

Projet de fin d'étude

ESSAI D'OPTIMISATION DES CYCLES DES ADOUCCISSEURS



Réalisé par :

- Mlle. BENNOUNA Fatima Zohra

Encadré par :

- Mr. EL FARRICHA : Encadrant (FST-Fès)
- Mr. EL FIRDAOUSSI : Encadrant (Lesaffre Maroc)

Soutenu le 16 juin 2010 devant le jury composé de :

- Mr. EL FARRICHA : Encadrant (FST-Fès)
- Mme MAAZOUZI : Examinatrice (FST-Fès)
- Mr. EL FIRDAOUSSI : Encadrant (Lesaffre Maroc)

Sommaire

DEDICACES

REMERCIEMENT

Table des abréviations

INTRODUCTION.....4

PARTIE 1 : Partie Bibliographique.....5

Chapitre 1 : Présentation du lieu de stage.....6

I. Historique du groupe Lesaffre.....6

II. Présentation de la société Lesaffre Maroc.....7

III. Organigramme8

Chapitre 2 : Processus de la production de levure.....9

I. La levure9

1. Définition9

2. Cinétique de croissance de *Saccharomyces cerevisiae*10

3. Type de fermentation de levure de boulangerie11

a) Introduction11

b) Le procédé de fermentation utilisé à Lesaffre12

4. Matières premières14

a) Station de préparation de la mélasse14

II. Chaîne de fabrication15

1. Au niveau laboratoire : « Fermentation discontinue ».....17

2. Au niveau Semi- industriel : « Fermentation semi continue ».....17

Chapitre 3 : Les utilités de la société.....	22
1. Utilisation de l'eau à "Lesaffre Maroc"	22
I. Les adoucisseurs	23
1. Principe d'adoucissement d'eau	23
2. Matériel mis en œuvre	24
3. Fonctionnement des adoucisseurs	25
a. Cycle de production	25
b. Cycle de régénération	25
4. Présentation schématique des adoucisseurs	27
II. Les chaudières	30
1. Principe	30
2. Traitement interne.....	31
III. Tours de refroidissements	33
1. Description et composants	33
2. Traitement.....	35
PARTIE 2 : Partie Expérimentale.....	36
Chapitre 1 : Matériel et méthodes.....	37
I. Analyses physico-chimiques	37
PARTIE 3 : Résultats et discussions.....	40
Chapitre 1 : Résultats	41
I. Introduction.....	41
1. Résultats et interprétations.....	41
Chapitre 2 : Discussion	5 3

CONCLUSION GENERALE	57
Références bibliographiques.....	58
Annexe.....	59

Dédicaces

Dédicaces A mes très chers parents

Sources inépuisables d'amour, d'affection et de sacrifices. En témoignage de ma reconnaissance pour leur inéluctable patience, leur sacrifice et leur soutien au cours de mes longues études. Toutes les dédicaces du monde ne sauraient exprimer mon profond amour et ma vive gratitude. Que Dieu leur donne santé et longue vie.

A mes sœurs Asmaa et Meryem :

Je suis sincèrement reconnaissante de votre soutien et dévouement impérissable. Acceptez ici, l'expression de ma vive gratitude en témoignage de notre attachement fraternel sans égal.

A ma famille

Je dédie ce travail à ma chère famille sans exception.

A tous mes ami(e) s

En reconnaissance de votre compagnie fructueuse et des liens de solidarité qui nous réunissent.

A tous ceux qui me sont chers

je dédie ce modeste travail.

Remerciement

Je souhaite en premier lieu remercier tout le personnel de la société « Lesaffre Maroc » pour leur accueil chaleureux afin d'accomplir mon stage de fin d'étude avec en tête Mr. D. LESAFFRE le Directeur Général ainsi que son adjoint Mr. El KHAMLIHI de m'avoir acceptés en tant que stagiaire au sein de la société.

Je tiens à dire un immense merci à Mr. S. El FIRDAOUSI de m'avoir accueilli et pour la liberté et la confiance qu'il a su m'accorder tout au long de mon stage, je voudrais aussi le remercier de m'avoir laissé développer tout les aspects passionnants de ce travail, pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations, sans oublier sa participation au cheminement de ce rapport.

Merci pour les nombreuses discussions que nous avons eu et les conseils toujours plein de bon. Je pense que je n'aurai pas pu trouver un meilleur environnement pour mon projet de fin d'étude. Je le remercie enfin de m'avoir appris de nombreuses connaissances et expressions qui resteront à jamais dans ma mémoire.

J'aimerais remercier tous ceux que j'ai côtoyés au cours de ce précieux stage et qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail. Ce serait trop long de tous vous citer.

J'aimerais aussi dire un grand merci particulier à Mr. A. TIMOUCH, et à toute l'équipe de la station séchage pour leur accueil, leur sympathie, leurs conseils et leurs aides.

Je remercie également mon Professeur Mr. O. EL FARRICHA, mon tuteur de stage, d'avoir accepté d'encadrer ce travail, de m'avoir aidé à développer un esprit critique et analytique, ainsi que pour son soutien, son aide, ses conseils et sa disponibilité, afin de concrétiser ce rapport.

Je voudrais ensuite remercier un par un les stagiaires qui m'ont accompagné durant cette magnifique période de stage. Très bonne chance pour vos soutenances !!

Table des Abréviations

- MD : Mélasse diluée.
- MDC : Mélasse diluée clarifiée.
- MDCS : Mélasse diluée clarifiée stérilisée.
- LM : Levure mère.
- SPH : Levure sèche active.
- SPI : Levure sèche instantanée.
- °f : Degrés français.
- THT : Titre hydrométrique total.
- TAC : Titre alcalin complet.
- TA : Titre alcalin.

Introduction

L'utilisation de l'eau est énorme à la société Lesaffre Maroc. Cela peut être expliqué par les divers procédés industriels que la société effectue : stérilisation de la mélasse, séchage, refroidissement des fermenteurs, nettoyage des installations..., qui nécessitent de l'eau traitée.

La production de la levure par « Lesaffre Maroc » est basée entre autres, sur le travail des chaudières qui sont responsables de la production de la vapeur d'eau utilisée pour la stérilisation des différentes stations, la fermentation, le séchage, le nettoyage des installations, etc. ... et les tours de refroidissement qui sont destinées à refroidir des eaux qui ont été réchauffées par une source de chaleur etc...

La mauvaise qualité de l'eau utilisée dans ces installations peut engendrer plusieurs problèmes au niveau des chaudières et des tours de refroidissement, en particulier l'entartrage et le dépôt du calcaire (qui mènent à un colmatage des canalisations ce qui peut engendrer l'explosion des chaudières) et l'alourdissement des structures porteuses des tours de refroidissement, et des équipements internes qui rendent plus difficile leur manutention.

Un tel contexte implique le présent travail, qui traite l'optimisation des cycles des adoucisseurs, et qui suppose la nécessité de réaliser cette étude.

Ce travail a pour objectif l'optimisation des cycles des adoucisseurs dont le but est d'améliorer la quantité d'eau à adoucir mais aussi sa qualité car en fin du procédé on doit obtenir une eau douce, afin de faciliter le maintien des chaudières, des tours de refroidissement ainsi que leurs circuits d'où une augmentation et amélioration de la productivité des levures.

Ce manuscrit, fruit de ces 2 mois de stage, sera composé de trois parties :

- Une partie relatant la bibliographie de la société.
- Une seconde partie exposant la partie expérimentale.
- Une troisième partie relatant la partie résultats et discussion.

PARTIE 1 :

Partie Bibliographique

Chapitre 1 : Présentation du lieu de stage

I. Historique du groupe Lesaffre :

En 1853, deux fils de cultivateurs du nord de la France, Louis Lesaffre et Louis Bonduelle, s'associent pour construire une fabrique d'alcool de grains et de genièvre, à Marquette Lez Lille. A l'origine, la levure n'était qu'un sous produit de la fabrication des alcools de grains.

En 1871, le baron autrichien Max de Springer, propriétaire à Maisons-Alfort d'une très belle distillerie, rapporte de chez Mautner, à Vienne, l'idée d'extraire la levure des moûts de fermentation des grains et de la vendre aux boulangers. Ces derniers, à cette époque, utilisaient leurs propres levains, accompagnés parfois de levure résiduaire de brasserie.

L'année suivante, Lesaffre et Bonduelle développe la fabrication de levure fraîche à Marcq-en-Barœul, à la place d'un ancien moulin.

Cette société se révélera progressivement comme l'élément moteur et le support de l'essor industriel et commercial de la branche levure du Groupe.

A la fin du 19ème siècle, la société affiche déjà une volonté exportatrice : Angleterre, Belgique, Suisse, Italie et Espagne. Ce qui semble tout naturel aujourd'hui représente un tour de force pour l'époque, en raison des conditions de transport et de distribution.

Une marque fait son apparition, l'hirondelle qui traversera le temps et l'espace puisque la silhouette de l'oiseau a été adoptée par la S.I.Lesaffre un logo qui, pendant 150 ans identifie ses produits dans plus de 180 pays.

Pendant la première partie du 20ème siècle, Lesaffre doit faire face à de nombreuses difficultés surmontées avec opiniâtreté, crises économiques, inondations, incendies, bombardement.

L'usine est reconstruite 4 fois en 35 ans ! Dans cette période tourmentée l'entreprise a su non seulement se maintenir à l'effort, mais également préparer ses futurs développements.

Après la seconde guerre mondiale, une série de progrès technologiques et d'innovations, appuyés par la construction d'un puissant réseau commercial exportateur, permettent à Lesaffre un développement qui ne se démentira plus passé maître.

Dans le domaine des bio-industries, le groupe Lesaffre se structure autour de ses principaux métiers : la levure, le malt, les bioconversions. Pour être plus proche de ses clients et leurs apporter un service optimal, Lesaffre s'implantera sur les cinq continents.

II. Présentation de la société Lesaffre Maroc

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

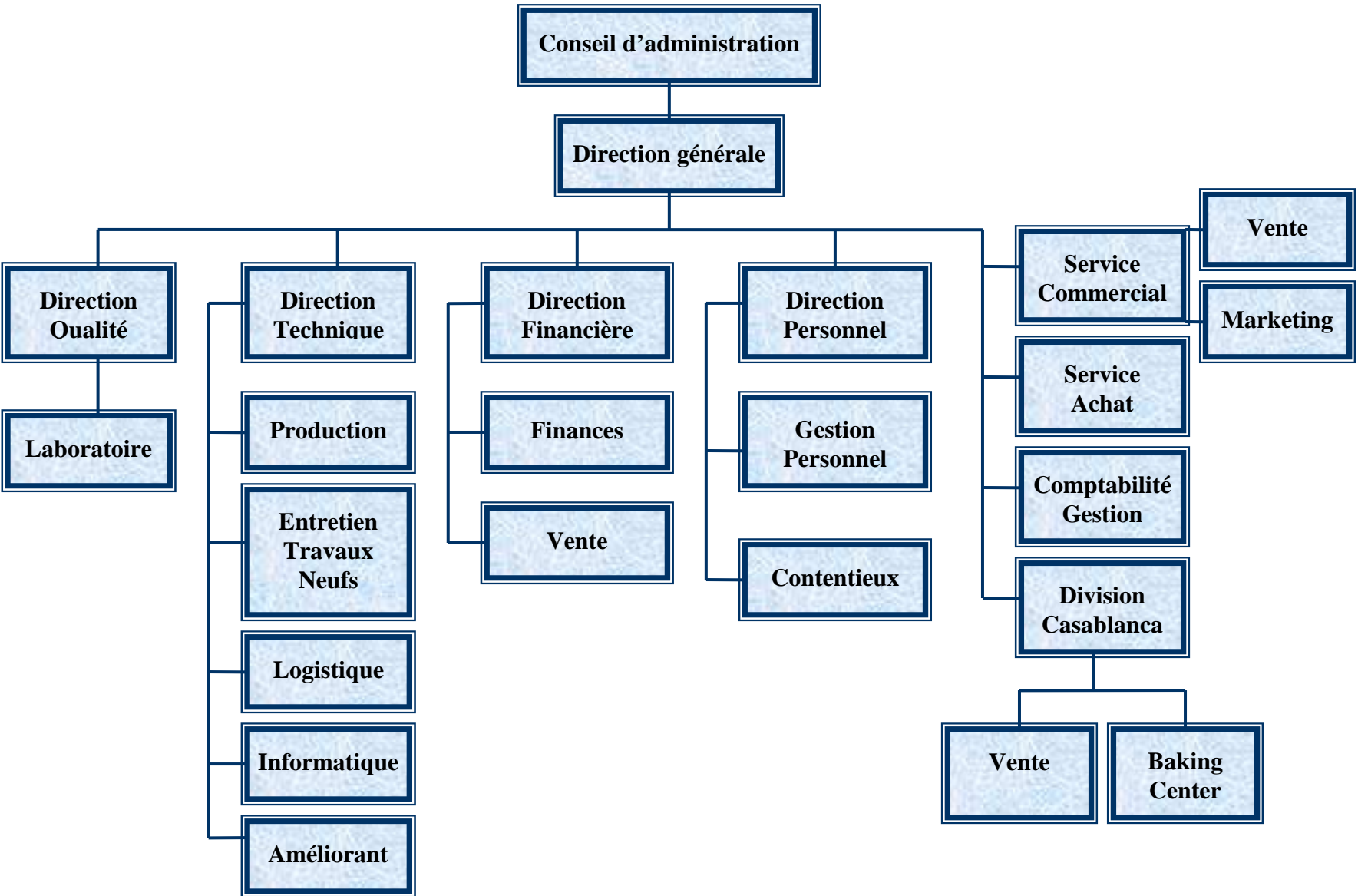
D'un capital de 30.989.300 DHS et sur une superficie de 2 hectares, elle emploie 170 personnes, qui bénéficient d'une politique salariale attractive et des possibilités de formation continue d'un grand groupe, qui a su conserver les valeurs humaines d'une entreprise familiale.

LESAFFRE MAROC fabrique et commercialise au Maroc de la levure et des améliorants de la panification : les marques **Jaouda** en levure fraîche et sèche, et **Rafiaa** 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.

Entre 1993 et 2004, l'entreprise a investi 200 millions de dirhams dans la modernisation de ses outils de production. Consciente de la problématique du développement durable, LESAFFRE MAROC s'aligne sur les normes internationales de management environnemental et investit dans la recherche sur la valorisation des coproduits de la levure.

En 2004, LESAFFRE MAROC fait l'achat de SNA : société nouvelle de l'alimentation, elle est le spécialiste des produits de pâtisserie au Maroc. Elle commercialise levure et améliorants, ainsi que toute une gamme de produits de pâtisserie et le petit matériel de haute qualité.

III. Organigramme :



Chapitre 2 : Processus de la production de levure

I. La levure :

1. Définition :

Les levures sont des champignons unicellulaires et eucaryotes, utilisés dans la production du vin, de la bière et de levure de boulanger et sont souvent utilisées comme aliments pour le bétail en raison de leur richesse en protéines et en vitamines B et comme " médicament ".

(Exemple : ultra-levures).

