



Licence Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

**Etude des pertes thermiques au niveau de la station de mélasse**

Présenté par :

◆ **EL Hatimy Adam**

Encadré par :

◆ **Mr H. FADLI** (Lesaffre)

◆ **Pr F. KHALIL** (FST)

**Soutenu Le 08 Juin 2016** devant le jury composé de:

- **Pr A. HAUDI**

- **Pr H. CHTIOUI**

- **Pr F. KHALIL**

**Stage effectué à Lesaffre**

**Année Universitaire 2015 / 2016**

## Remerciement

Je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères remerciements au **directeur** de la société Lesaffre pour m'avoir permis d'effectuer ce stage, je tiens à remercier mon encadrant de société, pour m'avoir accueilli au sein de son service **Mr. Fadli** le responsable de production de la société, et sa disponibilité tout au long des six semaines de stage.

Ainsi que **Pr. KHALIL** pour ses précieux conseils, sa grande patience afin de mener à bien ce travail, Sa sympathie et sa modestie nous font la plus grande estime.

Un grand merci à tous les enseignants du département génie chimique et à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail.

Finalement, je tiens à remercier les membres du jury **Pr A. HAUDI** et **Pr H. CHTIOUI** pour avoir eu l'extrême gentillesse de bien vouloir évaluer notre projet de fin d'études.

---

## **Dédicaces**

### ***A ma très chère mère***

*Honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

### ***A mon cher père***

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de votre vœux tant formulés, le fruit de votre innombrables sacrifices, bien que je ne te en acquitterai jamais assez.*

### ***A ma chère tante***

*Tu étais et tu resteras toujours une deuxième mère pour moi et mes frères, je te dédie ce travail pour tes sacrifices, tes soutiens et tes encouragements*

### ***A mes frères***

### ***A mes précieux amis***

### ***A tout ma famille***

### ***A la famille ALAMI***

***Adam***

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b>	1
<b>Présentation de la société</b>	2
I : Présentation de groupe lesaffre	3
II : Historique Groupe lesaffre	3
III : Historique lesaffre Maroc	4
III.1: Produit et marque	4
III.2: Organigramme de l'entreprise	5
<b>Chapitre I</b>	6
I : levure	7
I.1 : définition	7
I.2 : Développement de la levure	7
I.3 : Type de levure	8
I.4 : Paramètres influençant l'activité de levure	9
II : Chaine de production	10
II.1 : A l'échelle du laboratoire	10
II.2 : A l'échelle industrielle	10
1. Préparation de la mélasse	10
2. Les sels nutritifs	11
3. Fermentation	12
4. Filtration et conditionnement	13
<b>Chapitre III</b>	16
I : Généralité sur le bilan thermique	17
I.1 définition	17
I.2 bilan thermique simple	17
II : bilan thermique de la station de préparation de mélasse	18
II.1 dilution	18
II.2 : La stérilisation et échangeur à plaque (mélasse/mélasse)	22
II.3 : Refroidissement (eau/mélasse)	24
II.4 Evaluation des pertes thermiques et les gains a porté par les échangeurs en termed'énergie	24
<b>Conclusion</b>	25
<b>Référence</b>	26

---

## **Introduction générale**

Dans le cadre de mon projet de fin d'étude j'ai choisi d'effectuer mon stage au sein de la société Lesaffre Maroc.

Lesaffre Maroc et parmi le groupe Lesaffre qui est aujourd'hui leader mondial dans le domaine de la levure de panification et des extraits de levure.

Dans se stage j'ai eu l'occasion de découvrir le monde industrielle, son immensité et son développement.

Afin de mieux comprendre les conditions dans lesquelles s'est déroulé mon stage, je présenterai dans une première partie l'entreprise. Quant à la deuxième partie de ce rapport, elle est consacrée à la description du processus de fermentation adopté par la société et le procédé de traitement de la mélasse.

Dans la troisième partie, j'ai réalisé une partie pratique où j'ai fait un bilan thermique de la station du traitement de mélasse selon deux étapes :

- Calcul des quantités de chaleur dans les différentes étapes de traitement de la mélasse
- Evaluation des pertes thermiques et des gains apportés par les échangeurs en termes d'énergie.

## Présentation de la société

### I : Présentation de groupe lesaffre

C'est Groupe familial, né dans le Nord de la France en 1853, aujourd'hui multi-local et pluriculturel, Lesaffre s'engage à entreprendre avec confiance pour mieux nourrir et protéger la planète.

Proche de ses clients et de ses partenaires, Lesaffre emploie **9 300 collaborateurs** répartis dans plus de 70 filiales implantées dans une quarantaine de pays. Lesaffre réalise un chiffre d'affaires de plus d'**1,8 milliard d'euros** dont plus de 40% dans les pays émergents.

Ses produits sont distribués dans plus de 180 pays. Lesaffre Maroc fait partie de ce groupe par son siège qui se situe est situé au quartier industriel SIDI BRAHIM à Fès

### II : Historique Groupe lesaffre

L'histoire raconte qu'en **1853** deux frères Louis Lesaffre-Roussel et Louis Bonduelle-Dalle créent une distillerie d'alcool de grains et de genièvre à Marquette-lez-Lille.

Un premier moulin est acquis en **1863** à Marcq-en-Baroeul. Mais l'industrie de la levure démarre réellement en Autriche en **1867** avec le procédé Mautner. Ce procédé empirique consistait à préparer un moût de grains, de telle sorte que le dégagement gazeux entraînait la levure à la surface où elle était recueillie.

Lorsqu'en **1871** le baron autrichien Max de Springer, propriétaire à Maisons-Alfort près de Paris 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 ; Lesaffre & Bonduelle décident à leur tour en **1873** de développer la fabrication de levure fraîche à Marcq-en-Baroeul, à la place de l'ancien moulin. Mais contre toute attente en **1901** Les familles LESAFFRE et Bonduelle décident de poursuivre séparément leurs activités. L'entreprise est partagée en 3 branches : Lesaffre & Cie (alcool et levure) et Lesaffre Frères (sucrierie et distillerie). Bonduelle est aujourd'hui un acteur reconnu sur le marché du légume. Mais en **1910** L'usine de Marcq-en-Baroeul subit un grand incendie qui la détruit totalement, elle est reconstruite.**1923** avec la crise de l'alcool de grains, l'Etat français décide brutalement d'abaisser le prix, rendant sa production économiquement impossible. Une nouvelle matière

première pour la levure sera trouvée, la mélasse, moyennant quelques aménagements techniques.

