



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ETUDE DU BILAN THERMIQUE DANS LA STATION DE TRAITEMENT DE LA MELASSE

Présenté par :

◆ AMEGOUD HAMZA

Encadré par :

◆ Mr H.FADLI (Société)
◆ Pr O.SQALLI (FST)

Soutenu Le 07 Juin 2016 devant le jury composé de:

- Pr O. SQALLI
- Pr S. SABIR
- Pr A. BOUAYAD

Stage effectué à LESAFFRE-Maroc

Année Universitaire 2015 / 2016

Remerciement

Mes vif remerciements à Mr. le Doyen de la FST, ainsi que toute le personnel d'administration de la manière de mener leurs travaux administratifs de cet établissement d'enseignement, et qui ont m'assisté pas seulement mais tous les étudiants faisant partie de cette faculté.

On exprime mon gratitude et mon remerciement particulier à mon professeur encadrant Mme SQALLI OUAFAE, pour son encadrement pédagogique, pour ses orientations et ses conseils qu'elle m'apporté à la réalisation de ce travail.

On profite de cette occasion pour remercier également mes professeurs composants le jury Mr. A.BOUAYAD, Mme. S.SABIR, d'avoir examiné mon travail.

On remercie également Mr. professeur HARRACH responsable de la filière de G.CH, Mr. professeur CHAKROUNE chef de département de Chimie, et l'ensemble des enseignants de ce département pour leur assistance, leurs conseils et de leurs manières d'enseigner dont on a beaucoup profité. Aussi on exprime mon profonde reconnaissance à tous les professeurs de FST que d'un moment à l'autre on a bénéficié de leurs formations.

On remercie Mr. le Directeur de LESAFFRE-MAROC qui a eu la bienveillance de m'accorder ce stage. Mes Sincères remerciements et mon profonde gratitude s'adressent à Monsieur FADLI Hassan, responsable du service de production pour son encadrement, ses encouragements et ses conseils fructueux, et qui a été toujours disponible de travailler chez moi et de ma fournir des aides dont j'ai besoin, et de son intérêt aux activités des stagiaires.

Toutes personnes de LESAFFRE-Maroc trouvent ici mon remerciement pour leur collaboration et qui ont répondu régulièrement à mes questions tout au long de mon stage.

Finalement mes tenons à remercier du fond du cœur toutes les personnes qui, directement ou indirectement ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci infiniment

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents qui ont tout fait pour que je sois ce que je suis aujourd'hui, espérons que je correspond à leurs désirs, à mes frères et mes sœurs qui n'ont jamais cessé de m'apporter leurs soutiens et de m'encourager pendant mon parcours scolaire et dans mon travail.

D'une manière générale je dédie ce travail à ma famille, c'est cette famille qui m'a soutenu, j'ai accompagné durant toute mon trajectoire, et c'est à cette famille que je dédie ce travail.

Je dédie également mon travail à mes collègues de FST avec qui j'ai eu l'occasion de travailler ensemble, et de partager mes connaissances, mes expériences, et à tous mes amis dont leurs encouragements n'ont jamais cessé de me parvenir.

Liste des figures

- Figure 1 : Louis Lesaffre & Louis Bonduelle**
- Figure 2 : Organigramme de la société « Lesaffre maroc »**
- Figure 3 : Structure d'une cellule de levure de boulangerie (*saccharomyces cerevisiae*)**
- Figure 4 : Photo d'un clarificateur**
- Figure 5 : Schéma Général de la station de traitement de la mélasse**
- Figure 6 : Pré-fermenteur**
- Figure 7 : Filtre rotatif**
- Figure 8 : Processus général de la fabrication de levure**
- Figure 9 : Échangeur à plaques utilisé dans la station**
- Figure 10 : Schéma d'un échangeur à plaques**
- Figure 11 : Schéma de la cuve de dilution**
- Figure 12 : Schéma de la stérilisation**

Liste des tableaux

- Tableau 1 : Gamme de produits LESAFFRE-Maroc**
- Tableau 2 : Programme de préparation des sels nutritifs dans la société Lesaffre-Maroc**
- Tableau 3 : Composition chimique des mélasses de betterave et de canne à sucre**

