



Licence Sciences et Techniques (LST)

# Techniques d'Analyse et Contrôle Qualité

## TACQ

### PROJET DE FIN D'ETUDES

**Calcul de gain de l'efficacité énergétique de la station de  
traitement de la mélasse**

Présenté par :

◆ **ABTIL Lahcen**

Encadré par :

◆ **Mr ELYAGHMOURI Fouad (Lesaffre)**  
◆ **Pr ZEROUALE Abdelaziz (FST)**

**Soutenu Le 16 Juin 2015 devant le jury composé de:**

- **Pr ZEROUALE Abdelaziz**  
- **Pr BOUKIR Abdellatif**  
- **Pr ELGHADRAOUI El Houcine**

**Stage effectué à LESAFFRE Maroc**

**Année Universitaire 2014 / 2015**

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☒ Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14

Site web : <http://www.fst-usmba.ac.ma>

## **RMERCIEMENT**

Avant tout chose, mes souhaites les plus chers seront de remercier vivement toutes personnes, qui, de près ou de loin, se sont impliquées dans la réalisation de ce rapport, tant par leur soutien opérationnel, que professionnel.

Je remercie tout d'abord mon encadrant pédagogique de stage, monsieur **ZEROUALE Abdelaziz**, qui en tant que Professeur, a bien voulu accepter de suivre mon travail, me diriger, afin que puisse mener ce terme.

Je remercie aussi Monsieur **ELYAGHMOURI Fouad**, directeur de production à la société LESAFFRE Maroc qui a bien voulu me consacrer afin d'apporter des réponses à toutes mes questions tant opérationnelles, que d'abord plus général, et dont le savoir pratique m'a permis d'approfondir et d'enrichir mes connaissance du fonctionnement de l'entreprise.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mes remerciements aux membres du jury : les professeurs **BOUKIR Abdellatif** et **ELGHADRAOUI El Houcine** de vouloir accepter de juger ce travail.

## Liste des figures

**Figure 1** : Photographie au microscope optique de cellules de levures de boulangerie.

**Figure 2** : levure chimique.

**Figure 3** : ensemencement de la souche de levure au laboratoire.

**Figure 4** : Filtre rotatif utilisé pour la filtration de la crème.

**Figure 5** : Schéma Général de la station de traitement de la mélasse.

**Figure 6** : Photo d'un clarificateur.

**Figure 7** : échangeur à plaques utilisé dans la station de traitement de la mélasse.

**Figure 8** : Schéma d'un échangeur à plaques.

## Liste des tableaux

**Tableau 1**: composition chimique des mélasses de betterave et de canne.

## Liste des abréviations

$C_{pM}$ : Capacité calorifique de la mélasse.	$C_{pE}$ : Capacité calorifique de l'eau.
$C_p$ : Capacité calorifique de mélange eau-mélasse.	
$MD$ : Mélasse diluée.	$SPH$ : Levure sèche active.
$MDC$ : Mélasse diluée clarifiée.	$SPI$ : Levure sèche instantanée.
$MDCS$ : Mélasse diluée clarifiée stérilisée.	$T_F$ : Température finale de mélange.
$Dec$ : Débit de l'eau chaude.	$T_{ec}$ : Température de l'eau chaude.
$D_{ef}$ : Débit de l'eau froide.	$T_{ef}$ : Température de l'eau froide.
$D_M$ : Débit de la mélasse brute.	$T_e$ : Température d'entrée.
$D_{Md}$ : Débit de la mélasse diluée.	$T_s$ : température de sortie.
$D_{MDC}$ : Débit de la mélasse diluée clarifiée.	$\Phi$ : Flux de chaleur avec échangeur.
$D_{MDCS}$ : Débit de la mélasse diluée clarifiée stérilisée.	$\Phi'$ : Flux de chaleur sans échangeur.
$D_m$ : Débit massique.	$\Phi_D$ : Flux de chaleur de dilution.
$D_v$ : Débit volumique.	$\Phi_S$ : Flux de chaleur de stérilisation.
	$\Phi_t$ : Flux total.
	$\rho_{MD}$ : Masse volumique de la mélasse diluée

## TABLE DE MATIERES

<b>Introduction .....</b>	<b>2</b>
<b>Chapitre 1 : Présentation de LESAFFRE MAROC .....</b>	<b>3</b>
<i>A. .Historique du groupe LESAFFRE.....</i>	<i>4</i>
<i>B. .Historique de LESAFFRE MAROC .....</i>	<i>5</i>
<i>C. .Organigramme LESAFFRE.....</i>	<i>7</i>
<b>Chapitre 2 : Procédée de fabrication de la levure de boulangerie .....</b>	<b>8</b>
<i>A. ....La levure de boulangerie .....</i>	<i>9</i>
1.....Généralités .....	9
2.....Mode de vie de la levure .....	10
3.....Paramètres influençant l'activité des levures.....	11
4.....Forme de levures .....	11
<i>B. Procédé de fabrication des levures par les biotechnologies .....</i>	<i>12</i>
1.....Fermentation de la levure .....	13
2.....Préparation de la mélasse.....	16
<b>Chapitre 3 : Partie pratique .....</b>	<b>21</b>
<i>A. ....Bilan thermique de la station de traitement de la mélasse .....</i>	<i>22</i>
1..... Calcul de bilan thermique avec échangeurs .....	22
2..... Calcul de bilan thermique sans échangeurs .....	25
3..... Consommation en Fioul.....	26
<b>Conclusion .....</b>	<b>27</b>

# Introduction générale

La levure de boulangerie peut, à juste titre, être considérée comme l'un des plus anciens produits issus de la fermentation industrielle. Aujourd'hui encore, elle est l'un des produits les plus importants de la biotechnologie en industrie agroalimentaire. Ce secteur est considéré comme le plus grand consommateur d'énergie, en général cette industrie est le secteur particulièrement concerné par la problématique de la réduction de consommation énergétique.

