UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Département de chimie

Licence Sciences et Techniques (LST)

Techniques d'Analyse et Contrôle Qualité

TACQ

PROJET DE FIN D'ETUDES

Analyses physico chimiques des tours de refroidissement.

Présenté par :

- **Baya Sara**

Encadré par :

- **Mr Ali Bennani (Société)**
- **Pr Adiba Kandri (FST)**

Soutenu Le 16 Juin 2015 devant le jury composé de:

- **- Pr Sabir Safia**
- **- Pr Moughamir Khadija**
- **- Pr Adiba kandri**

Stage effectué à LESSAFRE MAROC

Année Universitaire 2014 / 201

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents qui m'ont toujours encouragé, soutenu avec une grande patience pendant mes études, et remerciement pour les sacrifices qu'ils consentirent à faire pour moi, que dieu les garde.

Mon frère et ma sœur qui m'ont très chers.

Mes amis et a tous qui m'ont suivi de loin ou de prés.

REMERCIEMENT

A Mr. Damien LESSAFRE, directeur général de la société SODERS <<LESSAFRE MAROC>>.

Permettez-moi de vous exprimer mes profondes gratitudes et mes remerciements de m'avoir accepté au sein de votre société pour effectuer mon stage.

A Mr. BENNANI, directeur qualité et chef de laboratoire.

Malgré vos énormes occupations et les grandes responsabilités que vous assumez, vous avez toujours eu le temps de m'écouter , me conseiller et de me diriger afin de mener à bien ce travail ,qu'il me soit permis de vous exprimer mes sentiments respectueux

A Mme A.KANDRI

Vous m'avez confié ce travail, et m'avez toujours éclairé avec vos précieuses remarques et suggestions, qui m'ont permis de réaliser le présent travail dans de meilleur conditions.

Veuillez accepter l'expression de mon profond respect et de mes reconnaissances le plus sincères.

Aux nombres de jury

Je tiens aussi à remercier chaleureusement les nombres de jury pour le privilège qu'ils nous ont accordé en acceptant d'étudier ce document et d'apporter leurs précieux jugements pour améliorer de mon projet de fin d'études.

SOMMAIRE

Dédicace

Remerciement

Introduction **1**

CHAPITRE I: LESSAFRE MAROC **2**

I .Présentation de LESAFFRE MAROC **3**

II. Organigramme de la société **4**

III. Gamme de produits de LESAFFRE-Maroc **5**

IV. Fiche technique de LESSAFRE-MAROC **5**

V. Description générale du laboratoire **5**

CHAPITRE II: PRODUCTION DE LA LEVURE **7**

I .LEVURE **8**

1).Principales caractéristiques de la levure **8**

2).Fonctionnement de la levure **8**

3).Types de levure de boulangerie **9**

II.CONDITIONS INDUSTRIELLES DE PRODUCTION **9**

CHAPITRE III:TOURS DE REFROIDISSEMENT ET ANALYSES LABORATOIRE **14**

I. Tours de refroidissement **15**

A. Définition **15**

B. Fonctionnement **15**

C. Type des tours de refroidissement **18**

D.L'echangeur à plaque **18**

II. Differents types d'eau **20**

A. Eaux naturels **21**

B. Eaux traitées **21**

1) Eau osmosée **21**

2) Eau adoucie **21**

III. Analyses physico chimique des eaux provenant des tours de refroidissement **22**

1. Définition **22**

2. Résultats des analyses **25**

a. Variation de THT des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours **25**

b. Variation de TAC des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours **26**

c. Variation de la concentration des ions chlorures dans les eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours **27**

d. Variation de pH des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours **27**

e. Variation de la conductivité des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours **28**

Déduction **29**

Conclusion générale **29**

FIGURES ET TABLEAUX :

Figure 1 : Structure d'une cellule de levure.

Figure 2 : Séparateur.

Figure 3 : Filtre rotatif sous vide.

Figure 4 : Différents étapes de production de la levure de boulangerie.

Figure 5 : Image d'une tour de refroidissement

Figure 6 : Image d'une tour de refroidissement.

Figure 6 : Surface de ruissellement.

Figure 7 : Répartiteur.

Figure 8 : Tour à circuit ouverte.

Figure 9 : Tour à circuit fermée.

Figure 10 : Echangeur à plaques.

Figure 11 : Schéma représentatif du circuit entre la tour de refroidissement et l'échangeur.

Figure 12 : Schéma représentatif du circuit entre la tour de refroidissement, fermenteur et l'échangeur.

Figure 13 : Fonctionnement d'un adoucisseur.

Tableau 1: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable.

Tableau 2: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau osmose.

Tableau 3: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau adoucie.

LISTE D'ABREVIATION

SODERS : society des dérives du sucre .

YM : Yeats Mold .

BAD : basin adouci .

EDTA : éthylène diamine tétra acétique .

°f : Le degré français (°f ou °Hf), est l'unité du titre hydrotimétrique (TH) caractérisant la dureté de l'eau utilisée en France.

INTRODUCTION

Face à la mondialisation, le marché mondial est devenu de plus en plus exigent, l'entreprise se trouve condamnée à relever les défis de la concurrence ou subir les conséquences et finir par disparaître à tout jamais.

L'entreprise joue sur la satisfaction des clients, et leur fidélisation afin d'assurer sa raison d'être, vendre ses produits et services et avoir une bonne compétitivité sur le marché mondial.

C'est pour cela que le groupe LESAFFRE a choisi comme produit naturel« LA LEVURE : SACCHAROMYCES CEREVISIAE l'ingrédient ,qui est indispensable à la fabrication du pain et la pâtisserie au niveau mondial.

La température optimale pour que saccharomyces cerevisiae se développent est au voisinage de 34°C, la division cellulaire est le résultat d'une suite de réactions exothermiques d'une part, et d'autre part, au cours de la fermentation, la température augmente et cela peut causer la détérioration des cellules.

Pour éviter ceci, la société a procédé à un refroidissement du moût au fur et mesure de la fermentation afin de stabiliser la température du fermenteur au cours de la production. Ce refroidissement est appliqué grâce à des échangeurs à plaques.

Pour éviter la détérioration des installations par les dépôts du tartre , et pour obtenir un produit de bonne qualité , les eaux traitées utilisées dans les tours pour effectuer le refroidissement doivent subir un contrôle de qualité quotidien efficace.

Ce rapport traite deux parties :

• Le 1er : Etude générale sur le principe de fonctionnement des tours de refroidissement.

•2 ^{IIème} : Analyses physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement.

Toutes les analyses sont faites d'une façon périodique pour contrôler les paramètres qui doivent respecter les normes afin de garantir un bon refroidissement du moût et par conséquent, une bonne production de la levure boulangère.

CHAPITRE 1 :

LES SAFRE MAROC

I. Présentation de LESSAFRE MAROC :

Une marque fait son apparition avec un symbole de proximité et de Fidélité,

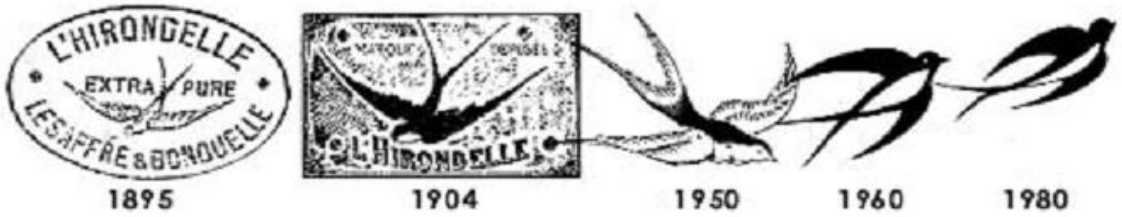
« l'hirondelle » qui traversera le temps et l'espace, un logo qui, 150 ans plus, identifie les Produits de la société et se considère, comme l'emblème fédérateur du groupe LESAFFRE dans le monde , via ses 35 sites de production et sociétés commerciales et de distribution afin d'être plus Proche de ses clients.

En 1975, SODERS (Société des Dérivées du Sucre) a été créé par l'office du développement Industriel. Ses activités étaient concentrées sur la fabrication et la commercialisation de la levure Fraîche destinée à la panification.