De **1939-1945** Lors de la seconde guerre mondiale, Lesaffre met au point des produits à base de levure destinés à atténuer la pénurie alimentaire : production de la première levure sèche active. L'envolée vers l'international aura lieu entre **1963** et **2000** dont une implantation au Maroc.

### III : Historique lesaffre Maroc

Depuis sa privatisation en 1993, la société SODERS (créée en 1975) a été majoritairement détenue par le groupe Français LESAFFRE, renommée sous « LESAFFRE-Maroc ». Elle représente la première entreprise privatisée du Maroc bénéficiant de l'expertise du leader mondial dans la fabrication de la levure de panification.

La société a investi 10 millions de DH par an pour augmenter sa capacité de production à 30.000 tonnes, avec un effectif de 200 personnes et un capital de 30.800.000 DH, elle est subdivisée en un site de production à Fès et un BANKING CENTER à Casablanca, ce dernier site constitue une vitrine des produits Lesaffre où les boulangers peuvent suivre des formations et des démonstrations applicables à leur métier

#### III.1 Produit et marque

LESAFFRE-MAROC est spécialisée dans la fabrication de levure fraîche "levure pressée" conditionnée en pain de 500g et dans la production de levure sèche conditionnée en sachet de 50g, 125g et 500g. Ce dernier type se subdivise en deux produits :

- La SPI : levure sèche instantanée.
- La SPH : levure sèche à réhydrater.

Il fabrique et commercialise la levure fraîche sous la marque **Jaouda**, **Rafiaa** et **Nevada** pour la sèche.

Les améliorants de panification sont quant à eux commercialisés sous les marques **Ibis bleu** et **Magimix**. Tout ceci est produit, conditionné, stocké, contrôlé et distribué par une organisation d'entreprise bien ficelée

III.2 : Organigramme de l'entreprise

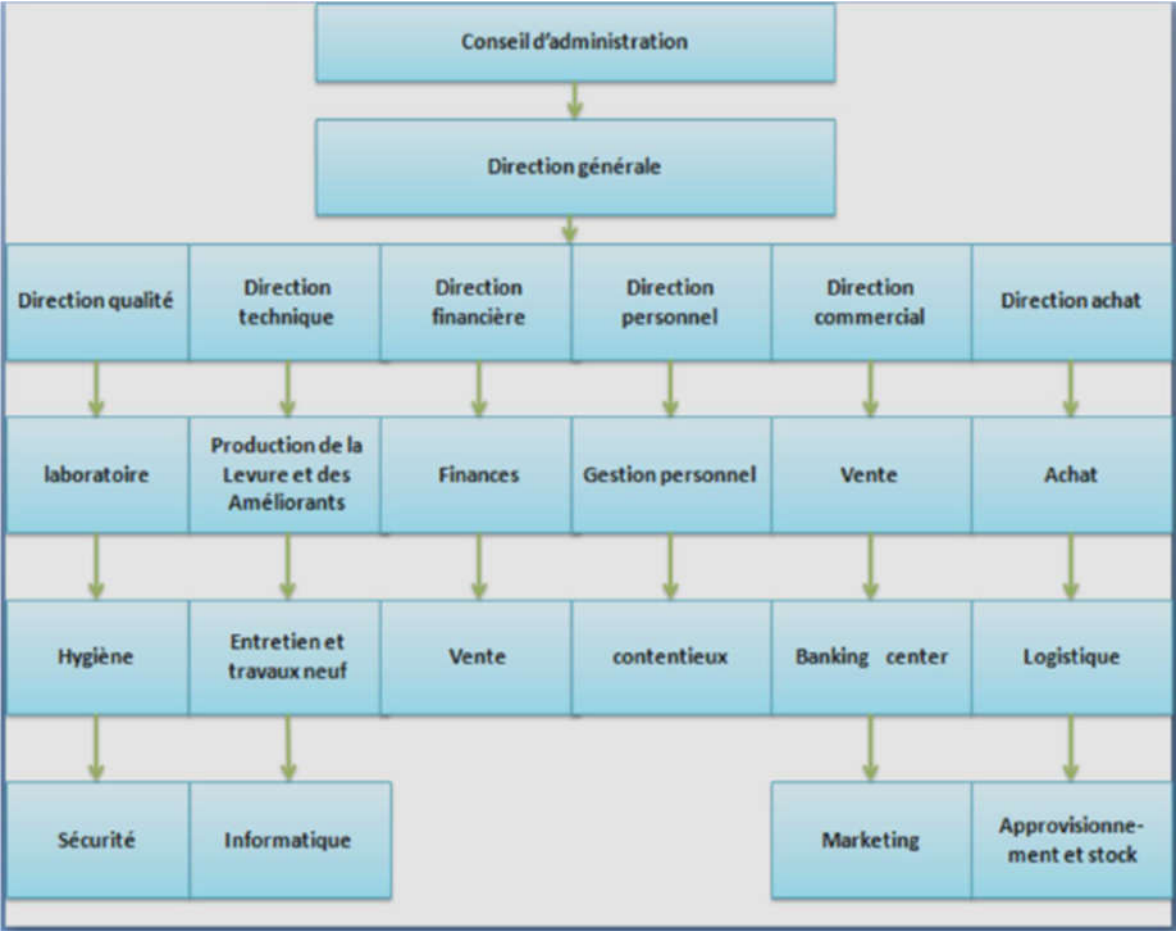


Fig.1 : Organigramme de la société « Lesaffre Maroc »



# *Chapitre I :*

---

## *Procédés de fabrication de la levure*

## I : levure

### I.1 : définition

La levure est un champignon microscopique, unicellulaire de forme ovoïde ou sphérique. La grande particularité de la levure est qu'il s'agit d'un **organisme vivant** !

Elles ont besoin d'air pour se multiplier, mais l'absence d'air n'est pas non plus sans conséquence sur son développement.

La levure est entourée d'une paroi cellulaire qui entoure sa membrane plasmique et protège la levure des agressions extérieures. Observez ce micro-organisme à la loupe

Cette paroi se compose :

- d'une couche externe de mannoprotéines, associés à des glucanes
- d'une couche interne de glucanes associés à de la chitine
- d'une membrane cytoplasmique riche en complexes protéiques.