Mon stage a été effectué au sein de la société **LESAFFRE Maroc**, leader national de la production de levure de panification, située au quartier industrielle « SIDI IBRAHIM ». Le but de mon stage est de déterminer les gains énergétiques de la station de traitement de la mélasse.

Ça m'a permis de suivre toutes les étapes de fabrication de la levure de la phase laboratoire jusqu'au produit fini en passant par le traitement de la mélasse.

Ce travail m'a permis de :

- Calculer le bilan thermique au niveau de la station de traitement de la mélasse.
- Calculer le gain en énergie apporté par l'installation des échangeurs.
- Calculer la consommation en fioul.

Ce rapport est subdivisé en trois chapitres :

- Présentation de la société **LESAFFRE**.
- Procédé de fabrication de la levure de boulangerie.
- Partie expérimentale.

# **Chapitre 1**

## **Présentation de la société LESAFFRE Maroc**



La société **LESAFFRE Maroc** est l'une des principales filiales du groupe agroalimentaire **LESAFFRE**, leader mondial en matière de production de la levure de panification. Groupe familial français indépendant, il est présent sur les cinq continents et compte plus de 7000 collaborateurs.

Le Symbole de proximité et de fidélité est l'emblème fédérateur du groupe **LESAFFRE** à travers le monde.

Son siège est situé au quartier industriel SIDI BRAHIM à Fès. L'entreprise compte, en plus du site de production à Fès, un Baking Center à Casablanca. Celui-ci constitue une vitrine des produits LESAFFRE où les boulangers peuvent suivre des formations et voir des démonstrations afin de consolider leurs connaissances et améliorer leur savoir-faire.

L'entreprise bénéficie d'une reconnaissance à l'échelle mondiale puisqu'elle a reçu deux trophées :

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

### ***Historique du groupe LESAFFRE***

- **En 1853** : deux fils de cultivateurs du nord de la France, Louis Lesaffre et Louis Bonsuelle créent une distillerie 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 d'alcools à partir des grains.
- **En 1863** : Acquisition du premier moulin à Marcq-en-Baroeul. C'est à partir de ce site que se développa la Société Industriel **LESAFFRE** qui se révéla progressivement comme l'élément moteur et le support de l'essor industriel et commercial de la branche levure du groupe.
- **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. Deux ans après Lesaffre & Bonduelle développèrent la fabrication de levure fraîche à Marcs-en-Baroeul, à la place de l'ancien moulin.
- **En 1895** : Naissance de la marque de levure l'hirondelle. Une hirondelle dont le dessin va évoluer au fil du temps, jusqu'à devenir l'emblème du groupe en 2003.



A la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, **LESAFFRE** affiche déjà une volonté exportatrice à l'Angleterre, en Belgique, l'Italie, et l'Espagne. Ce qui semble tout naturel aujourd'hui, représente un tour de force à l'époque, en raison des conditions de transport et de distribution. Une marque fait son apparition, l'hirondelle, qui traversa le temps et l'espace puisque, la silhouette de l'oiseau migrateur a été adoptée par la société industrielle **LESAFFRE**. Un logo qui, 100 ans plus tard, identifie ses produits dans plus de 180 pays.

Pendant la première partie du 20<sup>ème</sup> siècle, **LESAFFRE** devait faire face au nombreuses de difficultés, surmontées avec opiniâtreté, crises économiques, inondations, incendies, bombardements...l'usine est reconstruite quatre fois en 35 ans, dans cette période tourmentée, l'entreprise a su non seulement se maintenir à flot, 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. Passé maître dans le domaine des bio-industries, le groupe **LESAFFRE** se structure autour de ses principaux métiers : la levure, le malt et les bioconversions.

Pour être plus proche de ses clients et leurs apporter un service optimal, **LESAFFRE** s'implanta sur les cinq continents.

### ***Historique de LESAFFRE Maroc***

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

Basés à Fès, elle emploie 150 personnes avec une superficie de 2 hectares qui bénéficie d'une politique salariale attractive et des possibilités de formation continue

LESAFFRE Maroc fabrique et commercialise de la levure et des améliorantes de panification : les marques « **Jaouda** » en levure fraîche, « **Rafiaa** » en levure sèche, « **Nevada** » en levure sèche réservée à l'export vers la Tunisie, les améliorants de panification « **Ibis** » et « **Migimax** », ainsi que les arômes.

Bénéficiant de l'expertise et du savoir-faire, le groupe **LESAFFRE** Maroc possède un laboratoire d'analyse qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et bactériologiques.

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

Enfin, une sensibilisation permanente des salariés de l'entreprise aux principes et règlements relatifs à l'hygiène permet de respecter les normes bactériologiques rigoureuses.