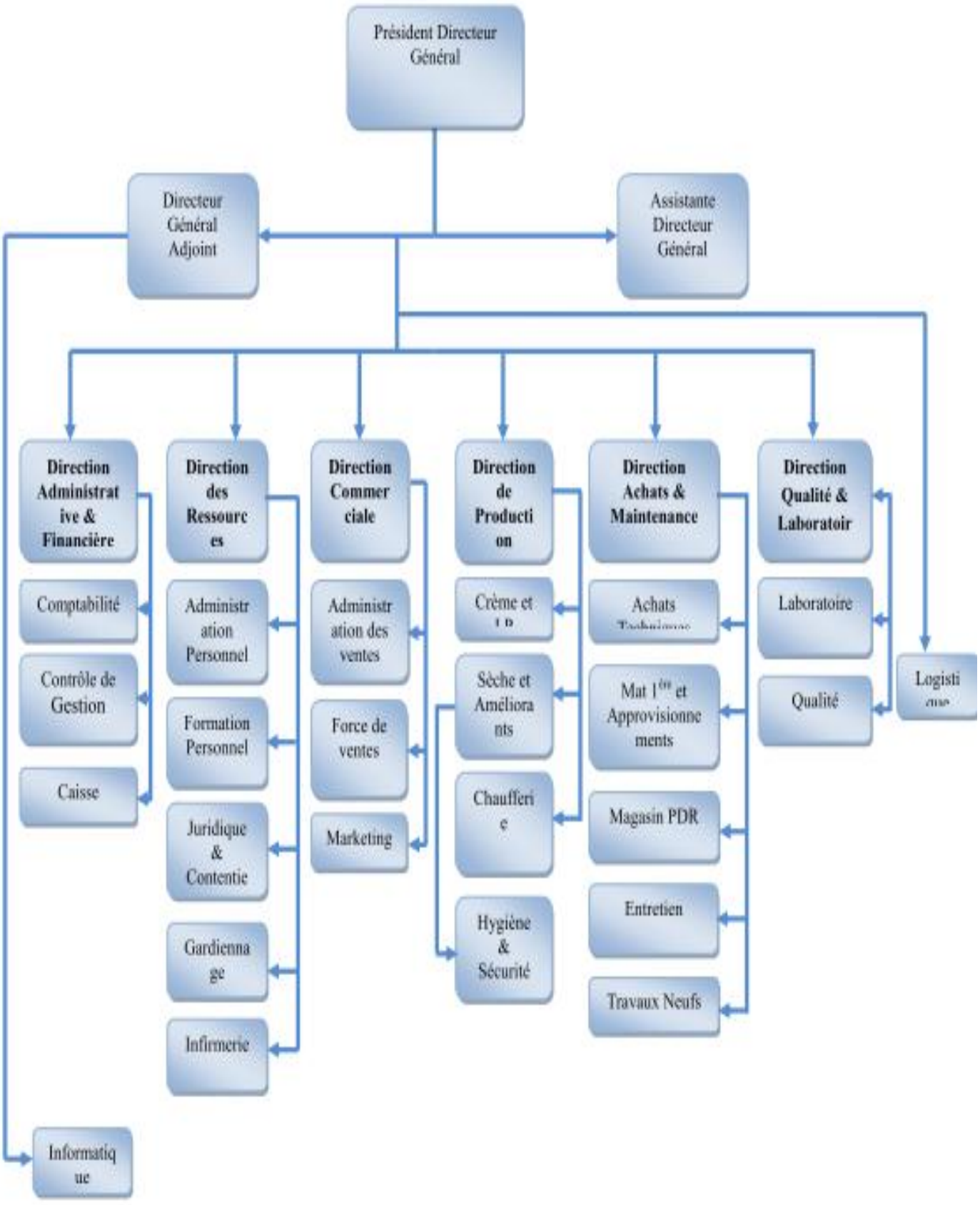
En 1982, le groupe LESAFFRE est entré en tant qu'actionnaire dans le capital de SODERS ce qui a Confié à cette dernière le caractère semi publique. Depuis cette date, les produits de SODERS Auraient connu pour la première fois une orientation vers l'export d'autant plus que le marché local Était relativement satisfaite par une autre unité, SOMADIR, qui œuvre dans le même domaine.

Depuis 1993 et conformément à la politique de privatisation au Maroc, elle serait désormais dirigée Sous l'égide du groupe LESSAFRE dont elle allait porter le nom. C'est le nom qui a remplacé celui de la SODERS depuis le 1erJuin 2007, et ce dans le souci de répandre le label LESAFFRE à travers tout le Maroc.

Aujourd'hui, LESSAFRE Maroc Fès a élargie sa gamme de production sur d'autres produits. En plus de la levure fraîche, il produit de la levure sèche et les améliorants. Cette unité emploie près de 200 personnes dont 160 ouvriers et 40 personnes appartenant à l'administration des différents Départements.



II. Organigramme de la société :



III. Gamme de produits de LESAFFRE – Maroc

Les produits commercialisés par LESAFFRE MAROC sont : la levure et les améliorants de panification.

les marques JAOUDA en levure fraîche et sèche, et RAFIÄA en levure sèche, les améliorants de panification IBIS BLEU et MAGIMIX ainsi que des arômes. Sa large gamme de produits en fait aujourd'hui le leader sur le marché. Des professionnels.

IV. Fiche technique sur la société

Raison social : LESAFFRE Maroc

Directeur général : Mr. Damien LESAFFRE

Forme juridique : société anonyme

Effectif : 200 personnes (dont 20 cadres)

Secteur d'activité : l'agroalimentaire

Gamme de produit : la levure de panification et améliorant

Siège social : Fès Q.I Sidi Brahim rue 806

Capitale social : 30.989.300,00 DH

N° d'identification fiscale : 04500783

N° de patente : 13246073

N°CNSS : 1582164

V. Description générale du laboratoire

Bénéficiant du savoir-faire du groupe, LESAFFRE MAROC possède un laboratoire d'analyses qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et contrôles microbiologiques. La qualité des levures est ainsi sans cesse évaluée afin d'optimiser leurs performances : forces, fermentatives, pureté, stabilité par rapport au contexte climatique.

- Laboratoire de physico-chimie :

Divisé en trois salles :

• Salle de stockage des matériaux et des matières premières ;

• Salle de panification où s'évalue la force panaire de la levure ;

• Salle des analyses physico-chimiques où s'effectuent les analyses d'azote, phosphate conductivité, pH, THT ,TAC, couleur, matière sèche…''

- Laboratoire de microbiologie :

Ce laboratoire est devisé en quatre parties :

• Salle de stockage des matériaux et des matières premières ;

• Salle de préparation des milieux de culture, la stérilisation …;

• Salle des analyses bactériologiques ;

• Salle des pathogènes où sont effectuées les analyses des germes pathogènes.

Et on trouve aussi une laverie où se fait le nettoyage du Matériel.

CHAPITRE II:

PRODUCTION DE LA LEVURE

I. LEVURE

1) Principales caractéristique de la levure

La levure est un champignon ascomycètes (Classe de champignons dont les spores se forment dans des asques) 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.

On utilise aussi Les levures en boulangerie pour faire lever et gonfler les pâtes avec la levure de boulanger.

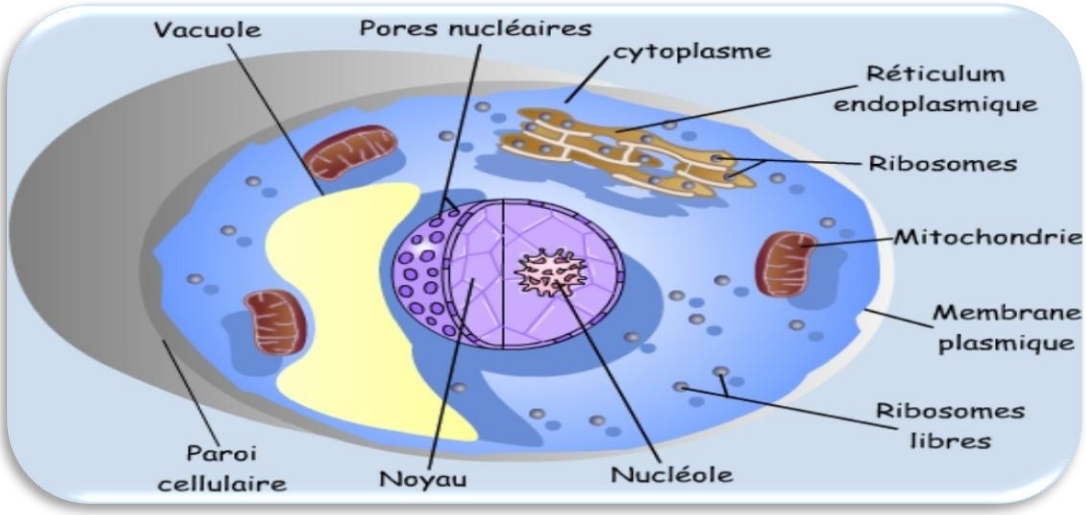


Figure 1 : Structure d'une cellule de levure.

Description d'une levure :

La levure est :

- une cellule d'eucaryote (cellule avec noyau).
- comprend une paroi rigide, un noyau limité par une membrane nucléaire.
- avoir un cytoplasme contenant divers Organites dont des mitochondries (organites de la Respiration), des ribosomes (organite qui forme des protéines), un réticulum (organite qui Modifie les protéines) et une grande vacuole.
- La levure est capable 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 toutes ou presque les synthèses dont elles ont besoin pour leurs croissance.

2) .Fonctionnement de la levure

La levure peut vivre en absence ou présence de l'air (O_2).

<u>En présence de l'air</u> :

En aérobiose, les levures respirent et se multiplient abondamment.

→ Toutes les levures sont capables de dégrader le glucose, le fructose et le mannose en présence d'oxygène par un métabolisme oxydatif conduisant à la formation de CO2 et de H2O

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ATP (Adenosine tri-phosphate)}$$

En air absence de l'air :

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

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CO_2 + 2CH_3CH_2OH \text{ (ethanol)} + \text{ATP (Adenosine Tri-Phosphate)}$$

3) Type de levure de boulangerie :

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 : Industrie de fabrication de la bière».

II. CONDITIONS INDUSTRIELLES DE PRODUCTION

A la société LESAFFRE Maroc, les étapes de production de la levure sont les suivantes :

- ***Etape laboratoire (ensemencement) :***

Chaque mois, la société LESAFFRE Maroc reçoit de la France, deux types de souches : le type L_{20} est désigné à la levure fraîche, et le L_{13} pour la levure sèche qui supporte la chaleur. Chacune des deux souches est ensemencée ; à un niveau incliné pour augmenter la surface d'échange , et pour faciliter la récupération de la levure dans des tubes (30 tubes chaque souche), contenants un milieu nutritif gélosé , spécifique à la croissance des levures qu'on appelle YM (Yeast Molds), et cela se fait dans des conditions stériles par UV et aseptiques afin d'écarter tout risque de contamination. On laisse les tubes refroidir, et on assiste à des colonies blanches sous forme de taches. L'inoculum est destiné à être propagé dans des cuves de tailles croissantes.

Le contenu de chaque tube est transvasé dans un petit icône appelé « van Lear » de 250 ml , dont le milieu nutritif très riche, donc la production de nombreuses cellules exactement identiques, Après multiplication à une température entre 28 <T<30 °C , le volume a augmenté et on le transverse dans un grand icône de 7 litres appelé « Carlsberg» où elles se multiplient à nouveau, suivie également d'une agitation pendant une durée de 8h .

La souche précédemment préparée est mise dans un fermenteur de 800 litres, accompagné de :

- L'eau.
- La mélasse stérile.

- L'acide sulfurique : H_2SO_4 pour ajuster le pH acide a 4.
- Les sels minéraux :
  - _ Les éléments de traces (oligo-éléments et vitamines).
  - _ L'air, Source d'O_2.