Caractères généraux :

- Leur métabolisme est oxydatif ou fermentaire.
- Elles sont aérobies.
- Acidophiles : se multiplient à des pH entre 3 et 7,5.
- Mésophiles : se développent à des températures optimales de 25-28°C.
- Assimilent de nombreux substrats carbonés.
- Se multiplient par bourgeonnement (figure 1)

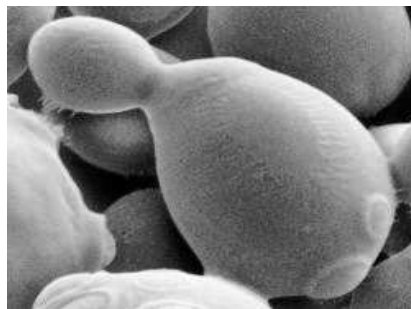


Figure 1 : La cellule de levure en bourgeonnement.

Elles sont capables :

- De dégrader les aliments qui se trouvent dans leur milieu de culture grâce à une gamme très étendue d'enzymes d'hydrolyse telle que des lipases, protéases, saccharases, lactases.

➤ D'effectuer toutes ou presque les synthèses dont elles ont besoin pour leur croissance.

Il existe trois cent cinquante espèces de levures connues, mais seule une espèce est considérée comme ayant une importance commerciale, celle utilisée dans la fabrication de la levure boulangère dont le nom scientifique est : *Saccharomyces cerevisiae* : (figure 2)

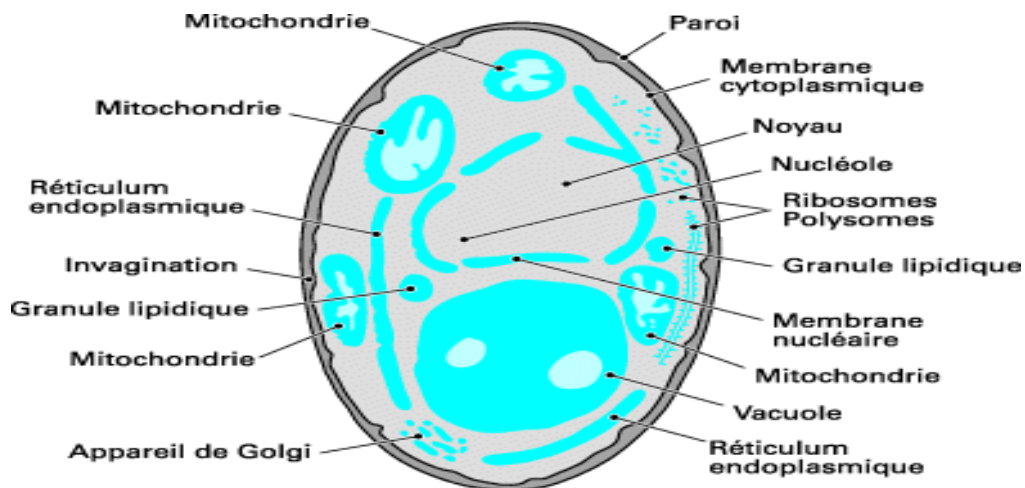


Figure 2 : Schéma d'une cellule de levure de boulangerie (*Saccharomyces cerevisiae*).

2. Cinétique de croissance de *Saccharomyces cerevisiae* :

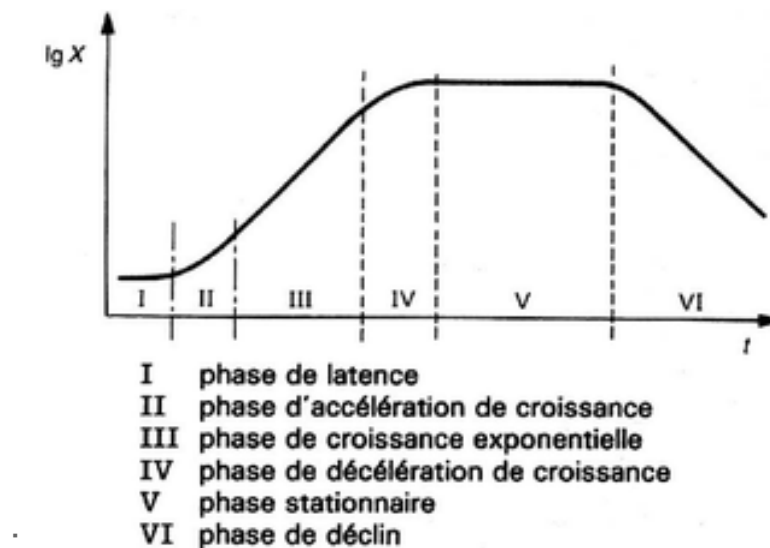


Figure 3: Cinétique et étapes de croissance de *Saccharomyces cerevisiae*.

La croissance microbienne passe généralement par les phases suivantes :

- a) Phase de latence : adaptation des levures au milieu.
- b) Phase d'accélération : les levures commencent à se multiplier.
- c) Phase exponentielle : le taux de croissance est constant et maximum.
- d) Phase de décélération ou (ralentissement) : le taux de croissance décroît.
- e) Phase stationnaire : le taux de croissance est nul.
- f) Phase de déclin : le taux de croissance est négatif, il meurt d'avantage de cellules qu'il ne s'en crée.

3. Type de fermentation de levure de boulangerie :

a) Introduction

La levure de boulangerie appartient à un groupe relativement mineur de levures : les levures aérobies facultatives et fermentaires, capables d'utiliser le glucose en présence ou en absence d'oxygène et de fermenter le glucose même en présence d'air.

La transformation des sucres par la levure est donc possible de 2 façons :

➔ **En anaérobiose** le sucre est fermenté. L'oxydation du glucose est incomplète :



En absence d'oxygène, les enzymes de levures fermentent le sucre en dégageant de l'alcool éthylique et du gaz carbonique: c'est la fermentation panair. Le gaz carbonique provoque la levée de la pâte ainsi que les composés secondaires dont l'importance est très grande pour les caractéristiques organoleptiques des produits finis (arômes et goût).

➔ **En aérobiose** (en présence d'air), l'oxydation du glucose est complète :



En présence d'oxygène, les levures respirent et consomment une partie du sucre en produisant de l'eau et du gaz carbonique. La dégradation du glucose se fait par l'intermédiaire de réactions enzymatiques spécifiques. L'énergie produite assure le maintien de la vie de la cellule mais permet également d'effectuer de nombreuses synthèses cellulaires pour la

croissance et la multiplication.

Cette voie est utilisée pour la production industrielle de la levure.

En raison de son meilleur rendement énergétique, la voie respiratoire est utilisée préférentiellement par la levure. Cependant, si la concentration en sucre du milieu augmente (> 100 mg/l), il y a inhibition de la respiration par la fermentation et production d'alcool malgré la disponibilité d'oxygène (Effet Crabtré).

b) Le procédé de fermentation utilisé à Lesaffre :

Ce procédé a pour objectif la production de la levure de boulangerie dans des conditions aérobies.

Le procédé de fermentation varie selon le mode de culture :

➤ **Fermentation discontinue batch (cas des faibles volumes) : à l'échelle du laboratoire :**

Constitue le mode de gestion le plus simple et le plus flexible de conduite des cultures.

- La cuve est remplie par le milieu de culture stérilisé, ajout de l'inoculum, puis on laisse se dérouler la fermentation sans addition supplémentaire de milieu.
- On travaille à volume constant.
- La concentration en biomasse présente augmente selon la courbe de croissance microbienne.
- Productivité relativement faible.
- En fin de fermentation on vide et on remplace le contenu du fermenteur.

Ce mode est caractérisé par :

- Croissance sur glucose sans production d'éthanol.
- Courte phase de latence.

➤ Fermentation en mode semi continue « Fed-batch » : à l'échelle industrielle:

Programmation du débit du milieu de la culture en fonction du temps.

Ce type de procédé représente une amélioration des procédés batch. Il consiste à apporter de manière contrôlée des nutriments en continu, pour prévenir leur épuisement en présence d'oxygène. Le volume de culture augmente et les concentrations en cellules obtenues sont plus importantes sans accroître la complexité du système.

Le but consiste à produire le maximum de levure dans le temps le plus court et au moindre coût. On travaille à un taux de croissance constant ce qui permet donc d'obtenir une concentration maximale finale importante.

- On règle le débit de façon à ce que la concentration en substrat soit constante dans la cuve et que l'effet de dilution ne soit pas inhibiteur de la production de biomasse.
- Le volume dans la cuve augmente au cours du temps.
- Lorsque la cuve est remplie, on coupe l'alimentation.

Ce procédé semi-continu est très utilisé en pratique : gain de temps, augmentation de productivité, possibilité de modification du milieu en cours de culture.

➤ Culture en bioréacteur :

Cette fermentation se fait au niveau d'un bioréacteur qui a pour but :

- Optimisation du contact entre les phases abiotiques et biotiques.
- Optimisation du transfert entre cellules et milieu de culture
- Homogénéisation de la suspension (agitation), cas des processus gazogènes (bullage naturel), problèmes pour amas et filaments.
- Transfert de l'oxygène : seul est assimilable l'oxygène dissous
- Transfert de chaleur (croissance microbienne exothermique).
- Protection contre les contaminations (stérilisation, étanchéité, ...).

4. Matières premières :

Les principales sources énergétiques de la levure et classiquement apportés sous forme de :

- Glucose (contenu dans la mélasse) : source de carbone et d'énergie.
- Composés azotés réduits sous forme d'ammonium .
- Le phosphore, le soufre, certains acides aminés, les vitamines et les oligo-éléments sont indispensables à son développement.
- Les éléments minéraux variés, vitamines et facteurs de croissance qui varient selon les levures.

a) Station de préparation de la mélasse :

La production de la levure dépend fortement de la mélasse (sous-produit de la production de sucre). C'est la principale matière première utilisée en levurerie, pour assurer la croissance de ce micro-organisme, de plus, les mélasses de sucrerie de betterave ou de canne sont des substrats de choix sur les plans économique et technique.

La mélasse : est une matière visqueuse très épaisse et dense obtenue lorsque le jus sucré a été concentré plusieurs fois pour en cristalliser le sucre.

➤ Réception de la mélasse :

La mélasse provient des différentes sucreries du Maroc (SUCRAL, SUTA, SUCRAFOR, SUNACAS, SURAC, SUNABEL...) par des camions citernes. Après on stocke la mélasse de la betterave dans des gigantesques tanks (4 tanks) et la canne dans trois autres. Ces tanks sont équipés de pompes.

➤ Dilution :

La mélasse brute à diluer contient environ 80% de betterave et 20% de canne, quand à la dilution est d'environ 50%.

La mélasse brute de la canne et de la betterave se mélangent dans une cuve de dilution (MD) avec de l'eau et de la vapeur qui provient des chaudières. La température dans la cuve de MD de 70°C est dûe à l'eau chaude ajoutée (66°C) et la vapeur injectée (3.5 bar) en

Université Mohamed Ben Abdelah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
LST « Biotechnologies Hygiène et Sécurité des Aliments »

maintenant une agitation à l'aide d'un agitateur électrique, ce qui favorise la diminution de la viscosité de la mélasse.

Cette étape consiste à faciliter l'assimilation de la mélasse par la levure ainsi que son transfert lors de la fermentation.

➤ **Clarification :**

La mélasse diluée passe dans un clarificateur où elle est centrifugée, on obtient un liquide dense qui se décante (déchets) qu'on évacue dans les égouts et un liquide léger, c'est la mélasse diluée clarifiée (MDC).

La mélasse diluée clarifiée est stockée dans une cuve MDC, et transférée dans un échangeur MDCS / MDC qui augmente la température de la mélasse diluée clarifiée de 70°C à 90°C en rencontrant une autre mélasse qui provient du stérilisateur et qui a une température de 120 à 130°C.

Cette étape consiste à éliminer les colloïdes et les boues ainsi d'éviter le colmatage des échangeurs utilisés pendant la stérilisation.

➤ **Stérilisation :**

La mélasse diluée clarifiée (MDC) est stérilisée par injection de vapeur sous pression de 3,5 bars. Le contact direct de la vapeur avec la mélasse MDC permet l'augmentation de la température de ce dernier de 90°C à 120 - 130°C. Après la stérilisation la mélasse est stockée à 90°C dans deux cuves MDCS (mélasse diluée clarifiée stérile).

➤ **Refroidissement :**

La MDCS passe dans des refroidisseurs à plaque à contre courant, qui sont des échangeurs à plaques mélasse (120°C)/eau froide (22°C), la mélasse se refroidit (30 à 40°C) et passe dans les fermenteurs, et l'eau se réchauffe (60°C) passe dans la cuve de stockage de l'eau chaude.

II. Chaîne de fabrication : (figure : 4)

➤ Description détaillée du diagramme de fabrication

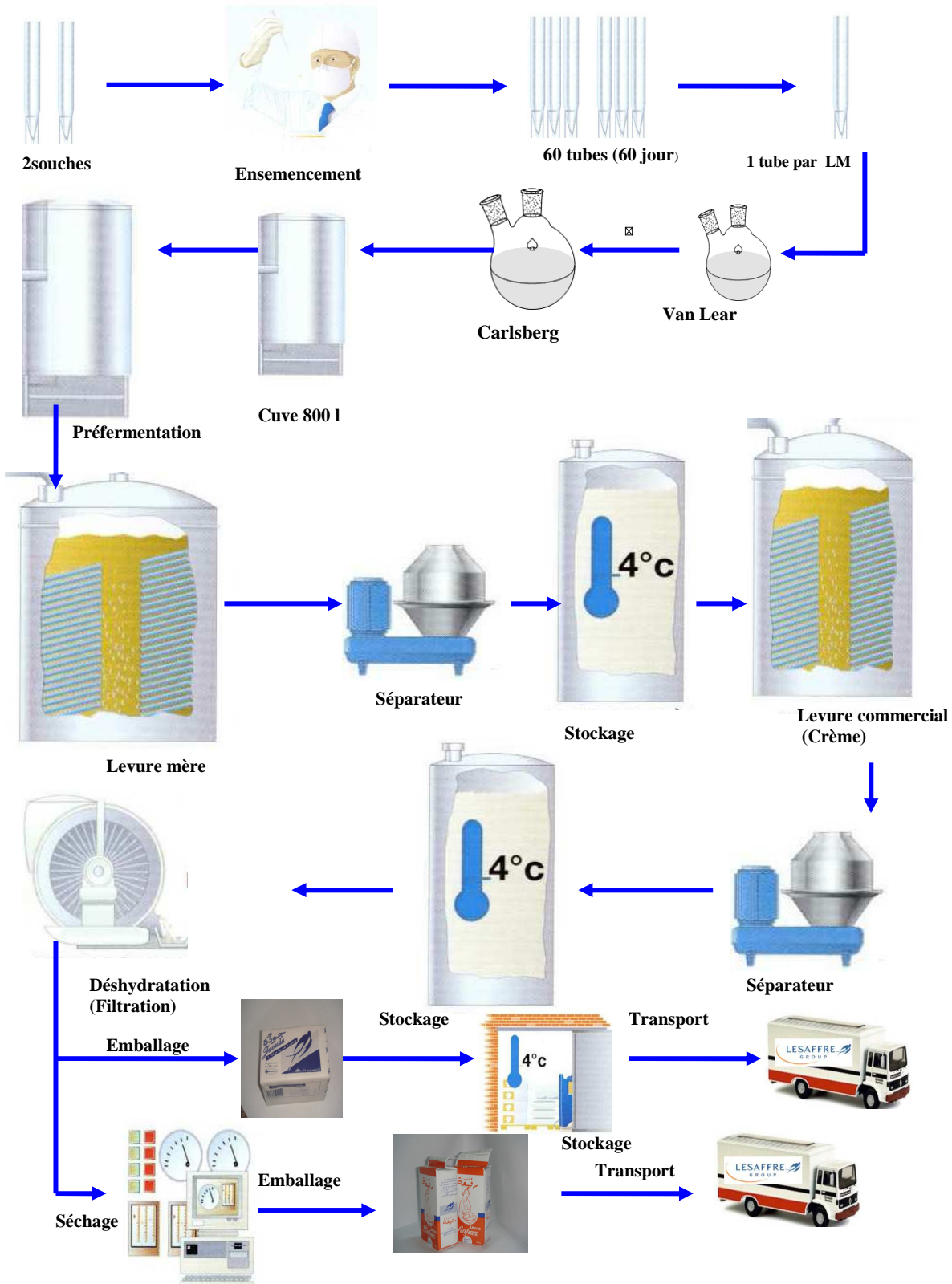


Figure 4 : Chaîne de production des levures.