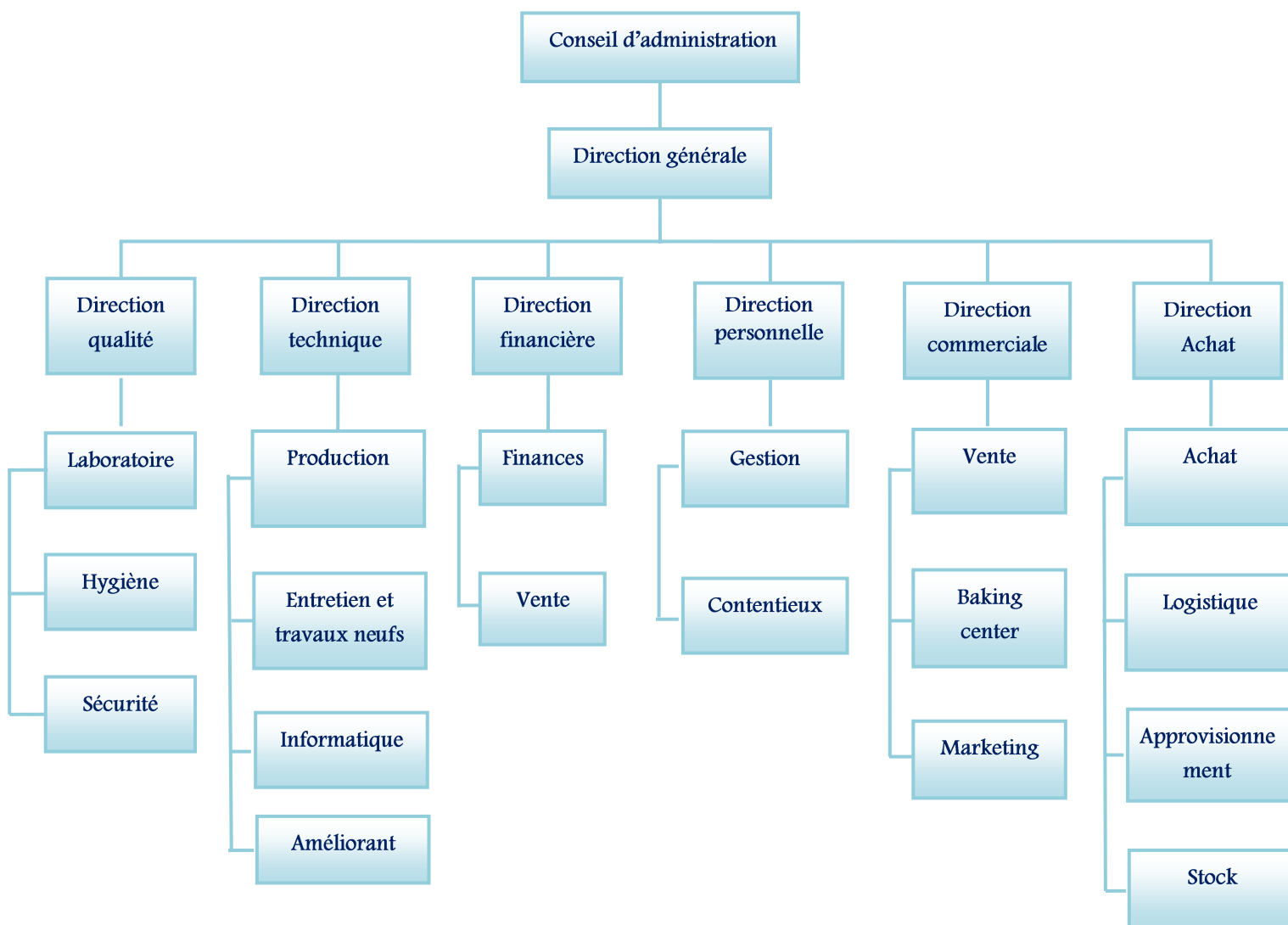
Entre 1993 et 2004, l'entreprise a investi 200 millions de dirhams dans la modernisation de ses outils de production.

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

En 2006 la société **LESAFFRE** installe une nouvelle station de traitement de mélasse, et un nouveau laboratoire moderne très sophistiqué.

## ***Organigramme LESAFFRE***

L'organigramme ci-dessous résume la voie hiérarchique de la société



# ***Chapitre 2***

## ***Procédé de fabrication de la levure de boulangerie***

## ***La levure de boulangerie***

### **Généralités**

Une levure est un champignon unicellulaire apte à provoquer la fermentation des matières organiques animales ou végétales. La levure est employée pour la fabrication du vin, de la bière, des alcools industriels, des pâtes levées et d'antibiotiques la figure 1 représente photographie au microscope optique de cellules de levures boulangerie.[1]

La dénomination **levure** découle de l'observation de fermentation et tout particulièrement celle, qui a lieu durant la fabrication du pain : on dit communément et depuis longtemps que le pain lève. Ce n'est pas, à proprement parler, une dénomination scientifique actuelle. Mais l'importance des levures dans le domaine des fermentations conduit à conserver ce terme générique qui continue à être correctement perçu. L'homme a toujours utilisé la levure au cours de l'Histoire. Il y a 5000 ans les Égyptiens l'utilisaient déjà pour fabriquer leur pain, mais ils ignorent le processus de fermentation. Il a fallu attendre 1857 pour que Louis Pasteur prouve et explique dans "Mémoire sur la fermentation alcoolique" que les levures étaient des organismes vivants (effet Pasteur). [2]

Il existe plusieurs types de levure, mais le terme courant de levure désigne généralement le genre *Saccharomyces* (levure de bière ou levure de boulangerie) ce nom a été donné à la levure en 1838 par Meyer. [3]



Figure 1 : Photographie au microscope optique de cellules de levures (x 1000).

## Mode de vie de la levure

### Développement de la levure

Pour son développement, la levure de boulanger a besoin de composés carbonés source de carbone et d'énergie, de composés azotés réduits sous forme d'ammonium, d'éléments minéraux variés, vitamines et facteurs de croissance.

La levure a la particularité de pouvoir vivre en présence ou en absence d'air : ces deux processus énergétiques sont la respiration et la fermentation. Elle se nourrit de glucose et de fructose (sucres simples).

En présence d'air, la levure respire : elle dégrade les sucres simples (en C6) présents dans son milieu de vie, par un métabolisme oxydatif qui conduit à la formation d'eau, de gaz carbonique et une grande quantité d'énergie (vie, croissance et Multiplication).

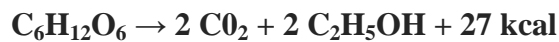
Respiration aérobie :



**Glucose + Oxygène → Eau + Gaz carbonique + Energie**

Cette voie métabolique est très énergétique et permet aux cellules une importante multiplication.

En l'absence d'air, la levure fermente : grâce à ses enzymes (zymases), elle dégrade les sucres simples (en C6) présents dans son milieu de vie, par un métabolisme fermentatif qui conduit à la formation du gaz carbonique, d'alcool et une faible quantité d'énergie. Ce métabolisme fermentatif moins énergétique que le métabolisme oxydatif, affecte la multiplication cellulaire, mais a l'avantage de permettre à la levure de survivre même en anaérobiose.