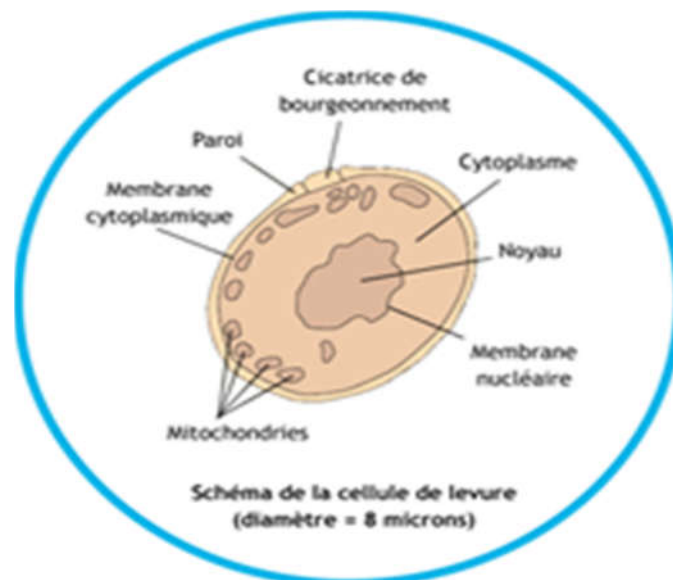
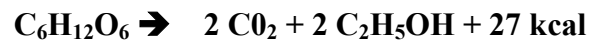


Fig.2 schéma de la cellule de levure

Les levures sont des organismes **eucaryotes**. Le noyau des cellules contient 16 chromosomes linéaires.

## I.2 : Développement de la levure

En anaérobiose (absence d'air), le sucre est en grande partie transformé en alcool au détriment de l'énergie libérée. C'est le cas de la panification. La levure ne trouve plus d'oxygène. Le sucre fourni par la farine est transformé en alcool (élevé à la cuisson) et en gaz carbonique, témoins du processus métabolique de la fermentation. Chez le boulanger, la levée de la pâte résulte de cette production de gaz carbonique. Là encore, de l'énergie est libérée, mais en faible quantité, suffisamment pour vivre mais pas pour se multiplier.



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



## I.3 : Type de levure

### a) Levure fraîche

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

### b) Levure sèche

La levure sèche est une levure fraîche déshydratée obtenue par séchage sous vide et à basse température. Elle est de conservation plus longue, avant emploi, il faut la délayer dans l'eau tiède pendant 15 min pour révéler les cellules de levure. Cette levure se présente sous forme

granulés ou de sphérules. Ce type de levure, vendu en sachets, se conserve 2 ans. La levure sèche peut être stockée à température ambiante.

#### I.4 Paramètres influençant l'activité de levure

##### **a) L'hydratation**

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

##### **c) Le pH**

La plage optimale de pH pour l'activité levurienne se situe entre 4,6 et 6.

Dans les pâtes ensemencées à la levure, le pH varie de 5,2 à 5,7.

##### **c) - La température**

L'augmentation de la température jusque 40°C accélère la fermentation des sucres par la levure. A partir de 50°C (début de la cuisson du pain), l'inactivation des levures commence. En boulangerie française, ils considèrent que la température optimale de fermentation se situe aux environs de 27°C, permettant un compromis entre la vitesse de fermentation (production de gaz) et la qualité technologique des pâtes (texture)

##### **d) La pression osmotique et la force ionique**

Le sel et les sucres augmentent la pression osmotique et modifient (diminuent) de ce fait l'activité levurienne. Cette augmentation de la pression osmotique conduit à la diffusion de l'eau intracellulaire vers l'extérieur de la cellule, donc à une déshydratation.

Les sucres cependant, à des doses inférieures à 10%, active la fermentation. D'autre part, la dissociation du sel dans l'eau (sous forme ionique Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>), contribue à diminuer les activités enzymatiques, donc le fonctionnement de la levure.

##### **e) La concentration en alcool**

L'augmentation de la concentration en alcool au cours de la fermentation auto freine progressivement l'activité levurienne.

## II : Chaine de production

### II.1 : A l'échelle du laboratoire

Le Biotech Center envoie mensuellement deux souches de *Saccharomyces cerevisiae* conserver à une température de  $-80^{\circ}\text{C}$  au laboratoire de la société où elle va effectuer l'ensemencement de ces souches dans des tubes « 60 tubes, 30 pour la fraiche et 30 pour la sèche » avec un milieu nutritif spécifique à la croissance des levure, cela dans des conditions aseptiques pour écarter tout risque de contamination, ensuite on prend le contenu du tube et on le met dans une fiole de 250 ml (van Lear) avec un milieu nutritif contenant le sucre, vitamines et sels pour Ceci rendra possible une première multiplication, puis le contenu est introduit dans un autre ballon de 7l (Carlsberg) où il se multiplie à nouveau et à une température de  $28^{\circ}\text{C}$  pendant 24h avec agitation pour l'aération de la levure.

On obtient donc une quantité de levure suffisante pour passer à l'échelle semi industriel qui se déroule dans une cuve de 800 litres.

### II.2 : A l'échelle industrielle

Les étapes de fabrication à l'échelle industrielle sont :

- La préparation de la mélasse et des sels nutritifs
- Phase de fermentation
- Phase de séparation et filtration
- Phase de conditionnement de la levure

#### 1. Préparation de la mélasse :

La **mélasse** est une mixture résultant du raffinage du sucre extrait de la betterave sucrière ou de la canne à sucre.

- **Dilution**

La mélasse brute de la canne et de la betterave stockée dans les tanks se mélange dans une cuve de dilution avec l'eau chaude et de la vapeur pour avoir de la mélasse diluée (MD).

La mélasse brute à diluer contient environ 80% et 2 % de canne.

- **Clarification**

La clarification est une opération de séparation qui consiste à séparer la mélasse diluée par centrifugation à l'aide d'un séparateur ou bien clarificateur. Le principe c'est d'éliminer les impuretés indésirables comme les bous par centrifugation. L'étape de clarification est précédée par une étape de filtration qui a le même but et elle est effectuée par un filtre à panier qui élimine toutes les grandes particules pour faciliter la clarification.

- **Stérilisation**

La mélasse diluée et clarifiée (MDC) est stérilisée par injection de la vapeur. La stérilisation est effectuée au moyen d'appareils à pression de vapeur d'eau. L'action conjuguée de la vapeur et de la température ( $T > 120^{\circ}\text{C}$ ) provoque la dénaturation des protéines des micro-organismes et la mort de ces derniers.

Dans cette étape, il y a deux paramètres à contrôler : la température dans le stérilisateur et le temps de contact d'où la nécessité d'adopter un barème (temps, température) convenable pour tuer les micro-organismes et pour préserver la valeur nutritionnelle de la mélasse.

Après elle passe dans l'échangeur de la température si la mélasse est  $> 120^{\circ}$  elle est dirigée vers le MDCS (Mélasse diluée clarifiée stérilisée) si non et repasse dans le stérilisateur.