1. Au niveau laboratoire : « Fermentation discontinue »

✦ Ensemencement :

Chaque mois, la société Lesaffre Maroc reçoit de la France 2 souches de *Saccharomyces cerevisiae*. La première est destinée à la levure fraîche l'autre à la levure sèche. Ces souches sont ensemencées dans des tubes dans un milieu nutritif spécifique à la croissance des levures pour préparer 60 tubes par mois (30 tubes pour chaque souche). Cette étape exige un travail dans des conditions strictement aseptiques pour écarter tout risque de contamination, puis le contenu des tubes est transvasé dans un petit ballon appelé « Van Lear » dont le milieu nutritif très riche laissera possible une première multiplication des cellules, puis, le contenu du « Van Lear » est versé dans un ballon plus grand appelé « Carlsberg » où elles se multiplient à nouveau.

✦ Fermenteur de 800 L :

Le contenu de deux ballons « Carlsberg » est versé dans un fermenteur de 800 L, dans lequel on ajoute pour la première fois la mélasse comme milieu nutritif. L'alimentation de la cuve de 800l est en bas, c'est à dire on met les matières premières toutes à la fois (mélasse, source d'azote, source de sulfate), l'oxygène est assuré par une aération poussée (injection de l'air stérile). L'incubation se fait pendant 18h.

2. Au niveau Semi- industriel : « Fermentation semi continue »

✦ Pré fermentation :

Le contenu de 800l est versé dans le préfermenteur et l'ajout des éléments nutritifs se fait de manière continue. Le débit de ces éléments est réglé manuellement selon les besoins avec des quantités bien définies :

- Mélasse stérile.
- Eau (80% froide + 20% chaude).
- Sels minéraux.
- Air.
- Oligo-éléments et vitamines.

- Acide sulfurique : c'est un agent bactéricide qui élimine les bactéries basophiles et neutrophiles et sert aussi à l'hydrolyse du saccharose.

➤ **Fermentation :**

A la fin de pré-fermentation, le contenu est versé dans le fermenteur de la levure mère avec un ajout en continu des éléments nutritifs. La levure mère (L.M) obtenue va subir une séparation puis la crème de la LM va servir à l'ensemencement d'autres fermenteurs plus grand pour donner la levure commerciale.

➤ **Séparation :**

On effectue la séparation dans deux étapes de la fermentation : après l'obtention de la levure mère et la levure commerciale, car le moût obtenu à la sortie des fermenteurs contient les cellules de levures et un liquide qui contient les restes du milieu nutritif (déchets) qu'on veut éliminer. Pour cela, on utilise un séparateur qui utilise comme principe la centrifugation. On obtient un liquide dense (crème) et un liquide léger, c'est le moût délevuré. Ensuite, cette crème est refroidit dans un échangeur de chaleur avant son stockage dans les cuves de garde.

➤ **Stockage de la crème :**

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

➤ **Filtration :**

A pour but d'éliminer l'eau présente dans la levure pour la préserver d'une éventuelle contamination. Le filtre rotatif (figure 5) est constitué d'un cylindre tournant à axe horizontal partiellement immergé dans le bac contenant la crème, il est recouvert d'une toile servant de support perforé de filtration. La crème s'étale sur le filtre rotatif contenant une couche de l'amidon dont le but de ne laisser pénétrer que l'eau inspirée. Elle est aspirée à l'aide d'une pompe à vide et le filtrat (eau de lavage et eau de la crème) est évacué. Le gâteau accumulé sur la toile est lavé par un circuit d'eau puis se racle par un couteau.



Figure 5 : le filtre rotatif

Ce gâteau est traité selon la nature de la levure qu'on veut produire (sèche ou fraîche) :

- **Pour la fraîche** : la boudineuse (malaxeur) reçoit le gâteau et le mélange avec Olindonalet (huile qui joue le rôle de blanchisseur), après on ajoute à la levure la vaseline pour donner la texture lisse aux cubes qui vont être formés par la découpeuse.

➤ **Séchage** :

- **Pour la sèche** : le gâteau subit un séchage :

Le séchage est une opération qui a pour but d'éliminer, sous l'effet de chaleur le maximum possible de liquide et d'augmenter par la suite la durée de vie de la levure.

Le principe consiste à envoyer un courant d'air sec et chaud en dessous d'une plaque perforée sur laquelle se trouve la levure à sécher.

Le type de sécheur utilisé à Lesaffre est le sécheur à lit fluidisé (il y en a deux types : l'un fonctionne manuellement T10 et l'autre automatique lié à un ordinateur pour un contrôle à distance Glatt) (Tableau 1).

Tableau 1 : présente le fonctionnement des deux sécheurs « Glatt » et « T10 »

Glatt (spécifique pour SPI)	T10 (spécifique pour SPH)
<ul style="list-style-type: none"> - Se compose de 2 bols. Quand l'un est entrain de sécher le produit l'autre reçoit la levure râpée puis alternent par pivotage. - Remplissage par glissement sur un vibreur. - Secouage de la poussière aspirée par l'air dans un silo à l'extérieur du bol de séchage. - Tamisage du produit fini. - Stockage dans le silo. <p><u>Avantage :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Gain de productivité, et gain de temps. - Moins de contamination parce que le secouage se fait à l'extérieur du sécheur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se compose d'un seul bol. - Remplissage par aspiration (par un système de ventilation) de la vermicelle afin de passer à l'intérieur du T10. - La poussière produite est récupérée dans des filtres à poches placés en haut du sécheur. - Tamisage. - Stockage dans le silo. <p><u>Inconvénient :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Au cours du secouage, la poussière tombe directement sur le produit.

La SPI et la SPH diffèrent par la durée de séchage et le % de la matière sèche.

- **La levure sèche active ou SPH :** Sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est de 3h pour une quantité de 400 Kg et s'effectue à 45°C pour obtenir par la suite de 93 à 94% de matière sèche.
- **La levure sèche instantanée ou SPI :** Sous forme de bâtonnets, sa durée de séchage est de 20 min pour une quantité de 100 Kg. Séchée de manière à obtenir 95 à 96% de matière sèche. Sa force fermentaire est supérieure à celle de la SPH.

➤ **L'emballage :**

■ **Emballage de la levure fraîche :**

S'effectue grâce à une machine spéciale, constituée d'une boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Quand le gâteau de la levure fraîche passe par cette machine, on aura à la fin

Université Mohamed Ben Abdelah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
LST « Biotechnologies Hygiène et Sécurité des Aliments »
un produit fini sous forme de paquets de poids net de 500g, qu'on met en cartons disposés sur des palettes de manière à avoir un vide entre eux pour faciliter la circulation d'air froid.

■ **Conditionnement de la levure sèche :**

Après séchage, la levure passe dans un appareil de conditionnement spécifique qui aspire l'air (oxygène) des paquets pour une conservation de longue durée.

- ✘ La SPH : Ce type de levure sèche est emballé sous air et nécessite une phase de réhydratation avant son utilisation.
- ✘ La SPI : Ce type de levure sèche est emballé sous vide ou sous azote et ne nécessite aucune phase de réhydratation avant son utilisation.

➡ **La conservation :**

La levure fraîche est conservée à 4°C, alors que la levure sèche est conservée à température ambiante.

Chapitre 3 : Les utilités de la société

I. Utilisation de l'eau à "Lesaffre Maroc" :

L'eau arrivant de la RADEEF doit subir un premier traitement avant d'être utilisée dans les procédés industriels : il s'agit de l'adoucissement technique. Ce procédé est réalisé par un adoucisseur qui permet l'abaissement de la dureté de l'eau pour éviter l'entartrage.

Le schéma général de l'utilisation de l'eau sera présenté comme suit :

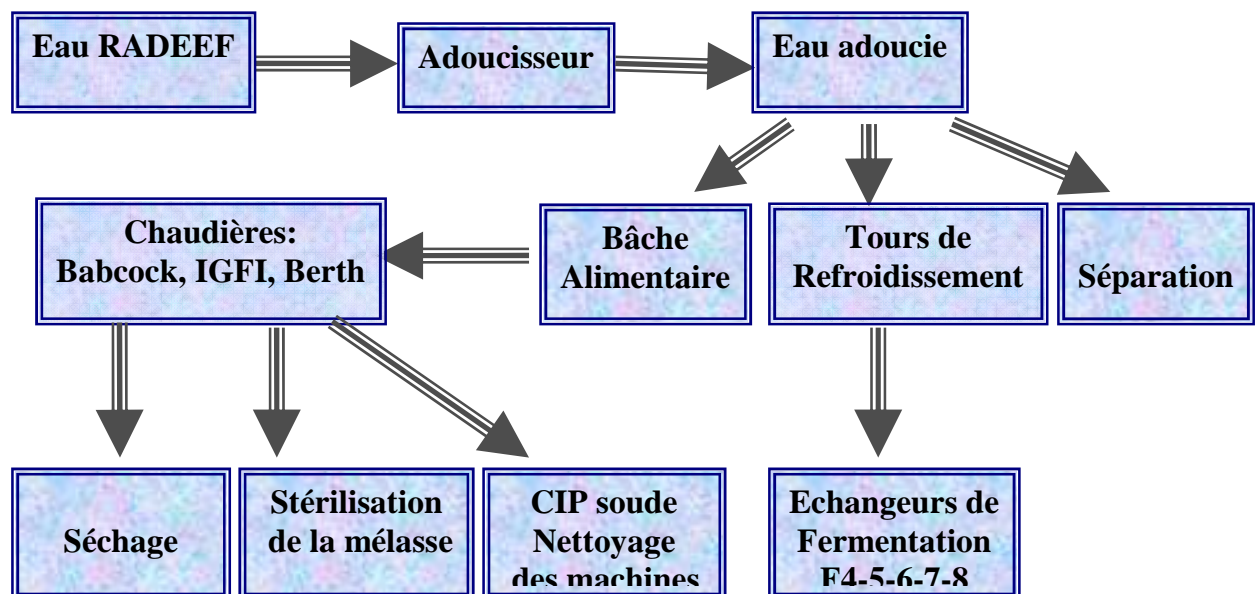


Figure 6 : Schéma général de l'utilisation de l'eau à « Lesaffre Maroc »

Remarque : à côté d'eau douce préparée, d'autres types d'eau sont utilisés : eau glycolée et une eau chlorée utilisée pour la préparation du milieu de culture.

II. Les adoucisseurs :

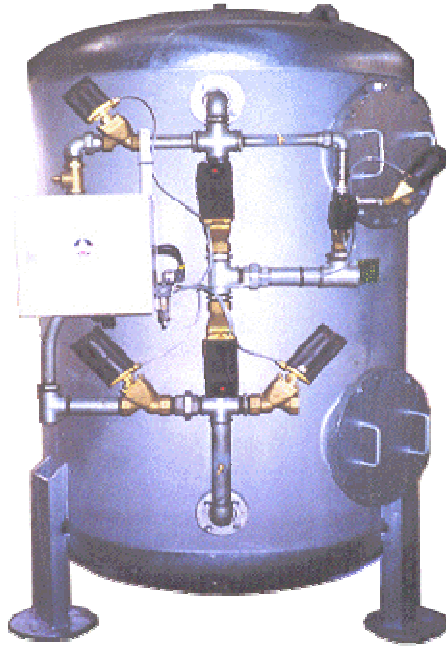


Figure 7 : Photo d'un adoucisseur

1. Principe de l'adoucissement d'eau :

Procédé de traitement destiné à éliminer des eaux naturelles, les ions calcium et magnésium (Ca^{2+} et Mg^{2+}) dont la concentration en détermine la dureté THT, par des échangeurs de cations (résine cationique) régénérés au chlorure de sodium : c'est la permutation sodique.

Cette résine a une certaine capacité de fixation du calcium et du magnésium. Lorsque cette capacité est dépassée, le calcium et le magnésium ne sont plus fixés et l'eau de sortie est aussi dure qu'en entrée. Pour éviter cela il faut régénérer la résine ainsi saturée à l'aide de la saumure préparée dans le bac à sel. Le sodium de la saumure (420 g/l) prend la place du calcium qui est ainsi éliminé et envoyé vers l'égout.

La solution qui sert à régénérer, passe dans le lit de résine de façon à ce que la résine de la couche la plus saturée rencontre la solution la plus concentrée de la saumure NaCl.

2. Matériel mis en œuvre :

Un poste d'adoucissement par permutation sodique (ou permutation Na) comporte :

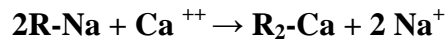
- Un corps d'échangeur en acier protégé par galvanisation ou en acier inoxydable, contenant une résine échangeuse de cations.
- Un bac de préparation de saumure.
- Les tuyauteries de liaison.
- Les organes de commande des différentes phases de la régénération (qui peuvent être manuels ou semi – automatiques ou automatiques.).
- Eventuellement, un compteur totaliseur permettant de connaître le volume d'eau traitée donc de déterminer l'opportunité de la régénération.

✳ **Le type d'adoucisseur utilisé à « Lesaffre Maroc »:** Adoucisseurs d'eau **DUPLEX (système Twin alterné)** est programmé pour régénérer après un volume d'eau prédéterminé. Commande entièrement automatique avec réglage de tous les cycles de régénération. Renvoi d'eau dans le bac à sel par régulation de débit et de temps. Aucune interruption d'eau traitée grâce au système TWIN. Après réglage du cycle de l'appareil (capacité), le quota atteint, l'appareil n° 1 bascule automatiquement sur le n° 2 jusqu'à épuisement. Après la régénération le n° 1 reste en attente de la saturation du n° 2, etc...

3. Fonctionnement des adoucisseurs :

a. Cycle de production :

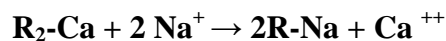
L'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement chargé de sodium (Na), qui échange les ions calcium (Ca^{++}) et magnésium (Mg^{++}), responsables de la dureté de l'eau, contre des ions sodium (Na^+) selon la formule suivante :



b. Cycle de régénération :

Lorsque la résine est saturée d'ions calcium et magnésium (substitués aux ions sodium). L'adoucisseur nécessite alors une «régénération» de façon à recharger ses résines en ions sodium à partir d'une solution de chlorure de sodium ou saumure qu'il puise dans le bac à sel.

La régénération de celle-ci se déclenche selon un processus d'échange ionique au sens inverse:



La régénération de la résine saturée s'effectue avec du chlorure de sodium (NaCl) équivalent au sel de table mais présenté sous forme de pastilles.

Les ions sodium se fixent à nouveau sur la résine tandis que les ions calcium et magnésium sont évacués à l'égoût sous forme de chlorure de calcium et de magnésium lors de la régénération.