Ce qui nécessite un contrôle rigoureux au niveau de la salle de contrôle, où il y a suivi des différents paramètres de la fermentation : le pH, le taux d'alcool, la mélasse, l'air…etc.

➢ ***Pré fermentation :***

Le contenu de la cuve de 800 litres est versé dans une autre cuve dite « pré fermenteur » alimentée en éléments nutritifs de façon continu avec un débit réglé selon les besoins (même nutriments de la cuve de 800 litres).

➢ ***Fermentation :***

A la fin de pré fermentation, on obtient un moût qui servira à ensemencer un fermenteur plus grand contenant un milieu nutritif bien spécifique. Après 16 à 18 h de fermentation, on obtient la levure mère qui va subir une séparation pour obtenir une crème, qui va encore servir à l'ensemencement d'autres fermenteurs plus grands, pour donner la levure commerciale.

La fermentation se fait en présence d'oxygène pour minimiser la formation d'alcool car celui-ci donne une couleur désagréable à la levure.

➢ ***Séparation :***

La séparation est réalisée en deux étapes de la chaîne de production : après l'obtention de la levure mère et de la levure commerciale .A la sortie des fermenteurs, le moût obtenu contient les cellules de la levure et une solution liquide qui représente le reste du milieu nutritif ; Ces déchets sont éliminés par l'utilisation des séparateurs (figure 2) qui fonctionnent par centrifugation; après la séparation on obtient :

- Un liquide dense appelé crème contenant les cellules de la levure,
- Un liquide léger : c'est le moût d'élevure qui est rejeté dans les égouts.

Figure 2 : Séparateur

➢ ***Stockage de la levure commerciale :***

La crème obtenue après la séparation est acidifiée (par l'acide sulfurique à pH=2) pour éviter la contamination, et stockée à 4°C pour ralentir le métabolisme cellulaire.

➢ ***Déshydratation et Filtration :***

A la sortie des centrifugeuses, la levure-crème contient encore plus de 30 % d'eau extracellulaire. Donc, il faut éliminer le maximum d'eau présenté dans la levure pour la préserver d'une éventuelle contamination puisque l'eau facilite l'altération par des microorganismes. Alors, On ajoute de la soude NaOH ; pour éliminer l'eau resté dans la cellule qui la rendre Turgescente par effet osmose et à l'aide d'un filtre rotatif qui contient une couche filtrante d'amidon (hydrophobe), Après le nettoyage de l'amidon, la levure étalée sur la surface du filtre est enlevée par un couteau racleur et tombe dans une trémie pour aller au malaxeur et puis à l'emballage.

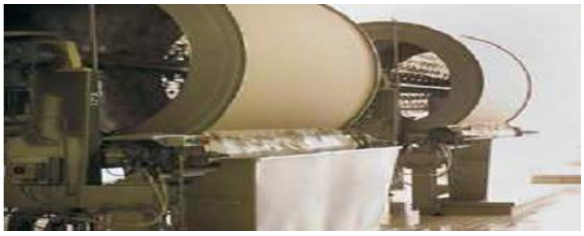


Figure3 : Filtre rotatif sous vide.

➢ ***Emballage de la levure fraîche :***

La levure fraîche est emballée grâce à une machine spéciale appelée «Boudineuse » constituée à la fois, d'un malaxeur, et d'une enveloppeuse.

Le gâteau obtenu après filtration est envoyée à la boudineuse pour obtenir un produit fini sous forme de boudins de 500 g qui seront emballées avec du papier paraffiné, puis encartonnées par des ouvriers (cartons de 20 unités), ensuite passent par une balance pour vérifier le poids, et à la fin de ce processus les paquets de levure sont envoyés vers une chambre froide pour la conserver à 4°C avant sa sortie au marché.

➢ ***Séchage et conditionnement de la levure sèche***

Après déshydratation de la crème, le gâteau obtenu est envoyer vers la boudineuse, où il est mélangé avec un émulsifiant qui fait blanchir la levure et rend ses cellules plus résistantes.

Ensuite, il y a formation d'un râpé qui descend dans le bol des sécheurs à lit fluidisé à l'air chaud.

Il y a 2 types de levures sèches :

• La SPH : (levure sèche active),

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

Elle est séchée de manière à obtenir 93 à 94 % de matière sèche. Ce type de levure séché nécessite une phase de réhydratation avant son utilisation.

• La SPI (levure sèche instantanée)

Sous forme des bâtonnets, elle a une durée de séchage réduite, durant 20min environ pour une quantité de 1000 kg, elle est caractérisée par une force fermentaire supérieure à celle de la SPH. Elle est séchée de manière à obtenir 95 à 96 % de matière sèche. Ce type de levures sèches ne nécessite aucune phase de réhydratation avant son utilisation.

➢ ***Conservation :***

La levure fraîche est conservée à 4°C, alors que la levure sèche est conservée à température ambiante car son activité d'eau est faible .

Voilà un schéma explicatif de la chaine de fabrication de levure boulangerie LESSAFRE- MAROC :

(Voir la figure4).

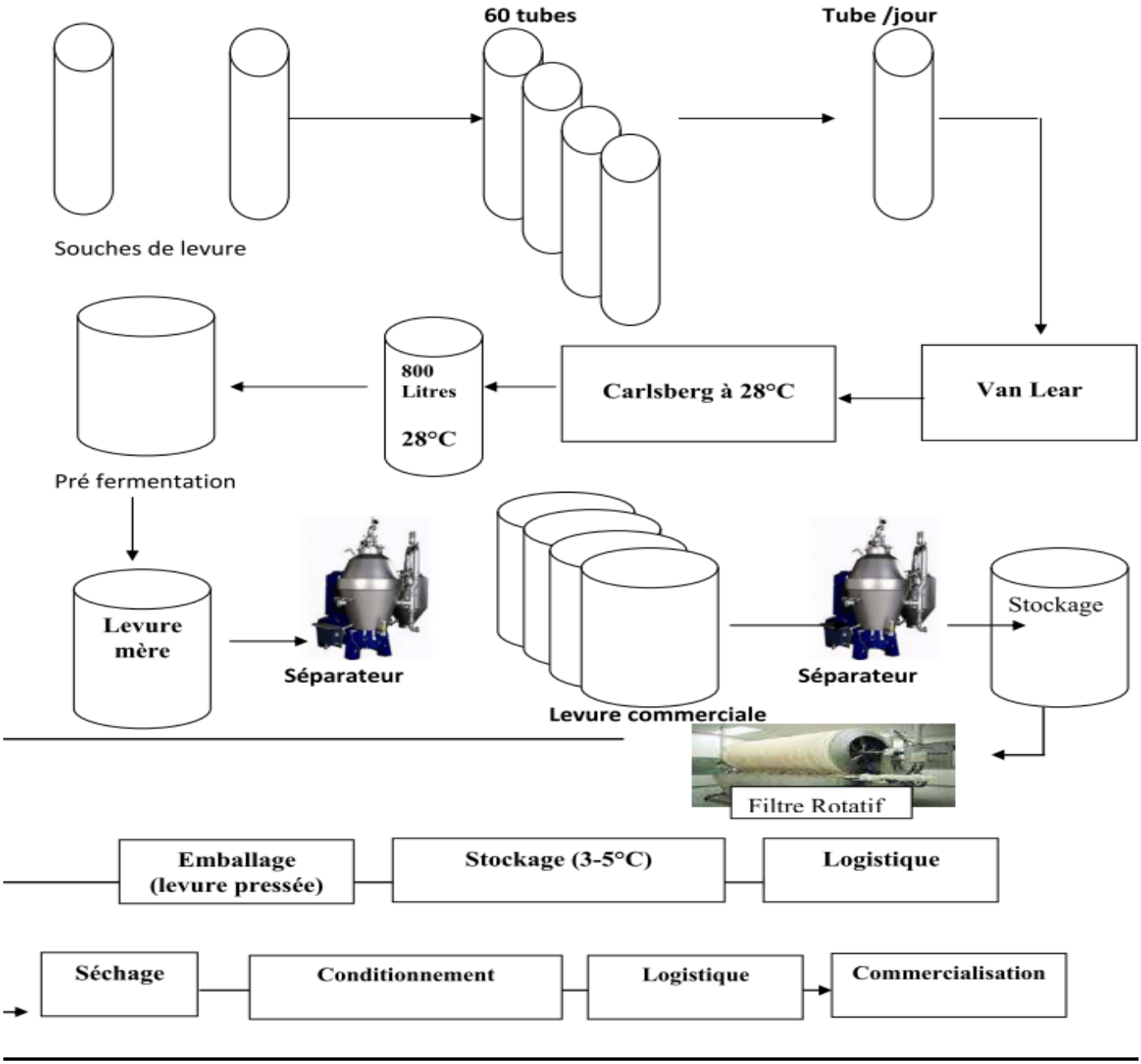


Figure 4 : Différents étapes de production de la levure de boulangerie.

CHAPITRE III:

TOURS DE REFROIDISSEMENT ET ANALYSES LABORATOIRE

I. Tours de refroidissement :

A. Définition :

Les tours aéroréfrigérantes, aussi appelées tours de refroidissement, sont utilisées pour refroidir un liquide, généralement de l'eau, à l'aide d'un gaz, généralement l'air ambiant. 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. 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..)

Le principe de refroidissement évaporait est basé sur le contact direct entre l'air et l'eau du procédé à refroidir. L'air évapore une partie de l'eau à refroidir en prélevant la chaleur latente de vaporisation. Cette chaleur latente de vaporisation constitue la majeure partie de l'échange thermique.

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.

Figure 5: image d'une tour de refroidissement.

B. Fonctionnement :

Dans le RAT, le refroidissement à lieu par évaporation d'une partie de l'eau, en mettant en contact l'eau à refroidir et l'air à contrecourant. On appelle ce processus : le refroidissement évaporait ; l'eau chaude de circuit à réfrigérer est pulvérisée depuis le haut de la tour et un ventilateur propulse l'air du bas vers le haut de la tour, le ventilateur peut avoir deux emplacements différents mais à LESSAFRE on a un tour de refroidissement à tirage induit ; le ventilateur est placé à la partie supérieur de la tour et extrait l'air de la tour, ou bien le ventilateur à tirage forcé est placé à la partie inférieure de la tour et pouce l'air vers la partie supérieur .