Depuis le bac de la MDCS, la mélasse passe à travers un échangeur à plaques mélasse (120°C) / eau (20°C). La mélasse se refroidit ainsi que l'eau se réchauffe.

## 2. Les sels nutritifs

	<i>Capacité</i>	<i>Nb des sac</i>	<i>Eau</i>	<i>Densité</i>	<i>Eau jabel</i>
<i>Urée</i>	<i>25m<sup>3</sup></i>	<i>45</i>	<i>10000L</i>	<i>1.050</i>	<i>1L</i>
<i>Map</i>	<i>15m<sup>3</sup></i>	<i>50</i>	<i>10800L</i>	<i>1.055</i>	<i>1L</i>
<i>SA</i>	<i>7m<sup>3</sup></i>	<i>25</i>	<i>6000L</i>	<i>1.095</i>	<i>0.5L</i>

## Tab : Préparation des solutions des sels nutritifs

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

**Phosphate mono ammonium (MAP)** : sont une source de phosphore qui peut également apporter de l'azote (phosphate d'ammonium) de formule chimique  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ . Le phosphore est nécessaire pour la production d'énergie et la phosphorylation membranaire.

### 3. Fermentation

- **Pré-fermentation :**

Après la cuve 800L tout est versé dans un pré-fermenteur de 1500L avec les compositions suivantes :

La mélasse

Le phosphate

L'urée

Les sels minéraux

L'acide sulfurique pour maintenir le milieu à un pH entre 3,4 et 4,5

L'oxygène introduit par des soufflants de l'air qui joue 2 rôles :

- La respiration de levure
- L'agitation par barbotage pour économiser l'énergie

- **Fermentation de levure mère**

A la fin de pré fermentation, on obtient un moût qui servira à ensemer un fermenteur plus grand contenant un milieu nutritif bien spécifique. Après 16 à 18 h de fermentation, on obtient la levure mère qui va subir une séparation pour obtenir une crème.

- **Séparation de levure mère**

A fin de fermentation le contenu est donc passé au séparateur pour être séparer lui aussi avec une centrifugation pour donner deux phases, une solide (crème) qui sera stocker dans des cuve à 4°C, et une liquide qui sera jeter dans les égouts.

- Fermentation de levure commerciale

La crème stocké va subir la même fermentation que la levure mère pour donner une levure commerciale elle aussi sera stocké afin d'être séparé pour passer ensuite à la filtration

#### 4. Filtration et conditionnement

- *Levure fraîche*

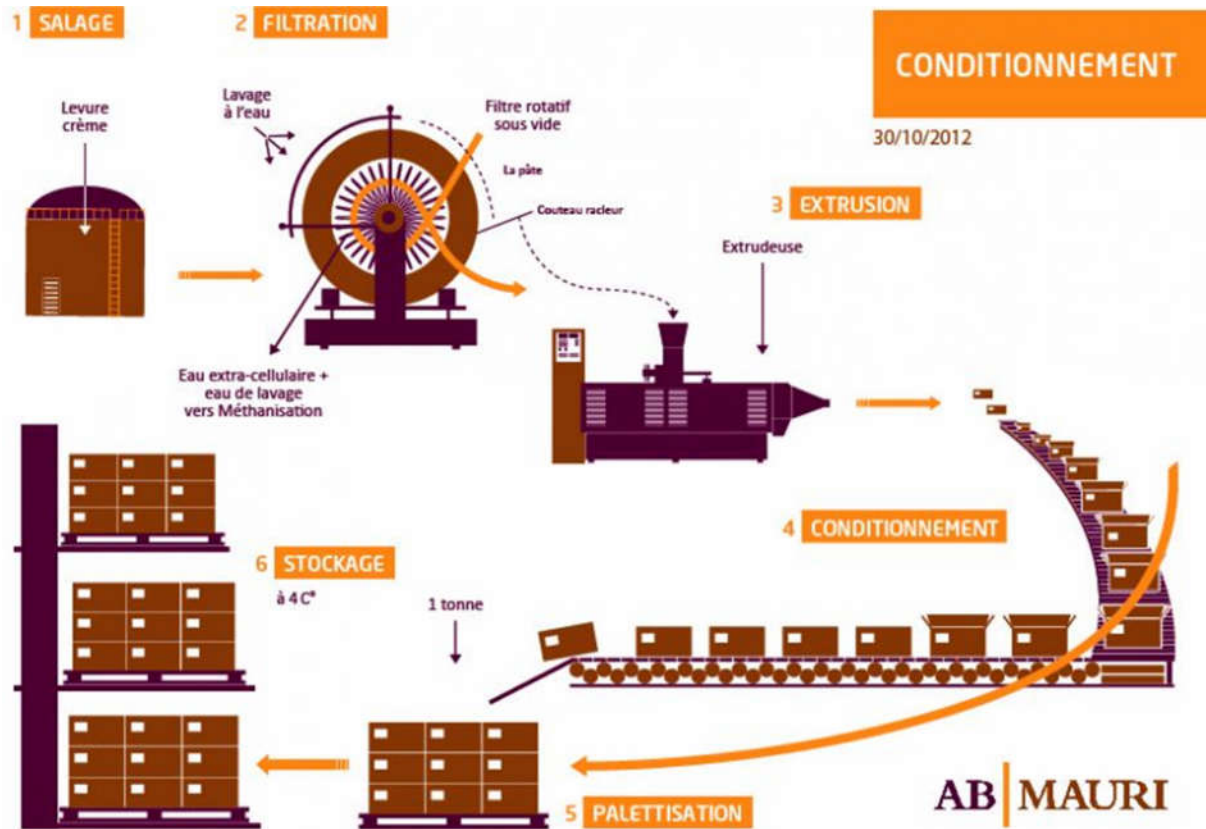


Fig.3 : Schéma de conditionnement de levure

La crème est passée dans un filtre à tambour (2) après être lavée avec de l'eau froide. Le filtre est recouvert avec un tissu ayant des pores très fins qui est recouvert lui aussi avec une couche d'amidon pour ne laisser passer que de l'eau et non les cellules de levure. Après la levure filtrée sera extrudée à l'aide d'une extrudeuse (3).



Ensuit il ya le conditionnement

Le gâteau de la levure fraiche passe par cette machine à fin d'avoir le produit fini sous forme des paquets de 500g envelopper par un emballage étanche de cellophane assurant sa bonne conservation, puis stocker dans des cartons, la levure est conservée en chambre froide dans le but de garder sa fraîcheur.