Le cycle se reproduit périodiquement en fonction du volume d'eau que l'adoucisseur peut traiter.

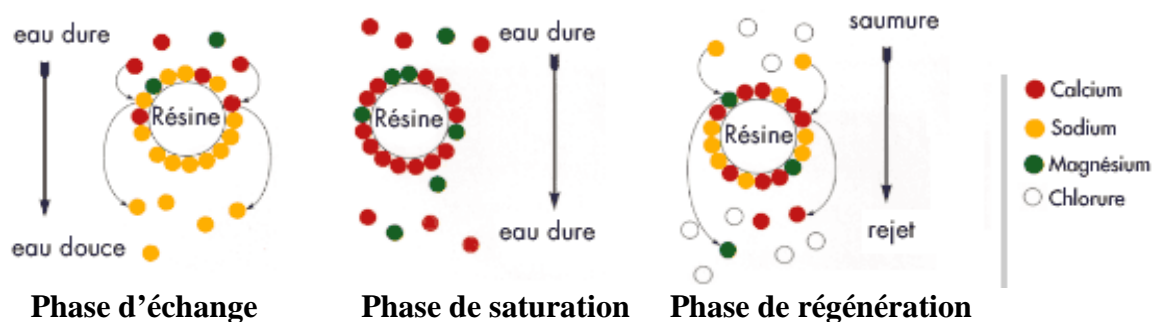


Figure 8 : Schéma représentant les phases du fonctionnement de la résine

Etapes de la régénération :

La régénération de la colonne d'échange d'ions comporte cinq étapes :

- le détassage (ou soulèvement) ;
- le saumurage ;
- le rinçage (ou déplacement) ;
- Remplissage du bac à sel pour la deuxième régénération ;
- Phase d'attente.

➤ **Le détassage (ou soulèvement) :**

On détasse la résine pendant 10 min environ par un courant d'eau à contre courant, ce qui permet aussi d'éliminer les particules qui ont pu se déposer à la surface du lit, ainsi que les éventuels débris de résine. On laisse ensuite décanter le lit.

➤ **Le saumurage :**

L'aspiration de la saumure consiste à aspirer de la saumure (NaCl) contenue dans le bac à sel de l'adoucisseur pendant 40 min. Elle va traverser la résine par un co-courant pour que les ions Ca^{2+} se détachent et les ions Na^+ s'y fixent.

➤ **Le rinçage :**

On déplace ensuite la solution régénérante (la saumure) par de l'eau à co-courant, à faible débit, jusqu'à ce que le lit de résine n'en contienne plus que des traces. C'est la phase de déplacement ou rinçage lent.

Ensuite, on procède à un rinçage rapide à un débit plus élevé de façon à éliminer les dernières traces de régénérant, évitant ainsi tout résidu de sel à l'intérieur de l'adoucisseur.

Cette étape dure 20 min.

➤ **Le remplissage du bac à sel :**

Cette étape consiste à envoyer de l'eau dans le bac à sel pendant 20 min, afin de préparer la saumure pour la prochaine régénération.

➤ **Phase d'attente :**

Lors de la cinquième étape, l'adoucisseur va se remettre en service pour donner de nouveau de l'eau adoucie.

4. Présentation schématique des adoucisseurs :

Dans cette partie, on présente le fonctionnement des deux colonnes d'adoucissement, ainsi que les différentes phases d'un cycle de traitement de l'eau.

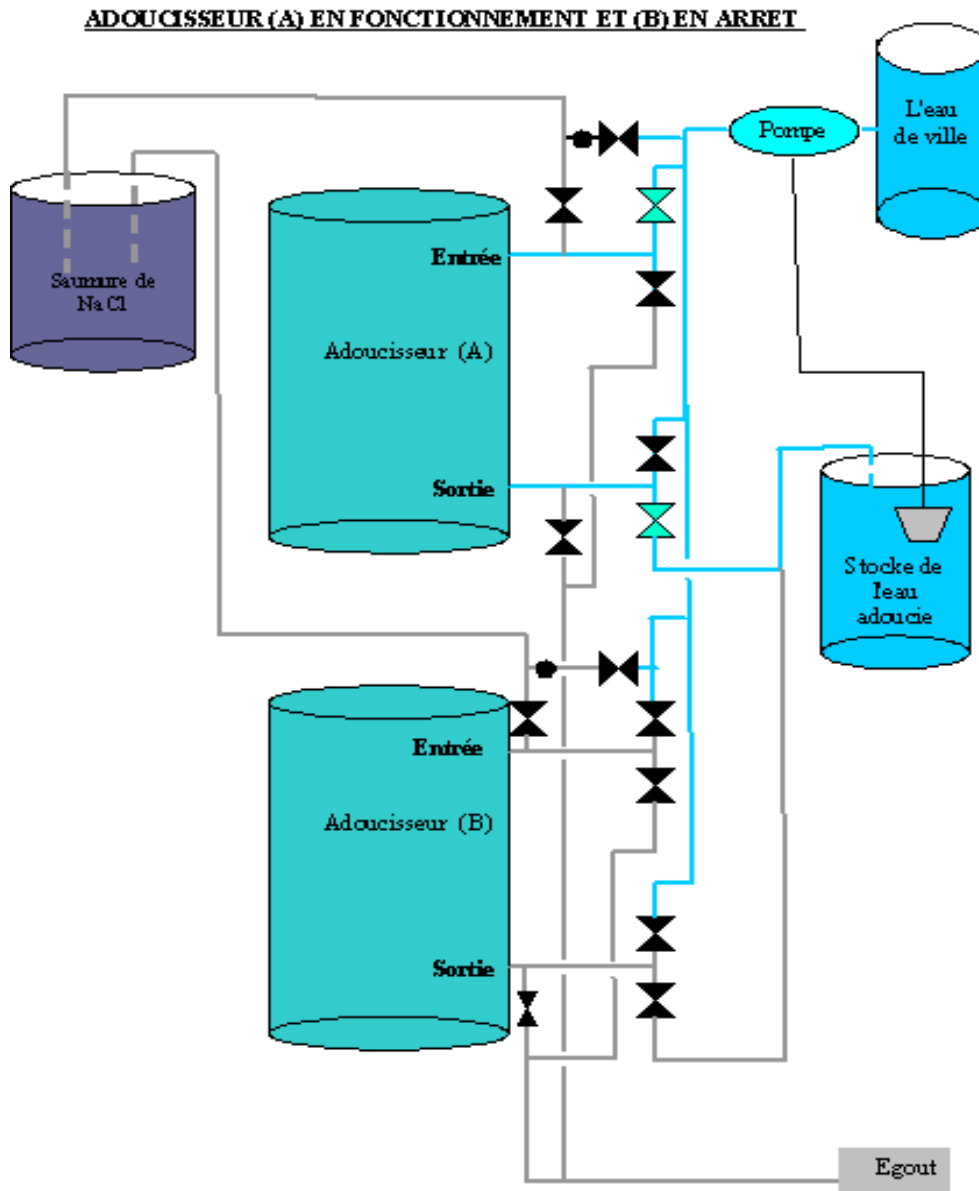


Figure 9 : Schéma du fonctionnement de l'adoucisseur A (B est en arrêt)

REGENERATION DE L'ADOUCISSEUR (A)

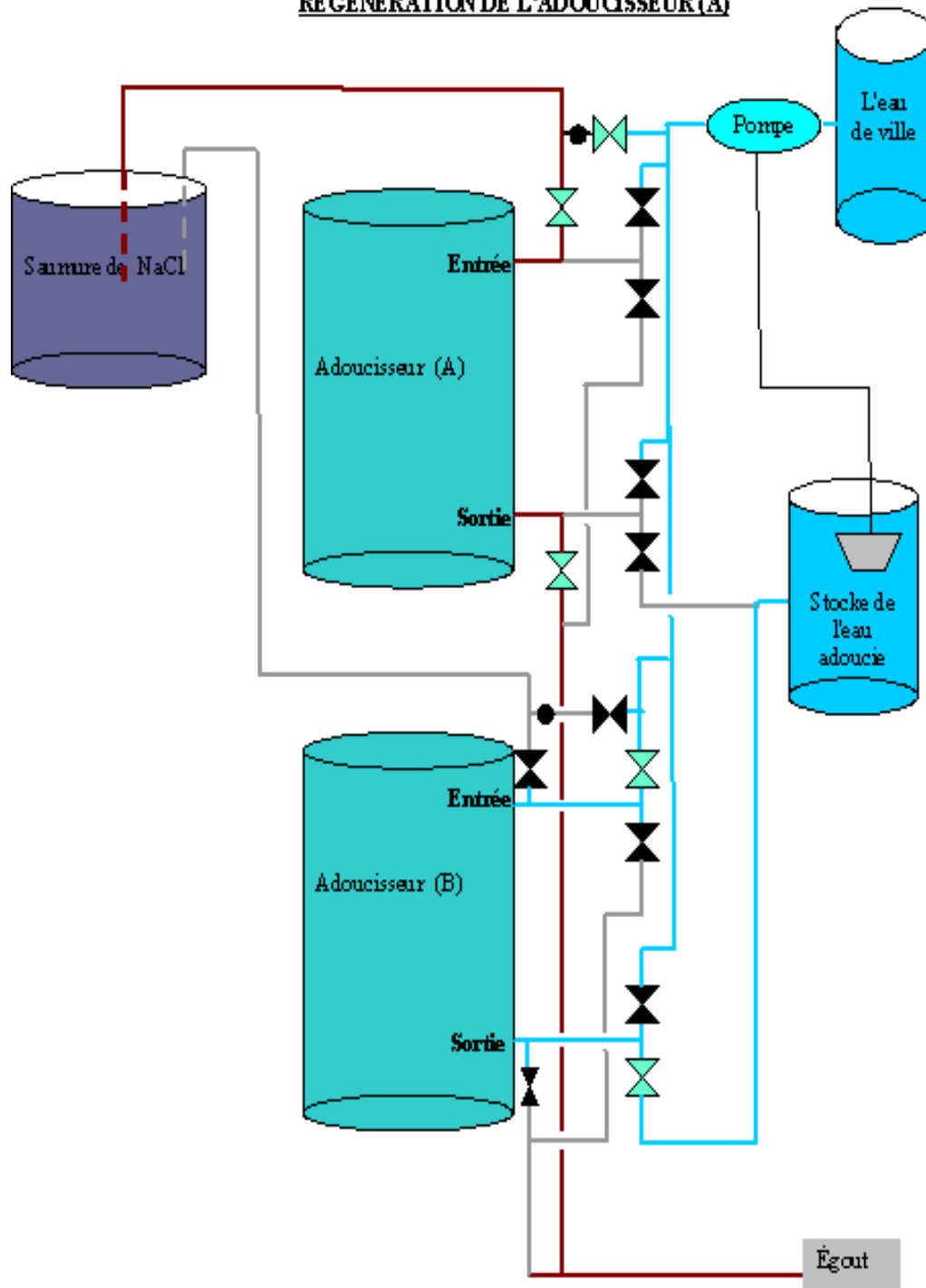


Figure 10 : Schéma représentant la régénération de l'adoucisseur A

RINÇAGE DE L'ADOU CISSEUR (A) ET DILLUTION DE NaCl

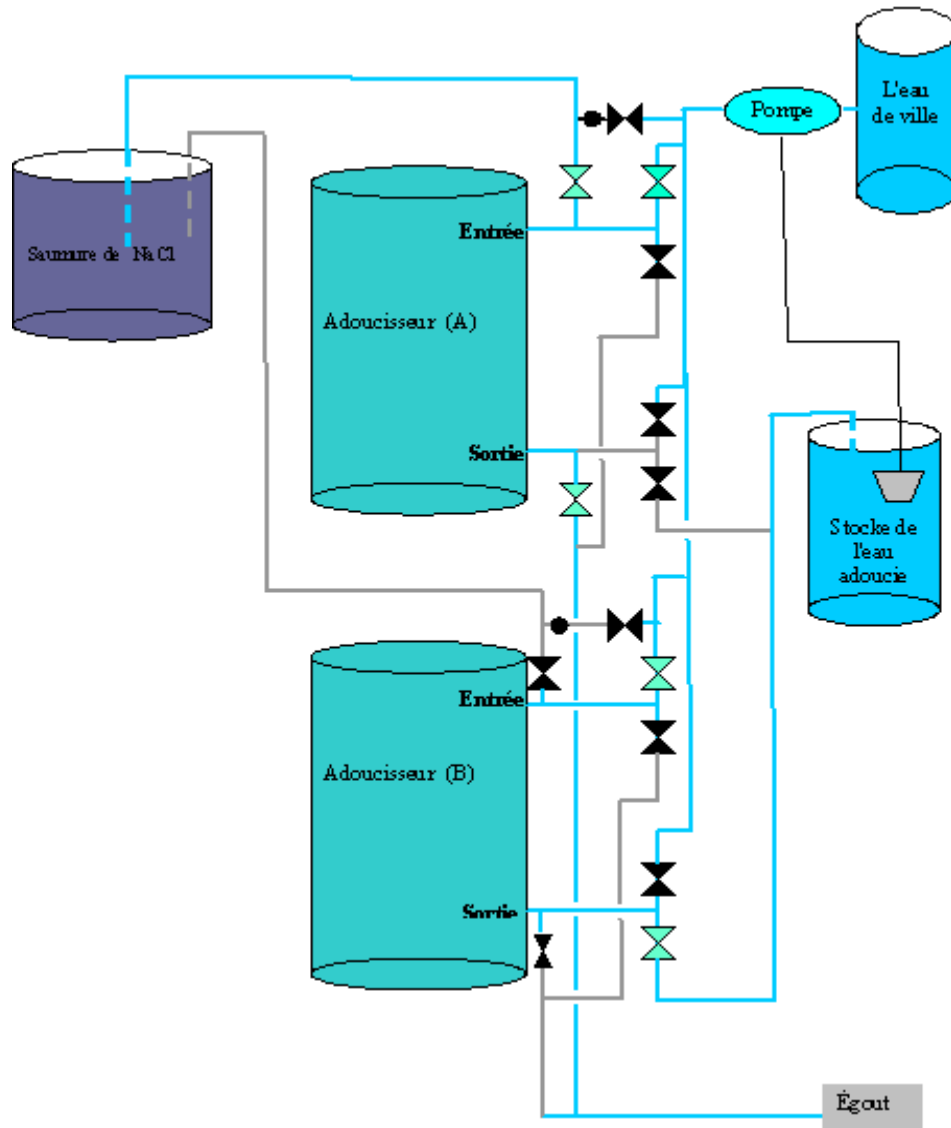
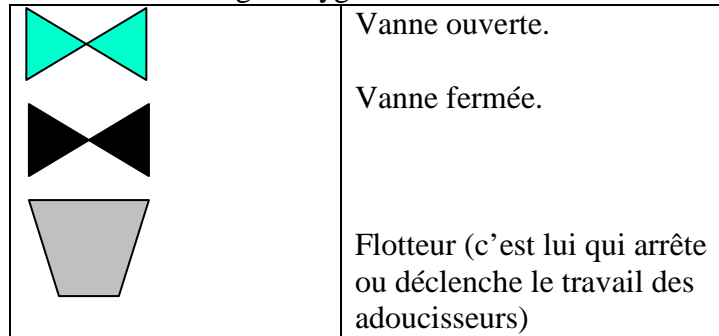


Figure 11 : Schéma représentant le rinçage de l'adoucisseur A et la dilution de NaCl

SYMBOLE	DESIGNATION
---------	-------------



Enfin, l'eau traitée par les adoucisseurs va se stocker dans un bac de stockage de 1000m³ qui sera utilisée par la suite pour l'alimentation des chaudières, des circuits de refroidissement et de séparation.

