



Licence Es-Sciences et Techniques (LST)

**TECHNIQUES D'ANALYSE CHIMIQUE ET
CONTROLE DE QUALITE
(TACQ)**

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Suivi des paramètres physico-chimiques des
eaux des tours de refroidissement**

Présenté par :

Mlle MRICH MOUNA

Encadré par :

- ◆ **Mr Ali BENNANI (LESAFFRE)**
- ◆ **Pr : Youssef Rodi Kandri (FST)**

Soutenu Le 12 Juin 2014 devant le jury composé de:

- **Pr. EL HADRAMI EL MESTAFA**
- **Pr. OUZZANI CHAHDI FOUAD**
- **Pr. YOUSSEF RODI KANDRI**

Stage effectué à LESAFRRE Maroc

Année Universitaire 2013 / 2014

Dédicace

A mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu pour L'atteinte de mes objectifs.

A mon frère et ma sœur, pour leur encouragement et leur amour.

A mes encadrants, Pour leurs conseils précieux qui m'ont accompagné tout au Long de mon stage, et qui ont fait en moi une grande confiance.

A tout le personnel de la société lesaffre qui m'a permis d'effectuer mon stage dans des meilleures conditions.

A mes amis et mes collègues, pour les moments inoubliables qu'on a vécus ensemble durant cette année...

Remerciements :

Avant de commencer la rédaction de ce rapport, j'ai l'honneur de présenter mes sincères remerciements au directeur général de la société lesaffre Mr Damien lesaffre ainsi qu'au directeur adjoint Mr Mohamed khamlechi
Au terme de ce travail, je tiens à remercier également :

- Mon encadrant Mr Youssef Rodi kandri pour sa disponibilité et le temps précieux qu'il m'a accordé malgré ses préoccupations.
- Mr bannani chef de laboratoire, qui m'a toujours accueilli avec bienveillance et sympathie, qui m'a toujours guidé avec ses précieux conseils, sa gentillesse, sa modestie et ses compétences qui méritent toute l'admiration et tout le respect.
- Tout le personnel du laboratoire physico-chimique et microbiologique qui a mis à ma disposition toute les informations nécessaires pour ma formation. et aussi qui m'a permis d'effectuer cette période de stage dans d'excellentes conditions.

Que tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, trouvent ici l'expression de notre sincère reconnaissance.

Sommaire

Introduction1

Présentation de la société

1. *Historique de la société LESAFFRE Maroc*2

2. *organigramme*.....3

3. *Description générale du laboratoire*.....4

Chapitre 1 : rappel sur la levure.....5

I. *Généralités sur la levure*6

II. *Procédé de fabrication de la levure*8

Chapitre2: les tours de refroidissement..... 12

1. *Définition*13

2. *Rôle*13

3. *Principe et fonctionnement*.....13

4. *Les types des tours de refroidissement*14

5. *Traitement des eaux de refroidissement*15

6. *Quelques définitions*16

7. *Procédé de refroidissement*19

Chapitre 3 : Analyses physicochimiques des tours de refroidissements...21

❖ *Analyses physico-chimiques*22

1) *Conductivité*22

2) *pH*.....22

3) *THT*22

4) *TAC*23

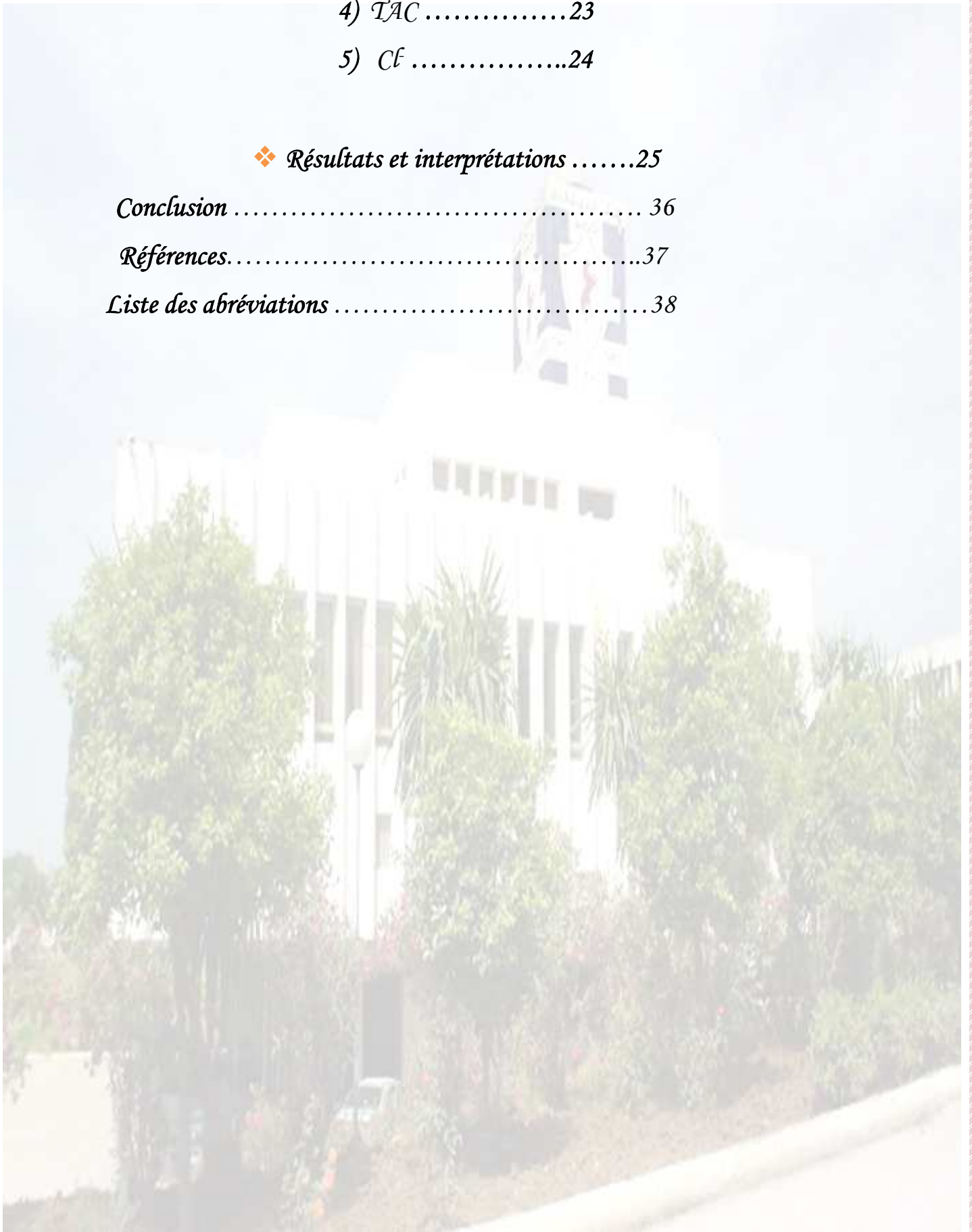
5) *Cf*24

❖ *Résultats et interprétations*25

Conclusion 36

Références.....37

Liste des abréviations38



Introduction :

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 à la croissance de la levure.

Dans presque tous les procédés industriels et de fabrication, l'eau joue un rôle fondamental. Elle contribue à refroidir ainsi que le nettoyage, mais lorsque cette eau devient polluée elle endommage l'efficacité du système en retardant le processus et, par conséquent, la qualité du produit est affectée.

Ce problème peut être résolu de nos jours par une technologie appelée filtration de l'eau de refroidissement qui élimine les matières en suspension à partir de systèmes de refroidissement efficace.

Pour un fonctionnement impeccable et économique de la tour de refroidissement, un traitement des eaux des tours de refroidissement sera nécessaire. D'où l'idée de mon sujet de stage " suivi des paramètres physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement".

Mon travail sera composé de 3 chapitres :

- Chapitre 1 : Rappel sur la levure.
- Chapitre 2 : Les tours de refroidissement.
- Chapitre 3 : Analyses physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement.

Présentation de la société LESAFFRE :

1. Historique de la société LESAFFRE Maroc:

Créée en 1975, LESAFFRE MAROC est depuis 1993 majoritairement détenue par le groupe français LESAFFRE. Elle est ainsi devenue la première entreprise privatisée au Maroc. Elle bénéficie de l'expérience et de la maîtrise technique du leader mondial de la fabrication de levure de panification.

LESAFFRE MAROC c'est le nom qui a remplacé celui de la SODERS depuis le 1^{er} Juin 2007, et ce dans le souci de répandre le label LESAFFRE à travers tout le Maroc.

LESAFFRE MAROC fabrique et commercialise la levure et les améliorants de panification : les marques JAOUUDA en levure fraîche et sèche, et RAFIÄÄ 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.

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

Par ailleurs, le service qualité du groupe LESAFFRE MAROC 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 des charges très strict.

Vue cette qualité remarquable de ses produits, LESAFFRE MAROC a reçu deux trophées de mérite :

- ❖ Trophée du prestige Arabe en 1984 à Barcelone.
- ❖ Trophée international de qualité en 1985 à Madrid.

