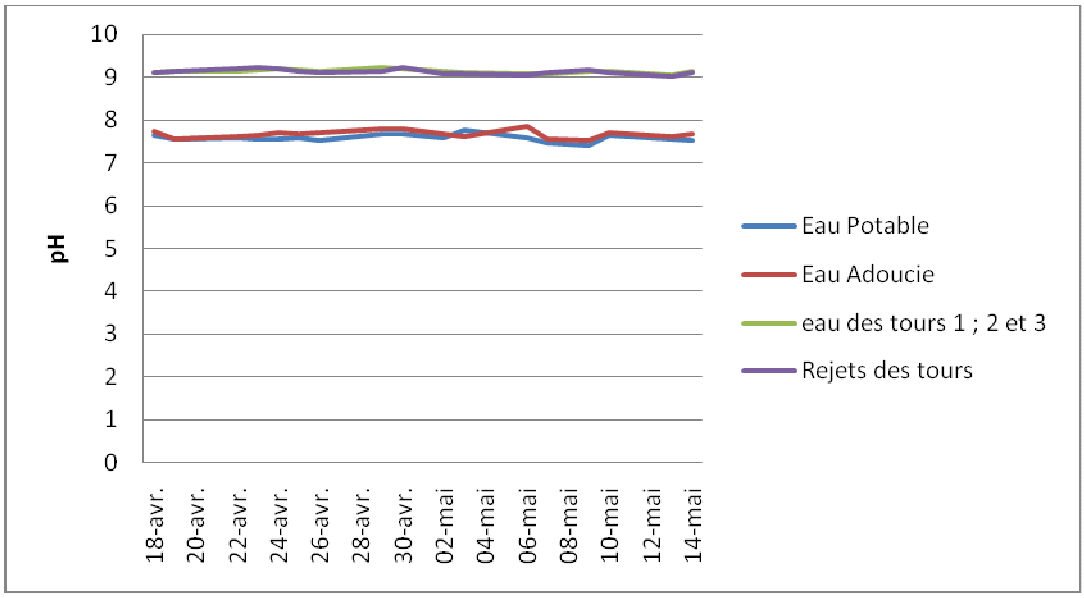


Figure n°5 : Evolution du pH en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

⇒ Pour l'eau Potable: tous les résultats du pH respectent les normes.

⇒ Pour l'eau Adoucie: les pH sont neutres, ce sont des résultats normaux.

⇒ Pour l'eau des tours 1 ; 2 et 3: les résultats du pH sont basiques et ceci est du à l'évaporation et à l'ajout de l'eau de javel.

⇒ Pour l'eau Rejetée des tours : le pH était élever est c'est pourquoi cette eau est entrain d'être rejetée.

3- THT en °F

Les résultats d'analyses THT des différents échantillons des eaux sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n° 3 : Résultats du THT des différents échantillons d'eaux.

Dates	Eau Potable	Eau Adoucie	eau des tours 1 ; 2 et 3	Eau Rejetée des tours
18-avr	20	4	6	4
19-avr	19	0,6	2	2,2
22-avr	16,2	2,8	2	2
23-avr	15,6	1,5	2	2,2
24-avr	13	2,9	2,7	3,5
25-avr	15,7	2,5	1,9	2,5
26-avr	24	2,2	4,3	2
29-avr	18	1,5	2	1,7
30-avr	20	3	1,9	1,9
02-mai	20	2	1,8	1,5
03-mai	13	1,5	1,8	1,6
06-mai	13,5	1,8	1,5	2
07-mai	19	2,5	4,5	7
09-mai	18,5	0,8	2,8	2
10-mai	22,2	0	2	2,2
13-mai	19	0,2	1,5	1,5
14-mai	16	5,7	5,5	5,8