III. Les chaudières :

1. Principe :



Figure 12 : La Chaudière

La chaudière est un dispositif qui permet de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique.

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur est fournie par un combustible : le fioul. Le principe de la combustion de la chaudière est assez simple : il s'agit d'une réaction chimique exothermique :



Cette combustion dégage non seulement du dioxyde de carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau (H_2O) qu'il est impossible d'éviter, mais encore du monoxyde de carbone (CO) et des oxydes d'azote (NO_x) «NO monoxyde d'azote ou NO_2 dioxyde d'azote ».

2. Traitement interne

La qualité de l'eau d'alimentation et de l'eau en chaudière est un élément primordial pour le bon fonctionnement des chaudières. La qualité d'eau requise est :

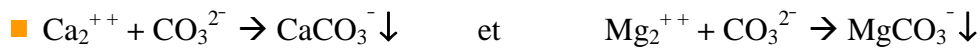
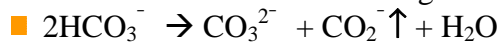
- Absence de tartre : si l'eau est trop dure il y aura formation de tartre qui entraînera une réduction du transfert de chaleur et par conséquent de rendement.
- Absence de corrosion : les gaz dissous, notamment l'oxygène, entraîneront la corrosion des surfaces métalliques de la chaudière.
- pH convenable : une eau trop acide attaquera les parois de la chaudière tandis que si elle est trop alcaline il y aura formation de mousses. Le pH de l'eau d'alimentation doit être compris entre 8,5 et 10.

L'eau qui reste en partie basse de la chaudière se concentre en sels minéraux nécessitant des purges. Si l'eau n'est pas correctement traitée des phénomènes surviennent qui altèrent la fiabilité des matériels, perturbent leur fonctionnement et augmentent les coûts d'exploitation. Les principaux inconvénients résultant d'un manque de traitement ou d'un traitement imparfait sont :

✘ L'entartrage :

La cause principale de l'entartrage est la rupture de l'équilibre carbonique de l'eau, notamment pour les sels de calcium et de magnésium.

La présence du CO_2 permet la formation des ions ($-\text{HCO}_3$) et par suite, le maintien des sels carbonatés en solution. Tout phénomène physique ou chimique qui entraîne le dégagement du CO_2 favorise donc l'entartrage par précipitations du carbonate de calcium (CaCO_3) et du carbonate de magnésium (MgCO_3). Selon les réactions suivantes :



Le dépôt se produit au niveau des parties les plus chaudes (sur les plaques tubulaires, les foyers, les faisceaux tubulaires). Le tartre constitue un isolant thermique qui provoque une augmentation de la température (surchauffe). Il favorise d'autre part des corrosions localisées.

✘ Les corrosions :

La corrosion est un phénomène chimique qui porte atteinte à un objet solide et provoque une altération de la matière. La corrosion peut entraîner la perforation, la fissuration, et la rupture des équipements. On rencontre la corrosion : dans les chaudières, dans les réseaux de distribution de vapeur, dans les réseaux de retours de condensats et purges.

Les facteurs qui la favorisent sont l'oxygène (O_2), le dioxyde de carbone (CO_2), les sels dissous, la soude caustique et, d'une façon générale, un pH de l'eau trop bas ou trop élevé.

Les principaux traitements utilisés pour obtenir un bon résultat sont les suivants:

➡ Elimination de la dureté :

La présence de calcium étant totalement proscrite, il faut obtenir une eau à THT inférieur à 1°f en utilisant un adoucisseur à résines échangeuses d'ions qui éliminent totalement les ions calcium et magnésium qui génèrent le tartre.

➡ Contrôle des autres facteurs constitutifs de la minéralisation de l'eau :

Dans les chaudières à pression intermédiaires ou si l'on est en présence d'eaux fortement carbonatées on combine alors adoucissement et décarbonations qui seront réalisés sur des résines cationiques régénérées à l'acide. Une élimination du CO_2 par dégazeur est alors nécessaire.

➡ Les produits antitartre et dispersant :

Ils vont neutraliser les faibles quantités de calcium qui peuvent subsister malgré l'adoucissement et qui vont se précipiter en carbonate ou sulfate de calcium.

➡ Les produits anticorrosion :

Université Mohamed Ben Abdelah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
LST « Biotechnologies Hygiène et Sécurité des Aliments »

Ces produits sont destinés à éliminer l'oxygène et neutraliser les ions H^+ , cette neutralisation de l'hydrogène sera obtenue par l'élévation du pH par apport d'une alcalinité phosphatée plutôt que sodique.

IV. Tours de refroidissements utilisés à Lesaffre Maroc :



Figure 13 : Tour de refroidissement.

La majeure partie de l'eau, employée à des fins industrielles est utilisée pour refroidir un produit ou les équipements d'un procédé de fabrication.

1. Description et composants :

Une tour aéroréfrigérante humide est un échangeur de chaleur "air/eau", dans lequel l'eau à refroidir est en contact direct avec l'air ambiant. L'eau chaude est pulvérisée en partie haute de la tour aéroréfrigérante et ruisselle sur le corps d'échange. L'air traverse le système de ruissellement et est rejeté dans l'atmosphère. Le refroidissement s'effectue principalement par évaporation de l'eau. L'efficacité du système est liée à la conception et à l'entretien de la tour aéroréfrigérante ainsi qu'aux conditions atmosphériques (température et humidité).

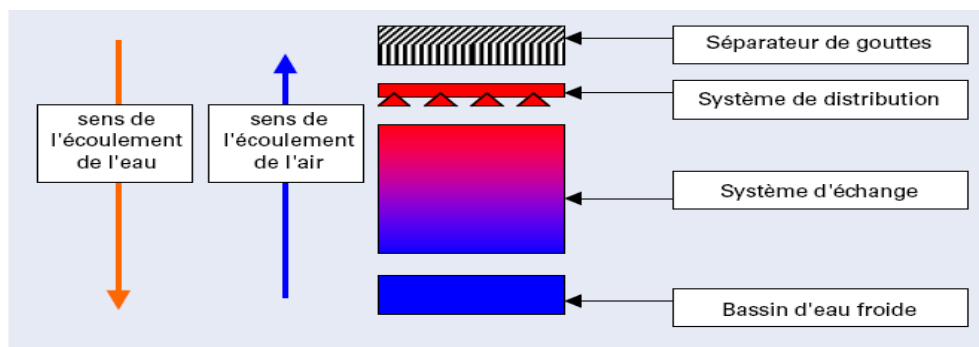


Figure 14 : Éléments constitutifs d'une tour aéroréfrigérante

Les principaux éléments constitutifs d'une tour de refroidissement classique sont :

- Un système de distribution d'eau dont le rôle est de disperser de manière uniforme l'eau sous forme de gouttelettes.
- Le corps d'échange ou garnissage (figure n°15), dispositif au travers duquel se fait le transfert thermique entre l'air et l'eau.



Figure 15 : Le corps d'échange.

- Le pare gouttelettes ou séparateur de gouttes (figure n°16) installé en sortie d'air de la tour aéroréfrigérante, conçu pour retenir l'entraînement vésiculaire.



Figure 16 : Le séparateur de gouttes.

- Le bassin situé en partie basse de la tour pour récupérer l'eau refroidie, le ventilateur (figure n°17) qui assure un écoulement continu d'air. Il est situé en partie haute de la tour aéroréfrigérante.

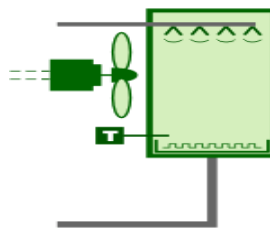


Figure 17 : le ventilateur

- Eventuellement un ou plusieurs échangeurs et une pompe assurant la circulation de l'eau, pour les tours de refroidissement à double circuit.

2. Traitement

Le traitement d'eau doit être opérationnel dès la mise en service du circuit, il doit permettre de lutter de façon efficace contre l'entartrage, la corrosion et la prolifération bactérienne.

Les traitements chimiques avec utilisation de :

- ✘ Bio Dispersants.
- ✘ Biocides.
- ✘ Inhibiteurs d'entartrage.
- ✘ Inhibiteurs De Corrosion.

➤ **Traitement anti-tartre et anti-corrosion**

Afin de contrôler la formation de tartre ou la corrosion, un traitement anti-tartre, anticorrosion doit être prévu par injection d'inhibiteurs chimiques adaptés à la qualité d'eau spécifique du site. Un prétraitement par adoucisseur ou autre traitement spécifique peut être nécessaire pour des eaux de dureté élevée.

➤ **Traitement bactéricide**

Un traitement bactéricide par injection de produits biocides adaptés doit être mis en oeuvre également sous forme d'un traitement permanent.

Le meilleur résultat pratique est obtenu par l'utilisation combinée de 2 principes actifs de biocide, oxydant et organique ou d'un biocide et d'un bio dispersant.

PARTIE 2 :

Partie Expérimentale

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

I. Analyses physico-chimiques :



Une utilisation de l'eau non traitée a des inconvénients sur le matériel qui se manifeste dans le dépôt de calcaire sous forme de CaCO_3 et MgCO_3 d'où la nécessité des mesures de pH, d'alcalinité (TAC), de la dureté (THT), conductivité et du chlorure.

Pendant ce stage, on n'a pas eu le temps d'effectuer toutes ces analyses mais on s'est limité seulement à l'analyse physico chimique de la dureté et de l'alcalinité de l'eau « THT et TAC ».

Dureté de l'eau ou THT

Une eau est dite "**dure**" lorsqu'elle est fortement chargée en ions calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}) et, par opposition, "**douce**" lorsqu'elle contient peu de ces ions.

Lorsqu'une eau dure est chauffée, il se forme un précipite insoluble: c'est le tartre (Carbonates insolubles CaCO_3).

La dureté, ou titre hydrométrique d'une eau s'exprime en degrés français ($^{\circ}\text{F}$). Un degré français de dureté correspond a une teneur en calcium et magnésium équivalente à 10 mg de carbonate de calcium (CaCO_3) par litre.

$$1^{\circ}\text{F} = 10 \text{ mg de } \text{CaCO}_3/\text{l}$$

$$1^{\circ}\text{F} = 4\text{mg/l en } \text{Ca}^{2+}$$

$$= 2,4 \text{ mg/l en } \text{Mg}^{2+}$$

On considère qu'une eau est :

Tableau n°2 : Représente la qualité de l'eau par rapport à THT et TAC

Qualification de l'eau	THT	TAC
	En degrés français (°f)	(°f)
douce	<1	30-60
Dure	> 1	> 60

➤ **Titre hydrotimétrique totale THT :**

✘ Principe :

Le titre hydrotimétrique total, indique globalement la concentration en ions alcalino-terreux : calcium et magnésium il permet de quantifier une notion qualitative : la dureté de l'eau. Dosage volumétrique dans un milieu basique par EDTA (sel di sodique de l'acide éthylène-tétra-acétique).

✘ Protocole expérimental :

On prélève 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajoute 5ml de solution tampon K10 permettant la complexation totale des ions calcium et magnésium à pH = 10 avec quelques gouttes de l'indicateur coloré le noir d'Eriochrome.

- Si la solution est bleue : THT = 0°f. L'eau est adoucie ou non dure.
- Si la solution est violette : on dose le mélange par la liqueur hydrotimétrique (solution d'EDTA N/50) jusqu'au virage du violet au bleu.

$$\text{THT} = \text{TB}$$

(TB= niveau d'EDTA dans la burette)

➤ **pH de l'eau :**

Université Mohamed Ben Abdelah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
LST « Biotechnologies Hygiène et Sécurité des Aliments »
C'est une échelle logarithmique qui varie de 0 à 14 et qui traduit l'acidité ou l'alcalinité
d'une solution, la neutralité étant à pH égale à 7.

Le pH est un des paramètres importants influençant la tendance entartrante ou agressive (corrosive) d'une eau naturelle : d'une manière générale une baisse du pH favorisera la tendance agressive et une élévation du pH, le caractère entartrant.

✘ Principe :

Le pH est mesuré par la méthode potentiométrique, le principe de base de cette méthode est la détermination de l'activité des ions H^+ par mesure potentiométrique en utilisant une électrode d'hydrogène et une électrode de référence.

➤ Conductivité

La conductivité est la mesure numérique de la capacité d'une solution aqueuse à laisser passer un courant électrique. Cette capacité dépend des ions présents dans la solution, de leur concentration, mobilité, valence et de la température de mesure.

La conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre, l'unité de mesure est le siemens par centimètre (S/cm).

➤ Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes.

Le TA dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformés en bicarbonates à un pH de 8,3.

Le TAC correspond à la totalité des bicarbonates et des carbonates.

Les mesures du TA et du TAC s'effectuent par un dosage à l'acide sulfurique. On utilise les indicateurs colorés suivants :

- La phénolphthaléine pour le TA dont le virage s'effectue pour un pH voisin de 8,3.
- L'hélianthine pour le TAC dont le virage s'effectue pour un pH voisin de 4,3.

- 1°f = 3,4 mg/l OH^- (hydroxyde)

Université Mohamed Ben Abdelah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
LST « Biotechnologies Hygiène et Sécurité des Aliments »
- 1°f = 6 mg/l CO_3^{--} (carbonate)
- 1°f = 12,2 mg/l HCO_3^- (bicarbonate)

PARTIE 3 :

Résultats et discussions

Université Mohamed Ben Abdelah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
LST « Biotechnologies Hygiène et Sécurité des Aliments »

Chapitre 1 : Résultats

I. Introduction

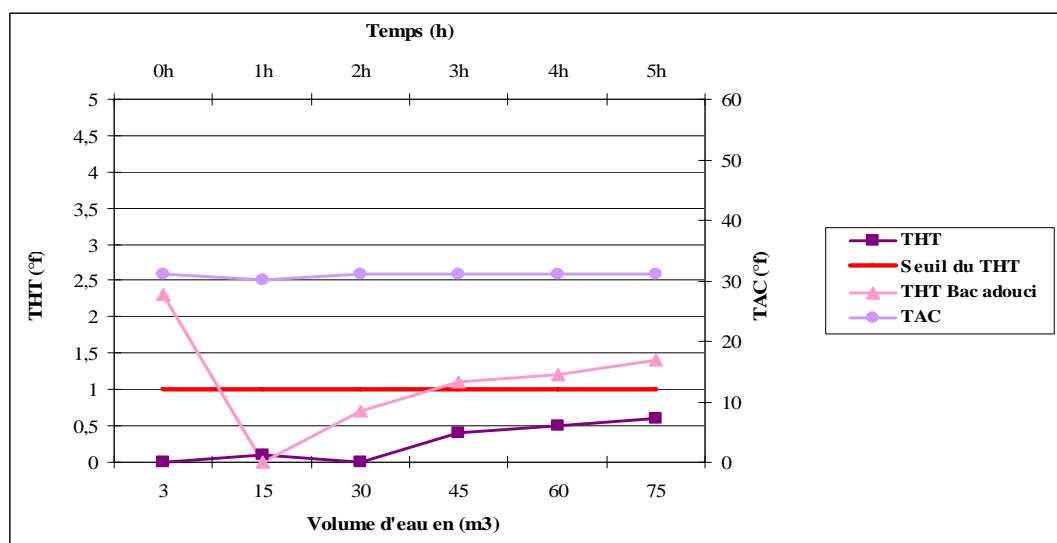
Durant ce stage, on a fait le suivi de deux paramètres caractéristiques de l'eau (THT et TAC) pendant une durée d'un mois, au court de chaque jour on prélève plusieurs échantillons de l'adoucisseur en production et du bac adouci.