Pour augmenter la surface de contact air /eau, on utilise PACKING à haut rendement, l'air sort par la partie supérieur de la tour cette air est chargé de gouttelettes d'eau pour éviter que ces gouttelettes ne se disperse à l'extérieur, on prévoit à la sortie un séparateur de gouttelettes, on récupère l'eau refroidie en bas dans un BAC de rétention, celui-ci est équipé par un contrôleur de niveau qui détermine la quantité de l'eau appoint qu'il faut ajouter au circuit.

Le circuit de l'air de sortie entraine la vapeur d'eau et des gouttelettes, c'est dans ces gouttelettes que peut se trouve la légionnelle.

Pour éviter la contamination, l'oxydation ou le dépôt d'impuretés, on traite l'eau provenant des tours de refroidissement par l'eau de javel comme un désinfectant et aussi par un acide très fort comme inhibiteur qui élimine toute sorte de tartrage (acide nitrique), bien sûr après un nettoyage et maintenance.

Son chemin commence par l'osmose inverse :

Dans un premier temps, dans la salle d'osmose inverse, l'eau potable distribuée par la RADEEF passe à travers d'un filtre à 25 µm qui élimine les boues, le sable et la poussière. Après il passe au travers d'un filtre à charbon actif qui effectue une décoloration, élimine les matières toxiques, les produits chimiques et ceci grâce à son grand pouvoir d'absorption. Ensuite il passe par des filtres à porosités différentes (10 µm et1 µm).

Après il y a un correcteur du pH pour neutraliser l'eau. L'eau filtrée passe par l'osmose inverse qui consiste à éliminer les ions Ca^{2+} et $Mg^{2+,}$ ensuite cette eau passe par l'adoucisseur pour purifier l'eau des traces de Ca^{2+} et Mg^{2+} restante dans l'eau. Finalement l'eau adoucie est stockée dans un bac de l'eau adoucie (BAD). Par la suite l'eau du BAD sera conduite dans le bassin de rétention faisant partie des tours de refroidissement avec de l'eau de la RADEF on utilisant des pompes.

Puis l'eau froide provenant du bassin des tours est aspirée par une pompe est distribuée sur les échangeurs à plaques, selon le besoin des fermenteurs. A ce moment une électrovanne se déclenche automatiquement lorsque la température du fermenteur atteint 34°C, permettant ainsi à la pompe d'aspirer le moût du fermenteur vers L'échangeur à plaques pour le refroidir, Le moût refroidi revient vers les fermenteurs.

A la sortie de l'échangeur, l'eau chaude est amenée au sommet des tours par une tuyauterie, Cette eau fractionnée et distribuée sur les surfaces d'échange (packing) par des rampes de dispersion, Ce qui permet le refroidissement de l'eau. Une partie de l'eau s'évapore et l'autre partie se répartit uniformément et ruisselle le long de la surface d'échange. L'eau refroidie grâce à la ventilation mécanique, tombe dans le bassin de rétention. L'eau du bassin est filtré à son tour afin d'éliminer la matière en suspension.

N.B : les tours de refroidissement nécessitent des appoints d'eau, afin de remplacer l'eau perdue par l'évaporation et limiter la concentration en sels dissouts.

Figure 6 : surface de ruissellement (nids d'abeilles)

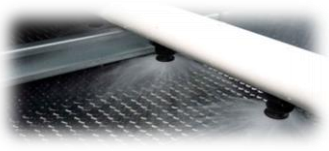


Figure 7 : répartiteur

C. type des tours de refroidissement :

✓ **La tour à circuit ouverte** :

Les tours de refroidissement à circuit ouvert évacuent dans l'atmosphère la chaleur qui se dégage des systèmes refroidis par eau. L'eau chaude du procès est distribuée sur une surface de ruissellement (média de transfert de chaleur) pour entrer en contact avec l'air soufflé par un ventilateur à travers la tour de refroidissement. Au cours de ce refroidissement évaporait, une petite partie de l'eau s'évapore en refroidissant l'eau de procès résiduelle.

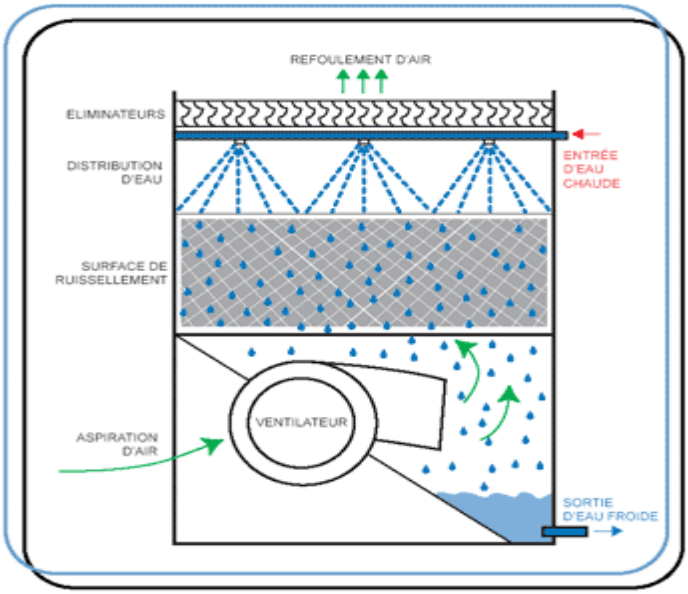


Figure 8: Tour à circuit ouverte.

✓ **La tour à circuit fermée :**

Les tours de refroidissement ou les refroidisseurs de fluide à circuit fermé fonctionnent de la même façon que leurs équivalents à circuit ouvert, à la différence qu'ils dissipent la charge de chaleur du fluide dans l'air ambiant via une batterie d'échange de chaleur. Cette disposition isole le fluide du procès de l'air extérieur, afin d'assurer la propreté de l'air et de lui éviter toute pollution au sein d'un circuit fermé, et crée deux circuits de fluide séparés :

- un circuit externe, dans lequel de l'eau pulvérisée circule sur la batterie et se mélange à l'air extérieur ;
- un circuit interne, dans lequel le fluide du procès circule au sein de la batterie.
  Au cours du processus de refroidissement évaporatif, la chaleur passe du circuit interne vers l'eau de pulvérisation à travers la batterie, puis dans l'atmosphère par évaporation d'une partie de l'eau.

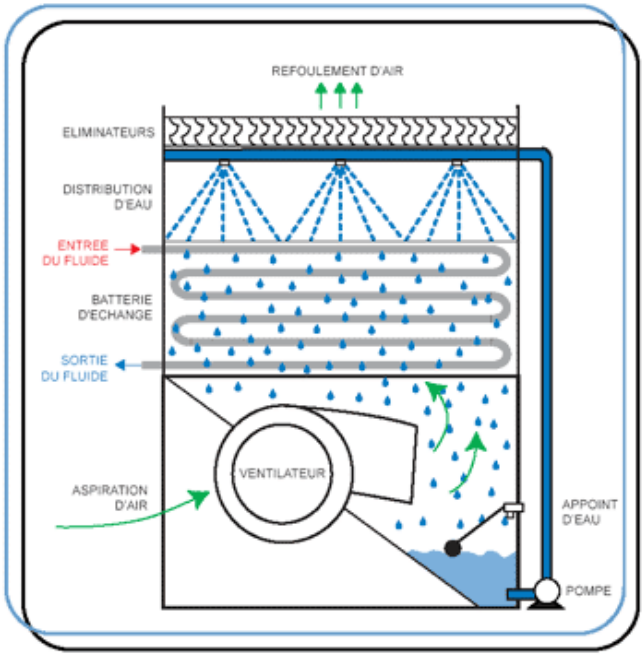


Figure 9: Tour à circuit fermé.

D. Echangeur à plaque et son rôle :

Figure 10**:** Echangeur à plaques.

Définition :

Un transmetteur de chaleur composé d'un grand nombre de plaques imprimées en forme de vagues ondulées, reliées les uns aux autres d'une façon très particulière. C'est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide, vers un autre sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides. Une plaque sur deux qui permet de créer deux espaces en sens contraire l'un de l'autre, dans lesquels les fluides passent en contre-courant

Son rôle :

Un échangeur à plaques est un système de transfert de chaleur entre l'eau disant froide entre (24°C et 28°C) venant des tours de refroidissement, et le moût (34° à 36°) provenant des fermenteurs. L'eau de refroidissement n'est pas en contact avec le moût, mais passe à côté dans des plaques hermétiques, où

le transfert de chaleur se fait à travers la paroi isolantes entre eux. Le moût à 35°C est versé dans les plaques de l'échangeur. De l'eau froide en provenance du château d'eau est versée dans les échangeurs, dans lesquels baignent les plaques. Les plaques au contact de l'eau froide, sont refroidies aux environs de 33°C.