Liste des abréviations

C _{pe} : Capacité calorifique de l'eau.	Φ : Flux thermique de fluide chaud.
MD : Mélasse diluée.	Φ' : Flux thermique de fluide froid
MDC : Mélasse diluée clarifiée.	D _{vap} : débit de vapeur
MDCS : Mélasse diluée clarifiée stérilisée.	T _{vap} : température de vapeur
Dec : Débit de l'eau chaude.	Tec : Température d'eau chaude
D _{MB} : Débit de la mélasse brute.	D _{acc} : débit d'accumulation
D _{MD} : Débit de la mélasse diluée.	T _{MD} : température de mélasse diluée
D _{MDC} : Débit de la mélasse diluée clarifiée.	D _{Bet} : débit de betterave
D _{MDCS} : Débit de la mélasse diluée clarifiée stérilisée. D _c : débit de canne	
D _{mass} : Débit massique.	ρ : masse volumique
D _{volu} : Débit volumique.	L _c : chaleur latente de la condensation
SPH : Levure sèche active.	D _{moy} : débit de mélange mélasse-eau
SPI : Levure sèche instantanée.	C _p : capacité calorifique
TF : Température finale de mélange mélasse-eau.	ε : efficacité de l'échangeur
Tec : Température de l'eau chaude.	MAP : Mono Ammonium Phosphate
SA : sulfate d'ammonium	ET : Eléments Traces
T _{MDCe} : température de mélasse diluée clarifiée à l'entrée de l'échangeur	
T _{MDCs} : température de mélasse diluée clarifiée à la sortie de l'échangeur	
T _{MDCSe} : température de mélasse diluée clarifiée stérilisée à l'entrée de l'échangeur	
T _{MDCSs} : température de mélasse diluée clarifiée stérilisée à la sortie de l'échangeur	

Sommaire

Introduction.....01

PARTIE I

Etude Bibliographique

Chapitre I : présentation de l'entreprise.....03

I. Historique du groupe LESAFFRE.....03

II. LESAFFRE-Maroc.....03

1. Description et activité du laboratoire d'analyse.....04

- Laboratoire microbiologie.....04

- Laboratoire physico-chimique.....05

III Organigramme de l'entreprise.....06

CHAPITRE II: production de la levure.....07

I. Généralité sur levure.....07

1. Historique.....07

2. Définition & Structure.....07

3. Développement & Fonctionnement.....08

II. Les Etapes de production de la levure.....08

1. Préparation de la mélasse & Sels nutritifs.....08

a) Préparation de la mélasse.....08

Dilution.....09

Clarification.....	09
Stérilisation.....	10
b) Préparation des sels nutritifs.....	12
2. A un niveau de Laboratoire.....	12
3. Préfermentation.....	13
4. Fermentation de la levure mère.....	14
5. Séparation & Stockage de la levure mère.....	14
6. Fermentation de la levure commerciale.....	14
7. Séparation & stockage de la levure commerciale.....	14
8. Filtration & Embalage.....	15

PARTIE II

Etude du bilan thermique dans la station de traitement de mélasse

CHAPITRE I Généralité sur bilan thermique.....	19
I. Introduction.....	19
II Notions sur les échangeur à plaque.....	19
III Généralité sur bilan thermique.....	20
1. Définition.....	20
2. Notions sur transfert de chaleur.....	20
a) Le flux de chaleur.....	20
b) Les modes de transfert de chaleur.....	21

3.	Notions sur bilan thermique simple.....	21
CHAPITRE II: Etude du bilan thermique de la station de traitement de mélasse.....		23
1.	Les quantités de chaleur dans les différentes étapes de traitement de la mélasse.....	23
	DILUTION.....	23
a)	Calcul le flux reçu.....	25
b)	Calcul le flux cédé.....	26
c)	Calcul les pertes thermiques dans l'étape de dilution.....	26
	STERILISATION.....	27
a)	bilan thermique au niveau d'échangeur mélasse-mélasse.....	28
b)	bilan thermique au niveau de stérilisateur.....	28
c)	perte thermique au niveau de la stérilisation.....	29
	REFROIDISSEMENT.....	29
2.	Evaluation des pertes et des gains thermiques.....	29
3.	L'efficacité de l'échangeur mélasse-mélasse.....	30
4.	Les solutions proposées pour diminuer les pertes thermiques dans la station.....	30
Conclusion.....		31
Référence bibliographique.....		32

Introduction générale :

Le secteur d'agro-alimentaire 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.

Le travail réalisé dans le cadre du Lesaffre-Maroc dans le quartier industriel Sidi Brahim. Mon travail est basé sur l'étude d'un bilan thermique relatif à chaque étape du traitement de la mélasse. L'établissement d'un bilan d'énergie a pour objectif de calculer les pertes et les gains d'énergétique et de proposer des-solutions alternatives pour remédier aux pertes d'énergie.