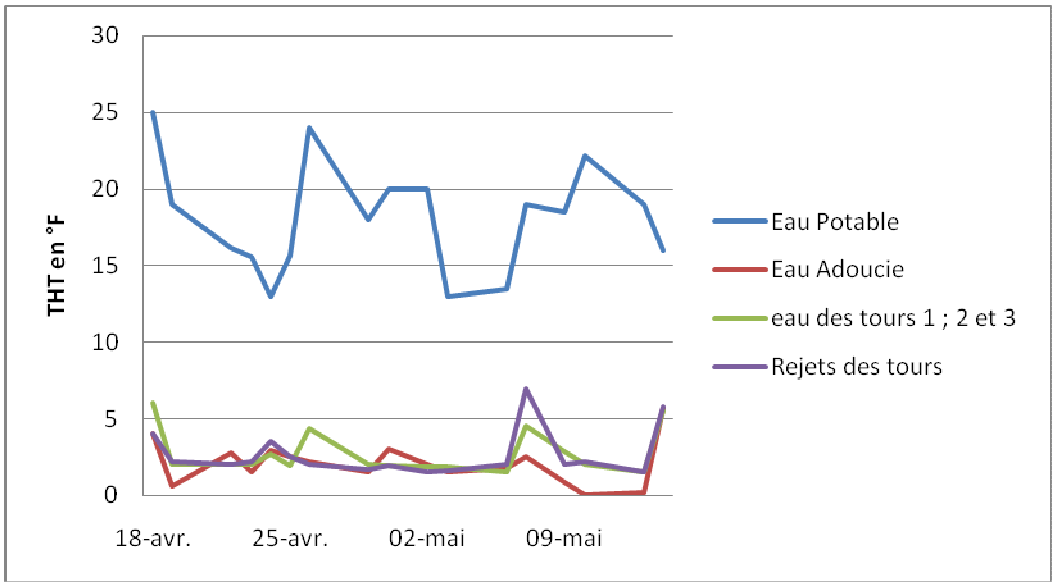


Figure n°6 : Evolution du THT en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

⇒ Pour l'eau Potable: tous les résultats du THT sont dans les normes.

⇒ Pour l'eau Adoucie: les résultats du THT n'étaient pas dans les normes dans la majorité des cas (supérieur de 1 °F) : souvent la société mélange l'eau adoucie avec l'eau potable pour combler le déficit en eau recommandé (eau adoucie).

⇒ Pour l'eau des tours 1 ; 2 et 3: les résultats de THT étaient élevés, et ils sont normaux car la concentration des ions magnésium et calcium a augmenté lors de l'évaporation au cours du refroidissement.

⇒ Pour l'eau Rejetée des tours : THT était élevé et c'est pourquoi cette eau est entrain d'être rejetée

4- TAC en °F

Les résultats d'analyses TAC des différents échantillons des eaux sont présentés dans le tableau suivant :

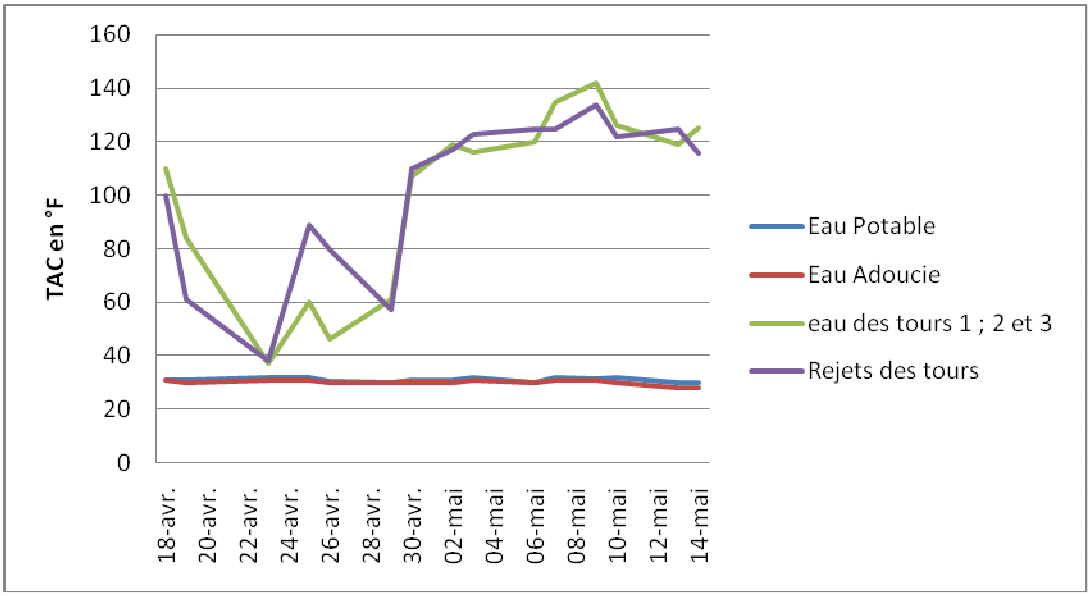
Tableau n° 4: Résultats du TAC des différents échantillons d'eaux.