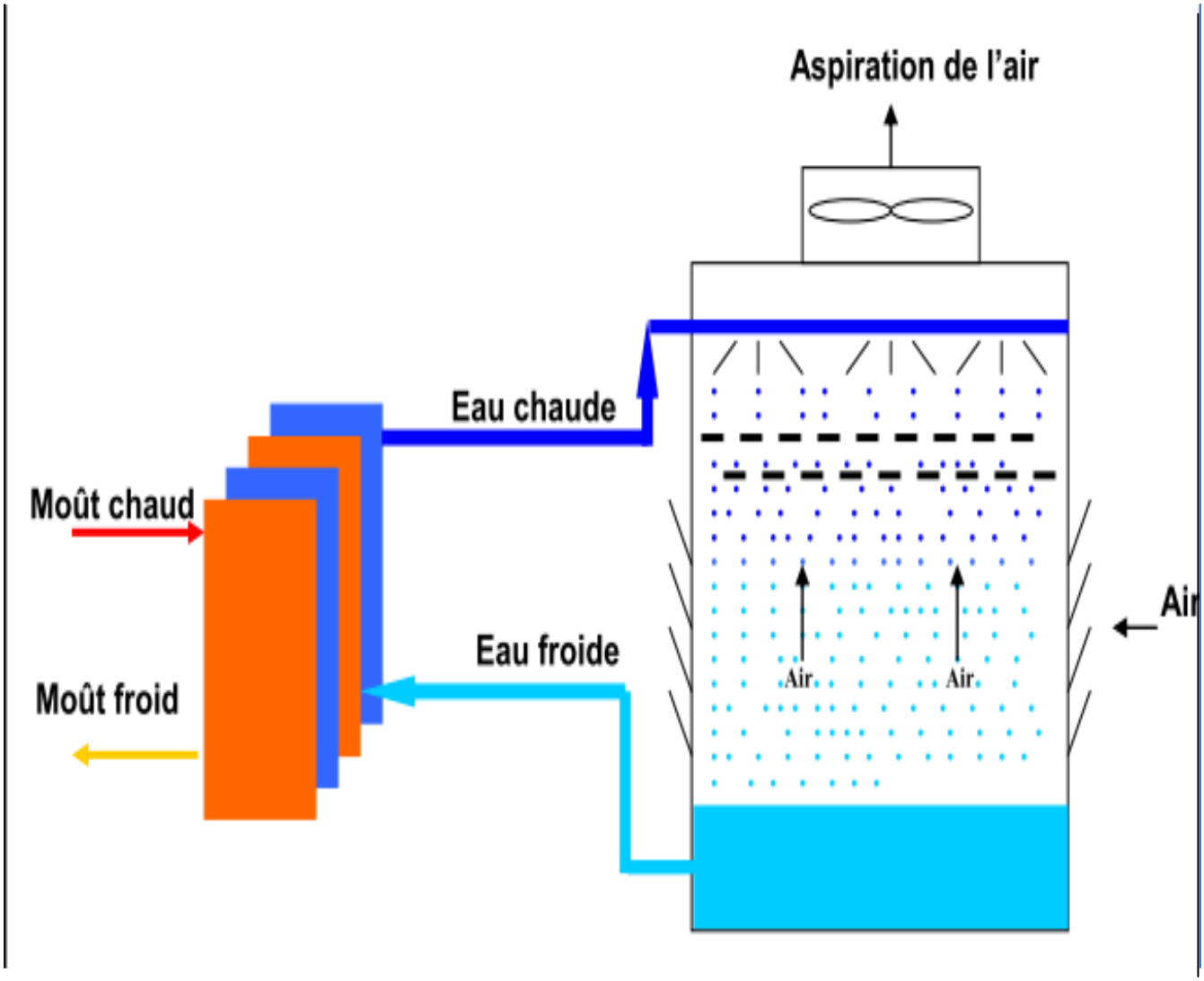


Figure 11: Schéma représentatif du circuit entre la tour de refroidissement et l'échangeur.

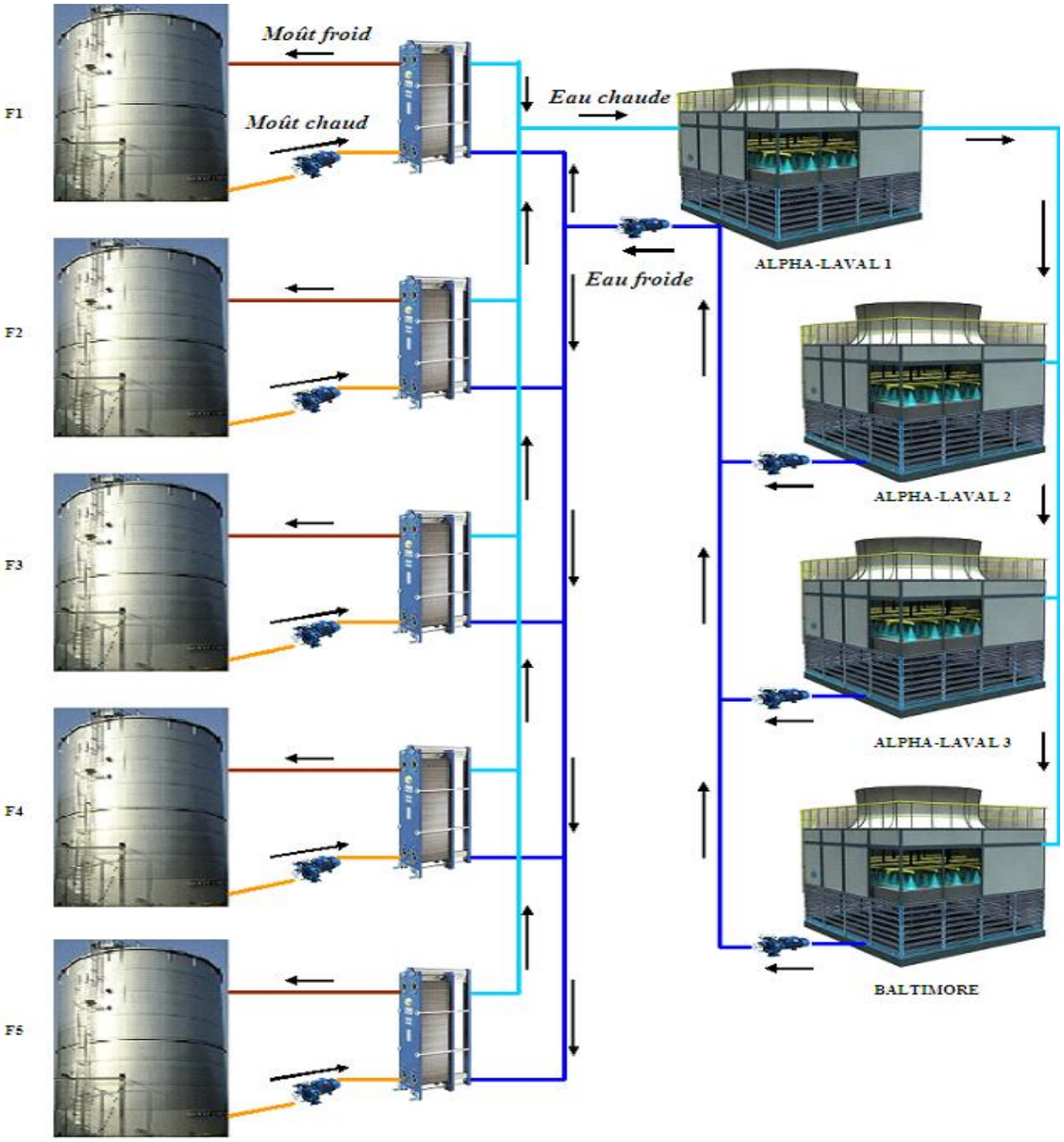


Figure 12: Schéma représentatif du circuit entre la tour de refroidissement, fermenteur et l'échangeur.

II. Différents types d'eau.

L'eau est un composé chimique simple, sous forme liquide à température et pression ambiantes (1 atmosphère) . Eau est gazeuse au-dessus de 100°C et solide en dessous de 0°C.

Il existe deux types d'eaux :

- Les eaux naturelles comme l'eau potable.
- Les eaux traitées comme : eau osmose – eau adoucie.

A. Eaux naturelles :

❖ Eau potable :

La potabilité de l'eau est définie selon des critères chimiques : taux de pH, les éléments toxiques.

	pH	Conductivité	THT	TAC	Cl-
Eau potable	6.5 à 9	Maximum de 1055 µS/cm	Inférieur à 35 °f	Inférieure à 50 °f	Maximum de 5 g/l

Tableau 1: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau potable.

Avec °f : un degré français.

B. Eaux traitées :

1) Eau osmosée :

Produire l'eau pure par un phénomène d'osmose inverse.

L'eau est filtrée par une membrane de porc et ne laisse passer que les molécules d'eau pratiquement.

	pH	conductivité	THT	TAC	Cl-
Eaux osmose	5 à 7	15 µS/cm	Compris entre 0 et 5 °f	Inférieur à 50 °f	Inférieur à 0.05 mg/l

Tableau 2: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau osmosé

2) Eau adoucie :

L'adoucissement de l'eau : est un procédé de traitement destiné à réduire la dureté de l'eau (due à la présence des sels alcalino-terreux :carbonates, sulfates et chlorures de calcium et de magnésium)

	pH	Conductivité	THT	TAC	Cl^-
Eau adoucie	5 à 7	15 µS/cm	Compris entre 0 et 5 °f	Inférieur à 50 °f	Inférieur à 5 g/l

Tableau 3: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau adoucie.

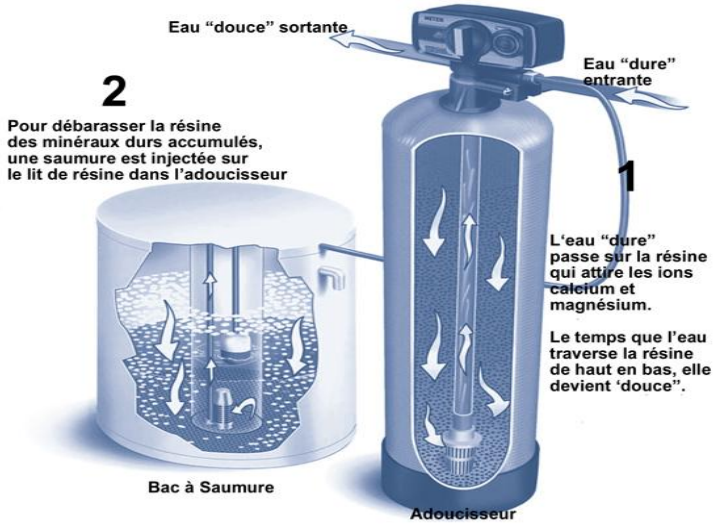


Figure 13: Fonctionnement d’un adoucisseur .

Cette technique d'adoucissement consiste à faire passer l'eau à travers une résine échangeuse de cations (permutation des ions calcium avec les ions sodium). Cette résine doit être régulièrement régénérée en y faisant couler une solution concentrée de chlorure de sodium. L’échange d'ions est un processus réversible.