**Glucose → Gaz carbonique + Ethanol + Energie. [4]**

## **Paramètres influençant l'activité des levures**

### **Hydratation**

L'eau facilite l'activité de la levure en améliorant la mobilité de ses cellules, en dissolvant les constituants fermentescibles et en assurant le contact entre les enzymes et le substrat.

### **pH**

La plage optimale de pH pour l'activité des levures se situe entre 4,6 et 6. [5]

### **Concentration en alcool**

L'augmentation de la concentration en alcool (Ethanol) au cours de la fermentation freine progressivement l'activité de la levure.

## **Forme de levures**

### **Levure sèche instantanée**

Apparue dans les années 1970. Ce type de levures sèches ne nécessite aucune phase de réhydratation avant son utilisation.

Son activité fermentaire est plus élevée que celle de la levure sèche à réhydrater en raison de son pourcentage en azote plus élevé. Une modification au niveau de la souche de levures a en effet permis d'obtenir une levure dont la composition en azote est plus élevée.

Elle peut se conserver longtemps à température ambiante, jusqu'à 1 an et d'être stable malgré les variations de température.

Avant son séchage, un émulsifiant (Mono stéarate de sorbitan E491) est ajouté à la levure afin de faciliter sa réhydratation.

### **Levure fraîche**

La **levure fraîche** se présente généralement sous forme pressée. Très friable, elle s'incorpore facilement dans le pétrin après avoir été délayée dans un liquide tiède (25° C). Elle stockée au froid entre 0 et 10°C, conserve ses propriétés. La température optimale étant située aux alentours de 4°C et peut se conserver un mois.

### **Levure sèche active**

La **levure sèche active** contient très peu d'eau, elle est séchée sous vide à basse température. Cette caractéristique la rend très stable, résistante pendant les transports et se conserve très bien dans un endroit frais et sec (jusqu'à 6 mois).

### **Levure chimique**

La **levure chimique** appelée aussi **poudre levant** (Figure 2) fine poudre blanche qui réagit au contact d'un liquide et de la chaleur formant du gaz carbonique qui fait lever la pâte cette levure n'est pas un produit vivant. Il s'agit d'un mélange de bicarbonate de sodium ( $\text{NaHCO}_3$ ), de pyrophosphate de sodium ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) et de farine de froment qui lorsque les conditions d'humidité et de chaleur sont réunies, réagissent et provoquent une émission de  $\text{CO}_2$ . Avec la poudre à lever le dégagement de gaz se fait pendant la cuisson. [6]



Figure 2: levure chimique.

### ***Procédé de fabrication des levures par les biotechnologies***

La production de levures de boulangerie commerciale s'effectue à partir de souches de levures qui vont subir une série de culture dans des volumes de plus en plus grands pour produire une grande quantité de cellules vivantes. De la phase laboratoire aux cuves industrielles, il favorise la multiplication des cellules dans des conditions optimales (mélasse, température, pH...). Les souches de levures sont des individus uniques. C'est l'association de levures sélectionnées et de procédés industriels spécifiques qui permet d'obtenir des produits performants et adaptés aux attentes des utilisateurs.

## Fermentation de la levure

### Echelle de laboratoire

#### 1- ensemencement

Chaque mois, la société **LESAFFRE Maroc** importe de l'usine mère en France deux souches pure de « *Saccharomyces cerevisiae* » non génétiquement modifiée sous forme lyophilisée, une pour la levure fraîche et l'autre pour la levure séchée. On en prépare 60 tubes par moi, 30 pour la levure fraîche et 30 pour la levure sèche (un tube par jour).

Cette préparation s'effectue au laboratoire dans des conditions de stérilité stricte pour éviter tout risque de contamination.

La première étape est la culture en ballon, elle sert à ensemencer dans un ballon de culture (vanleare) de 250 ml (figure 3), qui contient tous les nutriments avant stérilisation. Lorsque la quantité des nutriments est plus suffisante, le contenu de valeare est versé dans un autre cône plus grand appelé « carlsberg » préalablement préparé et stérilisé où la levure poursuit sa multiplication.

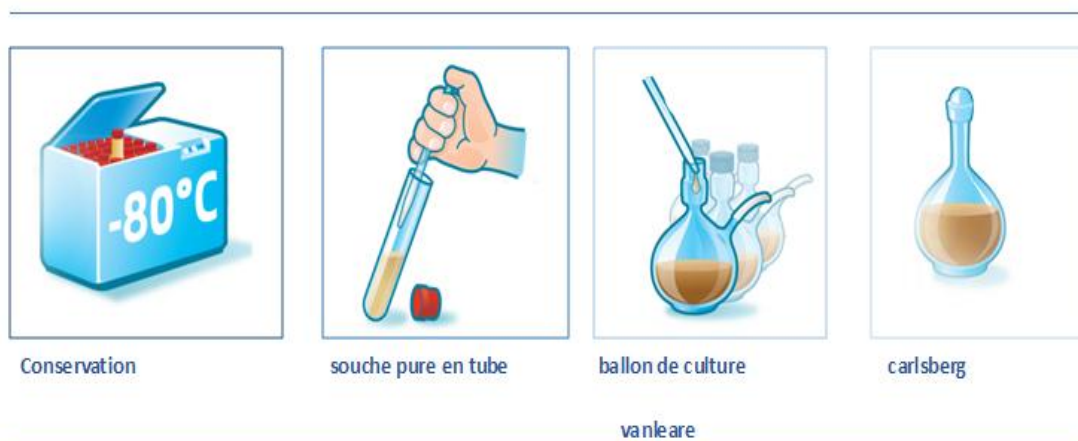


Figure 3: ensemencement de la souche de levure au laboratoire.

#### 2- Fermenteur de 800 litres

Le contenu de carlsberg est mis dans un fermenteur de 800 litres, dans lequel la levure commence pour la première fois à s'adapter à la mélasse comme milieu nutritif, stérilisé est préparé préalablement.