2. Organigramme :

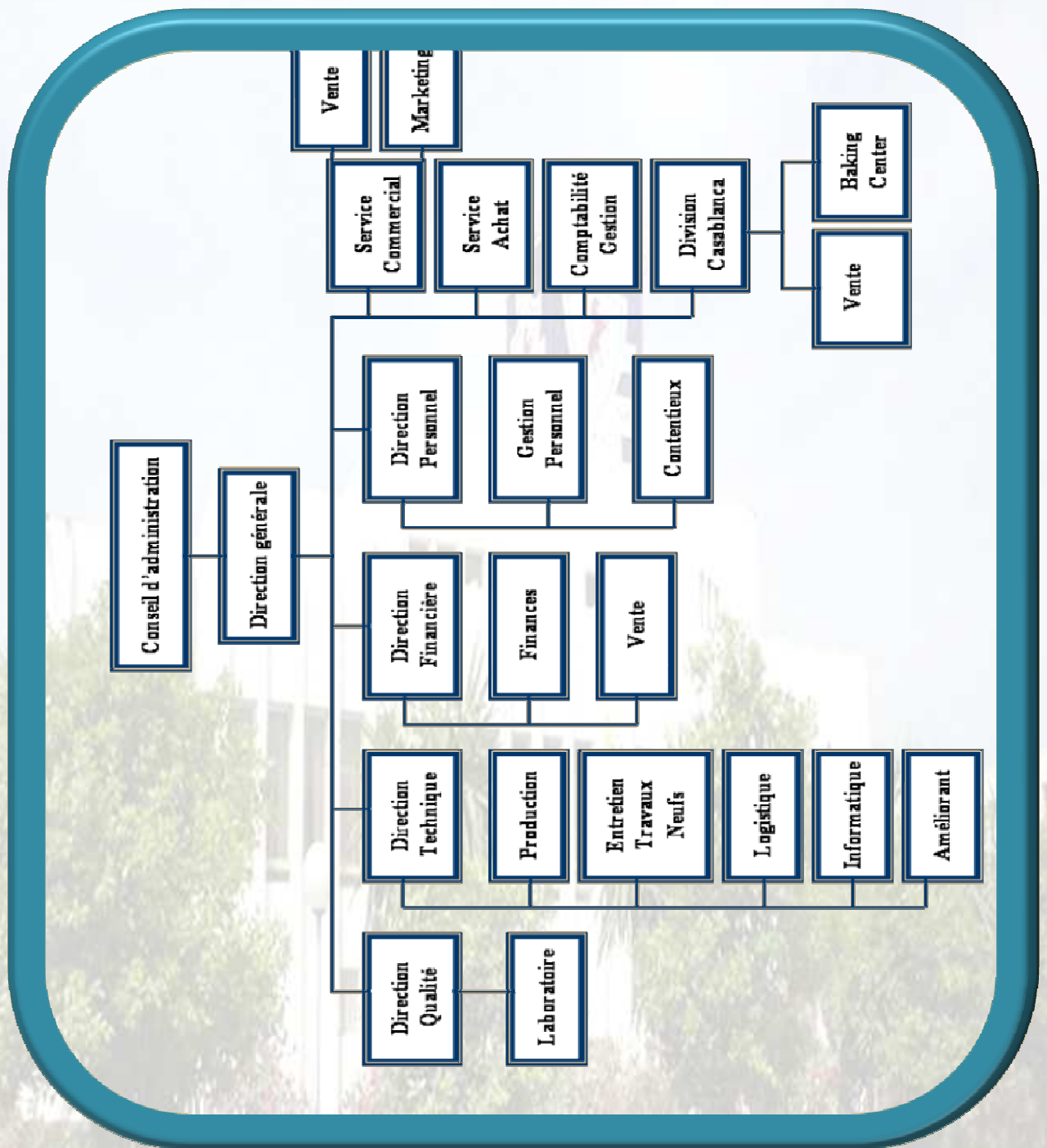


Figure1 : organigramme de la société LESAFFRE

3. description générale du laboratoire :

Ce laboratoire a été créé en 2006 par une équipe marocaine afin de répondre au besoin des contrôles microbiologiques et physicochimiques intervenant dans tous les niveaux de fabrication depuis la

réception de la matière première jusqu'à l'obtention du produit fini. Il est chargé d'effectuer ces procédés dans des conditions de qualité et de confidentialité.

a- Laboratoire physico-chimique :

Ce laboratoire est divisé en trois parties :

- Salle de panification où s'effectue la première étape de fabrication
- Salle de stockage où se trouvent tous les matériels et les produits initiaux
- Une salle d'analyses physico-chimiques

b- Laboratoire de microbiologie :

Il est divisé en trois parties :

- Une salle de pathogène ;
- Une salle de stockage des matières premières ;
- Une salle de préparation des milieux de culture, la stérilisation et d'autres activités ;
- une salle d'analyse bactériologique.

Les contrôles dans ces deux laboratoires s'effectuent dans des conditions de propretés et de qualités.

Chapitre 1 : *Rappel sur la levure*

❖ Rappel sur la levure :

I. Généralité sur la levure :

Définition :

La levure de boulangerie est un champignon microscopique unicellulaire. 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. C'est un microorganisme, appartenant à la classe des Ascomycètes, du genre de *Saccharomyces* (En latin « *Saccharo* » signifie sucre et « *myces* » désigne champignon) et de l'espèce *Cerevisiae*

La levure (*Saccharomyces Cerevisiae*) est entourée d'une paroi cellulaire. Cette dernière, enveloppe la membrane cytoplasmique, et donc protège la levure des agressions extérieures.

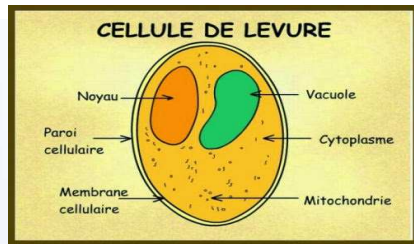


Figure 2 : cellule de levure.

Rôle :

La levure biologique a plusieurs rôles indispensables pour obtenir du pain de qualité :

- Provoque la dégradation des sucres de la farine créant ainsi la fermentation.
- Apporte une structure alvéolée grâce au gaz carbonique.
- Renforce l'arôme lors d'une fermentation longue.
- Agit sur la coloration de la croûte
- Améliore la légèreté des produits.

Développement de la levure :

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. La levure ne trouve plus d'oxygène. Le sucre fourni par la farine est transformé en alcool (é vaporé à la cuisson) et en gaz carbonique selon la réaction (1). Chez le boulanger, la levée de la pâte résulte de cette production de gaz carbonique. Là encore, de l'énergie est libérée, mais en faible quantité, suffisamment pour vivre mais pas pour se multiplier.



Glucose → *Gaz carbonique + Ethanol + Energie faible*

Avec air :

En aérobiose (présence d'air), les levures respirent et se multiplient abondamment, sans formation d'alcool. Le sucre dont elles se nourrissent est transformé en gaz carbonique et en eau selon la réaction (2). Ce phénomène s'accompagne d'une libération importante d'énergie qui leur permet de croître et de se multiplier par bourgeonnement. Lorsque les deux cellules ont la même grosseur, elles se séparent et le bourgeonnement des cellules se poursuit. Ce processus métabolique est celui de la respiration. Il est exploité par les levurières pour multiplier les cellules.



Glucose + Oxygène → Eau + Gaz carbonique +Energie importante

Types de la levure :

La levure de boulanger se présente sous différentes formes, déshydratées et fraîches :

a. Levure fraîche :

La levure fraîche de boulangerie est une pâte de couleur jaune grisâtre, très friable, au toucher soyeux, frais et agréable, partiellement débarrassée de son eau, avec une odeur légèrement acidulée rappelant celle des produits de la fermentation.

b. Levure sèche :

La levure sèche est une levure fraîche déshydratée obtenue par séchage sous vide et à basse température. Elle est de conservation plus longue.

Comparaison entre levure sèche et levure fraîche :

- ✓ La levure sèche contient très peu d'eau (elle est séchée sous vide à basse température). Cette caractéristique la rend très stable, résistante pendant les transports et fait qu'elle se conserve très bien dans un endroit frais et sec (jusqu'à 6 mois).
- ✓ La levure fraîche de boulanger est fraîche. Elle est donc plus hydratée et a besoin d'un endroit frais (autour de 4°C) pour se conserver (autour de 2 semaines). Elle doit avoir un bel aspect clair, humide et sans odeur acide. Elle est plus fragile.