III. Analyse physico chimique des eaux provenant des tours de refroidissement:

1. Définition

Chaque jour, on prélève des échantillons des différentes eaux faisant le tour du circuit de refroidissement : eau provenant de l’ARADEF , la douche de la tour alfa-Laval, BAD et l’échangeur.

Alors, mon travail consistait à faire le suivi sur les paramètres caractéristiques de ces eaux :(THT, TAC, pH, conductivité, concentration des chlorures).

❖ **Titre hydrotimétrie total (THT) :**

Le titre hydrotimétrie total 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 degré français (symbole : °f).

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-}.

- Réactifs :
  - Tampon pH=10 : solution NaOH 0,4%
  - Noir d’ériochrome (Indicateur coloré)
  - EDTA (N/50)
- Protocole expérimental :
  - Prise d’essai de 10mL d’échantillon introduit dans erlenmeyer puis ont complété avec l’eau distillé jusqu’à l’obtention d’un volume de 100mL ;
  - Ajout de 5 ml du tampon pH =10 par une pipette de 10 ml ;
  - Ajout de quelques gouttes de noir d’ériochrome (coloration mauve) ;
  - Titrage par EDTA jusqu'à ce que la coloration mauve vire au bleue ;

- L'anion Y4-, provenant de l'EDTA, est un ion complexe qui donne, avec de nombreux cations des composés stables. Les réactions de complexation s'écrivent :

Ca^{2+} (aq) + Y^{4-} (aq) ⟶ $[CaY]^{2-}$

Mg^{2+} (aq) + Y^{4-} (aq) ⟶ $[MgY]^{2-}$

THT = volume versé*10

❖ **Le TAC (titre alcalimétrique complet) :**

Le titre alcalimétrique complet TAC est lié à la concentration totale en ion Hydrogénocarbonate HCO_3^-, carbonate CO_3^- et hydroxyde OH^-.

Son dosage s'effectue par : l'acide chloridrique HCl.

TAC est exprimé en degré français °f (1 °f correspond à 10^{-4} mol/l).

L'ion hydrogénocarbonate HCO_3^- prédomine dans l'eau par rapport aux autres espèces carbonatées.

Les équations de la réaction modélisant la transformation qui a lieu lors du titrage sont donc :

$OH^- + H^+ \rightarrow H_2O$

$CO_3^{2-} + H3O^+ \rightarrow HCO_3^- + H_2O$

$HCO_3^- + H3O^+ \rightarrow H_2CO_3 + H_2$

$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3$

- Réactifs :
  - L'acide chloridrique HCl.
  - L'indicateur coloré l'orange de méthyle.
- Protocole expérimental :
  - Prise d'essai de 50ml de l'eau a analysé.
  - L'addition de quelques gouttes 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 au rouge brique.

TAC = volume versé*10

❖ **Analyses des ions chlorure Cl- :**

Ce chlorure peut provoquer des effets sur le taux de corrosion de l'acier et de l'aluminium. Le chlorure peut favoriser la corrosion de certains métaux qui entrent dans la fabrication des canalisations, des pompes…

Les ions chlorures sont dosés en milieu neutre par solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. C'est un dosage volumétrique, ou il Ya formation d'un précipité blanc résulte de la réaction entre les ions argent et chlorure.

$$Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl\ (s)$$

Au virage, on observe un précipité rouge du chromate d'argent Ag_2CrO_4 , dont la réaction s'écrit comme suit :

$$2Ag^+\ (aq) + CrO_4^{2-}\ (aq) \longrightarrow Ag_2CrO_4\ (s)$$

La concentration en ion chlorure est exprimée par :

$$[Cl\text{-}] = \{V\ (Ag\ NO3) \times 35\ \times 10^{-1}\} \div V\ (eau)$$

[Cl-] **exprimé en g/l.**

❖ **Mesure du pH :**

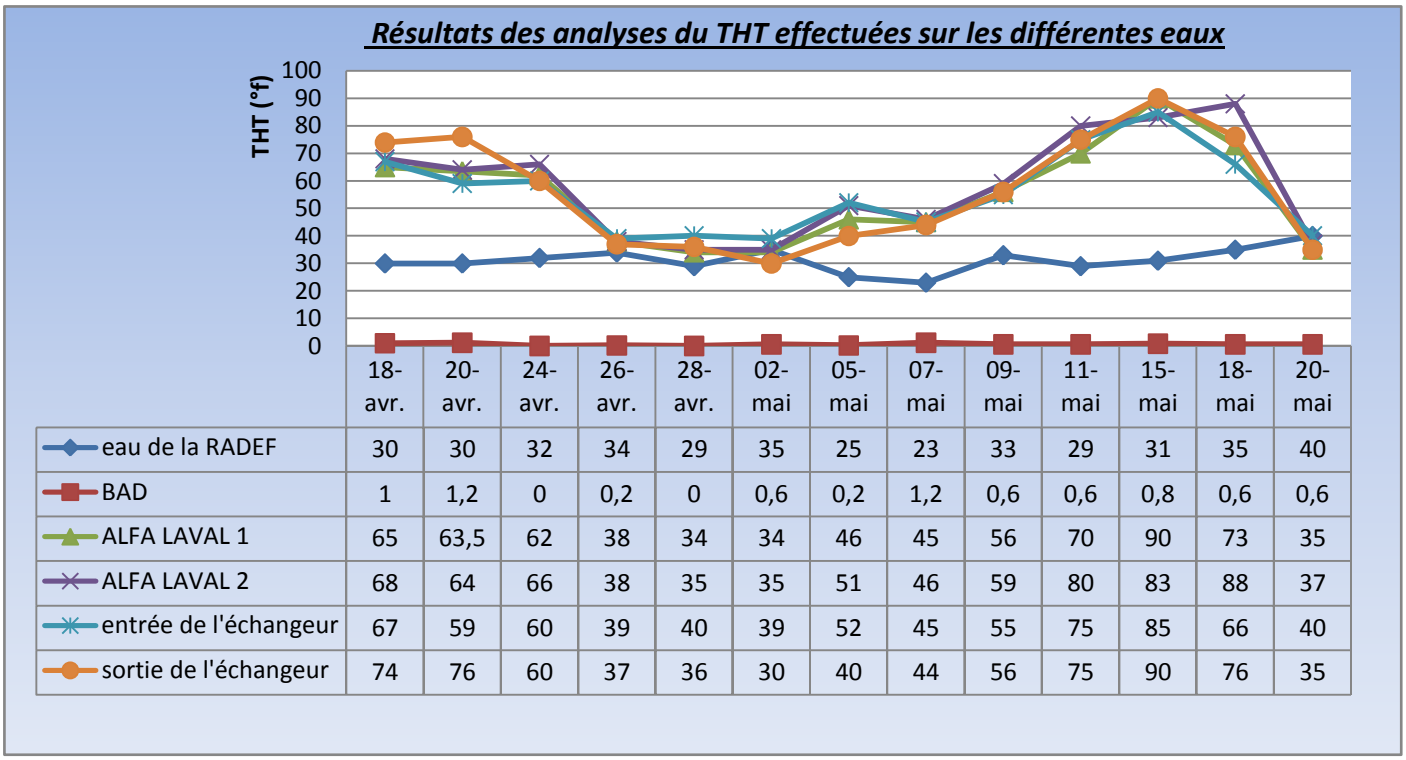
C'est le potentiel hydrogène, il mesure la concentration des ions H_3O^+, dans la solution. Il est donnée par la formule pH= - log $[H_3O^+]$. Il est mesuré par un pH-mètre.

❖ **Mesure de la 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.
(Na^+, Cl^-). La conductivité se mesure en µS/cm (micro-siemens/centimètre) par un conductimètre.

2. Résultats des analyses :

a. Variation de THT des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours.

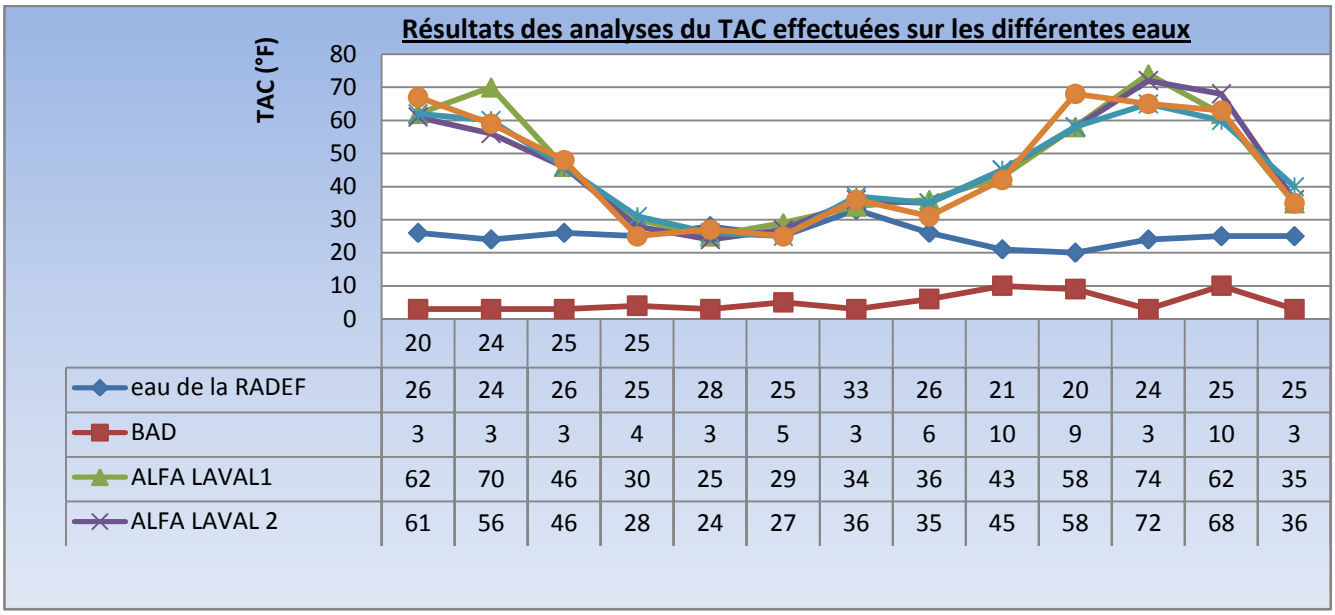


	18-avr.	20-avr.	24-avr.	26-avr.	28-avr.	02-mai	05-mai	07-mai	09-mai	11-mai	15-mai	18-mai	20-mai
eau de la RADEF	30	30	32	34	29	35	25	23	33	29	31	35	40
BAD	1	1,2	0	0,2	0	0,6	0,2	1,2	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6
ALFA LAVAL 1	65	63,5	62	38	34	34	46	45	56	70	90	73	35
ALFA LAVAL 2	68	64	66	38	35	35	51	46	59	80	83	88	37
entrée de l'échangeur	67	59	60	39	40	39	52	45	55	75	85	66	40
sortie de l'échangeur	74	76	60	37	36	30	40	44	56	75	90	76	35