Le présent manuscrit est élaboré selon le plan suivant:

- La première partie est réservée à l'étude bibliographique.
 - Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise « Lesaffre Maroc »
 - Chapitre 2 : production de la levure
- Dans la deuxième partie est réservée à l'étude pratique.
 - Chapitre 1 : Génialité sur le Bilan thermique
 - Chapitre 2 : Etude du bilan thermique de la station de traitement de la mélasse

Partie 1:
Etude bibliographique

CHAPITRE I : Présentation de l'entreprise :

I. Histoire du groupe LESAFFRE

L'histoire de l'entreprise s'est construite autour de deux amis **Louis Lesaffre & Louis Bonduelle** (**figure 1**). Tout a commencé en **1853**, lorsque les deux hommes s'associent pour former une fabrique d'alcool de grains et genièvre, à Marquette-lez-Lille dans le nord de France.

En 1872, la première usine de levurière s'est créé à Marcq-en-Barœul avec l'idée d'extraire la levure des moûts de fermentation. Des années plus tard l'idée s'est officialisée par la sortie de la première marque l'Hirondelle, qui traversera le temps et l'espace selon la silhouette de l'oiseau migrateur.

En 1901, suite à une faute des accords entre les descendants des fondateurs décédés, l'entreprise et ses sept usines s'est partagés en trois usines familiales : Bonduelle, Lemaitre, Lesaffre.

C'est à partir de ce stade que le groupe se développa et entama un virage vers la nutrition et la santé, avec 45 sites de production de levure 16 sites de production d'ingrédients, un capital de 1.56 milliards d'euros, pour 7700 salariés dont 1600 en France, et le reste est réparti sur les 5 continents où on peut citer l'Afrique : Maroc [1].

II. LESAFFRE MAROC

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

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

Depuis 1993 et conformément à la politique de privatisation au Maroc, elle serait désormais dirigée sous l'égide du groupe LESSAFRE dont elle allait porter le nom. C'est le nom qui a remplacé celui de la SODERS depuis le 1er Juin 2007, et ce dans le souci de répandre le label LESAFFRE à travers tout le Maroc [2].



Figure 3 : Louis Lesaffre & Louis Bonduelle

Aujourd'hui, LESSAFRE Maroc Fès a élargie sa gamme de production sur d'autres produits. En plus de la levure fraîche, il produit de la levure sèche et les améliorants (tableau 1). Cette unité emploie près de 200 personnes dont 160 ouvriers et 40 personnes appartenant à l'administration des différents département avec un capital d'environ 40.000.000 dirhams.

Levure fraîche	Levures sèches		Améliorants
	SPI : levure sèche instantanée	SPH : levure sèche active à réhydrater	
			

Tableau 1 : Gamme de produits LESSAFRE-Maroc

1) Description et activités du laboratoire d'analyse

Le laboratoire d'analyses de Lesaffre Maroc, dans sa nouvelle conception, joue un rôle très important dans la démarche qualité qui constitue l'une des priorités de la société. Il est composé de deux laboratoires :

➤ Laboratoire de microbiologie

La validité des contrôles microbiologiques, nécessite notamment l'obtention de résultats d'analyse fiables. La fiabilité des résultats implique l'utilisation de méthodes validées, mises en œuvre par un laboratoire compétent. C'est pour cela que l'usine de LESSAFRE exige un système d'épuration d'air, un personnel hautement qualifié et expérimenté, un climat professionnel encourageant et la vaillance d'un chef de laboratoire dont le plus grand souci est la qualité des analyses et la sensibilisation permanente des techniciens aux principes et règlements relatifs à l'hygiène.

Ce laboratoire est divisé en quatre parties (salles):

- ✓ Salle des pathogènes où s'effectue les analyses des germes pathogènes.
- ✓ Salle des préparations où la préparation des milieux de culture, la stérilisation et d'autres activités ont lieu.
- ✓ Salle de stockage des matières premières.
- ✓ Salle d'analyses bactériologiques.

➤ *Laboratoire physico-chimique*

Il est équipé de matériels sophistiqués, alimenté de différents types d'eaux (eau adoucie, eau distillée, eau RADEEF) utilisées selon les besoins et fait appel à un personnel qualifié effectuant quotidiennement des analyses physico-chimiques et veillant toujours à bien respecter les consignes du responsable de laboratoire qui lui-même participe à l'application du plan de contrôle et une efficace démarche qualité par la surveillance instantanée et le climat favorable.

Il est divisé en trois parties :

- ✓ Salle de panification où s'évalue la force panaire.
- ✓ Salle de stockage où se trouvent tous les matériels et les produits initiaux.
- ✓ Salle d'analyse physico-chimique répartie elle-même en trois sections :
- ✓ Section des analyses d'azote et de phosphate.
- ✓ Section des analyses de la mélasse.
- ✓ Section des analyses de l'eau.