II. Procédé de fabrication de la levure :

La production de la levure passe par les étapes suivantes :

Ensemencement :

Chaque mois, la société Lesaffre Maroc reçoit de la France deux souches de *Saccharomyces cerevisiae*. Une destinée à la levure fraîche et l'autre à la levure sèche. Ces souches sontensemencées dans des tubes dans un milieu nutritif spécifique à la croissance des levures pour préparer 60 tubes par mois (30 tubes de chaque souche). Cette étape exige un travail dans des conditions strictement aseptiques pour éviter tout risque de contamination, puis le contenu des tubes est transvasé dans un petit icône appelé « van Lear » dont le milieu nutritif très riche rendra possible une première multiplication et donc la production de nombreuses cellules. Après 24h, les levures obtenues sont inoculées dans une autre verrerie appelée « Carlsberg » où elles se multiplient à nouveau à une température de 28 °C pendant 24h avec 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.

La pré-fermentation :

Après l'incubation dans la cuve de 800 l, le moût obtenu passe à la cuve de la pré-fermentation où on ajoute la mélasse et les autres éléments tels que l'urée (source d'azote), le phosphate, les sels minéraux et l'acide sulfurique (H_2SO_4) car les levures vivent dans les milieux acides ainsi que l'oxygène qui provient de l'air et on contrôle aussi le pH qui doit être entre 3,4 et 4,5 avec l'agitation.

La fermentation :

Après la pré-fermentation on passe à la fermentation qui se fait dans des grandes cuves, dans cette étape l'alimentation en mélasse et les autres ingrédients est continue après certain temps (17h) on aura une grande population de levure sous forme liquide qu'on appelle le moût. On ajoute aussi une anti-mousse pour éviter les mousses qui se produisent lors de la fermentation. Les grandeurs qui influencent la levure sont la température, le pH, le taux d'alcool. La température est contrôlée à l'aide

d'un régulateur lié à un échangeur de chaleur qui refroidit le moût pour ne pas détruire la levure.

Séparation :

Figure 3: séparateur



Le moût est un mélange de levure, de l'eau et du reste de la mélasse ce qui nécessite une séparation, cette opération est effectuée dans une salle de séparation qui contient des séparateurs à la fin de celle-ci on obtient une crème qui contient de la levure pure. La crème obtenue est refroidie et stockée à une température de 4 °C, puis elle est passée à la cuve d'acidification pour lutter contre le développement des bactéries.

Séparée dans une cuve qui contient de l'eau et les éléments nutritifs (mélasse, l'urée Phosphate) et l'oxygène qui provient de l'air puis on effectue une deuxième séparation de la crème qui se refroidit avant le stockage à 4 °C.

Conditionnement :

- Levure fraîche :

Le conditionnement débute par la filtration de la crème sur des filtres rotatifs sous vide. Le filtre rotatif est constitué d'un cylindre tournant à axe horizontal partiellement immergé dans le bac contenant la crème. Cette dernière s'étale sur le filtre contenant une couche d'amidon (2 cm) qui ne laisse pénétrer que l'eau aspirée par la pompe à vide.

Le filtrat est évacué. Le gâteau accumulé sur la toile est raclé à l'aide d'un couteau.

Figure 4: filtre rotatif



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 friable 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 la matière sèche jusqu'à 94% pour la SPH et 95.5% pour la SPI.

SPI: levure sèche instantanée sous forme de petits bâtons fissurés emballés sous vide dans des sachets de 450g ainsi que dans des cartons de 25kg destinés à l'export.

SPH: levure sèche active ou à réhydratation sous forme de granules ou de sphérules, emballées sous air dans des sachets de 50g, 100g et 5g.

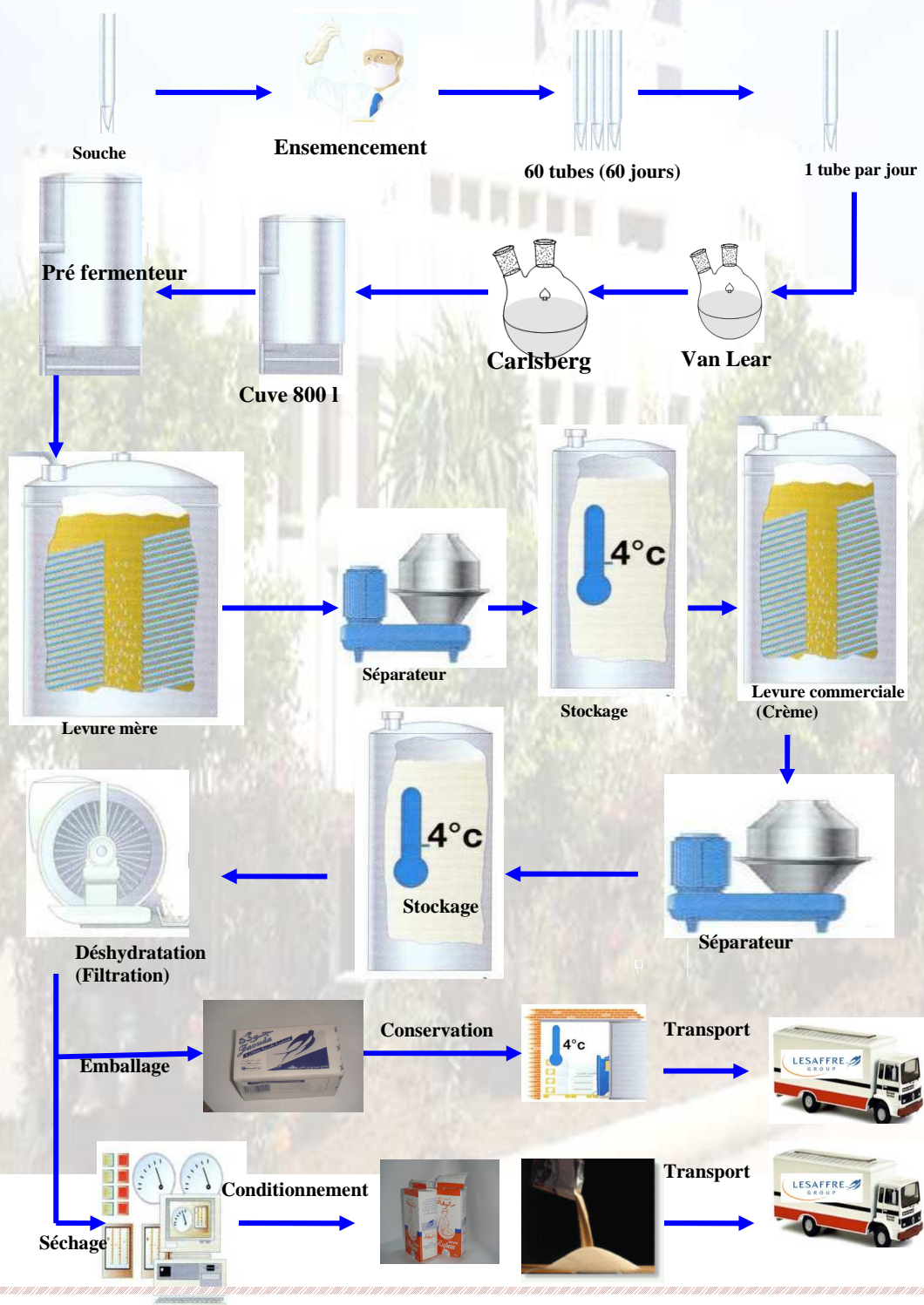


Figure 5 : le processus général de la fabrication de levure

Chapitre 2 :

Les tours de refroidissement

❖ *Les tours de refroidissement :*



Figure 6 : schéma d'une tour de refroidissement.

1. Définition :

Les tours aéroréfrigérantes ou TAR, aussi appelées tours de refroidissement, sont utilisées pour refroidir un fluide (liquide ou gaz), 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 les procédés industriels et énergétiques (centrales électriques, installations de combustion, sucreries, chimie...).

2. Rôle :

Les tours aéroréfrigérantes sont destinées à refroidir les eaux qui ont été réchauffées par une source d'énergie.

3. Principe et fonctionnement :

- ✓ L'eau à refroidir étant amenée par une conduite à une certaine hauteur dans la tour.
- ✓ l'évaporation d'une partie de l'eau en circulation permet d'évacuer la chaleur.
- ✓ Les ventilateurs assurent une circulation forcée de l'air de refroidissement.
- ✓ l'eau tombe par gravitation au fond de la tour sous forme de gouttelettes.

4. Les Types des tours de refroidissement :

Les circuits de refroidissement des eaux peuvent être, soit *totale*ment **fermés**, soit **ouverts** :

Tour de refroidissement à circuit fermé :

- Il s'agit généralement d'un échangeur de chaleur où le transfert thermique s'effectue par contact direct avec l'air ambiant.
- Ces échangeurs permettent d'éviter la pollution du liquide à refroidir par les poussières présentes dans l'air de refroidissement.

Tour de refroidissement à circuit ouvert :

Les tours de refroidissement à circuit ouvert évacuent, dans l'atmosphère, la chaleur qui se dégage des systèmes refroidis par eau.

Principe :

L'eau chaude du processus est distribuée dans un système de surfaces 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 évaporatif, une petite partie de l'eau s'évapore en refroidissant l'eau de processus résiduelle.