- **Levure sèche**

Il consiste à éliminer l'eau contenue dans la levure râpée obtenue après filtration.

A l'aide d'une grille de porosité connue, la levure est devenue sous forme de vermicelle, puis pour enlever la quantité maximale d'eau elle est transférée, par une conduite vibratoire, à des sècheurs à lit fluidisée. A cette étape on distingue deux types de levure sèche traitée différemment :

- **SPH** : nécessite un séchage à 45 °C pour environ 4 heures pour une quantité de 400 kg.
- **SPI** : nécessite une durée de séchage réduite, environ 20 min pour une quantité de 100 kg avec une température de 100 °C.

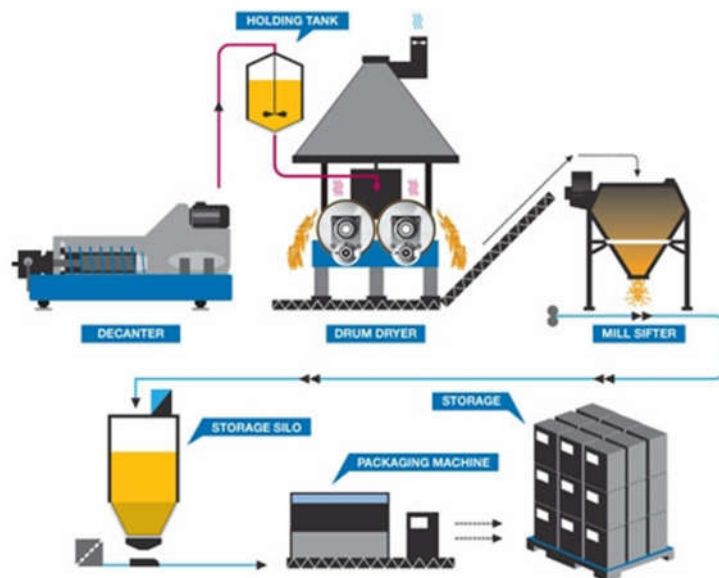


Fig.4 : Schéma de séchage de levure

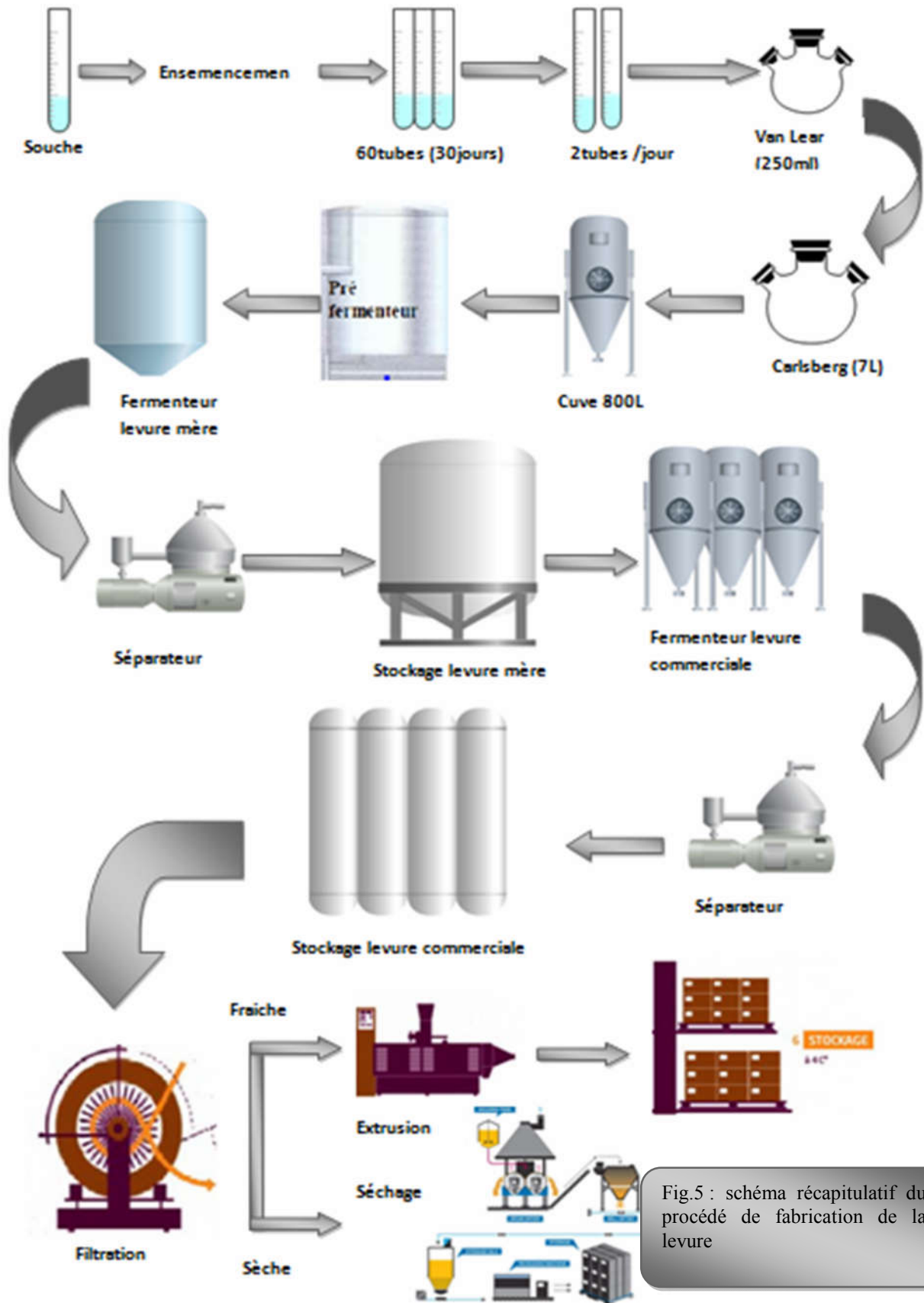


Fig.5 : schéma récapitulatif du procédé de fabrication de la levure

*Chapitre II :*

---

***Partie pratique***

Mon sujet consiste à calculer le bilan thermique au niveau de la station de préparation de la mélasse en étudiant :

- Quantité de chaleur au niveau de la dilution
- Quantité de chaleur au niveau de la stérilisation
- Quantité de chaleur au niveau des échangeurs (mélasse/mélasse et mélasse/eau)

Dans ce cadre, je vais d'abord donner quelque généralité sur le bilan thermique.

Ensuite présenter les résultats du bilan thermique.