1. Résultats et interprétations :

➤ Adoucisseur 1

Tableau n° 1 : valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC dans l'adoucisseur 1 (date du 30-04-2010).

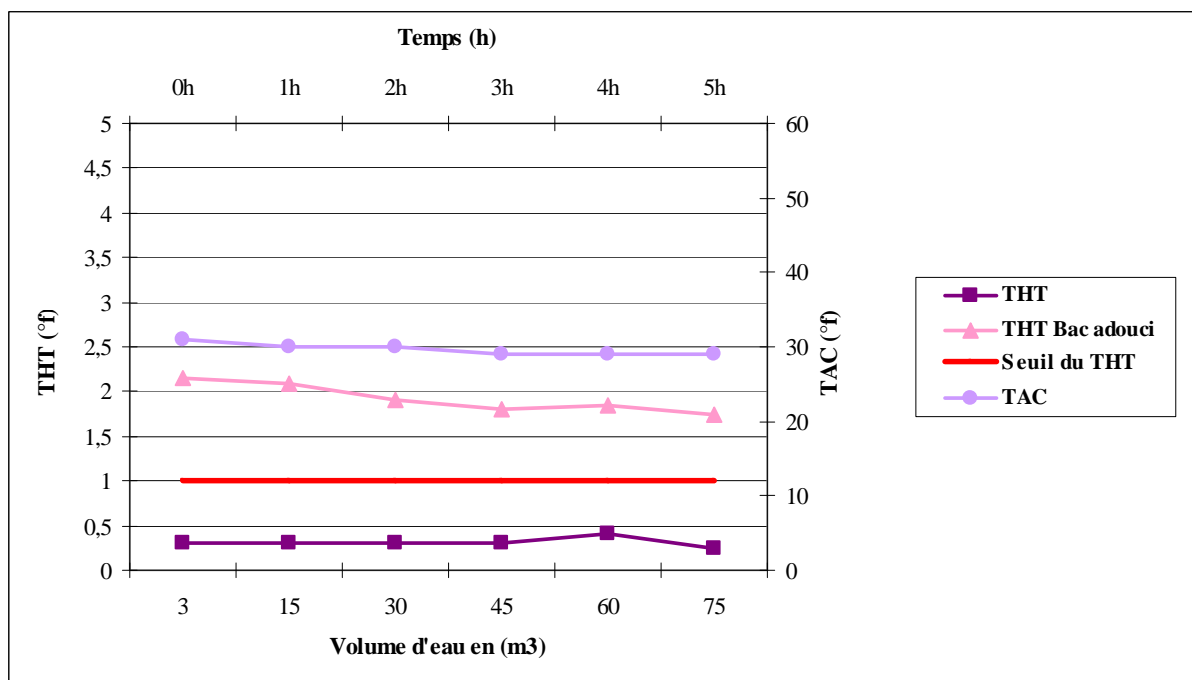
Date	Temps (h)	Volume en (m ³)	THT (°f)	TAC (°f)	THT Bac adouci (°f)	Observation
30-04-2010	0h	3	0	31	2,3	Après la régénération
	1h	15	0,1	30	0	
	2h	30	0	31	0,7	
	3h	45	0,4	31	1,1	
	4h	60	0,5	31	1,2	
	5h	75	0,6	31	1,4	



Courbe n°1 : L'évolution du THT du bac adouci et du THT et TAC dans l'adoucisseur 1 (Date du 30-04-2010).

Tableau n° 2 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 1 (Date du 04-05-2010).

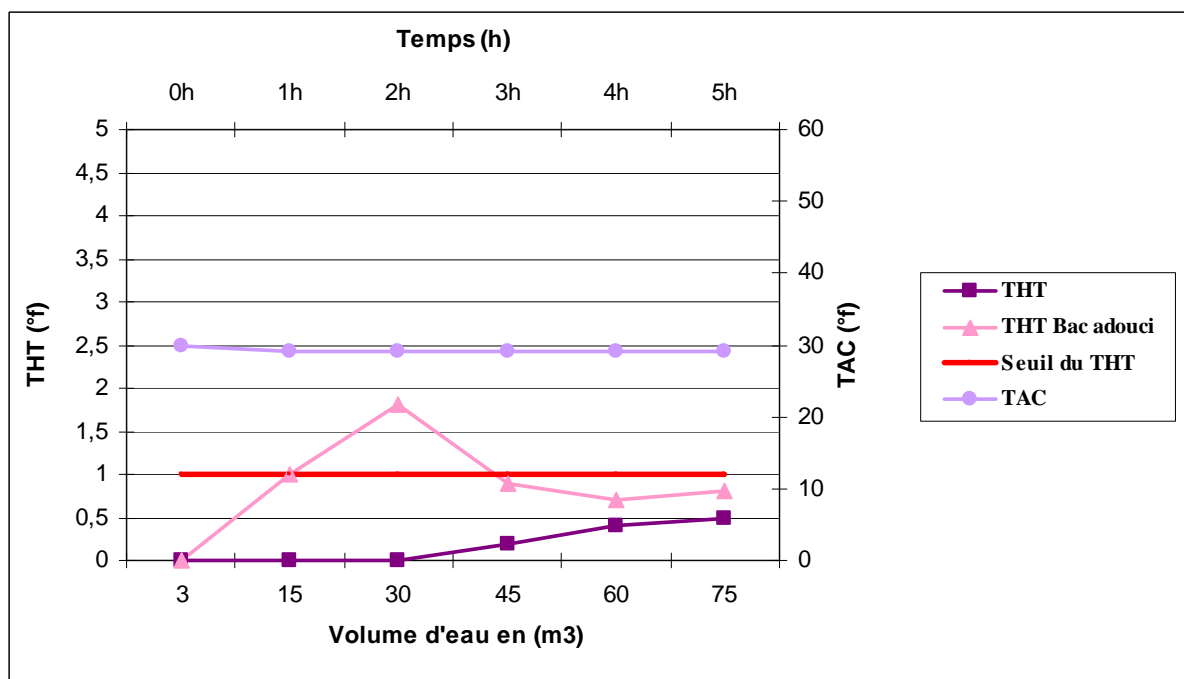
Date	Temps (h)	Volume en (m3)	THT (°f)	TAC (°f)	THT Bac adouci (°f)	Observation
04-05-2010	0h	3	0,3	31	2,15	Après la régénération
	1h	15	0,3	30	2,1	
	2h	30	0,3	30	1,9	
	3h	45	0,3	29	1,8	
	4h	60	0,4	29	1,85	
	5h	75	0,25	29	1,75	



Courbe n°2 : L'évolution du THT du bac adouci et du THT et TAC dans l'adoucisseur 1 (date du 04-05-2010).

**Tableau n° 3 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 1
 (date du 11-05-2010).**

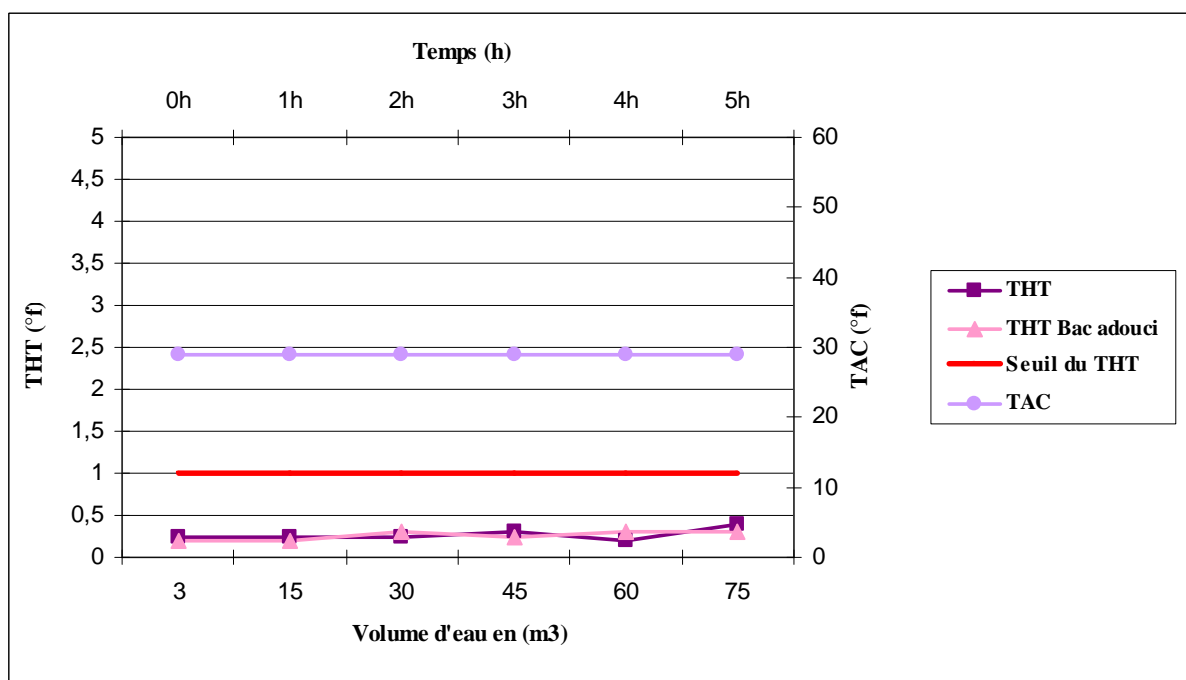
Date	Temps (h)	Volume en (m ³)	THT (°f)	THT Bac adouci (°f)	TAC (°f)	Observation
11-05-2010	0h	3	0	0	30	Après la régénération
	1h	15	0	1	29	
	2h	30	0	1.8	29	
	3h	45	0,2	0.9	29	
	4h	60	0,4	0.7	29	
	5h	75	0,5	0.8	29	



Courbe n°3 : L'évolution du THT du bac adouci et du THT et TAC dans l'adoucisseur 1 (date du 11-05-2010).

**Tableau n° 4 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 1
 (date du 12-05-2010).**

Date	Temps (h)	Volume en (m ³)	THT (°f)	TAC (°f)	THT Bac adouci (°f)	Observation
12-05-2010	0h	3	0,25	29	0,2	Après la régénération
	1h	15	0,25	29	0,2	
	2h	30	0,25	29	0,3	
	3h	45	0,3	29	0,25	
	4h	60	0,2	29	0,3	
	5h	75	0,4	29	0,3	

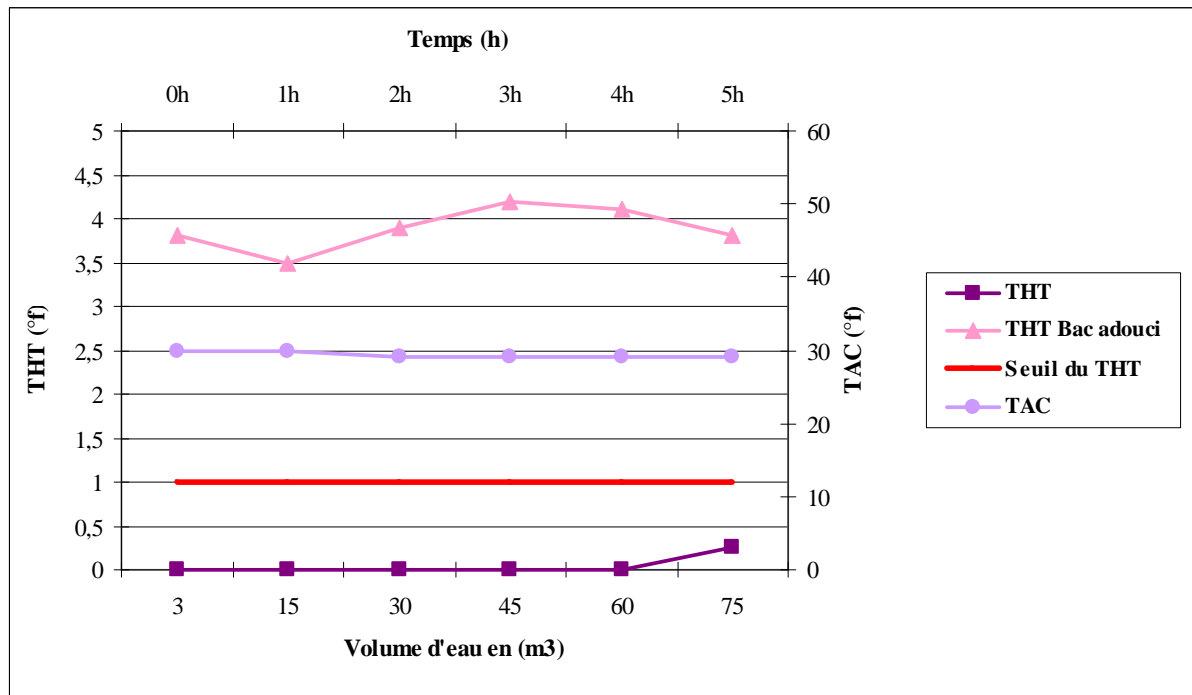


Courbe n°4 : L'évolution du THT du bac adouci et du THT et TAC dans l'adoucisseur 1 (date du 12-05-2010).