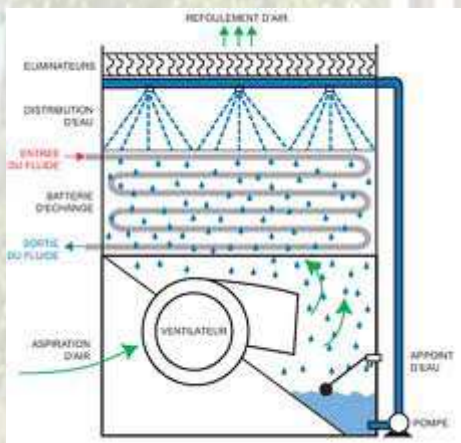


Figure 7 : tour à circuit fermé.

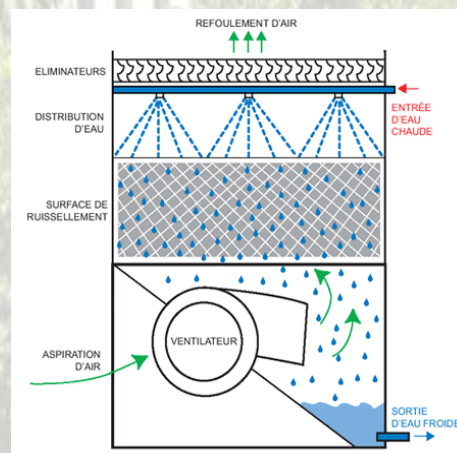
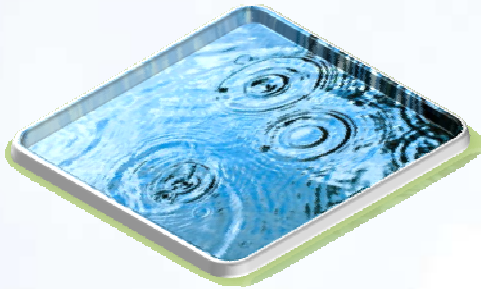


Figure 8 : tour à circuit ouvert.

NB : La société LESAFFRE Maroc utilise un système de refroidissement à circuit ouvert

5. Traitement des eaux de refroidissement :

Eau :



- **Définition :**

L'eau est un composé chimique simple, liquide entre 0 et 100 °C, l'eau est gazeuse au-dessus de 100 °C et solide en dessous de 0 °C. Sa formule chimique est H₂O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène.

L'eau est essentielle pour tous les organismes vivants connus. C'est le milieu de vie de la plupart des êtres vivants. C'est notamment un solvant efficace pour beaucoup de corps solides trouvés sur Terre.

- **Traitement des eaux :**

- ✓ *Eau de Javel :*

Elle est capable de tuer presque tous les types des microorganismes (microbes) permettant ainsi de réduire leurs nombres dans la tour.

- ✓ *Inhibiteur :*

Un inhibiteur de corrosion est un composé chimique (organique ou inorganique) qui, ajouté au milieu corrosif, diminue sensiblement ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé dans ce milieu. Les produits chimiques utilisés pour le traitement des eaux ne sont pas tous des inhibiteurs de corrosion. On utilise également des inhibiteurs d'entartrage.

* **Anticorrosion** : contre la corrosion qui peut être due à des nombreux facteurs : l'utilisation de l'eau de Javel, du matériau de la tour, de pH, de température, de la composition de l'eau....

* **Anti tartrage** : contre le tartre (calcaire) qui est due au dépôt des sels (Na^+), de Magnésium (Mg^{2+}), de Calcium (Ca^{2+}).... qui se trouvent dans l'eau des tours.

✓ **Le filtre :**

La filtration de l'eau de refroidissement joue un rôle vital comme les poumons jouent un rôle important dans le fonctionnement de notre corps. Elle permet de :

- ❖ éliminer les dépôts de corrosion et l'entartrage.
- ❖ éliminer les matières en suspension.
- ❖ enlever la saleté et les sédiments à partir du système de refroidissement ce qui augmente son efficacité.
- ❖ éliminer tous les contaminants de l'eau.

6. Quelques définitions :

Adoucisseur :

Un adoucisseur d'eau est un appareil qui réduit la dureté de l'eau en réduisant la quantité du calcaire (carbonates principalement de calcium et de magnésium) en suspension dans l'eau.

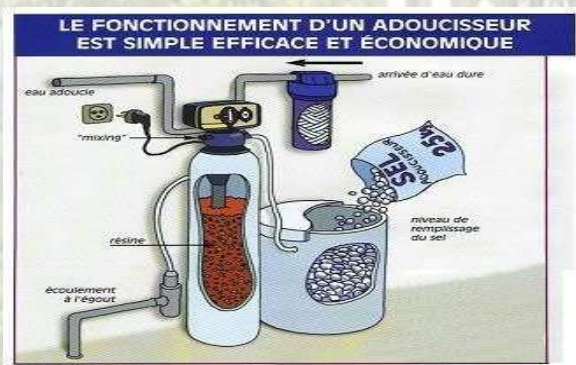


Figure 9: principe et fonctionnement d'un adoucisseur

Fonctionnement d'un adoucisseur à résine :

Un adoucisseur résine fonctionne grâce à une résine sur laquelle sont fixés des ions sodium (Na^+). Les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) de l'eau dure sont échangés lors de leur

passage sur la résine par des ions Na^+ . Lorsque tous les ions Na^+ de la résine sont consommés, il faut régénérer l'adoucisseur. On lui apporte alors une solution saturée en sel (chlorure de sodium NaCl) riche en ions

Na^+ . De leur côté, les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) sont évacués à l'égout avec les eaux de rinçage.

Osmoseur :

L'**osmoseur** est un instrument permettant de faire de l'eau pure selon le principe de l'osmose inverse. L'**osmose inverse** est un système de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de **filtration** très fin qui ne laisse passer que les **molécules d'eau**.

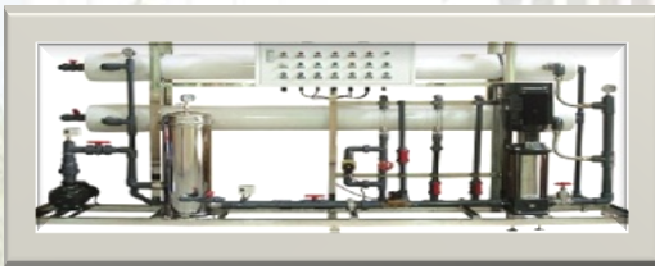


Figure 10 : l'osmoseur

Echangeur à plaque :

Un échangeur de chaleur 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.

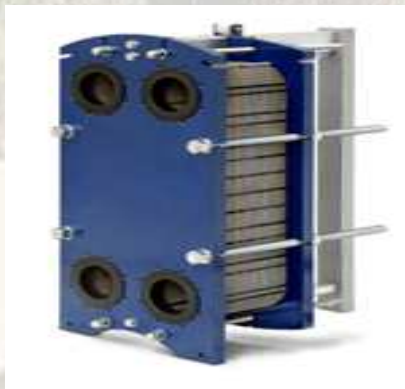


Figure 11 : échangeur à plaque

Fonctionnement :

L'échangeur à plaques est composé d'un grand nombre de plaques disposées et séparées les unes des autres d'un petit espace où circulent les fluides. Le périmètre des plaques est bordé d'un joint qui permet par compression de la structure d'éviter les fuites. Les plaques possèdent une surface ondulée afin de créer un flux turbulent synonyme d'un meilleur transfert de chaleur mais permet également de canaliser les fluides qui se déplacent à la surface vers les coins de la plaque.

Pompe à eau :

Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler de l'eau.



Figure 12 : pompe à eau.

Fermenteur :

Un fermenteur, appelé également Un bioréacteur ou propagateur, est un appareil dans lequel on multiplie des microorganismes ([levures](#), [bactéries](#), [champignons microscopiques](#), [algues](#), [Cellules animales](#) et [végétales](#)) pour la production de biomasse (écologie), ou pour la production d'un métabolite.

Le moût :

Le moût est un mélange de levure, de l'eau et du reste de la mélasse ce qui nécessite une séparation dans le séparateur.

Surface d'échange :

Une surface d'échange qualifie une surface qui est le siège d'un transfert de matière ou d'énergie. Une surface d'échange peut-être:

- une paroi perméable qui permet un transfert de matière;
- une paroi étanche qui permet un transfert thermique (cette paroi est le siège d'un transfert thermique important entre deux fluides dont l'un est plus chaud que l'autre).