Les deux laboratoires communiquent entre eux par une laverie où se fait le nettoyage du matériel ainsi que la destruction des produits contaminés

III. Organigramme de l'entreprise (figure2) :

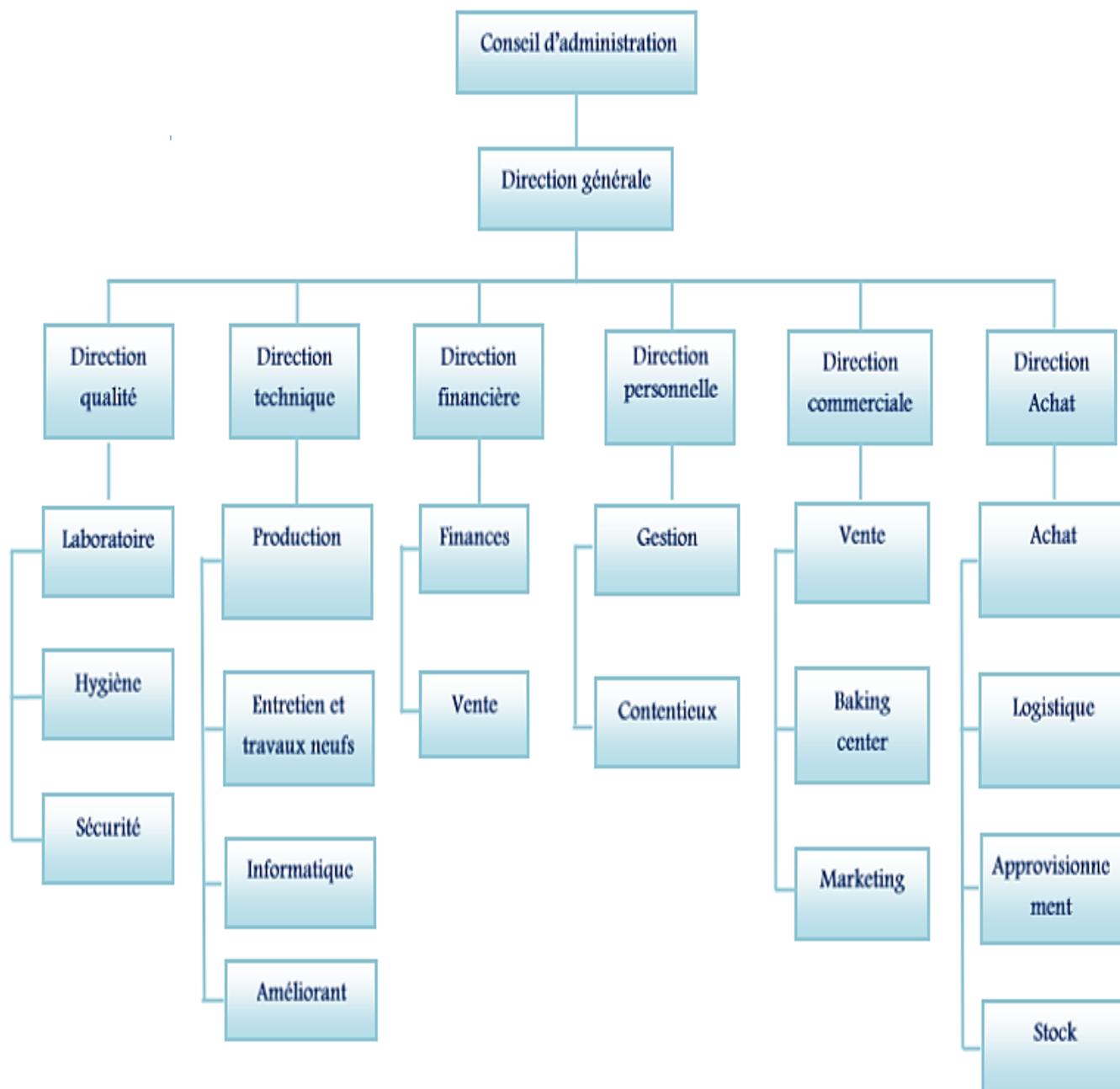


Figure 2 : Organigramme de la société « Lesaffre maroc »

Chapitre 2 : production de la levure :

I. Généralités :

1. Historique :

L'histoire de la levure nous amène en 1680 à l'aide d'un microscope, **Leeuwenhoek** observe pour la première fois les globules de levure de bière. L'homme a depuis toujours utilisé la levure, et ce bien avant de savoir écrire. Les égyptiens l'utilisaient déjà pour fabriquer leur pain il y a cinq mille ans. En 1857, **Louis Pasteur** démontre que la cellule de levure peut vivre avec ou sans oxygène, et c'est également grâce à lui, que l'on découvre que la levure contribue à la formation des arômes, et des saveurs du pain [3].