Interprétation :

- On sait que l'eau stockée dans le BAD est une eau traitée par une osmose inverse, et adoucie par un adoucisseur avant son passage vers le reste du circuit, ce qui diminue le risque de surcharge de ce dernier. Les résultats obtenues par l'analyse de l'eau provenant du BAD sont comprise entre 0.1 et 2 car il s'agit d'une eau purifiée et déminéraliser, donc il y'a diminution de la concentration des ions Mg^{2+} et Ca^{2+}.
- On ce qui concerne les deux ALFA LAVA 1,2 et l'entrée et la sortie de l'échangeur : il y'a une augmentation de THT durant la période entre (18 avril - 26 avril) et (07 mai-20 mai) ,cela signifie que le bassin de ces deux tours est chargé par les ions : Mg^{2+} et Ca^{2+} à cause de l'évaporation de l'eau lors du refroidissement de l'eau chaud .

b. Variation de TAC des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours.



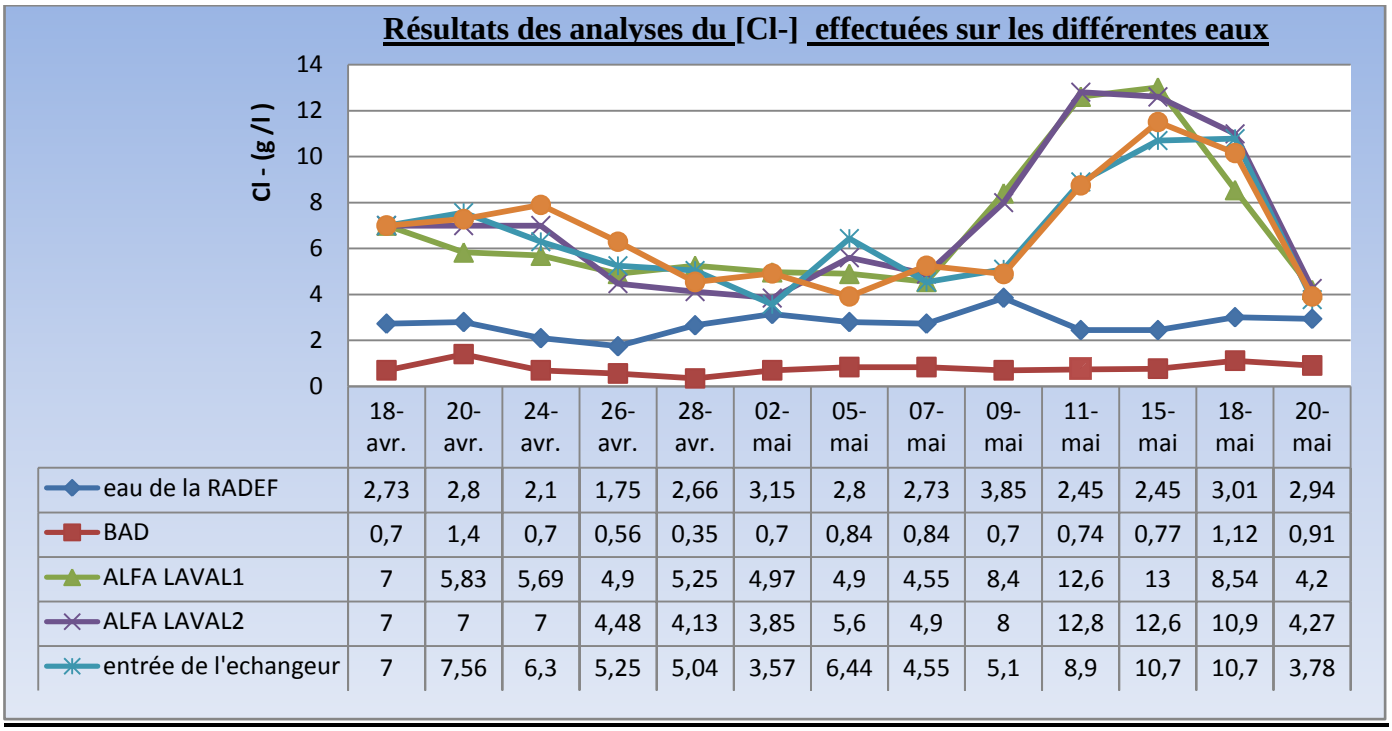
	20	24	25	25									
eau de la RADEF	26	24	26	25	28	25	33	26	21	20	24	25	25
BAD	3	3	3	4	3	5	3	6	10	9	3	10	3
ALFA LAVAL1	62	70	46	30	25	29	34	36	43	58	74	62	35
ALFA LAVAL 2	61	56	46	28	24	27	36	35	45	58	72	68	36

Interprétation :

Les résultats des analyses des eaux tours de refroidissement sont élevés par rapport à celles obtenues de l'eau adoucie, ils sont normaux et ceci due à la présence d'espèces basiques (hydrogénocarbonate HCO^-_3, les hydroxydes OH^- et carbonate CO_3).

- L'eau provenant des ALFA LAVAL 1 et ALFA LAVAL 2 qui sert à refroidir le moût, et l'eau venant de la sortie de l'échangeur qui retourne vers la partie supérieure des tours, emportent avec elle une quantité importante d'ions, notamment ceux responsable de l'augmentation de TAC.
- L'évaporation de l'eau lors du refroidissement peut causer une augmentation de la concentration des hydroxydes.
- Les valeurs de TAC sont faibles pour l'eau venant du BAD, car il s'agit d'une eau traitée.
- TAC de l'eau potable (la RADEF) , varie entre 20 et 30 °F . Les résultats trouvés conforme aux normes.
- On remarque que les trois courbes de alfa Laval 1,2 et l'eau provenant de la sortie de l'échangeur sont similaire, c'est parce que c'est une même eau.

c. Variation de la concentration des ions chlorure dans les eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours.

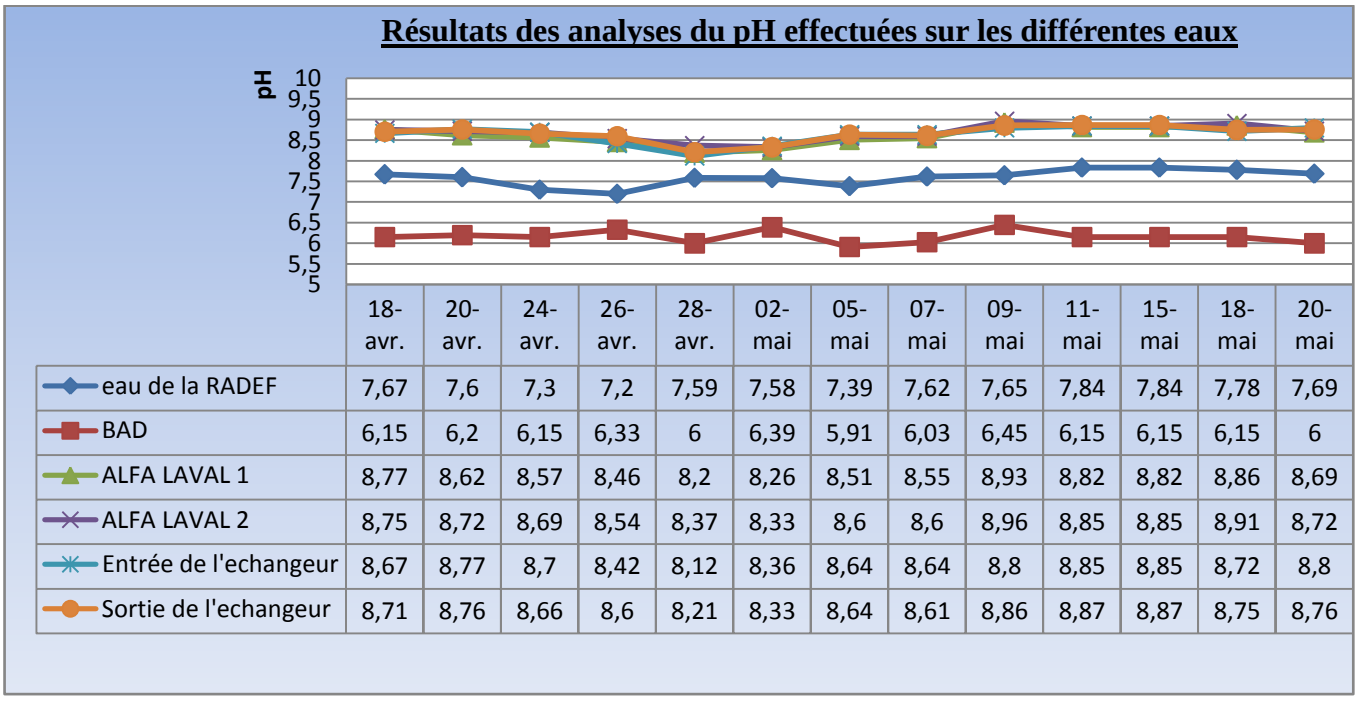


	18-avr.	20-avr.	24-avr.	26-avr.	28-avr.	02-mai	05-mai	07-mai	09-mai	11-mai	15-mai	18-mai	20-mai
eau de la RADEF	2,73	2,8	2,1	1,75	2,66	3,15	2,8	2,73	3,85	2,45	2,45	3,01	2,94
BAD	0,7	1,4	0,7	0,56	0,35	0,7	0,84	0,84	0,7	0,74	0,77	1,12	0,91
ALFA LAVAL1	7	5,83	5,69	4,9	5,25	4,97	4,9	4,55	8,4	12,6	13	8,54	4,2
ALFA LAVAL2	7	7	7	4,48	4,13	3,85	5,6	4,9	8	12,8	12,6	10,9	4,27
entrée de l'echangeur	7	7,56	6,3	5,25	5,04	3,57	6,44	4,55	5,1	8,9	10,7	10,7	3,78

Interprétation :

- Pour l'eau des tours 1, 2 et échangeur : le taux du chlore trop varie beaucoup, parfois il est trop élevé et d'autre moins élevé, et ceci est expliqué par un vidange du bassin de la tour.
- L'ajout de l'eau traité au bassin où la dissociation du chlore de sodium des résines dans l'eau adoucie.

d. Variation de pH des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours.