7. procédé de refroidissement :

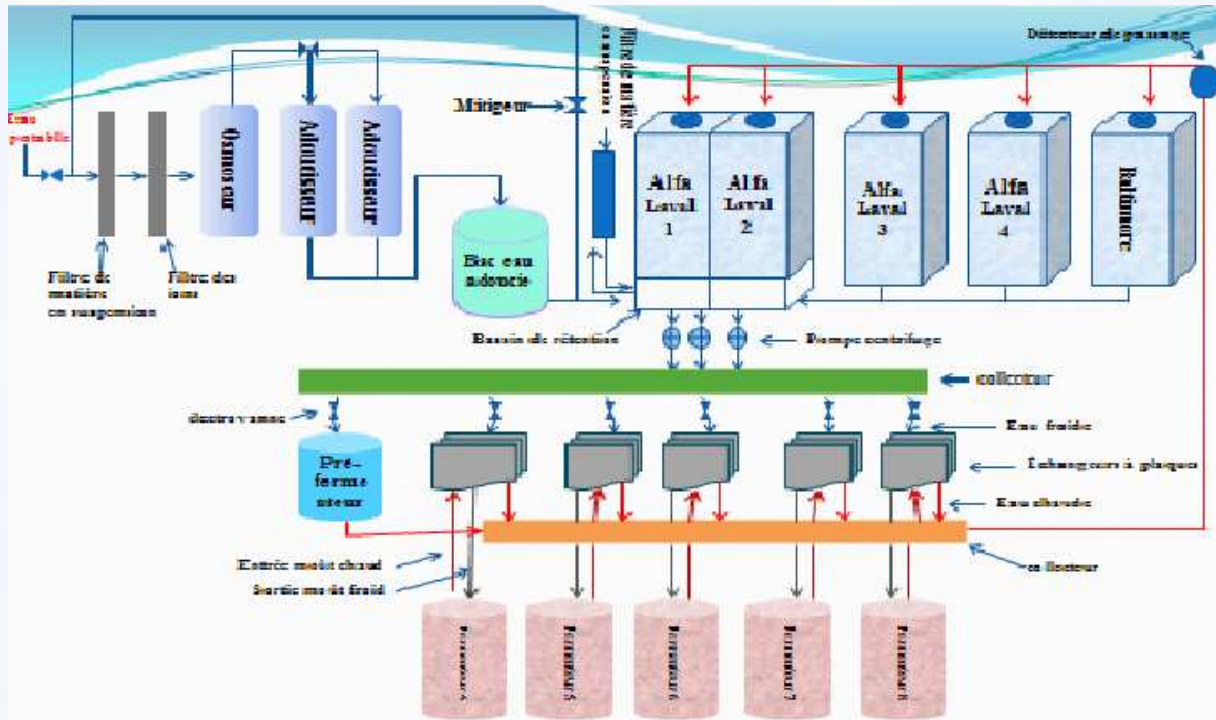


Figure 13: schéma du procédé de refroidissement.

L'eau potable (eau de la RADEEF) passe par un filtre à 25μ qui élimine les boues, le sable, la poussière, avant de passer par un filtre à charbon actif qui est utilisé pour l'adsorption des impuretés. Lors du passage d'eau par le charbon actif, les ions négatifs des contaminants sont attirés sur la surface des granules de carbone et les infectants résiduels tels que le chlore et les Chloramines sont enlevés par réduction analytique. Ensuite, elle passe par des filtres à porosités différentes ($10 \mu m$ et $1 \mu m$), puis par un correcteur de PH pour neutraliser les ions OH^- présents dans l'eau par injection d'acide sulfurique, puis l'eau passe par un osmoseur, c'est un système de filtration très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau. Finalement l'eau osmosée passe par un adoucisseur pour réduire les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} puis elle est stockée dans le BAD c'est le bac d'eau adoucie. Ce bac sert à faire l'appoint du bassin de rétention faisant partie des tours de refroidissement « α . Laval ».

La pompe à eau aspire l'eau du bassin qui passe vers les échangeurs à plaque où il y aura un échange thermique entre l'eau froide et le moût chaud, Le moût froid revient au fermenteur et l'eau à refroidir est amenée à une certaine hauteur dans la tour. La chaleur dégagée du

système de refroidissement s'évacue dans l'atmosphère et l'eau tombe par gravitation au fond de la tour sous forme de gouttelettes.



Chapitre 3:

Analyse physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement

❖ **Analyse physico-chimique :**

1) conductivité :

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Cette notion est inversement proportionnelle à celle de résistivité électrique. Cette mesure signifie la présence des ions dans l'eau. Plus l'eau contient des ions, plus sa capacité à conduire le courant est importante et plus sa conductivité est grande.

La conductivité se mesure en $\mu\text{s}/\text{cm}$ (micro-siemens par centimètre), à l'aide d'un conductimètre.

Mode opératoire :

L'appareil utilisé est appelé « conductimètre ».

- on étalonne l'appareil avec une solution dont la conductivité est connue.
- On plonge l'électrode dans l'échantillon d'eau, puis on n'a qu'à lire la valeur affichée.

2) pH :

Le potentiel hydrogène (ou pH) mesure l'activité chimique des ions hydrogènes (H^+) (appelés aussi couramment protons en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous la forme de l'ion oxonium).

Le pH est un coefficient qui caractérise l'acidité ou la basicité d'une eau. Si le $pH < 7$ l'eau est acide, s'il est > 7 l'eau est basique. Une eau neutre si le pH est neutre.

La mesure du pH se fait à l'aide d'un pH-mètre.

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

3) THT ou titre hydrotimétrique total :

Le titre hydrotimétrique ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

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

Tableau 1 : valeurs du titre hydrotimétrique :

TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	40
Eau	très douce	eau douce	plutôt dure	dure	très dure

Mode opératoire :

- On introduit dans un erlenmeyer 100ml de l'eau à traiter.
- On ajoute 5ml de la solution tampon pH 10.

On ajoute quelques gouttes de l'indicateur coloré « Noir d'ériochrome ». (Coloration mauve)

- On titre cette solution avec l'EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique) N/50. Ce dernier a la propriété de se combiner avec les ions calcium puis magnésium pour former des composés solubles.
- Réactions chimiques :

L'anion Y^{4-} , provenant de l'EDTA, est un ion complexe qui donne, avec de nombreux cations, des composés stables.

Les réactions de complexation s'écrivent :



On arrête le dosage jusqu'à l'apparition d'une couleur bleu.

- **THT= V versé (volume d'EDTA versé)**
- THT est exprimée en °F (degré français).

4) TAC ou titre alcalimétrique complet

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

(1°f correspond à 10⁻⁴ mol/l)

- **TAC =volume de titrage * 10**
- **Réactions chimiques :**



Mode opératoire :

On introduit 50ml de l'échantillon dans un erlenmeyer de 250 ml

- On ajoute quelques gouttes de l'indicateur coloré « orange de méthyle ».
- On dose avec l'acide chloridrique HCl (0,1 N).

Après l'ajout du colorant la solution deviendra orange, on arrête l'ajout de l'HCL que lorsque la couleur devient orange foncé.

5) chlorure (Cl⁻) :

Ce dosage sert à définir la teneur en Cl⁻ d'une eau. Le laboratoire veille à effectuer ce dosage vue que la conductivité est proportionnelle aux ions, aussi étant donné que les ions Cl⁻ participent à la formation des molécules KCl, HCl et NaCl, ce dernier a la propriété de déposer sur les parois de la tuyauterie et peut provoquer un bouchage.

Mode opératoire :

- On met 50 ml de l'eau dans l'erlenmeyer.
- On ajoute quelques gouttes de l'indicateur coloré « chromate de potassium ».
- On titre cette solution avec le nitrate d'argent AgNO₃ (10⁻¹ N).

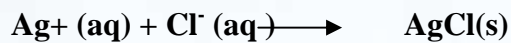
On arrête le dosage jusqu'à l'apparition d'un précipité de teinte rougeâtre (rouge brique).

$$[\text{Cl}^-] = \frac{\text{Volume versé} \times 35 \times 0.1}{50} \text{ g/l}$$

Réactions chimiques :

Au début du dosage on observe un précipité blanc de chlorure d'argent AgCl. C'est un précipité solide et peu soluble dans l'eau.

La réaction s'écrit comme suit :



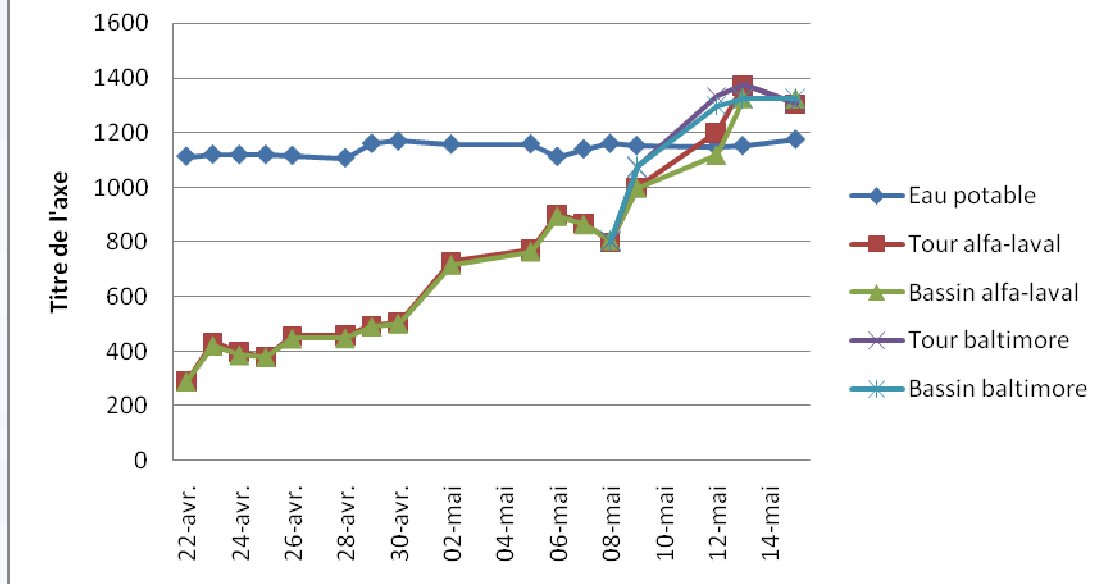
❖ **Résultats et interprétations :**

NB : la tour Baltimore a commencé à fonctionner le 8 mai 2014.