## **Echelle industrielle**

### **1- pré fermenteur**

Le contenu de fermenteur de 800 litres est versé à partir des canalisations dans le pré fermenteur contenant initialement de la mélasse, des sels nutritifs, de l'eau, traces des éléments (oligo-éléments et vitamines) et l'acide sulfurique (pour régler le pH)... Ensuite l'eau et la mélasse, l'O<sub>2</sub> ainsi que les sels nutritifs sont introduites dans le fermenteur progressivement, de manière à ce que les sucres ne s'accumulent pas dans le milieu. La fermentation se termine lorsque la capacité du fermenteur est atteinte (entre 14 et 16 h).

### **2- fermenteur**

A la fin de la préfermentation on obtient un moût qui servira à ensemercer le fermenteur avec un milieu nutritif bien spécifique et après 14 à 16 heures de fermentation, on obtient la levure mère qui va subir une séparation puis un stockage.

La levure mère obtenue va encore servir à la fermentation, par un ensemencement pour donner naissance à une levure commerciale.

### **3- Séparation et stockage**

Les cellules de levure sont séparées du moût dans des séparateurs centrifuges, on obtient un liquide blanc-cassé dense « la crème » qui repart vers les fermenteurs : c'est la levure mère, qui, après fermentation, subit une autre séparation pour donner la crème de la levure commerciale cette crème obtenue est stockée dans des cuves à une température de 4°C. En vu de maintenir pH=2 pour éviter toute contamination par des bactéries pathogènes on ajoute de l'acide sulfurique.

### **4- Filtration et emballage de la levure fraîche**

La filtration se fait à l'aide d'un filtre rotatoire sous vide contenant une couche filtrante d'amidon (figure 4). Sous l'action du vide, l'eau traverse la pré-couche et la levure se dépose sur celle-ci sous forme de gâteau. Un lavage est fait sur le gâteau obtenu par un liquide approprié toujours sous vide pour éliminer de l'eau et des sels, Une fois devant le couteau

racleur, le vide cesse, l'air comprimé est envoyé à contre-courant par la valve de distribution facilitant le décrochage du gâteau. La levure sous forme de gâteau, tombe dans des trémies où elle est mélangée à une huile alimentaire (lubrifiant) qui rend sa couleur plus claire. L'emballage 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 a à la fin un produit fini sous forme de paquets de poids de 500 g, qu'on met en cartons disposés sur des palettes de manière à avoir un vide entre eux pour faciliter la circulation d'air froid.



Figure 4: Filtre rotatif utilisé pour la filtration de la crème.

## 5- Filtration et emballage de la levure séché

La crème destinée à la fabrication de la levure sèche a un pH acide et une conductivité élevée qui mènent à un bon séchage. Après déshydratation de la crème, le gâteau obtenu passe dans une vis-sans-fin, qui le fait monter vers la boudineuse où il est mélangé à un émulsifiant qui fait blanchir la levure et rend ses cellules plus résistantes. Ensuite, il y a formation d'un râpé qui descend dans le bol des sécheurs à lit fluidisé.

Il y a 2 types de levures sèches :

- La SPH (levure sèche active), sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ quatre heures pour une quantité de 400 kg à 500 kg et s'effectue à 45°C. Elle est séchée de manière à obtenir 93 à 94 % de matière sèche. Ce type de levures sèches nécessite une phase de réhydratation avant son utilisation. Son emballage se fait sous air.
- La SPI (levure sèche instantanée) Sous forme de bâtonnets a une durée de séchage réduite, durant 20 min environ pour une quantité de 1000 kg. Elle est caractérisée par une force fermentaire supérieure à celle de la SPH. Cette levure est séchée de manière à obtenir 95 à 96

% de matière sèche. Ce type de levures sèches ne nécessite aucune phase de réhydratation avant son utilisation. Son emballage se fait sous vide ou sous azote.

## Préparation de la mélasse

### Généralités

La mélasse est un coproduit de sucre obtenue à partir de la betterave et de la canne à sucre, sous forme d'un sirop très épais et visqueux, moins calorifique que le saccharose, contenant de la vitamine B et des minéraux (calcium, potassium, fer, cuivre,...), contrairement au sucre blanc cristallisé.

C'est une matière première entrante dans la production de levure de panification. La mélasse contient beaucoup de sucre (50% de sucre) contenant également 35 % de composants non-saccharifères et 15% d'eau. La levure utilise le sucre comme source de carbone ainsi que d'autres composants de la mélasse (vitamine B6...

Tableau 1: composition chimique des mélasses de betterave et de canne à sucre [6]

	mélasse de betterave	Mélasse de canne à sucre
<b>Matière sèche (%)</b>	<b>73</b>	<b>73</b>
<b>Matières minérales (% MS)</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>Matières azotées totaux (% MS)</b>	<b>15</b>	<b>6</b>
<b>Saccharose (% MS)</b>	<b>63.5</b>	<b>45.5</b>
<b>Calcium (g/kg MS)</b>	<b>3.7</b>	<b>7.4</b>
<b>Phosphates (g/kg MS)</b>	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>
<b>Potassium (g/kg MS)</b>	<b>82</b>	<b>40</b>

La mélasse de la canne est plus riche en calcium et phosphate mais elle est pauvre en saccharose. C'est pour cette raison qu'on ajoute seulement 12 % de mélasse de canne pour

La mélasse appauvrie de phosphore et d'azote, nécessite un apport pour pallier ce manque, ces sels nutritifs comprennent :

**-L'urée et les sulfates d'ammonium** : sont une source d'azote nécessaire pour la production des enzymes et des protéines cellulaires.

- **Les phosphates** : sont une source de phosphore qui peut également apporter de l'azote (phosphate d'ammonium). Le phosphore est nécessaire pour la production d'énergie et la phosphorylation membranaire.

Le traitement des sels nutritifs au sein de la société LESAFRE Maroc se fait dans une station spéciale où ils subissent une filtration pour éliminer les impuretés, puis une désinfection par l'eau de javel avant d'être envoyés vers les fermenteurs.