2. Définition & Structure

La levure est une cellule vivante microscopique unicellulaires et eucaryotes de la famille des champignons son nom scientifique est : **saccharomyces cerevisiae**, le latin « saccharo » signifie doux ou sucre et « myce » désigne moisissure (figure 3) [3].

C'est un micro-organisme de forme variable selon l'espèce sphérique, ovoïde en bouteille, mais généralement ovales d'environ 6 à 10 microns et jusqu'à 50 microns se multiplient par bourgeonnement.

Elle est capables de :

- dégrader les aliments qui se trouvent dans leur milieu de culture grâce à une gamme très étendue d'enzymes d'hydrolyse telles que des lipases, protéases, et lactases.
- Effectuer toutes ou presque les synthèses dont elles ont besoins pour leurs croissances.

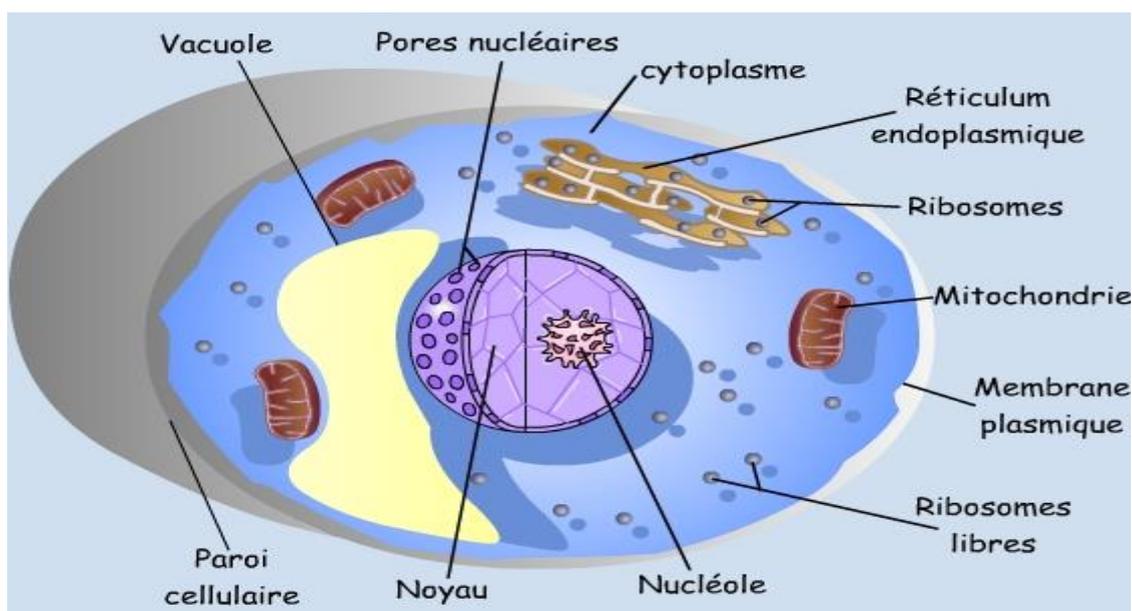


Figure 3: Structure d'une cellule de levure de boulangerie (saccharomyces cerevisiae) [4]

3. Développement & Fonctionnement :

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.

✚ **Voie aérobie (*Respiration*) :**

En présence d'oxygène, les Saccharomyces capables de transformer les molécules de glucose en molécules de CO₂ et d'H₂O (dégradation totale) avec un rendement énergétique plus élevé.



✚ **Voie anaérobie (*Fermentation*) :**

En absence d'oxygène la levure transforme les molécules de glucose en éthanol et CO₂ (dégradation partielle) avec une quantité d'énergie très faible par rapport à celle de la respiration.



II. Les étapes de production de la levure :

Le fabricant de levure a pour objectif de produire une grande quantité de cellules vivantes biomasse. 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 adapté aux attentes des utilisateurs.

1. Préparation de la mélasse & sels nutritifs :

a) Préparation de la mélasse :

La mélasse est un produit de sucre obtenue à partir de la Betterave (80%) et de la Canne à sucre (20%), sous forme d'un sirop très épais, très visqueux et moins calorifique que le saccharose. Elle est considérée comme source de carbone, elle contient en plus de sucre la vitamine **B** et des minéraux (**Ca, K, Fe, Cu ...**) qui sont essentiels pour la reproduction de la levure. La mélasse serait donc la matière première essentielle pour la production de la levure à l'échelle industrielle (tableau 2).

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

Tableau 2 : Composition chimique des mélasses de betterave et de canne à sucre [3]

➤ *Dilution :*

Avant d'arriver à la station de traitement, la mélasse est stockée dans 7 tanks (4 pour la mélasse issue de betterave et les 3 autres celle de la canne), la mélasse à betterave passe dans un filtre et la mélasse de canne de sucre dans 2 filtre pour l'élimination des grains.