Date	Eau potable	Tour alfa-Laval	Bassin alfa-Laval	Tour Baltimore	Bassin Baltimore
22-avr	1113	289	288		
23-avr	1120	432	420		
24-avr	1119	397	385		
25-avr	1119	378	378		
26-avr	1116	457	446		
28-avr	1107	459	447		
29-avr	1160	494	490		
30-avr	1169	505	501		
02-mai	1157	727	717		
05-mai	1158	773	765		
06-mai	1112	903	895		
07-mai	1140	870	864		
08-mai	1160	800	806	799	806
09-mai	1152	1000	998	1074	1077
12-mai	1147	1200	1119	1335	1300
13-mai	1152	1375	1327	1375	1327
15-mai	1175	1306	1325	1306	1325

Tableau 2: résultats de la conductivité d'eau potable et des tours de refroidissement alfa Laval et Baltimore.

figure 14: conductivité de l'eau potable et des tours de refroidissement en fonction des jours de prélèvements



➤ Pour l'eau potable la conductivité est élevée, elle varie entre 1120 et 1169 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Cette conductivité est fonction de :

- La quantité de sels dissous dans l'eau.
- La température de l'eau.
- Les impuretés : ions.

➤ Pour les tours de refroidissement Alpha Laval et Baltimore :

Les courbes correspondantes aux tours alfa Laval et Baltimore et aux bassins alfa Laval et Baltimore sont similaires.

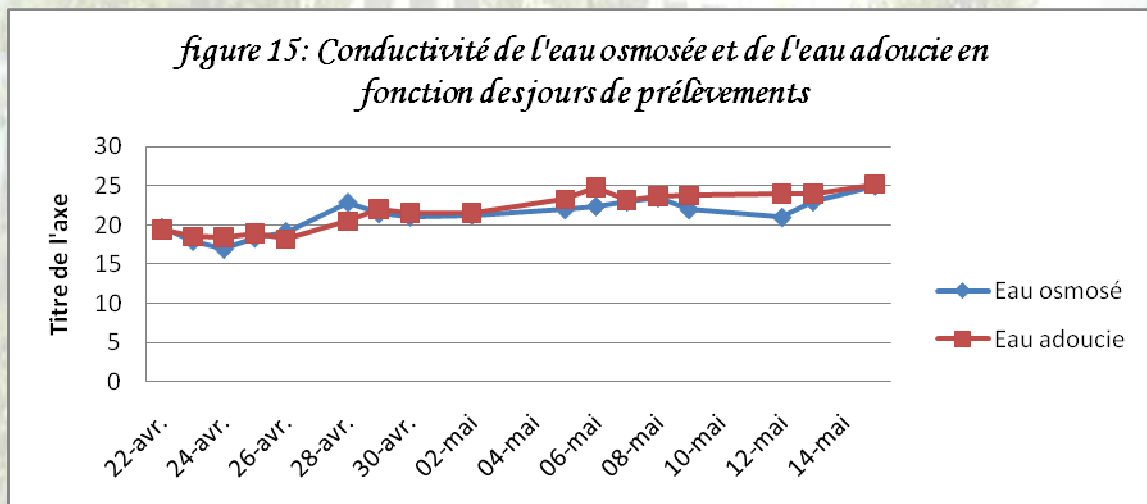
Dans les tours Alpha Laval et Baltimore les résultats de la conductivité étaient élevées par rapport à l'eau du bassin Alfa Laval et Baltimore est ceci est dû à la concentration élevée en ions dans ces eaux, dont les origines sont :

- L'évaporation des eaux au cours du refroidissement
- Les impuretés que l'air ambiant emporte.

Date	Eau osmosée	Eau adoucie

22-avr	19,7	19,4
23-avr	18	18,5
24-avr	17	18,4
25-avr	18,4	18,9
26-avr	19,2	18,2
28-avr	22,9	20,5
29-avr	21,5	22
30-avr	21,1	21,5
02-mai	21,3	21,5
05-mai	22	23,3
06-mai	22,4	24,8
07-mai	23	23,2
08-mai	23,5	23,7
09-mai	22	23,8
12-mai	21	24
13-mai	23	24
15-mai	25	25,2

Tableau 3 : résultats de la conductivité de l'eau adoucie et de l'eau osmosée.



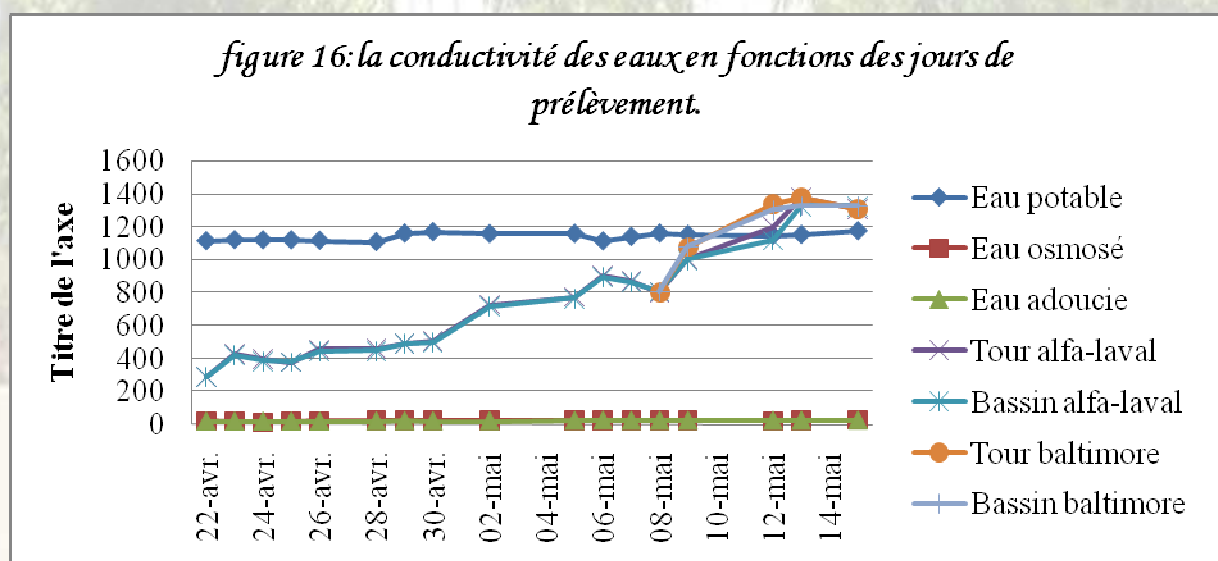
On remarque que les 2 courbes correspondantes à l'eau osmosée et à l'eau adoucie sont similaires.

- Les résultats de la conductivité de l'eau osmosée et de l'eau adoucie répondent aux normes.
- L'osmoseur et l'adoucisseur ont une faible conductivité car ce sont des eaux traitées et purifiées.
- Les normes :

La conductivité doit être inférieure à 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