Dates	Eau Potable	Eau Adoucie	eau des tours 1 ; 2 et 3	Eau Rejetée des tours
18-avr	31	31	110	100
19-avr	31	30	84	61
23-avr	32	31	37	38
25-avr	32	31	60	89
26-avr	30,5	30	46	80
29-avr	30	30	61	57
30-avr	31	30	107	110
02-mai	31	30	119	117
03-mai	32	31	116	123
06-mai	30	30	120	125
07-mai	32	31	135	125,1
09-mai	31,5	31	142	134
10-mai	32	30	126	122
13-mai	30	28	119	125
14-mai	30	28	125	115,8

Figure n°7 : Evolution du TAC en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

⇒ Pour l'eau Potable: tous les résultats du TAC sont dans les normes.

⇒ Pour l'eau Adoucie: les résultats du TAC sont dans les normes.



⇒ Pour l'eau des tours 1 ; 2 et 3 : les résultats de TAC étaient élever par rapport à l'eau adoucie, et ils sont normal est ceci correspond à la présence d'espèce basique tel que l'hydroxyde de carbonates et de bicarbonates.

⇒ Pour l'eau Rejetée des tours : TAC était élever est c'est pourquoi cette eau est entrain d'être rejetée.

5- *Chlore actif [ClO⁻] en mg/l*

Les résultats d'analyses [ClO⁻] des différents échantillons des eaux sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau n° 5 : Résultats du [ClO-] des différents échantillons d'eaux.

Dates	Eau Potable	Eau Adoucie	eau des tours 1 ; 2 et 3	Eau Rejetée des tours
23-avr	2,4	0	24	25
24-avr	2,3	0	17	21
25-avr	3,5	0	11	34
26-avr	2,1	0	15	38
29-avr	3	0	56	65
30-avr	0,02	0	0,14	0,21
02-mai	0,01	0,11	0,01	0,04
03-mai	0,02	0,29	0,02	0,013
06-mai	0,01	0	0,02	0,01
07-mai	0,02	0	0,02	0,012
09-mai	0,02	0	0,01	0,02
10-mai	0,01	0	0,014	0,017
13-mai	0,01	0,02	0,01	0
14-mai	0,02	0	4	3,12