Dans une cuve de dilution (**MD**) on introduit 51% de la mélasse brute (80% de betterave et 20% de canne) et 49% d'eau chaude. A l'intérieur de la cuve on trouve une électrovanne qu'injecte la vapeur d'eau (185°C), et sous l'agitation mécanique on obtient une mélasse diluée de densité $d=1.2$ kg/L et de température entre 60 et 70 °C.

➤ *Clarification :*

Avant l'étape de clarification, la mélasse passe dans des filtres à panier pour éliminer tous les grains de petites tailles et pour faciliter l'étape de clarification. La clarification est une opération basée sur la différence de densité entre la mélasse et les impuretés indésirables comme la boue. Elle consiste à séparer la mélasse diluée par la centrifugation grâce à des clarificateurs (figure 4). Le principe de ces clarificateurs est séparer la mélasse (phase liquide) et la boue (phase solide) par la différence de densité. La boue est plus lourde vers le bas et la mélasse clarifiée se récupère dans une cuve **MDC**.



Figure 4 : photo d'un clarificateur

➤ *Stérilisation (voir figure 5) :*

Avant la stérilisation, la mélasse MDC passe par échangeur à plaques, où elle circule à contrecourant avec la mélasse diluée clarifiée stérilisée MDSCS, le transfert de chaleur de MDSCS à MDC permet un préchauffage du MDC, et sa température augmente de 65°C à 80°C. La mélasse diluée clarifiée MDC est stérilisée par injection de vapeur. 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 80°C à 130°C température de (stérilisation).

La MDSCS passe dans un canal serpenté pendant 6min pour être sûr que tous les micro-organismes sont tués. A la sortie, un dispositif électronique permet de contrôler la température de la MDSCS. Si la température est inférieure à 120 °C, la MDSCS 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 à la stérilisation, puis sort de cet échangeur à une température de 90 °C puis stockée dans la cuve MDSCS. Avant l'utilisation la mélasse passe dans autre échangeur pour obtient à une température de mélasse 25°C et permettant l'élévation de la température de l'eau froide dans autre l'échangeur mélasse-eau pour. L'eau se réchauffe pour utiliser dans l'étape de dilution.

C'est trois étapes sont résumé selon le schéma suivant :