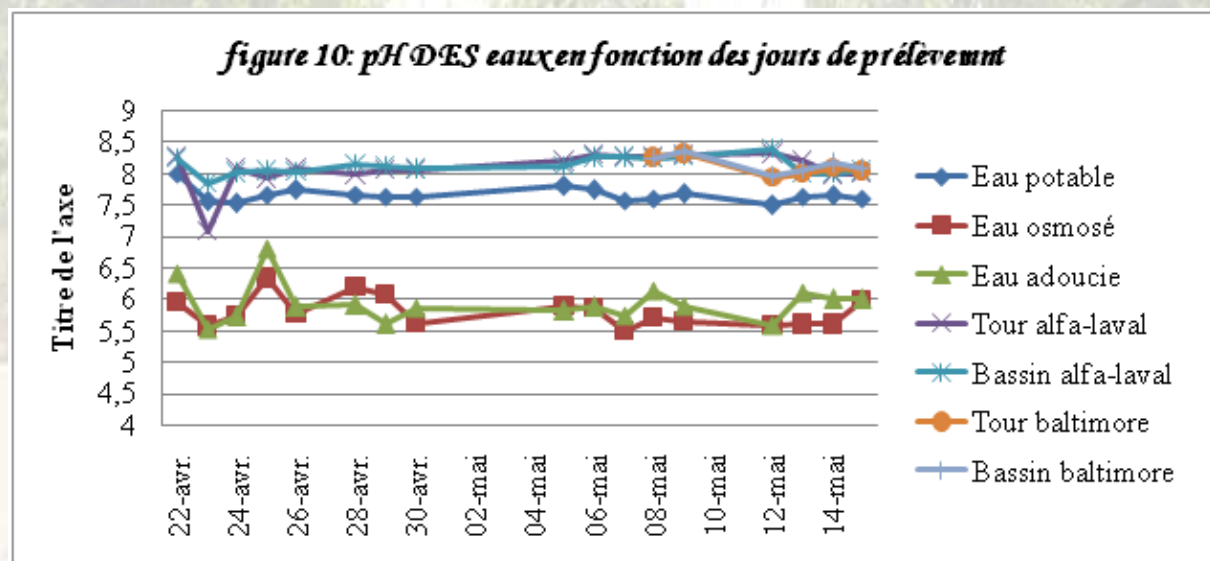
Date	Eau potable	Eau osmosé	Eau adoucie	Tour alfa-laval	Bassin alfa-laval	Tour baltimore	Bassin baltimore
22-avr	1113	19,7	19,4	289	288		
23-avr	1120	18	18,5	432	420		
24-avr	1119	12	18,4	397	385		
25-avr	1119	18,4	18,9	378	378		
26-avr	1116	19,2	18,2	457	446		
28-avr	1107	22,9	20,5	459	447		
29-avr	1160	21,5	22	494	490		
30-avr	1169	21,1	21,5	505	501		
02-mai	1157	21,3	21,5	727	717		
05-mai	1158	22	23,3	773	765		
06-mai	1112	22,4	24,8	903	895		
07-mai	1140	23	23,2	870	864		
08-mai	1160	23,5	23,7	800	806	799	806
09-mai	1152	22	23,8	1000	998	1074	1077
12-mai	1147	21	24	1200	1119	1335	1300
13-mai	1152	23	24	1375	1327	1375	1327
15-mai	1175	25	25,2	1306	1325	1306	1325

Tableau 4 : résultats de la conductivité des différentes eaux de refroidissement



Date	Eau potable	Eau osmosé	Eau adoucie	Tour alfa-Laval	Bassin alfa-Laval	Tour Baltimore	Bassin Baltimore
22-avr	8	5,96	6,42	8,28	8,24		
23-avr	7,56	5,57	5,53	7,08	7,85		
24-avr	7,53	5,74	5,73	8,09	8,02		
25-avr	7,67	6,34	6,8	7,92	8,05		
26-avr	7,74	5,77	5,88	8,1	8,03		
28-avr	7,67	6,2	5,91	7,99	8,15		
29-avr	7,64	6,08	5,6	8,06	8,12		
30-avr	7,63	5,61	5,86	8,06	8,08		
05-mai	7,8	5,89	5,82	8,2	8,13		
06-mai	7,74	5,87	5,88	8,3	8,26		
07-mai	7,58	5,5	5,74	8,27	8,26		
08-mai	7,6	5,7	6,13	8,26	8,25	8,26	8,25
09-mai	7,68	5,65	5,9	8,3	8,28	8,32	8,35
12-mai	7,5	5,59	5,58	8,32	8,39	7,94	7,98
13-mai	7,63	5,6	6,1	8,2	8,01	8	8,06
14-mai	7,65	5,6	6	7,99	8	8,1	8,17
15-mai	7,6	5,99	6	8	8,05	8,05	8,1

Tableau 5: résultats du pH des différents échantillons d'eau.



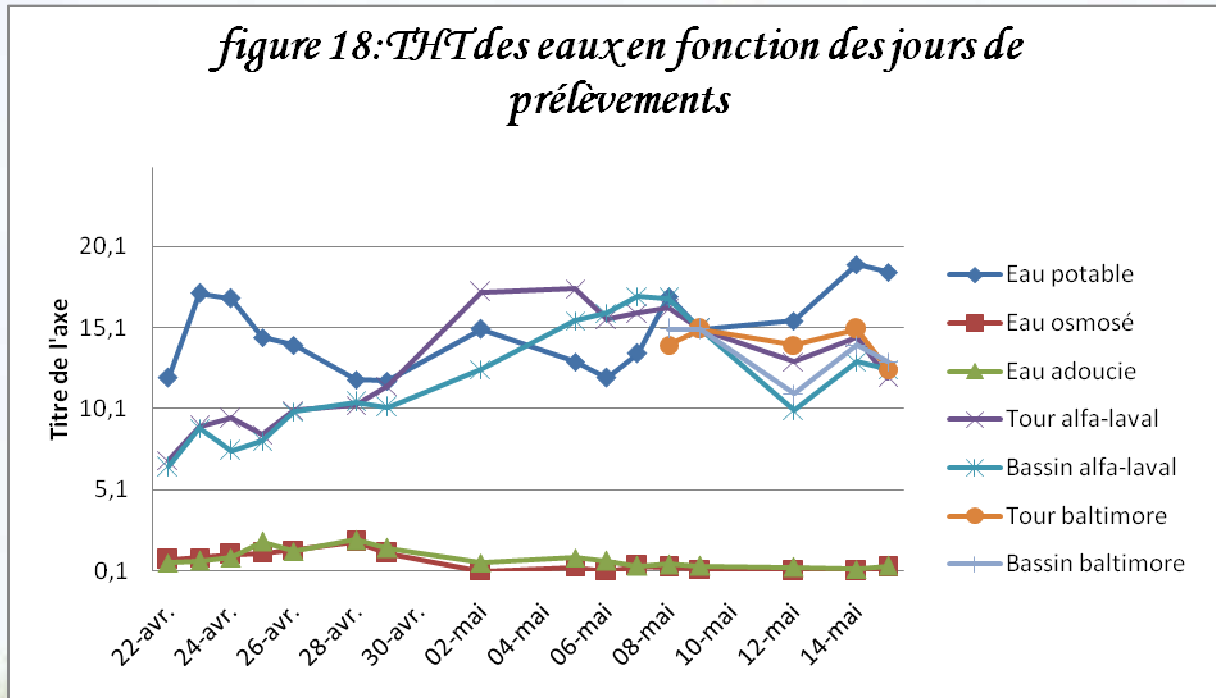
- L'eau potable a un pH entre 7,5 et 8.
- L'eau osmosée et l'eau adoucie ont un pH entre 5 et 7. Le pH diminue à cause de la correction du pH avant osmoseur qui neutralise les ions OH⁻
- Les tours de refroidissements Alpha Laval et Baltimore ont un pH entre 7,08 et 8,39 :

Pour un bon fonctionnement des tours et des filtres on utilise de l'eau osmosée qui a une faible concentration en éléments chimiques mais son pH est faiblement acide donc elle peut créer des corrosions au niveau des circuits c'est pour cela qu'on est obligé de mélanger l'eau osmosée avec l'eau potable pour augmenter son pH mais d'une façon convenable pour garder les autres paramètres dans les normes.

Date	Eau potable	Eau osmosée	Eau adoucie	Tour alfa-laval	Bassin alfa-laval	Tour Baltimore	Bassin Baltimore
22-avr	12	0,8	0,6	6,9	6,5		
23-avr	17,2	0,9	0,7	9	8,9		
24-avr	16,9	1,1	0,9	9,5	7,5		
25-avr	14,5	1,2	1,9	8,5	8,1		
26-avr	14	1,4	1,3	10	9,9		
28-avr	11,9	1,9	2	10,3	10,5		
29-avr	11,8	1,2	1,5	11,5	10,2		
02-mai	15	0,1	0,6	17,3	12,5		
05-mai	13	0,3	0,9	17,5	15,5		
06-mai	12	0,1	0,7	15,6	16		
07-mai	13,5	0,4	0,4	16	17		
08-mai	17	0,3	0,5	16,3	16,9	14	15
09-mai	15	0,2	0,4	15	15	15	15

12-mai	15,5	0,1	0,3	13	10	14	11
14-mai	19	0,1	0,2	14,5	13	15	14
15-mai	18,5	0,3	0,4	12	12,5	12,5	13

Tableau 6: résultats du THT des différents échantillons d'eau



- Pour L'eau potable le THT varie entre 12 et 19 °f.

Tous les résultats du THT sont dans les normes.

- Pour l'eau asmosée et l'eau adoucie le THT varie entre 0,1 et 1,9.