### **Description de la station de traitement de la mélasse**

La mélasse a l'inconvénient d'être très visqueuse et ce d'autant plus que la température est basse, on procède à un traitement de la mélasse par sa dilution jusqu'à l'obtention d'une densité de 1.2 kg/l puis épuration de la solution diluée par centrifugation afin d'enlever les particules solides et de stériliser la solution diluée à 130°C (température de stérilisation) pour éliminer tous les micro-organismes. La figure 5 décrit la station de traitement de la mélasse.

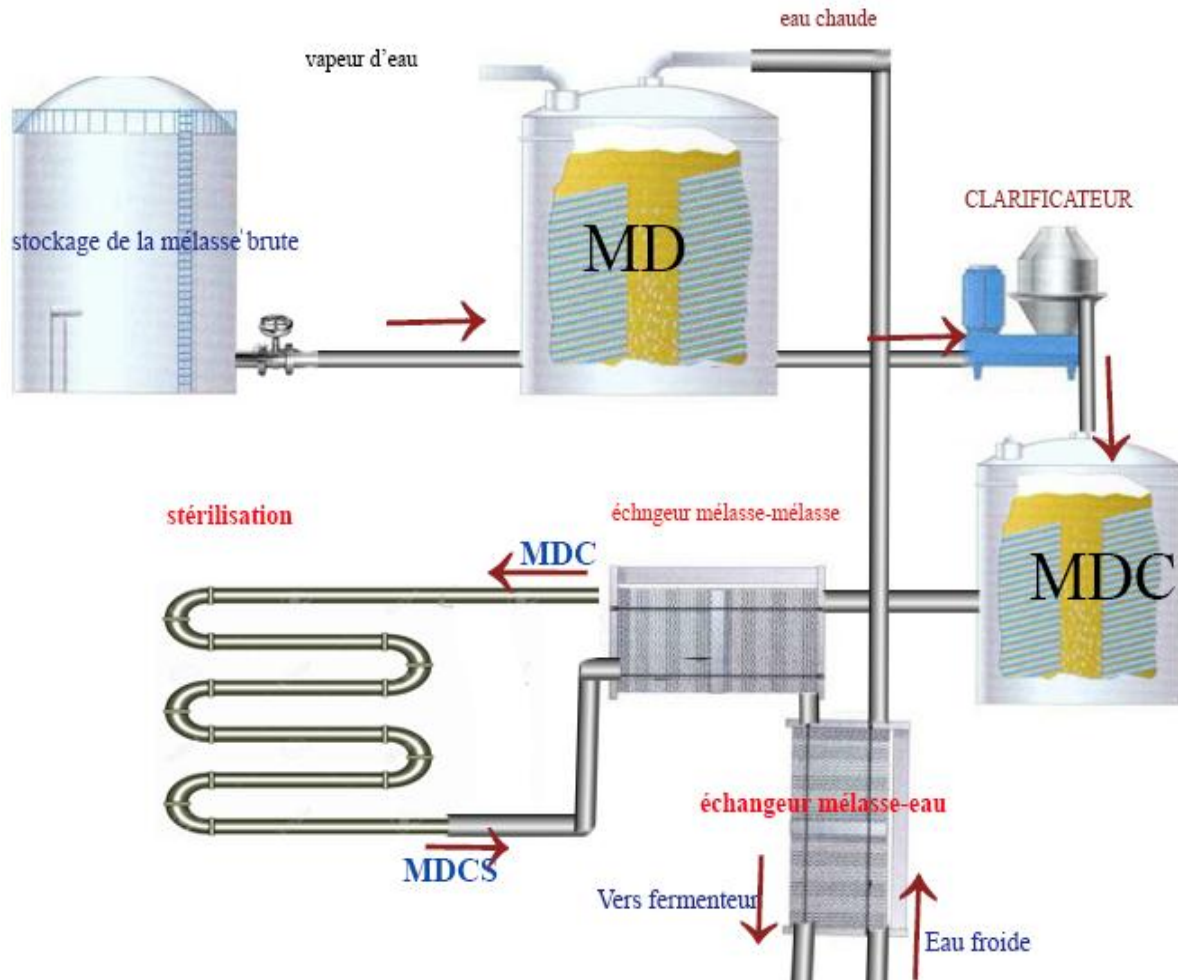


Figure 5: Schéma Général de la station de traitement de la mélasse.

## Clarificateur



Figure 6: photo d'un clarificateur

Les séparateurs sont utilisés pour la séparation mécanique et la clarification des mélanges comprenant des solides et des liquides. Les séparateurs utilisés dans la station de traitement de la mélasse sont adaptés pour séparer des particules solides ultrafines à partir d'un liquide (séparateur de clarification). En outre, ces séparateurs sont appropriés pour la séparation des mélanges de liquides ayant des densités différentes.

## Echangeur



Figure 7: échangeur à plaques utilisé dans la station de traitement de la mélasse.

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.

Dans la station de traitement de la mélasse, la société LESAFFRE Maroc utilise des échangeurs de type « échangeur à plaques ». Un échangeur à plaques, schématisé dans la

figure 8 est composé d'un grand nombre de plaques disposées en forme de millefeuilles et séparées les unes des autres d'un petit espace (quelques millimètres) où circulent les fluides.

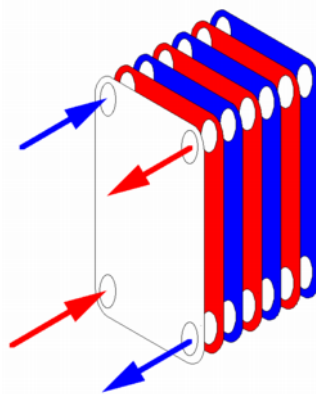


Figure 8: Schéma d'un échangeur à plaques.