## **I : Généralité sur le bilan thermique**

### **I.1 définition**

Le bilan thermique est un bilan des quantités de chaleur entrant et sortant dans une installation industrielle en tenant compte des transformations et changements d'état de la matière, c'est une opération très technique qui ne peut être effectuée que sur une installation fonctionnant en régime stable. Elle comprend un grand nombre de mesures (débits, températures, analyses des matières, gaz, et combustibles) sur une période continue, pour obtenir des résultats fiables.

### **I.2 bilan thermique simple**

Ce type de bilan peut être utilisé pour la plupart des procédés. On peut prendre l'exemple d'un échangeur de chaleur où circulent sans être en contact un fluide froid liquide et un fluide chaud à l'état de vapeur à l'entrée et à l'état de liquide refroidi à la sortie. Le fluide chaud subit donc un changement d'état (condensation par exemple). Le but recherché est de déterminer les pertes thermiques avec l'extérieur. On définit le système comme étant constitué du fluide froid et du fluide chaud dans leur traversée de l'échangeur. Les fluides froid et chaud sont respectivement définis par les grandeurs suivantes: débits massiques ( $Q'$  et  $Q$ ), chaleurs massiques moyennes ( $cP'$  et  $cP$ ) et températures d'entrée ( $T_e'$  et  $T_e$ ) et de sortie ( $T_s'$  et  $T_s$ ).  $l_c$  est l'enthalpie massique de condensation du fluide chaud à la température  $T_e$ .

On doit définir les flux de chaleur qui correspondent à des gains ou pertes d'énergie par unité de temps pour un fluide et sont donc des puissances thermiques exprimées en  $W$  ou souvent encore en  $\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}$ . Dans le cas le plus général le flux de chaleur s'écrit comme la somme d'un terme dû à une variation de température et d'un terme dû à un changement d'état.

On écrit pour chaque fluide  $\Phi$  et  $\Phi'$  les flux de chaleur respectivement perdu par le fluide chaud et gagné par le fluide froid:

$$\Phi = Q \cdot l_c + Q \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)$$

$$\Phi' = Q' \cdot c_p' \cdot (T_s' - T_e')$$

Et On doit bien remarquer que les différences de température s'expriment entre la température de sortie et la température d'entrée pour un procédé continu (entre la température finale et la température initiale pour un procédé discontinu). Les deux termes composant  $\Phi$  sont négatifs donc  $\Phi$  aussi.  $\Phi'$  est par contre positif.

Par application du principe de la conservation de l'énergie on écrit donc le bilan suivant:

$$\Phi + \Phi' = \Phi_{\text{pertes}}$$

Donc dans le cas où les pertes sont nulles ou négligeables, la somme des flux des différents fluides est null

## II : bilan thermique de la station de préparation de mélasse

### II.1 dilution

La mélasse brute de la canne et de la betterave stockée dans les tanks, sont mélangée dans une cuve de dilution avec l'eau chaude et de la vapeur pour avoir de la mélasse diluée (**MD**).

Sachant que la chaleur massique de l'eau, la mélasse diluée et la vapeur étant :

-  $C_p \text{ eau} = 4,180 \text{ kJ/kg.K}$

-  $C_p \text{ mélasse} = 3,223 \text{ kJ/kg.K}$

-  $C_p \text{ vapeur} = 4,185 \text{ kJ/kg.K}$

La Chaleur latente de condensation de la vapeur est donnée par la formule suivante

$L_c (100^\circ\text{C}) = -2257.92 \text{ kJ /kg}$

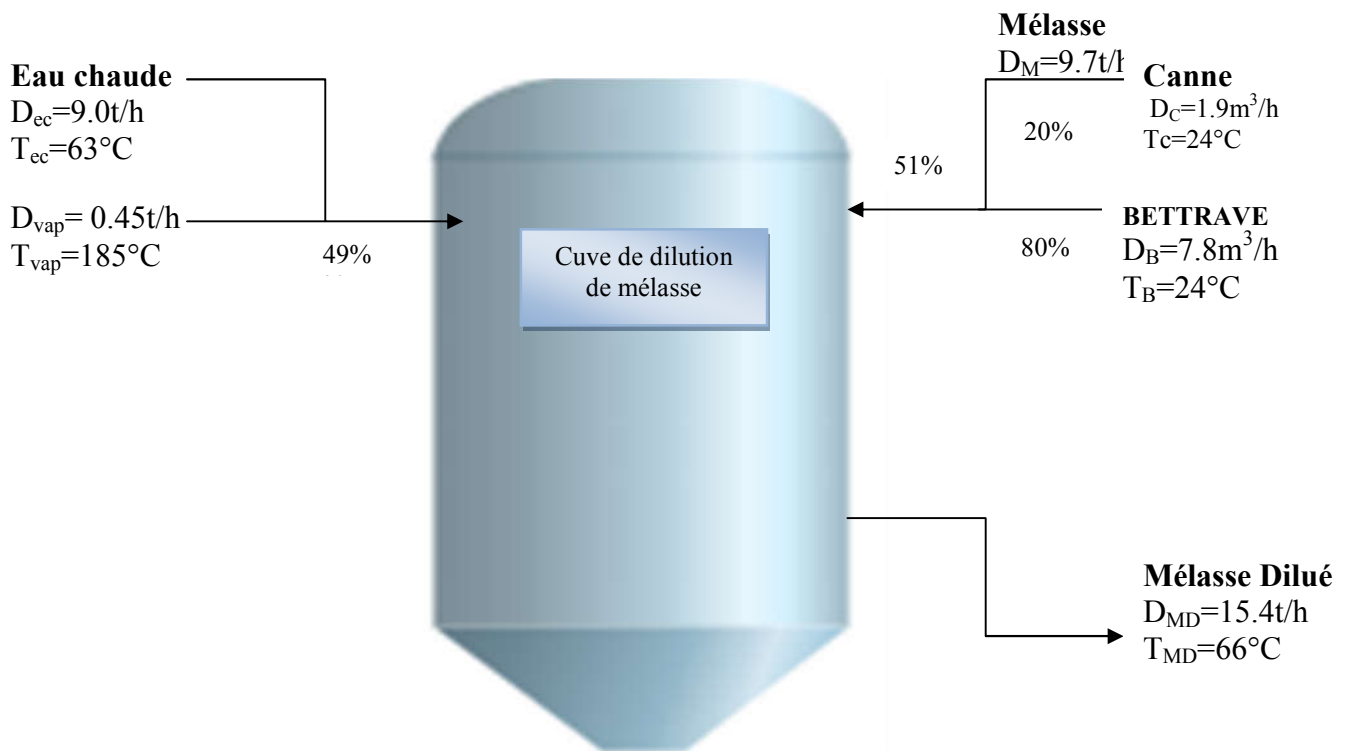


Fig.6 : Schéma de la cuve de dilution

Avec :