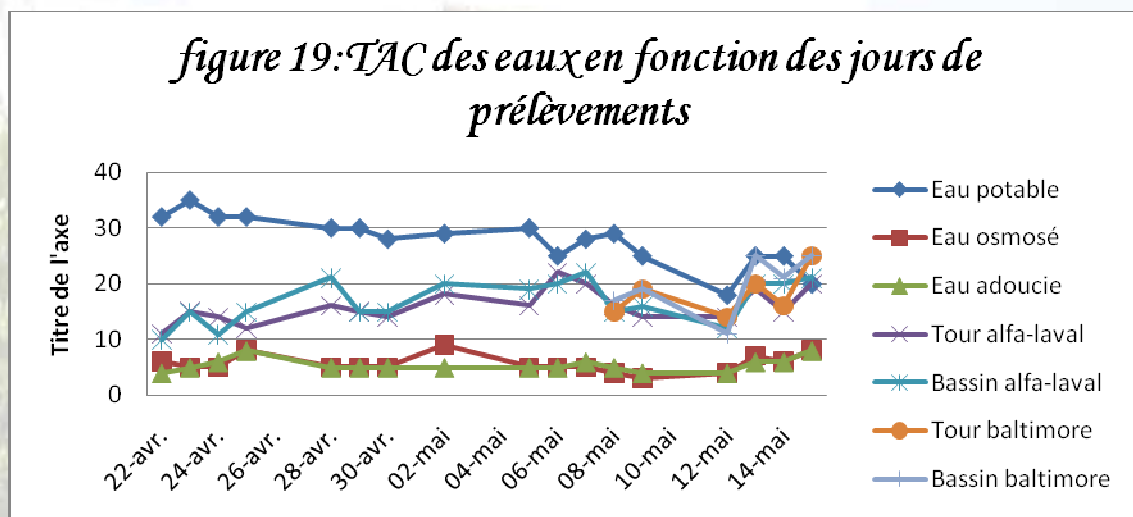
Tous les résultats du THT sont dans les normes.

- Pour les tours de refroidissement ALPHa Laval et Baltimore les résultats étaient élevés, et ils sont normaux car la concentration des ions magnésium et calcium a augmenté lors de l'évaporation au cours du refroidissement.

Eau potable	Eau osmosée	Eau adoucie	Tour alfa-Laval	Bassin alfa-Laval	Tour Baltimore	Bassin Baltimore
32	6	4	11	10		
35	5	5	15	15		
32	5	6	14	11		
32	8	8	12	15		
30	5	5	16	21		
30	5	5	15	15		
28	5	5	14	15		

29	9	5	18	20		
30	5	5	16	19		
25	5	5	22	20		
28	5	6	20	22		
29	4	5	16	15	15	17
25	3	4	14	16	19	19
18	4	4	14	12	14	11
25	7	6	19	20	20	25
25	6	6	15	20	16	21
20	8	8	20	21	25	25

Tableau 7: résultats du TAC des différents échantillons d'eau.



- Pour l'eau potable tous les résultats du TAC sont dans les normes.
- Pour l'eau adoucie et l'eau osmosée : tous les résultats du TAC sont dans les normes.
- Pour les tours alfa-Laval et Baltimore et les bassins alfa Laval et Baltimore les résultats du TAC était élevés par rapport à l'eau adoucie et l'eau osmosée pour une simple raison :

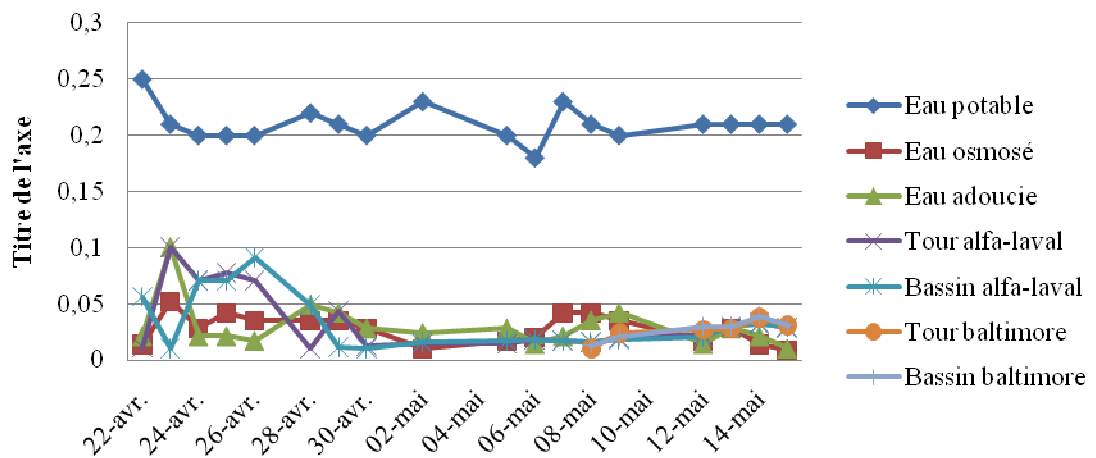
La partie des eaux des Alfa Laval qui refroidie le pré fermenteur par pulvérisation extérieure et qui retourne vers le bassin de rétention, emporte avec elle une quantité considérable d'ions, notamment ceux responsables de la dureté.

Sachant que la cuve de soude (NaOH) se trouve juste à côté du pré-fermenteur, il est fort probable que les eaux de refroidissement entraînent avec eux la soude 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.

Date	Eau potable	Eau osmosée	Eau adoucie	Tour alfa-Laval	Bassin alfa-Laval	Tour Baltimore	Bassin Baltimore
22-avr	0,25	0,014	0,021	0,011	0,056		
23-avr	0,21	0,052	0,1	0,1	0,0105		
24-avr	0,2	0,028	0,021	0,07	0,07		
25-avr	0,2	0,042	0,021	0,077	0,07		
26-avr	0,2	0,035	0,017	0,07	0,091		
28-avr	0,22	0,035	0,049	0,01	0,049		
29-avr	0,21	0,035	0,042	0,043	0,011		
30-avr	0,2	0,028	0,028	0,012	0,01		
02-mai	0,23	0,01	0,024	0,014	0,016		
05-mai	0,2	0,017	0,028	0,014	0,017		
06-mai	0,18	0,02	0,014	0,018	0,018		
07-mai	0,23	0,042	0,021	0,017	0,017		
08-mai	0,21	0,042	0,035	0,016	0,016	0,01	0,013
09-mai	0,2	0,035	0,042	0,019	0,018	0,024	0,021
12-mai	0,21	0,017	0,014	0,022	0,02	0,027	0,03
13-mai	0,21	0,028	0,028	0,029	0,03	0,028	0,03
14-mai	0,21	0,014	0,021	0,033	0,032	0,038	0,039
15-mai	0,21	0,009	0,01	0,028	0,029	0,031	0,031

Tableau 8 : résultats de la teneur en cl – des différents échantillons d'eau.

figure 20: [Cl⁻] g/l des eaux en fonction des jours de prélèvements



- La teneur en chlorure ne dépasse pas 0,25 g/l pour l'eau potable ce qui est identique à la spécification des normes.
- Les résultats de la teneur en chlorure sont dans les normes pour l'eau adoucie et l'eau osmosée.
- La concentration des ions chlorure dans le bassin alfa Laval parvient parfois à 0,09 g/l cela est du à :
 - L'élévation de La température.
 - Le Dépôt des sels à cause de l'évaporation.
 - L'ajout de l'eau potable (chargée en chlorure) directement dans le bassin pour contourner les pertes d'eau à cause de l'évaporation.

Conclusion :

L'eau des tours de refroidissement doit être traitée adéquatement et de façon régulière pour éviter la prolifération des algues et des bactéries pathogènes. Il faut aussi protéger les surfaces d'échange de chaleur contre la corrosion et l'entartrage.

L'augmentation du pH, de la conductivité, du THT, du TAC et des concentrations en ions Cl^- pourrait causer des problèmes Techniques et économiques énormes

- Encombrement des circuits
- Circuits en mauvais état.
- Diminution du transfert de chaleur.
- Pertes énergétiques considérables.
- Pertes d'eau.

Pour remédier à ce problème, la société LESAFFRE Maroc a fait recours à un osmoseur permettant de faire de l'eau pure selon le principe de l'osmose inverse qui est un système de filtration de l'eau qui implique l'utilisation d'une membrane semi-perméable. Cette membrane est capable de filtrer non seulement une large gamme de particules, mais aussi les bactéries et les composés organiques.

D'après les résultats obtenus, je remarque que les valeurs de tous les paramètres physico-chimiques ainsi les analyses bactériologiques des tours de refroidissement au sein de la société LESAFFRE Maroc répondent aux normes. D'où l'efficacité de l'osmoseur.

Références

- ✓ Projet de fin d'études : analyses physico-chimiques des eaux des tours de refroidissement.

Présenté par : Saloua Oulikine

Année universitaire : 2012 /2013.

Etablissement : FST

- ✓ Master environnement Matériaux

Suivi des paramètres physico-chimiques et bactériologique des eaux de chaudière et des tours de refroidissements.

Réalisé par : Mlle Samia Mrabbaj.

Année universitaire : 2012/2013.

Etablissement : dher Imahraz .

- ✓ *Www .wikipedia.fr*

Liste des abréviations :

- *SPI* : levure sèche instantanée.
- *SPH* : levure sèche active.
- *TAR* : tour aéroréfrigérante.
- *BAD* : bac d'eau adoucie.
- α .Laval : Alpha Laval