L'avantage de ce type d'échangeur est sa simplicité qui en fait un échangeur peu coûteux et facilement adaptable par ajout ou de retrait de plaques afin d'augmenter ou de réduire la surface d'échange en fonction des besoins. [6]

### 1- Dilution

Avant d'arriver à la station de traitement, la mélasse est stockée dans 7 tanks (quatre pour la mélasse issue de betterave et les trois autres pour celle de la canne), une homogénéisation assurée par des pompes est nécessaire.

Dans la cuve de dilution on introduit 51% de la mélasse brute (88% de betterave et 12 % canne) et 49% d'eau. En ajoute de la vapeur d'eau (160 °C). La température nécessaire pour la dilution est de l'ordre de 50 à 60 °C.

### 2- Clarification

La clarification de la mélasse diluée est basée sur la différence de densités entre la mélasse et de la boue, en exploitant l'accélération terrestre ou centrifuge. Lors de la centrifugation, les composants les plus denses, se déposent en périphérie du bol en rotation.

### **3- Stérilisation**

Avant la stérilisation, la mélasse MDC passe par échangeur à plaques, où elle circule à contrecourant avec la mélasse diluée clarifiée stérilisée MDCS, ce contact permet un préchauffage du MDC, et sa température augmente de 51°C à 82°C.

La mélasse diluée clarifiée (MDC) est stérilisée par injection de vapeur. La stérilisation est effectuée au moyen d'appareil à pression de vapeur d'eau appelé le stérilisateur. La vapeur est injectée sous pression de 3,5 bars, le contact direct de la vapeur et la mélasse MDC permet l'augmentation de la température de ce dernier de 82°C à 127°C température de (stérilisation).

A la sortie du stérilisateur, un dispositif électronique permet de contrôler la température de la MDCS. Si la température est inférieure à 120 °C, la MDCS est renvoyée à la cuve de stockage de la MD.

La mélasse diluée clarifiée stérilisée repasse dans l'échangeur mélasse-mélasse pour effectuer un réchauffement de MDC qui va entrer au stérilisateur, puis sort de cet échangeur à une température de 63 °C qui permettant l'élévation de la température de l'eau froide dans l'échangeur mélasse-eau.



# ***Chapitre 3***

## ***Partie pratique***

## ***Bilan thermique de la station de traitement de la mélasse***

L'industrie est un secteur particulièrement concerné par la problématique de réduction de la consommation énergétique. Cette consommation est responsable de près de 21% des émissions de gaz à effet de serre [6], elle crée une dépendance énergétique et des charges toujours plus conséquentes pour les industriels. Au Maroc la consommation du secteur de l'industrie représente près de 21,5 % du total de la consommation énergétique finale du pays. [7]

Dans un contexte de crise industrielle et de compétition toujours plus accrue, la maîtrise de consommation énergétique représente pour l'industrie un réel enjeu de compétitivité. Au-delà des questions environnementales et des obligations réglementaires, l'optimisation des pertes énergétiques est donc un levier pour dynamiser le secteur.

Dans cette partie, dans un premier temps j'ai calculé le bilan thermique de la station de traitement de la mélasse, en tenant compte les deux échangeurs mélasse-mélasse et mélasse-eau, puis j'ai fait les mêmes calculs sans échangeurs.

On note  $\Phi$  les flux de chaleur de dans l'étape avec échangeur et  $\Phi'$  sans échangeur.

### **Calcul du bilan thermique avec échangeurs**

#### **Délutions**

L'échangeur mélasse-eau, permet d'enlever la température de l'eau de 23.3 °C. La mélasse brute est introduite dans le bac de délutions à une température de 22,9 °C, et à débit massique  $D_M$  10,45 t/h à 51% (88% Betterave  $d=9,2$  t/h et 12% canne à sucre  $D=1,25$  t/h) à laquelle on ajoute 49% d'eau à  $T_{ec}= 48.7$  °C.

Le débit de l'eau nécessaire est

Selon la règle de trois

$$10,45 \rightarrow 51 \%$$

$$D_{ec} \rightarrow 49 \%$$

Donc 
$$D_{ec} = \frac{49 \times 10,45}{51} = 10,04 \text{ t/h}$$

Sachant que les chaleurs massiques de la mélasse diluée et de l'eau sont :

$$C_{pM}=0,85 \text{ kcal.kg}^{-1} \text{ et } ^\circ\text{C}^{-1}, C_{pe}=1 \text{ kcal.kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}.$$

La température finale de mélange eau-mélasse  $T_F$  est donnée est par la relation :

$$T_F = \frac{D_{ec} \cdot C_{pe} \cdot T_{ec} + D_M \cdot C_{pM} \cdot T_M}{D_{ec} \cdot C_{pe} + D_M \cdot C_{pM}}$$

$T_{ec}$  : température de la mélasse.

$T_M$  : température de l'eau chaude.

$D_{ec}$  : débit de l'eau chaude.

$D_M$  : débit de la mélasse brute.

$C_{pM}$  : capacité calorifique de la mélasse brute

$C_{pe}$  : capacité calorifique de l'eau.

$$T_F = \frac{1 \times 10,04 \times 48,7 + 0,85 \times 10,45 \times 22,9}{10,04 \times 1 + 0,85 \times 10,45}$$

$$T_F = 36,58 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La température de dilution est de  $53 \text{ } ^\circ\text{C}$ , on souhaite calculer le flux de chaleur fournie par la vapeur injectée  $\Phi_D$ , qui permet de lever la température de mélange mélasse-eau au cours de ce procédé de  $T_F = 36,58 \text{ } ^\circ\text{C}$  à température de dilution  $T_D = 53 \text{ } ^\circ\text{C}$ . en considérant qu'il n'y a pas de pertes thermiques :

$$\Phi_D = D_{MD} C_p \Delta T$$

Avec :

$\Phi_D$  : flux de chaleur

La capacité calorifique  $C_p$  de mélange mélasse-eau est donnée par la relation :

$$C_p = \% C_{pM} + \% C_{pe}$$

$$C_p = 0,51 \times 0,85 + 0,49 \times 1$$

$$C_p = 0,923 \text{ kcal.kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Le débit massique à la sortie de la cuve de la mélasse diluée est :

Sachant que la masse volumique de mélange est  $\rho_{MD} = 1,2 \text{ kg/l}$ .