$D_{vap}$  : Débit volumique de vapeur ;  $D_M$  : débit volumique de la mélasse

$D_c$  : Débit volumique de canne ;  $D_B$  : Débit volumique de Betterave

$D_{MD}$  : Débit volumique de la mélasse diluée ;  $D_{ec}$  : Débit volumique d'eau chaude

Calcul thermique :

La température finale de mélange eau-mélasse est :

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

On trouve alors que

$$T_f = \frac{9 \times 1000 \times 4.185 \times 63 + 9.7 \times 1000 \times 3.223 \times 24}{9 \times 1000 \times 4.185 + 9.7 \times 1000 \times 3.223}$$

$$T_f = 45.31^\circ C$$

Le flux reçu par le mélange mélasse-eau pour passer sa température de  $T_e=45.31^\circ\text{C}$  à  $T_s=66^\circ\text{C}$  est donné par :

$$\Phi = D_m \times C_p \times \Delta T$$

Calcul de la capacité calorifique du mélange mélasse-eau

$$C_{pMD} = \%MD \times C_{pMD} + \%EC \times C_{pec}$$

$$C_{pMD} = 0.51 \times 3.223 + 0.49 \times 4.18$$

$$C_{pMD} = 3.96 \text{Kj/Kg.K}$$

- **Calcule le débit moyen mélasse-eau avant de l'injection de la vapeur :**

$$D_{\text{moy}} = \%(\text{M}) \times D_{\text{MB}} + \%(\text{eau chaude}) \times D_{\text{ec}}$$

$$D_{\text{moy}} = 0.51 \times 9.7 + 0.49 \times 9$$

$$D_{\text{moy}} = 9.36 \text{ tonne/h}$$

Calcul de flux reçu :

$$\Phi = D_m \times C_p \times \Delta T$$

$$\Phi_{\text{reçu}} = \frac{9.36 \times 1000}{3600} \times 3.96 \times (66 - 45.31)$$

$$\Phi_{\text{reçu}} = 213 \text{KW}$$

- **L'injection de vapeur qui subit un changement d'état (condensation), le flux de chaleur cédé s'effectue en trois transformations (vapeur, changement de phase et liquide)**

- On 3 transformations :

- vapeur de  $185^\circ\text{C}$  à  $100^\circ\text{C}$

$$\Phi_1 = D_{\text{vap}} \times C_{p_{\text{vap}}} \times (100 - 185)$$

$$\Phi_1 = \frac{0.45 \times 1000}{3600} \times 4.185 \times (100 - 185)$$

$$\Phi_1 = -44.46 \text{KW}$$

- changement de phase à  $100^\circ\text{C}$

On suppose que le Débit est constant

$$\Phi_2 = D_{\text{vap}} * L_c$$

$$\Phi = \frac{0.45 * 1000}{3600} * -2257.92$$

$$\phi_2 = -282.24 \text{KW}$$

➤ eau liquide de 100°C à 66°C

$$\phi_3 = D_{\text{vap}} * C_{p_{\text{eau}}} * (66 - 100)$$

$$\phi_3 = \frac{0.45 * 1000}{3600} * 4.18 * (66 - 100)$$

$$\phi_3 = -17.77 \text{KW}$$

Alors le flux cédé égale a :

$$\phi_{\text{cédé}} = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3$$

$$\phi_{\text{cédé}} = -(44.46 + 282.24 + 17.77)$$

$$\phi_{\text{cédé}} = -344.47 \text{KW}$$

Les pertes en termes d'énergie

$$\phi_{\text{perte}} = \phi_{\text{cédé}} + \phi_{\text{reçu}}$$

$$\phi_{\text{perte}} = 213 - 344.47 = -131.47 \text{KW}$$

$$\phi_{\text{perte}} = -131.47 \text{KW}$$

Nous voyons que les résultats montrent que la dilution de la mélasse demande une énergie de Kw, et que la perte thermique présente un pourcentage de **38%**.

## II.2 : La stérilisation et échangeur à plaque (mélasse/mélasse)

La mélasse dilue **MD** et entrainer dans le clarificateur par un débit de 14,5 T/h puis elle est stocké dans une cuve, le débit de sortie de la **MDC** est contrôlé par une électrovanne qui assure un débit convenable à l'échangeur.

Le schéma suivant présente les débits d'entrées et de sorties dans l'échangeur thermique et aussi au stérilisateur :



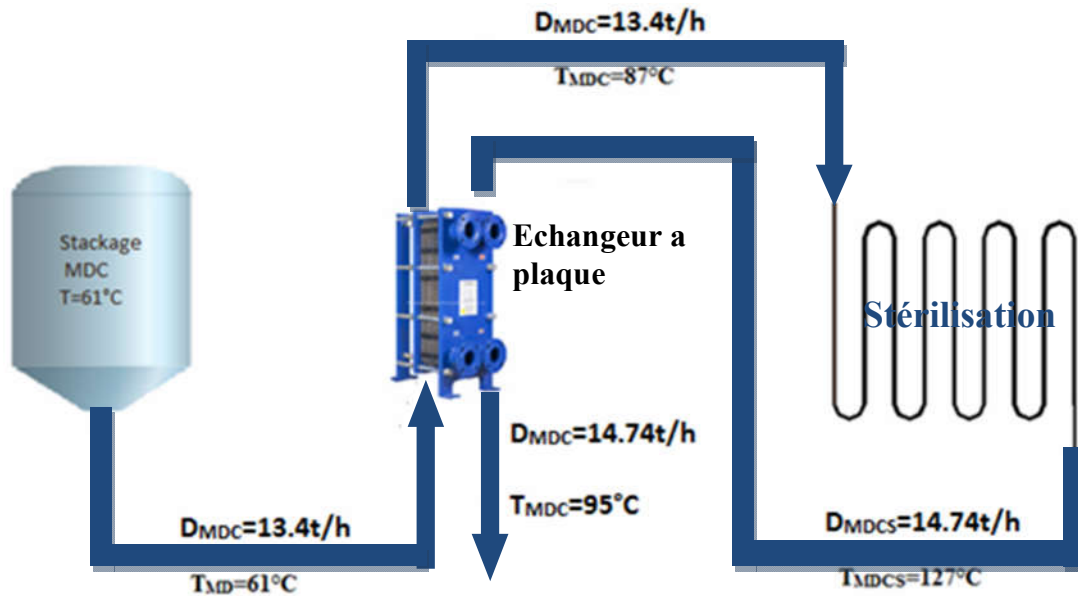


Fig.7 : Schéma de la stérilisation

- Bilant thermique au niveau d'échangeur « mélasse/mélasse » :