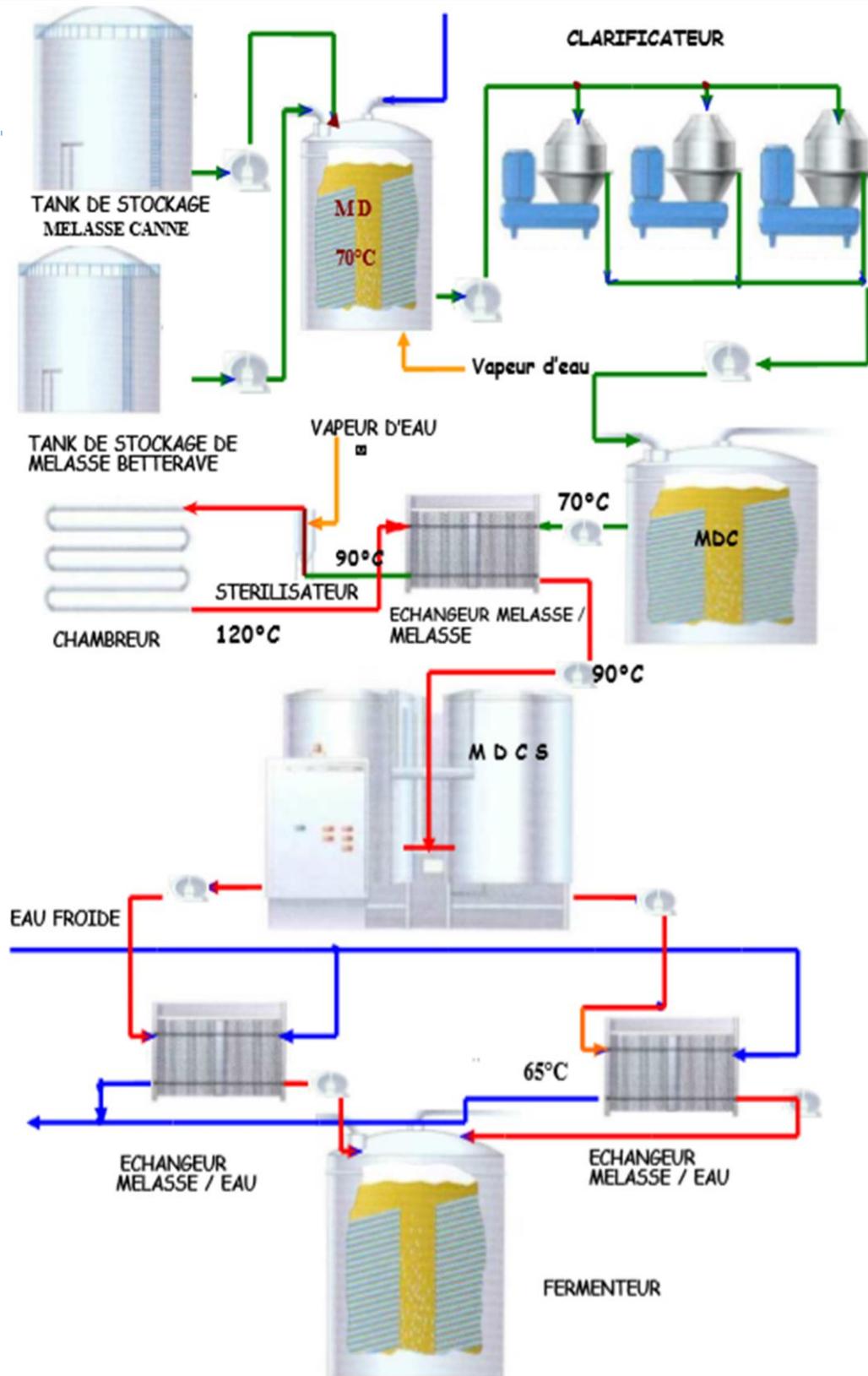


Figure 5 : Schéma Général de la station de traitement de la mélasse

b) Préparation des sels nutritifs :

Les sels nutritifs offrent à la levure les sources d'azote, de phosphate et de sulfate, qui sont nécessaires pour leur croissance et leur reproduction, pour couvrir les besoins de la levure, on ajoute les composants présentés dans le tableau 3 :

	Capacité (m ³)	Nombre de sacs	Eau (m ³)	Densité (Kg/L)	Eau de Javel (L)
UREE	25	45 (50 Kg)	10	1.050	1
MAP	15	50 (50 Kg)	10.8	1.055	1
SA	7	25 (25 Kg)	6	1.095	0.5

Tableau 3 : programme de préparation des sels nutritifs dans la société Lesaffre-Maroc

- L'Urée « (NH₂)₂CO » et les Sulfates d'Ammonium (SA) « (NH₄)₂SO₄ » : sont une source d'azote nécessaire pour à la biosynthèse des protéines et la production des enzymes.
- Mono Ammonium Phosphate (MAP) : sont une source de phosphore qui peut également apporter de l'azote (phosphate d'ammonium) de formule chimique NH₄H₂PO₃. Le phosphore est nécessaire pour la production d'énergie et la phosphorylation membranaire

Lorsqu'on finit la préparation de chaque sel, on les envoie aux cuves de stockage (chaque sel reste séparé de l'autre).

2. Au niveau du Laboratoire :

Chaque mois la société reçoit deux souches de *Saccharomyces Cerevisiae*, une est destinée à la levure pressée ou fraîche (LP) et l'autre à la levure sèche (LS). Dans la salle stérilisée ces souches sont ensemencées dans environ 60 tubes (dont 40 de la levure sèche et 20 pour la levure fraîche) qui contiennent un milieu nutritif spécifique à la croissance des levures. Cette étape exige un travail dans les conditions aseptiques pour éviter le risque de contamination.

Chaque jour on prend deux tubes du même genre et on transfère par l'ensemencement les levures et les met dans un petit cône de 0.5 litre « Van Lear » qui contiennent un milieu très riche en « sucre commerciale, vitamines, sels nutritives ... ».

Lorsque le milieu est insuffisant on les déplace dans un cône plus grand (7 litres) qui s'appelle « **Carlsberg** » ou elles se multiplient à nouveau aux mêmes conditions, puis on fait passer le contenu de deux ces cônes dans une cuve de 800 litres. Cette fois on remplace le sucre commerciale par la mélasse comme produit nutritive, on ajoute des éléments traces (Sulfate de Zinc $ZnSO_4$, Sulfate de Cuivre $CuSO_4$, Chlorure de Magnésium $MgCl_2$, vitamines B1, B6) plus des sels nutritives (Urée, MAP et SA), avec un $pH=4.6$ et $d=1.040$

3. Pré-fermentation :

Dans une cuve de 12000 Litre dite « pré-fermenteur (figure 6) » on met de 8 à 9 m^3 d'eau (selon la densité de la mélasse), 200 ml de javel pour stérilisé l'eau, 4.13 kg de $MgCl_2$ (comme un ET) et 5 litres de H_2SO_4 pour acidifier le milieu $pH=4.1$, un débit initiale de mélasse 50 L, 70 L de MAP et 100 L de SA une température entre $32^{\circ}C$ et $34^{\circ}C$.