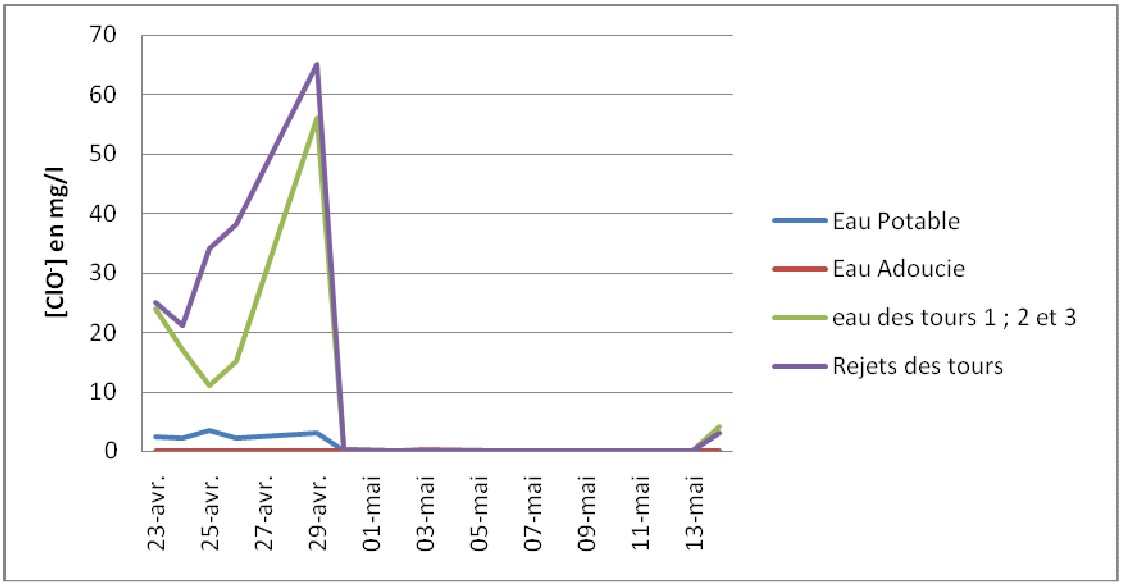


Figure n°8 : Evolution du [ClO⁻] en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

⇒ Pour l'eau Potable: au début (du 23 avril au 29 avril) des analyses, les concentrations du chlore actif ClO⁻ étaient élevées par rapport aux

dernières analyses (du 30 avril au 14 mai) et ceci dépend de la concentration et de la quantité de l'eau de javel ajoutée par la RADEF.

⇒ Pour l'eau Adoucie: les concentrations du chlore actif ClO^- étaient nulles.

⇒ Pour l'eau des tours 1 ; 2 et 3: au début (du 23 avril au 29 avril) des analyses, les concentrations du chlore actif ClO^- étaient très élevées et c'est par ce qu'au cours du refroidissement il y a ajout de l'eau de javel. Aux dernières analyses (du 30 avril au 14 mai) les concentrations du chlore actif ClO^- étaient en traces et ceci peut être du à une panne au niveau de la pompe responsable de l'éjection de l'eau de javel.

⇒ Pour l'eau Rejetée des tours : les résultats des concentrations du chlore actif ClO^- étaient presque comme celles de l'eau des tours 1 ; 2 et 3.

6- Chlorure [Cl^-] en mg/l

Les résultats d'analyses [Cl^-] en mg/l des différents échantillons des eaux sont présentés dans le tableau suivant *:*

Tableau n° 6 : Résultats du [Cl^-] en mg/l des différents échantillons d'eaux.

Dates	*Eau Potable*	*Eau Adoucie*	*eau des tours 1 ; 2 et 3*	*Eau Rejetée des tours*
18-avr	*0,052*	*0,035*	*0,056*	*0,168*
19-avr	*0,045*	*0,056*	*0,14*	*-*
22-avr	*0,042*	*0,069*	*0,17*	*0,171*
23-avr	*0,044*	*0,033*	*0,184*	*0,187*
24-avr	*0,041*	*0,045*	*0,245*	*0,198*
25-avr	*0,043*	*0,042*	*0,186*	*0,18*
26-avr	*0,042*	*0,047*	*0,165*	*0,184*
29-avr	*0,04*	*0,04*	*0,176*	*0,186*
30-avr	*0,038*	*0,044*	*0,159*	*0,162*
02-mai	*0,044*	*0,044*	*0,159*	*0,151*
03-mai	*0,039*	*0,053*	*0,116*	*0,147*
06-mai	*0,045*	*0,0385*	*0,03*	*0,146*
07-mai	*0,04*	*0,036*	*0,238*	*0,217*
09-mai	*0,044*	*0,045*	*0,341*	*0,28*
10-mai	*0,056*	*0,039*	*0,248*	*0,257*
13-mai	*0,0386*	*0,039*	*0,175*	*0,187*
14-mai	*0,035*	*0,035*	*0,28*	*0,2205*