Le gain reçu par la mélasse diluée clarifié au niveau d'échangeur est donner par :

$$\phi_{MDC} = D_{MDC} \times C_p \text{Mélasse} \times \Delta T$$

$$\phi_{MDC} = \frac{13.4 \times 1000}{3600} \times 3.223 \times (87 - 61)$$

$$\phi_{MDC} = 311.91 \text{KW}$$

Flux cédé par la mélasse diluée clarifié stérilisé :

$$\phi_{MDCS} = D_{MDCS} \times C_p \text{Mélasse} \times \Delta T$$

$$\phi_{MDCS} = \frac{14.74 \times 1000}{3600} \times 3.223 \times (95 - 127)$$

$$\phi_{MDCS} = -422.28 \text{KW}$$

- Les pertes en termes d'énergie

$$\phi_{\text{perte}} = \phi_{MDCS} + \phi_{MDC}$$

$$\phi_{\text{perte}} = 311.91 - 422.28$$

$$\phi_{\text{perte}} = -110.37 \text{KW}$$

L'échangeur nous permet de récupérer un gain d'énergie équivalent à 311.91 kW soit 73% d'énergie cédé

- Bilant thermique au niveau de stérilisation :

Le débit de vapeur injectée pour effectuer la stérilisation et égale à :

$$D_{vapeur} = D_{MDCS} - D_{MDC}$$
$$D_{vapeur} = 14.74 - 13.4 = 1.34T/h$$

La vapeur injectée subit un changement d'état « condensation » alors son flux de chaleur s'écrit sous la forme suivante :

$$\phi_{vapeur} = D_{vapeur} \times L_c + D_{vapeur} \times C_{p\text{ eau}} \times \Delta T$$
$$\phi_{vapeur} = \frac{1.34 * 1000}{3600} \times [-2056.5 + 4.18 \times (128 - 165)]$$

$$\phi_{vapeur} = -823.04 \text{ KW}$$

Le flux reçu par la mélasse diluée clarifié pour augmenter sa température de 87°C à 127°C et donné par :

$$\phi_{MDC} = D_{MDC} \times C_{p\text{ Mélasse}} \times \Delta T$$
$$\phi_{MDC} = \frac{13.4 \times 1000}{3600} \times 3.223 \times (127 - 87)$$

$$\phi_{MDC} = 479.87 \text{ KW}$$

Les pertes thermiques

$$\phi_{perte} = \phi_{vapeur} + \phi_{MDC}$$

$$\phi_{perte} = 479.87 - 823.04$$

$$\phi_{perte} = -343.17 \text{ KW}$$

### II.3 : Refroidissement (eau/mélasses) :

A l'étape de refroidissement de la mélasses au niveau de l'échangeur mélasses -eau, il est très difficile de mettre un bilan thermique. Parce que d'une part on n'a pas un débit constant de mélasses du fait que ce dernier change chaque heure selon la consommation dans les fermenteurs, et d'autre part, le débit d'eau utilisé est uniquement estimé car la société ne possède pas d'un débit mètre dans le circuit juste contrôlé par le pourcentage de l'ouverture de Vanne.

### II.4 Evaluation des pertes thermiques et les gains a porté par les échangeurs en terme d'énergie

- **Les pertes thermiques**

La déperdition thermique est la perte de chaleur que subit une installation par ses parois et ses échanges de fluide avec l'extérieur. Elle est d'autant plus significative quand l'isolation thermique est faible.

Les pertes au niveau **de dilution et stérilisation**

$$\sum \Phi_{perte} = 343.17 + 131.47 = 474.64KW$$

- **Les gains fournis par l'échangeur**

L'échangeur thermique nous permet de récupérer une quantité d'énergies considérer comme des gains

$$\sum \Phi_{gain} = 311.91KW$$

### - **L'efficacité de l'échangeur mélasses-mélasses :**

On définira l'efficacité  $\eta$  de l'échangeur par rapport au fluide froid de la manière suivante:

$$\varepsilon = \frac{T_{fs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

**Avec :**

$T_{fs}$  : température de fluide froid à la sortie de l'échangeur

$T_{fe}$  : température de fluide froid à l'entrée de l'échangeur

$T_{ce}$  : température de fluide chaud à la l'entrée de l'échangeur

A.N

$$\varepsilon = \frac{87 - 61}{127 - 61} * 100 = 40\%$$

L'efficacité de l'échangeur est faible, on peut expliquer ce phénomène par deux Hypothèses :

- Soit l'échangeur est mal dimensionné → les surfaces d'échange sont faibles.
  - Soit un problème d'encrassement → diminue la surface d'échange :
- Un dépôt de calcaire reçoit par le refroidissement d'eau chaude  
-Un dépôt de boue reçoit par la mélasse (clarification n'a pas éliminé 100% de boue).

## **Conclusion**

Ce rapport a fait l'objet de deux parties. Une première partie théorique consacrée à la description du processus de fermentation adopté par la société et le procédé de traitement de la mélasse.

La deuxième partie était consacrée à la partie pratique que j'ai réalisé au niveau de la société et qui a concerné le bilan thermique de la station de mélasse.

J'ai déterminé les quantités de chaleur dans les différentes étapes de traitement de la mélasse et j'ai réalisé une évaluation des pertes thermiques ainsi que les gains apportés par les échangeurs en termes d'énergie.

Concernant Les flux échangés dans les différentes étapes de traitement :

Les résultats montrent que la dilution de la mélasse demande une énergie de 213 KW, et que les pertes thermiques présentent un pourcentage de 38%.

La stérilisation demande une énergie de 479.87 KW et les pertes thermiques présentent 42%.

Cependant, les flux échangés dans l'étape de l'échangeur de pré-échauffement Mélasse/Mélasse demandent une énergie de 311.97KW et les pertes présentes 26%.

## **REFERENCES**

- <http://www.lesaffre.com/>
- <http://www.lesaffre.com/fr/le-groupe/lesaffre-dans-le-monde.html>
- <http://www.toutsurlalevure.fr/>
- [Etude de bilan thermique au niveau de la station de mélasse/PFE/ Mr. Mohammed AIT CHARAA/Année Universitaire 2014 / 2015](#)