➤ **Adoucisseur n°2 :**

**Tableau n° 5 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 2
 (date du 03-05-2010).**

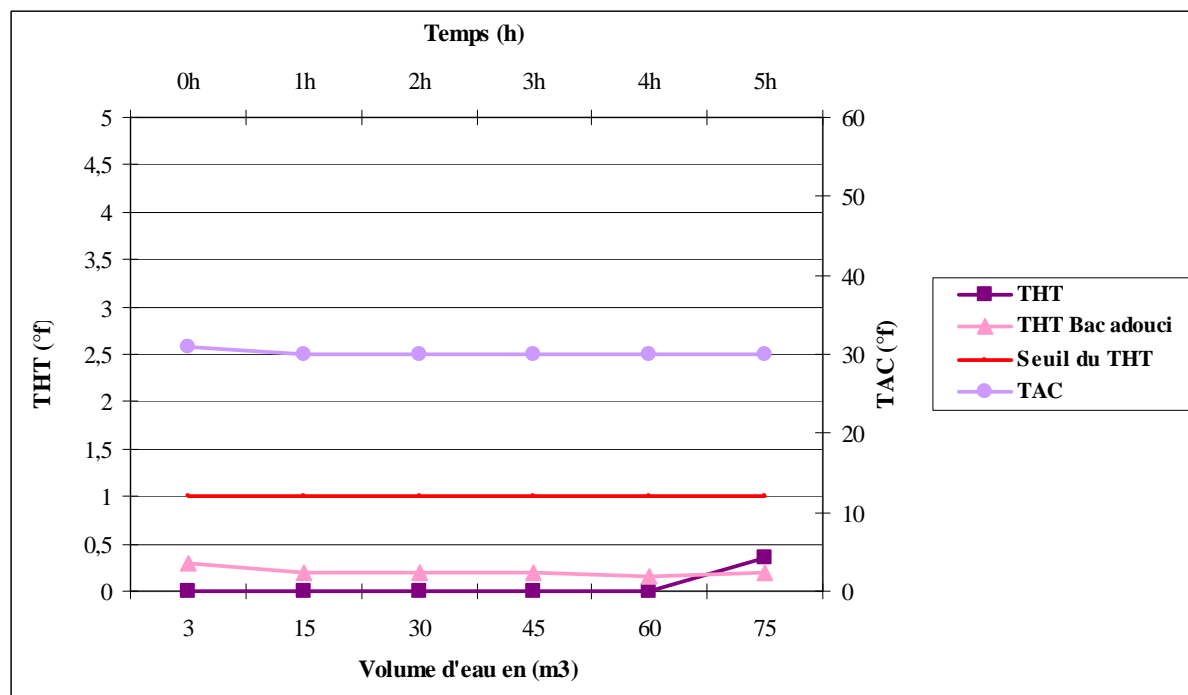
Date	Temps (h)	Volume en (m ³)	THT (°f)	TAC (°f)	THT Bac adouci (°f)	Observation
03-05-2010	0h	3	0	30	3,8	Après la régénération
	1h	15	0	30	3,5	
	2h	30	0	29	3,9	
	3h	45	0	29	4,2	
	4h	60	0	29	4,1	
	5h	75	0.25	29	3,8	



Courbe n°5 : L'évolution du THT dans le bac adouci et du THT et TAC dans l'adoucisseur 2 (date du 03-05-2010)

**Tableau n° 6 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 2
 (Date du 07-05-2010).**

Date	Temps (h)	Volume en (m ³)	THT (°f)	TAC (°f)	THT Bac adouci (°f)	Observation
07-05-2010	0h	3	0	31	0.3	Après la régénération
	1h	15	0	30	0.2	
	2h	30	0	30	0.2	
	3h	45	0	30	0.2	
	4h	60	0	30	0.15	
	5h	75	0.35	30	0.2	

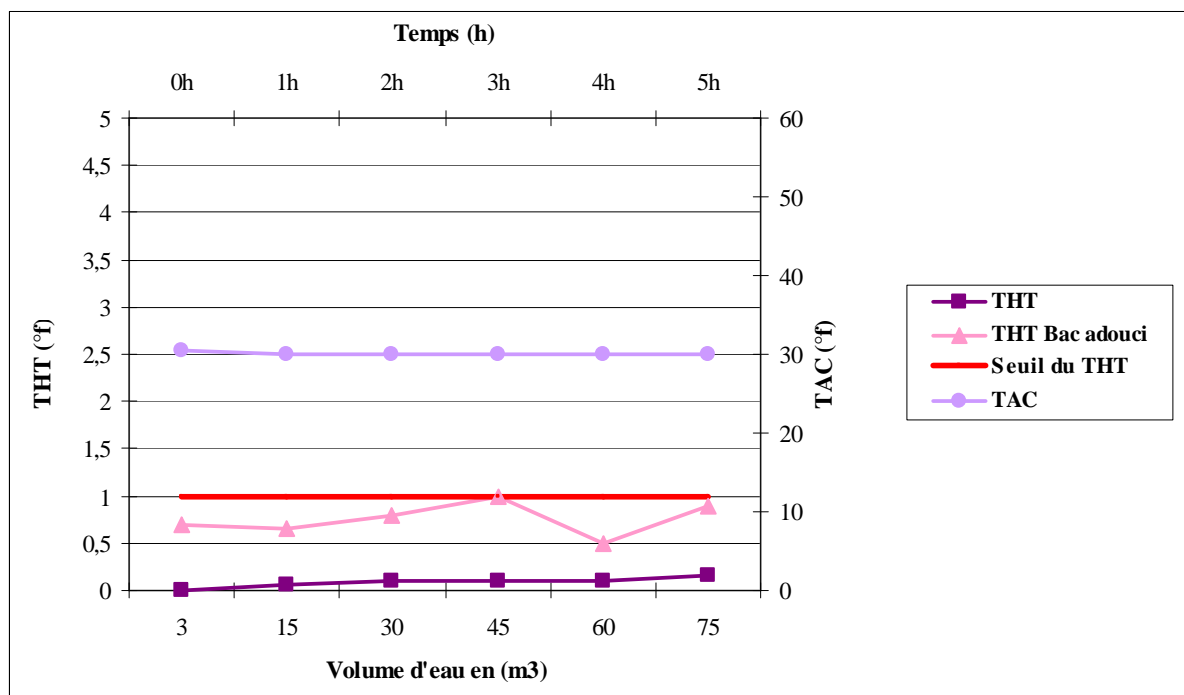


**Courbe n°6 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 2
 (Date du 07-05-2010).**

Université Mohamed Ben Abdelah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
LST « Biotechnologies Hygiène et Sécurité des Aliments »

**Tableau n° 7 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 2
 (Date du 18-05-2010).**

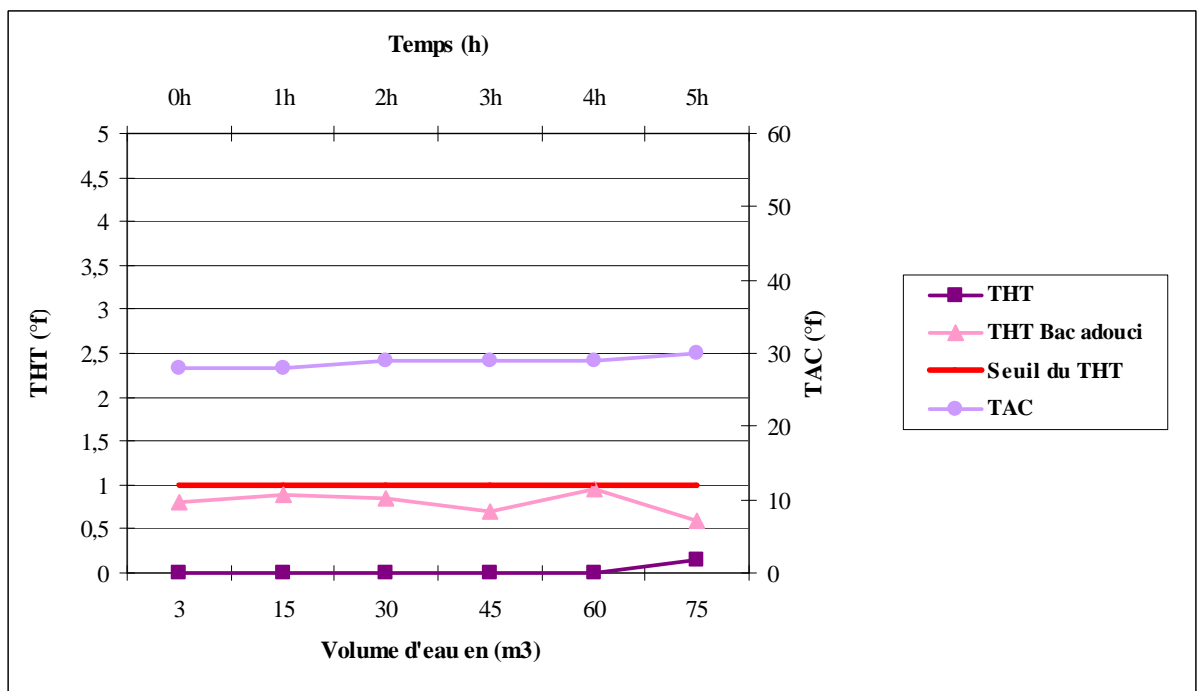
Date	Temps (h)	Volume en (m ³)	THT (°f)	TAC (°f)	THT Bac adouci (°f)	Observation
18-05-2010	0h	3	0	30.5	0.7	Après la régénération
	1h	15	0.05	30	0.6	
	2h	30	0.1	30	0.8	
	3h	45	0.1	30	1	
	4h	60	0.1	30	0.5	
	5h	75	0.15	30	0.9	



**Courbe n°7 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucisseur 2
 (Date du 18-05-2010).**

**Tableau n° 8 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucesseur 2
 (Date du 20-05-2010).**

Date	Temps (h)	Volume en (m ³)	THT (°f)	TAC (°f)	THT Bac adouci (°f)	Observation
20-05-2010	0h	3	0	28	1.1	Après la régénération
	1h	15	0	28	0.9	
	2h	30	0	29	0.85	
	3h	45	0	29	1	
	4h	60	0	29	0.95	
	5h	75	0.15	30	1.2	



**Courbe n°8 : Valeurs du THT du bac adouci et du THT et TAC pour l'adoucesseur 2
 (Date du 20-05-2010).**

✘ Interprétation :

Les valeurs de THT augmentent en fonction du volume d'eau dure passant par la résine de la colonne d'adoucissement. Ceci est dû à la fixation des ions Ca^{++} et Mg^{++} et l'éluion des ions Na^+ .

Généralement de 45 à 75m³, la valeur de THT augmente davantage ce qui reflète la saturation de la résine. Mais puisque ces valeurs sont inférieures à 1°f, l'eau reste conforme.

D'après les résultats obtenus, on constate que les deux adoucisseurs produisent de l'eau douce à un volume d'eau = 75m³. On peut conclure que l'adoucisseur 2 paraît plus performant que l'adoucisseur 1.

L'eau présente dans le bac de stockage de l'eau adoucie est la résultante de plusieurs cycles des 2 adoucisseurs (dont le rôle est d'éliminer la dureté) donc le THT s'y accumule. Donc c'est normal que le THT du bac de stockage de l'eau adouci n'évolue pas de la même manière que celui des adoucisseurs.

Mais d'après les résultats du THT du bac de l'eau traitée, on remarque que dans certaines courbes, le THT dépasse le seuil de dureté « 1°f ». Alors que dans les autres courbes le THT du bac est conforme. On peut expliquer cette variation par l'équilibre entre l'apport et la consommation d'eau douce par les chaudières, les tours de refroidissement et la séparation car lorsque :

- Le THT du bac est supérieur à « 1°f » donc élevé, cela peut être expliqué par l'accumulation du THT dans le bac de stockage de l'eau douce par effet de concentration dans le cas où le niveau de l'eau traitée est faible dans le bac.
- Le THT du bac est inférieur à « 1°f » donc faible, peut être expliqué par effet de dilution dans le cas où le bac d'eau douce est rempli.

On peut aussi expliquer la variation des valeurs du THT du bac adouci, par l'hétérogénéité du milieu de prélèvement de l'échantillon, sachant qu'on le prélevait de la partie basse du bac qui peut contenir de fortes concentrations de calcaires.

Ces interprétations sont faites étant donné qu'on ne connaît pas le volume du bac. C'est dommage qu'il n'y a pas une échelle de volume au niveau du bac afin de connaître son volume exact.

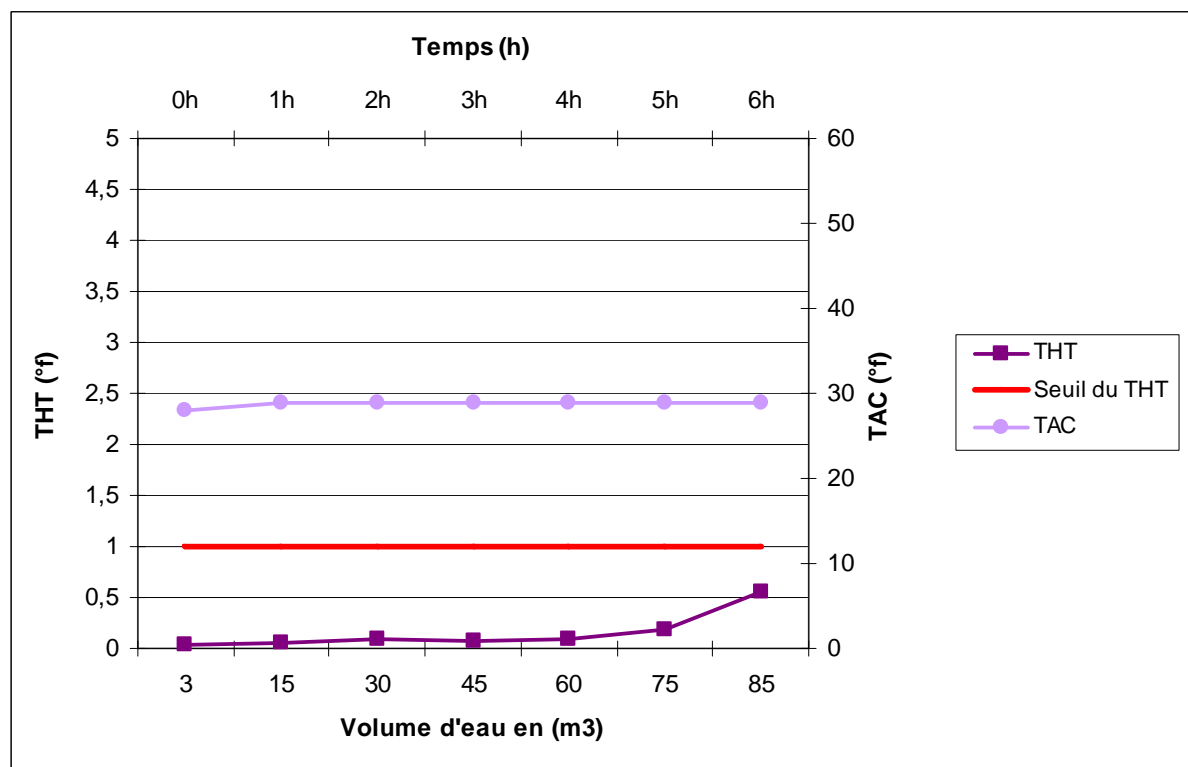
Les valeurs du TAC qui correspondent à la concentration de l'eau en carbonates et bicarbonates sont toujours aux environs de 30°f, donc l'eau est douce par rapport à ce paramètre.

Durant ce stage, on a effectué un autre suivi des paramètres THT et TAC, en augmentant le volume d'eau à adoucir de 75m³ à 85m³ puis à 95m³ pour essayer d'optimiser les cycles des adoucisseurs.