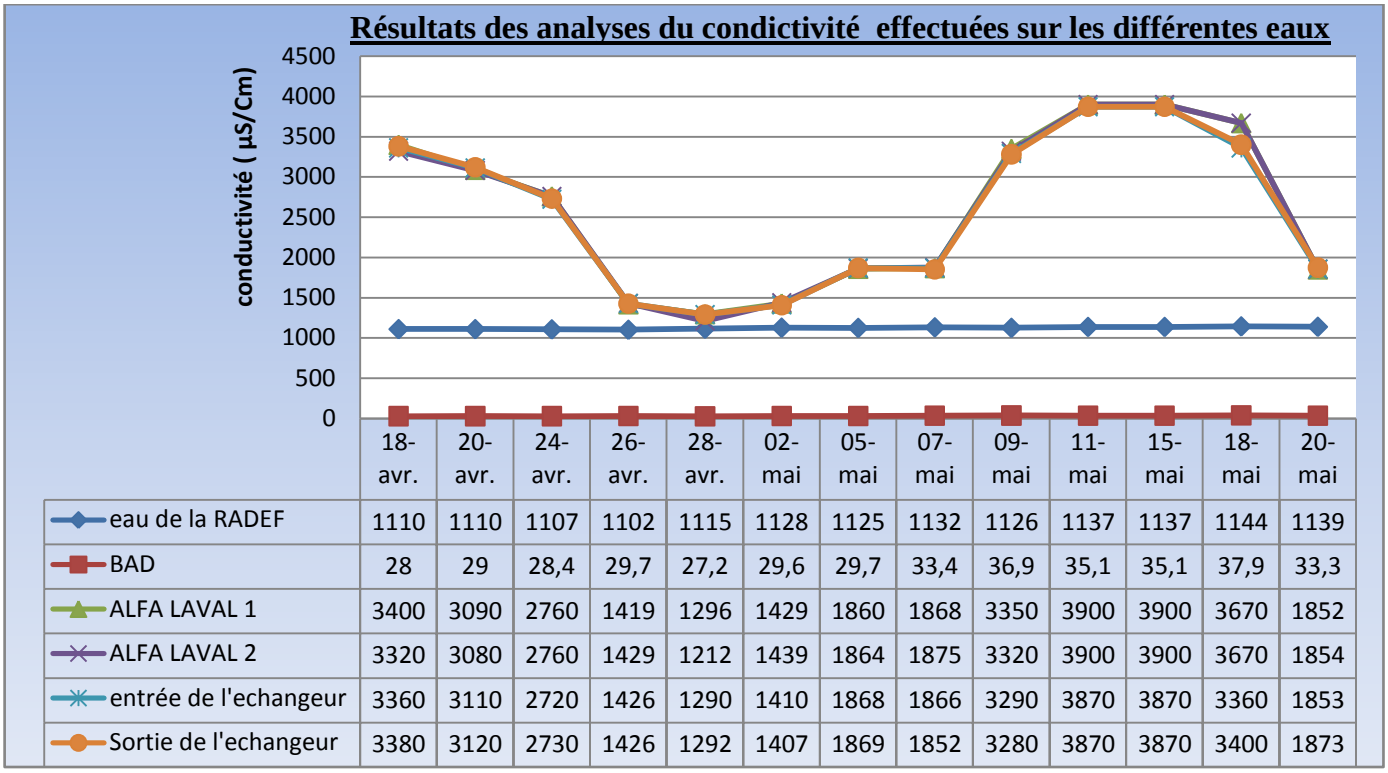


	18-avr.	20-avr.	24-avr.	26-avr.	28-avr.	02-mai	05-mai	07-mai	09-mai	11-mai	15-mai	18-mai	20-mai
eau de la RADEF	7,67	7,6	7,3	7,2	7,59	7,58	7,39	7,62	7,65	7,84	7,84	7,78	7,69
BAD	6,15	6,2	6,15	6,33	6	6,39	5,91	6,03	6,45	6,15	6,15	6,15	6
ALFA LAVAL 1	8,77	8,62	8,57	8,46	8,2	8,26	8,51	8,55	8,93	8,82	8,82	8,86	8,69
ALFA LAVAL 2	8,75	8,72	8,69	8,54	8,37	8,33	8,6	8,6	8,96	8,85	8,85	8,91	8,72
Entrée de l'echangeur	8,67	8,77	8,7	8,42	8,12	8,36	8,64	8,64	8,8	8,85	8,85	8,72	8,8
Sortie de l'echangeur	8,71	8,76	8,66	8,6	8,21	8,33	8,64	8,61	8,86	8,87	8,87	8,75	8,76

Interprétation :

- l'eau de la RADEF : tous les résultats du pH respectent les Normes.
- l'eau Adoucie: les pH sont neutres, ce sont des résultats Normaux.
- les eaux des tours et de l'échangeur : un pH supérieur à 8. Cette Élévation signifie que ces eaux sont riches en ions OH^-.

e. Variation de la conductivité des eaux du circuit de refroidissement en fonction des jours.



	18-avr.	20-avr.	24-avr.	26-avr.	28-avr.	02-mai	05-mai	07-mai	09-mai	11-mai	15-mai	18-mai	20-mai
eau de la RADEF	1110	1110	1107	1102	1115	1128	1125	1132	1126	1137	1137	1144	1139
BAD	28	29	28,4	29,7	27,2	29,6	29,7	33,4	36,9	35,1	35,1	37,9	33,3
ALFA LAVAL 1	3400	3090	2760	1419	1296	1429	1860	1868	3350	3900	3900	3670	1852
ALFA LAVAL 2	3320	3080	2760	1429	1212	1439	1864	1875	3320	3900	3900	3670	1854
entrée de l'echangeur	3360	3110	2720	1426	1290	1410	1868	1866	3290	3870	3870	3360	1853
Sortie de l'echangeur	3380	3120	2730	1426	1292	1407	1869	1852	3280	3870	3870	3400	1873

Interprétation :

- La conductivité de l'eau provenant du BAD varie entre 25 et 35 µS/cm, car c'est une eau déminéralisée , purifiée de toutes les matières en suspension et les ions responsable à l'augmentation de ce paramètre.
- La conductivité des tours d'Alfa-Laval varie avec le temps.

Ceci peut être par plusieurs facteurs :

- L'augmentation de la température extérieure et la matière en suspension qui emport l'augmentation de l'évaporation de l'eau.
- L'ajout de l'eau de javel qui augmente la concentration des sels dissouts dans le bassin(Ca^{2+} , Mg^{2+}…)
- l'ajout d'appoint.
- Le nombre de tours de refroidissement en marche.

f. Déduction :

A la lumière des résultats faite sur l'eau provenant des tours de refroidissement ,on peut conclure que ce traitement appliqué à la société LESSAFRE-MAROC que ça soit par adoucissement ou par méthodes d'osmoses inverse , est très bénéfique et élimine toute matière en suspension ainsi que la formation de tartre

Donc tous ces résultats des analyses que j'ai fait au cours de mon stage : THT, TAC , pH , Cl^- , conductivité, ne dépassent pas la norme et d'après ces résultats obtenus, on peut confirmer que l'eau des tours de refroidissement est saine et de bonne qualité phtisique et chimique .

CONCLUSION

L'augmentation d'un des paramètres (THT, TAC, Cl^-, pH, conductivité) peut influencer négativement sur le fonctionnement des tours de refroidissement, en causant des problèmes techniques : pertes énergétique, diminution du transfert de chaleur, augmentation de consommation des produits nettoyants.

Alors tout un non-respect des normes à ce niveau va accélérer le problème de l'entartrage, qui aura des dégâts très coûteux.

C'est pour cela, la société LESSAFRE-MAROC, traite l'eau par un adoucisseur et par les méthodes d'osmose inverse. Ce traitement est bénéfique pour éliminer toute matière en suspension qui se trouve dans l'eau. Efficace d'où vient l'idée de mon stage d'application au sein du laboratoire d'analyses physico-chimique comme projet de fin d'étude.

Et je vous remercie infiniment

Résumé

J’ai effectué mon stage au sein de la société LESSAFRE-MAROC . Cette dérniere traite l’eau par un adoucisseur et par les méthodes d’osmose inverse. Ce traitement est bénéfique pour éliminer toute matière en suspension qui se trouve dans l’eau, d’où vient l’idée de mon stage d'application au sein du laboratoire d'analyses physico-chimique comme projet de fin d'étude.

On a fait un Contrôle de qualité des eaux faisant la tour du circuit de refroidissement :

- Eau provenant de l’ARADEF
- Tours alfa-Laval 1 et 2
- BAD
- Echangeur

Et pour evaluer cette qualité , on a analysé Paramètres physico-chimiques caractéristiques de l’eau :

- THT
- TAC
- Concentration des ions chlorure
- Conductivité
- pH

Ces analyses physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement montre que le traitement de ces eaux per un adoucisseur et par la méthode d’osmose inverse sont bien bénéfiques, afin d’épargne les problèmes techniques au niveau des tours de refroidissement: l’entartrage, pertes énergétique, diminution du transfert de chaleur, augmentation de consommation des produits nettoyants.