La relation entre le débit massique  $D_m$  et débit volumique  $D_v$  est :

$$D_M = D_v \cdot \rho = 15,6 \text{ t/h}$$

$$\Phi_D = 0,923 \times 15,6 (53 - 36,58)$$

$$\Phi_D = 232540,62 \text{ kcal}$$

## Stérilisation

L'échangeur mélasse-mélasse permet un transfert de chaleur entre la MDCS et la MDC, donc la température de la MDC passe de 51 °C (T de stockage) à 82 °C. On raisonne de la même façon comme pour la dilution, La MDC est entraînée dans le stérilisateur avec un débit  $D_{MDC} = 13 \text{ m}^3/\text{h}$ , grâce à la vapeur d'eau injectée sa température passe de  $T_{MDC} = 82 \text{ °C}$  à une  $T_{MDCS} = 127 \text{ °C}$  (température de stérilisation).

Le débit de la MDC ( $D_{MDC}$ ) est égal à  $11.5 \text{ m}^3/\text{h}$ , avec  $\rho_{MDC} = 1.2 \text{ kg/l}$ .

$$D_{MDC} = 13.8 \text{ t/h}$$

$$\Phi_S = D_{MDC} C_p \Delta T$$

$$\Phi_S = 13.8 \times 0.923 \times (127 - 82)$$

$$\Phi_S = 573183 \text{ kcal}$$

La somme des flux de chaleurs est :

$$\Phi_t = \Phi_D + \Phi_S = 573181 + 232540.62 \text{ kcal}$$

$$\Phi_t = 805721.62 \text{ kcal}$$

## Calcul de bilan thermique sans échangeurs

On calcule le bilan thermique en éliminant de deux procédés précédents les deux échangeurs mélasse-mélasse et mélasse-eau, et en considérant qu'il n'y a pas de pertes thermiques pour mesurer le gain apporté par l'utilisation des échangeurs de chaleur et l'efficacité de la température utilisée en fonction du temps et du débit.

## Dilution

On gardant les débits et température de la mélasse, et on introduit de l'eau froide au lieu de l'eau chaude.

Donc la température de l'eau froide est :  $T_{e,f} = 23.3 \text{ °C}$ .

$$C_p = 0.923 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$$

Le nouveau flux est donc :

$$T_F = \frac{1 \times 10.04 \times 23.3 + 0.85 \times 10.45 \times 22.9}{10.04 \times 1 + 0.85 \times 10.45}$$

$$T_F = 23.1 \text{ °C}$$

$$\Phi'_D = 0.923 \times 15.6 \times (53 - 23.1)$$

$$\Phi'_D = 430524.12 \text{ kcal}$$

## **Stérilisation**

Sans passer par l'échangeur mélasse-mélasse, la température d'entrée de la mélasse  $T_e$  est égal à 51 °C, et température de sortie  $T_s = 127$  °C,

On calcule le flux de chaleur fournit pour enlever la température de la MDC de 51 °C sans passer d'échangeur à  $T=127$  °C :

$$\Phi'_s = 13.8 \times 0.923 \times (127 - 51)$$

$$\Phi'_s = \mathbf{968042.4 \text{ kcal.}}$$

Le flux de chaleur total échangé est égal à :

$$\Phi'_t = \Phi'_D + \Phi'_s = \mathbf{968042.4 + 430524.12 \text{ kcal}}$$

$$\Phi'_t = \mathbf{1\ 398\ 566.52 \text{ kcal}}$$

## **Consommation en Fioul**

Le fioul, (mazout ou fuel) est un combustible dérivé du pétrole, utilisé notamment dans les chaudières. Le pouvoir calorifique d'un kg de fioul est de : 9649 kcal.

On calcule la consommation de fioul dans le procédé de traitement de la mélasse avec et sans échangeurs, pour déterminer les gains en énergies apporter par l'installation des deux échangeurs mélasse-mélasse permettant de préchauffer la MDC avant d'être introduite dans la stérilisation et l'échangeur mélasse-eau qui permet d'échauffer l'eau froide introduite dans la dilution de la mélasse.

Avec échangeurs on a besoin de **805721.62** kcal, ce qui vaut **83.50** kg de fioul. Le prix du fioul est de **3.48** dirham le kg. Donc la consommation en fioul sans échangeurs est **290.6** DH/h. [ 8]

Le raisonnement est le même pour calculer la consommation en fioul pour le cas sans échangeurs.

Et on trouve la consommation en fioul sans échangeurs est : **504.40 DH/h**

Dans la station de traitement de la mélasse, beaucoup d'énergie est utilisée pour chauffer et stériliser la mélasse, la récupération et la réutilisation de cette énergie permet d'économiser **213.80** dirhams par heure.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre travail nous a permis d'apporter une contribution originale au développement des techniques utilisées au sein de **LESAFFRE Maroc** pour économiser de l'énergie.

Il nous a donné l'opportunité de travailler en groupe et d'échanger notre savoir-faire.

Durant ce stage nous avons essayé de :

- Prendre les mesures de débit et de température de la mélasse et de l'eau.
- Suivre les différentes étapes de traitement de la mélasse.
- Calculer les bilans thermiques avec et sans échangeur thermique.
- Calculer le gain énergétique et la consommation du fioul.

## **REFERENCES**

- 1 L'Encyclopédie visuelle des aliments - Page 658-659
- 2 Infectiologie et hygiène - Gestion des risques et soins infirmiers, page 36
- 3 <http://www.toutsurlalevure.fr>
- 4 L'œnologie (7e ed.) - Page 92
- 5 Traité d'œnologie - Volume 1 - Page 352
- 6 [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- 7 Tendances de l'efficacité énergétique au MAROC : projet MEDNER.
- 8 [www.yabladi.com](http://www.yabladi.com).