➤ **A un volume = 85m³ :**

Tableau n° 9 : valeurs de THT à un volume de 85m³

Temps	Volume (m ³)	THT (°f)	TAC (°f)
0h	3	0,03	28
1h	15	0,05	29
2h	30	0,1	29
3h	45	0,083	29
4h	60	0,1	29
5h	75	0,177	29
6h	85	0,56	29



✘ Interprétation :

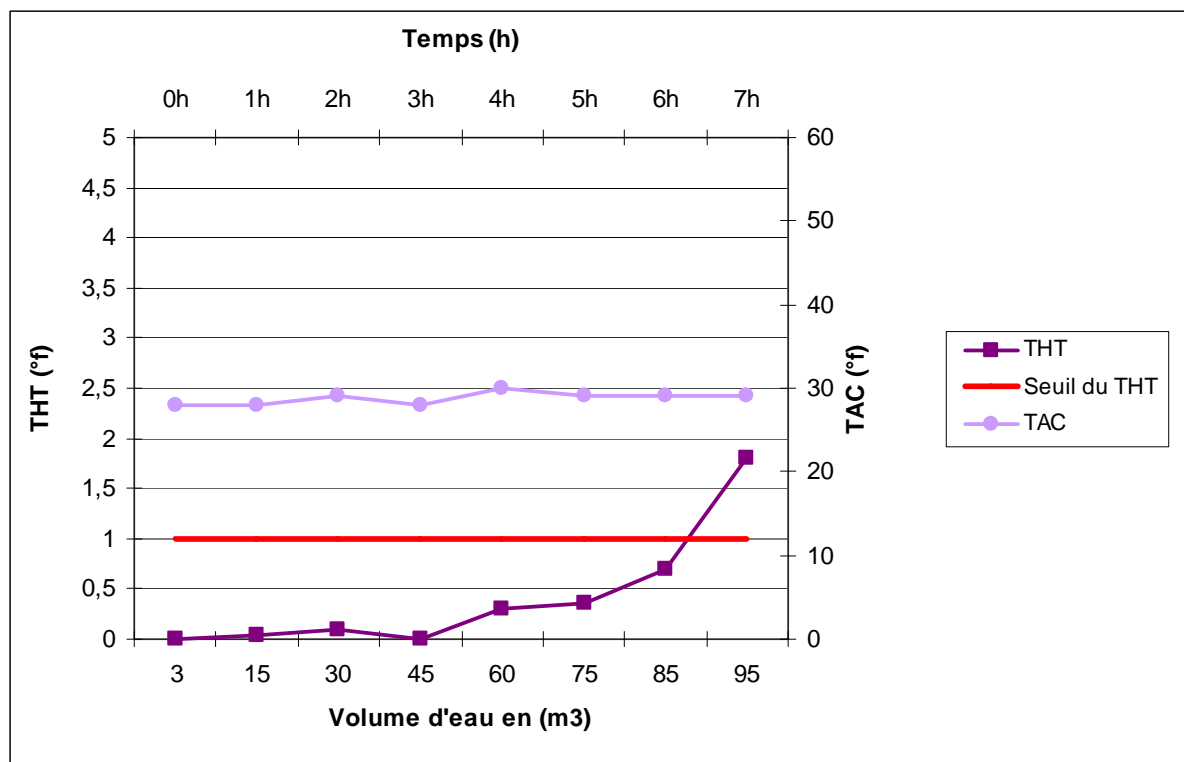
D'après cette courbe, on remarque que la valeur de THT s'est moyennement élevée par rapport aux résultats obtenus à un volume = 75m³ mais reste toujours inférieur à 1°f donc on est dans les normes d'une eau douce.

Le paramètre TAC est toujours aux normes d'une eau douce.

➔ **A un volume = 95m³ :**

Tableau n°10 : valeurs de THT à un volume de 95m³

Temps (h)	Volume (m ³)	THT (°f)	TAC (h)
0h	3	0	28
1h	15	0,03	28
2h	30	0,1	29
3h	45	0	28
4h	60	0,3	30
5h	75	0,35	29
6h	85	0,7	29
7h	95	1.8	29



✘ Interprétation :

D'après cette courbe, on constate que la dureté de l'eau augmente proportionnellement au volume de l'eau passant par l'adoucisseur à cause de la saturation de la résine.

De 3 à 85m³ la dureté est inférieure à « 1°f », mais lorsqu'on atteint 95m³ cette valeur dépasse la norme « 1°f » ce qui peut être expliqué par une sursaturation de la résine. L'eau qui y passe reste chargé en ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ donc reste dure.

Le paramètre TAC est toujours aux normes d'une eau douce.

✘ Conclusion :

L'objectif de mon stage a porté sur l'optimisation des cycles des adoucisseurs.

Après avoir analysé les résultats obtenus, la concentration en ions calcium et magnésium est faible à 75m³, augmente partiellement à 85m³ mais l'eau reste douce car la dureté est inférieure à « 1°f », mais à 95m³ la dureté de l'eau dépasse « 1°f » donc à ce volume la résine devient saturée et ne peut capter les cations ce qui va engendrer le passage de ces derniers dans le tank de stockage d'eau douce qui va alimenter les chaudières, les tours de refroidissement et la station de séparation et y provoquer des problèmes d'entartrage.

Optimiser les cycles des adoucisseurs c'est améliorer la quantité d'eau à adoucir mais aussi sa qualité car en fin du procédé on doit obtenir une eau douce.

Pour cela, on va se limiter et optimiser le cycle de production des adoucisseurs à un volume de 85m³ ce qui vas apporter du bénéfice à la société car :

Sachant que les adoucisseurs effectuent 4 cycles de production par jour,

- Nombre de cycles/jour = 4 cycles/ jour.

Pendant chaque cycle de régénération, 3m³ d'eau est évacuée dans les égouts lors du détassage et du rinçage de la résine. Dans le but d'économiser cette eau, on va diminuer le nombre de cycles de 4 à 3 cycles par jour :

- $3\text{m}^3 * 3 = 9\text{ m}^3$ de rejet d'eau/ jour.
- $9\text{m}^3 * 365 = 3285\text{ m}^3$ de rejet d'eau/an.

Donc si on augmente le volume du cycle de production à 85m^3 on aura 10m^3 de gain par chaque cycle de production :

- $10\text{m}^3 * 3 = 30\text{m}^3$ / jour de gain d'eau douce.
- $30\text{m}^3 * 365 \text{ jours} = 10\,950\text{m}^3$ / an de gain d'eau douce.

Chapitre 2 : Discussion

L'eau n'est jamais pure. Elle contient des composés dissous qui proviennent principalement du lessivage des sols par les eaux de pluie, dont les principaux sont :

Le calcium (c'est le composant principal de dureté, résultat de dissolution des roches calcaire par l'eau).

Le magnésium (dont la concentration est élevée dans l'eau, constitue 1/3 de la dureté de l'eau).

Les bicarbonates (HCO_3^-) : résultat de dissolution dans l'eau du CO_2 .

La silice (SiO_2) : cause des problèmes au niveau des chaudières.

Dioxyde de carbone (CO_2) : peut épuiser rapidement la résine échangeuse d'ions.

Le calcium et le magnésium sont à l'origine de plusieurs problèmes au niveau des chaudières, des tours de refroidissement, ainsi que leurs circuits.

Pour éliminer ces cations (Ca^{++} et Mg^{++}), la société « Lesaffre Maroc » a choisi un système d'échange de cations : les adoucisseurs perçus comme technique intéressante, et fréquente.

En réalité, le temps de production de la levure n'est pas de 18h que prennent les levures pour se multiplier mais comporte aussi le temps de stérilisation de la mélasse, le temps de maintenance des chaudières et des tours de refroidissement... Donc, si les cations passent et y provoquent des problèmes, ceci va se répercuter sur le temps de production qui va augmenter, d'où une chute de productivité.

Donc, pour optimiser ce procédé, je propose de :

- Changer de résine, car normalement une bonne résine peut produire 120m^3 d'eau douce par cycle, en choisissant une qui a un bon débit et une bonne capacité entre deux régénérations.

- Ajouter deux autres adoucisseurs alternatifs. Lorsque deux adoucisseurs seront en marche, les deux autres seront en régénération. Investissement qui coutera peut être cher mais qui peut, en diminuant le débit des 4 adoucisseurs, augmenter la durée de vie des résines, économiser le temps d'adoucissement et améliorer la qualité de l'eau traitée.

- Diminuer le débit de $15\text{m}^3/\text{h}$ à $10\text{m}^3/\text{h}$ pour ne pas dépasser la capacité des colonnes. Le volume d'eau douce produite va diminuer mais la qualité de l'eau va s'améliorer.

- Améliorer la méthode de la régénération pour augmenter la durée de vie de la résine : optimiser le temps et débit de chacune de ces étapes : détassage, saumurage, rinçage, remplissage du bac à sel.

- Opter pour la régénération volumétrique proportionnelle au lieu de la traditionnelle, avec un saumurage à contre courant : cette méthode représente beaucoup d'avantage par rapport à celle qui est traditionnelle comme c'est indiqué dans l'annexe.

- L'élévation du THT au-delà de « 1°f » dans le bac de stockage d'eau douce peut aussi être due au manque de sels dans le bac de saumure nécessaire à l'étape la plus importante du cycle de régénération qui est : l'aspiration de la saumure dont l'intérêt est de décrocher les ions calcium et magnésium de la résine et y attacher les ions sodium. L'ajout de sel qui se fait une seule fois pendant 24h, me paraît insuffisant.
 - Le volume d'eau adoucie par 24h = $374,7\text{m}^3$.

- Puisque le volume de chaque cycle de production = 75m^3 , donc :
- $374\text{m}^3/75\text{m}^3 = 5$ cycles de production/24h = 5 cycles de régénérations/24h.

N.B : le nombre de cycles peut varier selon la consommation quotidienne.

Alors, pour s'assurer du déroulement de la régénération dans de bonnes conditions et assurer une bonne aspiration de la saumure à chaque fois, je suggère de :

- ✘ Augmenter la fréquence d'ajout du sel dans le bac de saumure.
- ✘ S'assurer de la bonne quantité et qualité du sel ajouté.
- ✘ Suivi rigoureux de la méthode de régénération des résines.

🌐 Je propose d'autres alternatives à l'adoucisseur par échange de cations :

- La nano-filtration : élimine les particules, bactéries, ions divalents, et réduit la concentration d'ions monovalents.

Cette technique enlève de 30 à 50% des ions monovalents et plus de 90% des ions divalents. C'est une alternative intéressante aux adoucisseurs par échange d'ions.

✘ Inconvénients : le cout d'investissement beaucoup plus élevé que pour un adoucisseur.

- L'osmose inverse : élimine les particules, bactéries, pyrogènes, composés organiques et ions.

Principe : On applique à la solution aqueuse, séparée de l'eau déminéralisée par une membrane, une pression supérieure à sa pression osmotique, le flux sera inversé et l'on produira de l'eau déminéralisée. Les sels dissous qui n'ont pas pu passer à travers la membrane vont se concentrer dû à l'augmentation de la pression puis se précipiter sur la membrane. Ce concentrât va s'écouler tangentiellement à travers la membrane sans la traverser.

- ✘ Peut aussi convertir le CO_2 en bicarbonates, qui ne vont pas traverser la membrane, en injectant de la soude en amont de l'osmoseur.
- ✘ Peut éliminer 99% de SiO_2 active et colloïdale qui cause des problèmes au niveau des chaudières.

- ✘ Opter pour l'osmose inverse suivie de l'adoucissement par échange de cations.
 - Les antitartres électromagnétiques : Appareil permettant la stabilisation du calcium dans l'eau.

Sous effet de champs électromagnétique, induit la formation de microcristaux de carbonates qui restent en suspension dans l'eau et fixent d'autres ions libres. Sortie lors de soutirage.

- ✘ Avantages : détache le calcaire incrusté sur les vieilles installations, laisse un voile blanchâtre protecteur donc contribue à la longévité de l'installation en limitant l'effet de corrosion.
 - L'électrodéionisation : principe inverse de l'osmose inverse les électrodes attirent les ions à travers les membranes. Le concentrât est peu et la qualité d'eau est excellente.

- ✘ Avantages : Elimine le besoin de l'acide, pas de régénérations

Le fonctionnement est en continu, pas d'interruption par la régénération.

- ✘ Inconvénient : Consomme de l'eau en continue

N'arrête pas silice, bactéries, particules, molécules organiques.

Prix d'achat est élevé.

Conclusion générale :

Ce stage m'a beaucoup apporté et m'a permis d'appliquer les connaissances théoriques et pratiques acquises à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès dans le cadre d'une entreprise. Il m'a aussi permis d'avoir une expérience et une approche avec le travail et le monde industriel pour pouvoir bien s'y intégrer dans l'avenir.

Les résultats que j'ai pu tirer de ce stage sont :

- ✘ Le THT et TAC des deux adoucisseurs sont conformes.
- ✘ Le THT du bac adouci est parfois non-conforme.

Ceci peut avoir des répercussions néfastes sur les chaudières et les tours de refroidissement.

Pour remédier à ce problème, je préconise de :

- Changer de résine ;
- Ajouter deux autres adoucisseurs ;
- Diminuer le débit de 15m^3 à $10\text{m}^3/\text{h}$;
- Améliorer la méthode de la régénération et opter pour la régénération volumétrique proportionnelle (annexe).
- Augmenter la fréquence, la quantité et la qualité d'ajout du sel dans le bac de saumure.
- Procéder par l'osmose inverse suivie de l'échange d'ions donnera un excellent résultat.

- Opter pour d'autres alternatives à l'adoucisseur comme par exemple : la nanofiltration, l'osmose inverse, etc.

Faute de temps, il ne m'a pas été possible de faire plus d'expériences. Mais ce stage m'a permis d'approfondir mes connaissances, de développer mon esprit critique et analytique et de travailler de manière autonome. Et puis, d'un point de vue personnel, pour pouvoir m'intégrer à l'équipe, j'ai appris à oublier ma timidité, à prendre confiance en moi et à aller vers les autres.

Références bibliographiques :

- Biotechnologie des levures de Jean-Paul Larpent, Masson Paris Milan Barcelone 1991.
- Purification de l'eau dans l'industrie par Enrico Riboni.
- Les traitements de l'eau, Claude Cardot, Ellipses Edition, Paris, 1999, ISBN 2-7298-5981-0.
- Traitement des eaux (Cartonné) de François Berné (Auteur), J. (Jean) Cordonnier (Auteur). Editeur : Technip (3 mai 2000).
- L'Analyse de l'eau : Eaux naturelles - Jean Rodier –Dunod; Édition : 8e édition (15 septembre 2005).
- Les applications innovantes des techniques membranaires dans l'industrie, Réseau NOVELEC (EDF), 1993.

Annexe

REGENERATION VOLUMETRIQUE PROPORTIONNELLE

④ La régénération volumétrique proportionnelle : Sur les bases de la moyenne des consommations journalières l'adoucisseur fait un saumurage proportionnel → la consommation de sel sera proportionnelle à la consommation d'eau & à la saturation des résines.

④ Le saumurage est réalisé à CONTRE COURANT :

Soit le sens opposé du flux d'eau pendant le service

- Optimisation des consommations d'eau et de sel.
- Les dépôts des (matières en suspension) sont automatiquement évacués.

1 – FAIBLE CONSOMMATION DE SEL & D'EAU

④ En comparaison avec un adoucisseur traditionnel, les adoucisseurs proportionnels ont une très faible consommation de sel :

- Consommation de sel : 47 % en moins

Besoin pour réduire 30° TH de dureté (300ppm).

- ✘ Système proportionnel : 520gr sel/1m³ adouci.
- ✘ Système conventionnel : 980gr sel/1 m³ adouci.

■ Consommation d'eau : 50% en moins :

- ✘ Système proportionnel : approximativement 5 fois le volume de résine.
- ✘ Système conventionnel : approximativement 10 à 12 fois le volume de résine.

2 – CONTROLE ELECTRONIQUE

Ⓢ Calcul statistique de la moyenne des consommations journalières et comparaison à la capacité restant disponible à l'heure de la régénération avec anticipation des régénérations si la moyenne est inférieure à la capacité restant disponible.

Ⓢ Avantages :

- Disponibilité permanente d'eau douce.
- Taux de saumurage fonction de la consommation réelle au moment de la régénération.
- Exemple :
Capacité utilisée = 85%
→ Saumurage : 85 % d'un saumurage complet

3 – BAC A SEL SEC

Ⓢ Le système proportionnel utilise un bac dit "Bac à sel sec" :

- Le remplissage du bac à sel est réalisé à la première phase de la régénération (proportionnellement au besoin de sel).
- Le bac à sel reste sans eau pendant le service.

Ⓢ Avantages

- Pas de formation de phénomènes de "Ponts "
- Sécurité supplémentaire pour débordement.