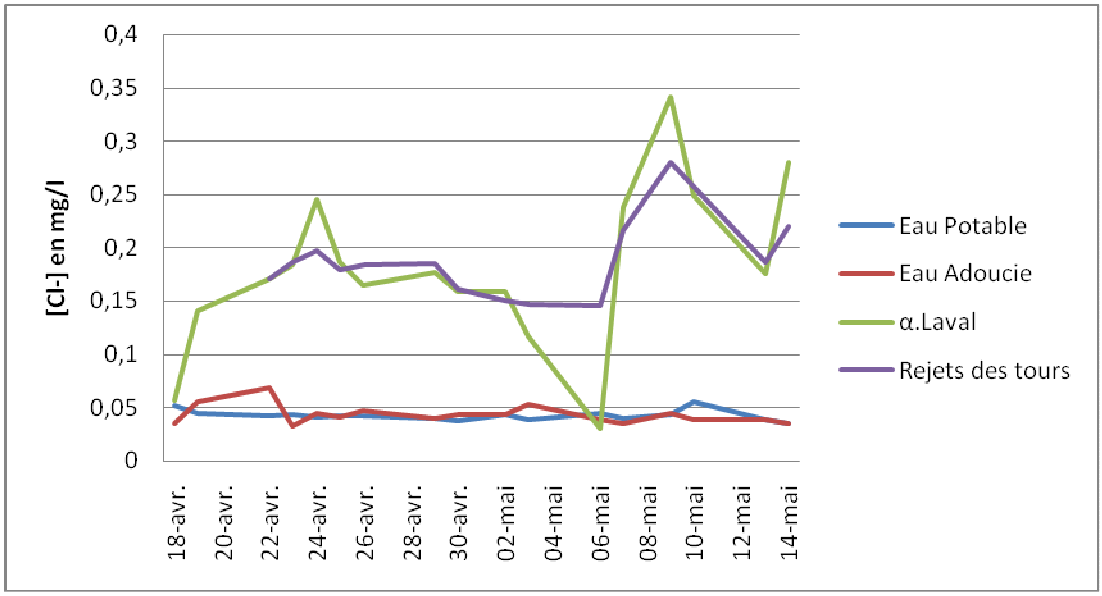


Figure n°9 : Evolution du $[Cl^-]$ en mg/l en fonction du temps des différents échantillons d'eaux.

⇒ Pour l'eau Potable: tous les résultats du sont dans les normes.

⇒ Pour l'eau Adoucie: les résultats du $[Cl^-]$ sont dans les normes.

⇒ Pour l'eau des tours 1 ; 2 et 3 : les résultats du $[Cl^-]$ étaient parfois moins élevés et d'autres fois plus élevés, et ceci est expliqué par le moment de l'échantillonnage : lorsque je fais l'échantillonnage et l'eau n'a pas fait beaucoup de tours c'est-à-dire qu'elle sera moins chargée. lorsque je fais l'échantillonnage et l'eau a fait beaucoup de tours c'est-à-dire qu'elle sera chargée à cause de l'évaporation que subit cette eau au cours du refroidissement.

⇒ Pour l'eau Rejetée des tours : les résultats du $[Cl^-]$ étaient élevés et c'est pourquoi cette eau est entrain d'être rejetée.

Conclusion

Durant ce stage, j'ai pu faire les analyses physicochimiques des eaux des tours de refroidissement, et ces analyses sont primordiales par ce qu'elles visent à contrôler le problème de l'entartrage.

D'après les résultats obtenus, on remarque que les valeurs de tous les paramètres de différentes eaux (eau potable, eau adoucie, eau des tours de refroidissement et eau rejetée de la tour) répondent aux normes sauf les résultats de THT de l'eau adoucie qui était supérieur aux normes. La cause de ce dépassement des normes est du au fait que plus souvent la société mélange l'eau adoucie avec l'eau potable pour combler le déficit en eau recommandée.

Ce non respect des normes à ce niveau va accélérer le problème de l'entartrage qui aura des dégâts très coûteux, Pour éviter ce problème la société doit acheter un autre adoucisseur aussitôt que possible pour qu'elle puisse obtenir l'eau adoucie adéquate et suffisante à ce procédé de refroidissement.