La cuve de 800L est refoulée dans le pré-fermenteur. La mélasse, le sulfate d'ammonium, le mono ammonium phosphate sont ajoutés graduellement au cours de la pré-fermentation, ainsi que l'air. On obtient alors la levure mère.



Figure 6 : pré-fermenteur

4. La fermentation de la levure mère (fermenteur 4) :

Après 16 heures de pré-fermentation, le contenu de pré-fermenteur est transféré dans le fermenteur 4 (spécifique pour fermentation de la levure mère), La levure mère servira à ensemercer le fermenteur avec un milieu nutritif bien spécifique :

46 m³ d'eau dont 28 m³ d'eau froid et 18 m³ d'eau chaud, 1.5 litre de Javel, 25 Kg de MgCl₂ et 7.5 L de H₂SO₄ pour un milieu de pH= 4 et un débit initial 150 litre de mélasse, 150 L de MAP et 200 L d'Urée.

5. Séparation & stockage de la crème de la levure mère :

La séparation consiste à éliminer le reste du milieu nutritif, dès que la fermentation de la levure mère touche sa fin, le mout levuré est envoyé vers un séparateur centrifuge. Un liquide dense (crème) est récupéré, ainsi qu'un liquide léger (mout délevuré) qui est rejeté vers les égouts. La crème récupérée est stockée dans des cuves munies d'un système de refroidissement pour assurer une température de 4°C pour ralentir le métabolisme cellulaire.

6. Fermentation de la levure commerciale :

A partir des cuves de stockage, on prend la quantité désirable dans une cuve d'acidification (pH=2) pendant une heure,

On prépare la pré-couche (milieu nutritive à condition initiale) :

Milieu nutritif de fermenteur 6 : 70 m³ d'eau dans 50 m³ d'eau froid et 20 m³ d'eau chaude, 2L eau de javel, 2L de H₂SO₄ pour un pH=4, 20 Kg de MgCl₂ et des vitamines avec une température entre 32°C et 34°C. En plus de ça un débit initial de 300L de mélasse, 250L de MAP et 500L d'Urée et en présence d'oxygène d'air on ajoute de 800Kg de la levure mère.

7. Séparation & stockage de la levure commerciale:

La levure commerciale passe par deux séparateurs : le premier sépare le mout délevuré de la crème et le deuxième finit le travail en mélangeant la crème avec l'eau, pour éliminer le maximum de mout délevuré et éclairer sa couleur. La crème commerciale obtenue est refroidit dans un échangeur de chaleur jusqu'une température d'environ 7°C, avant son stockage dans les cylindres de garde (bi-membranaire) à une température de 4 °C avec un système de refroidissement (l'eau froide circule entre ces deux membranes).

8. Filtration & emballage :



Figure 7 : Filtre rotatif

➤ 8.1) *Levure fraîche ou pressé LP :*

Avant l'étape de la filtration, la crème est stockée dans un cylindre dans la salle de filtration et ajouter un teneur de sel NaCl pour concentrer le milieu (établir le phénomène d'osmose pour diminuer la teneur en eau dans les cellules de la levure). La crème va être transférée par un circuit de refroidissement pour diminuer la température de 4 à 2°C pour éviter la contamination de la levure au niveau de la filtration.

A l'aide d'un filtre cylindrique rotatif (figure 7) contient des pompes sous vide, une couche d'amidon est déposée sur ce filtre pour ne pas laisser passer les cellules de la levure. La crème est pulvérisée au bas de filtre, la crème lavée trois fois par l'eau distillée au cours de la filtration pour éclaircir davantage la couleur. A l'autre côté de filtre une couteuse qui sert à racle la levure déposée (pâte) qui tombe dans des trémies.

L'emballage s'effectue grâce à une machine spéciale constituée d'une boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Une levure pressée, coupée sous forme de parallélépipèdes de 500G, après passer par une tapie roulant pour enveloppé par une enveloppe composée de 2 couches, l'intérieur est de cire (stabiliser la température moins de 6°C et abris la lumière pour conserver la couleur), passe par une plaque chauffante pour coller l'enveloppe sur la levure après va être daté et remplir dans les cartons, et disposés sur des palettes de manière à avoir un vide entre eux pour faciliter la circulation d'air froid.

➤ 8.2) *Levure sèche LS*

La filtration de la levure sèche est de la même façon que la levure fraîche. 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 Emulsifiant qui fait

blanchir la levure et rend ses cellules plus résistantes contre la chaleur. 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.

On peut résumer tous les étapes nécessaire pour de la production de la levure dans le schéma suivant (figure8).

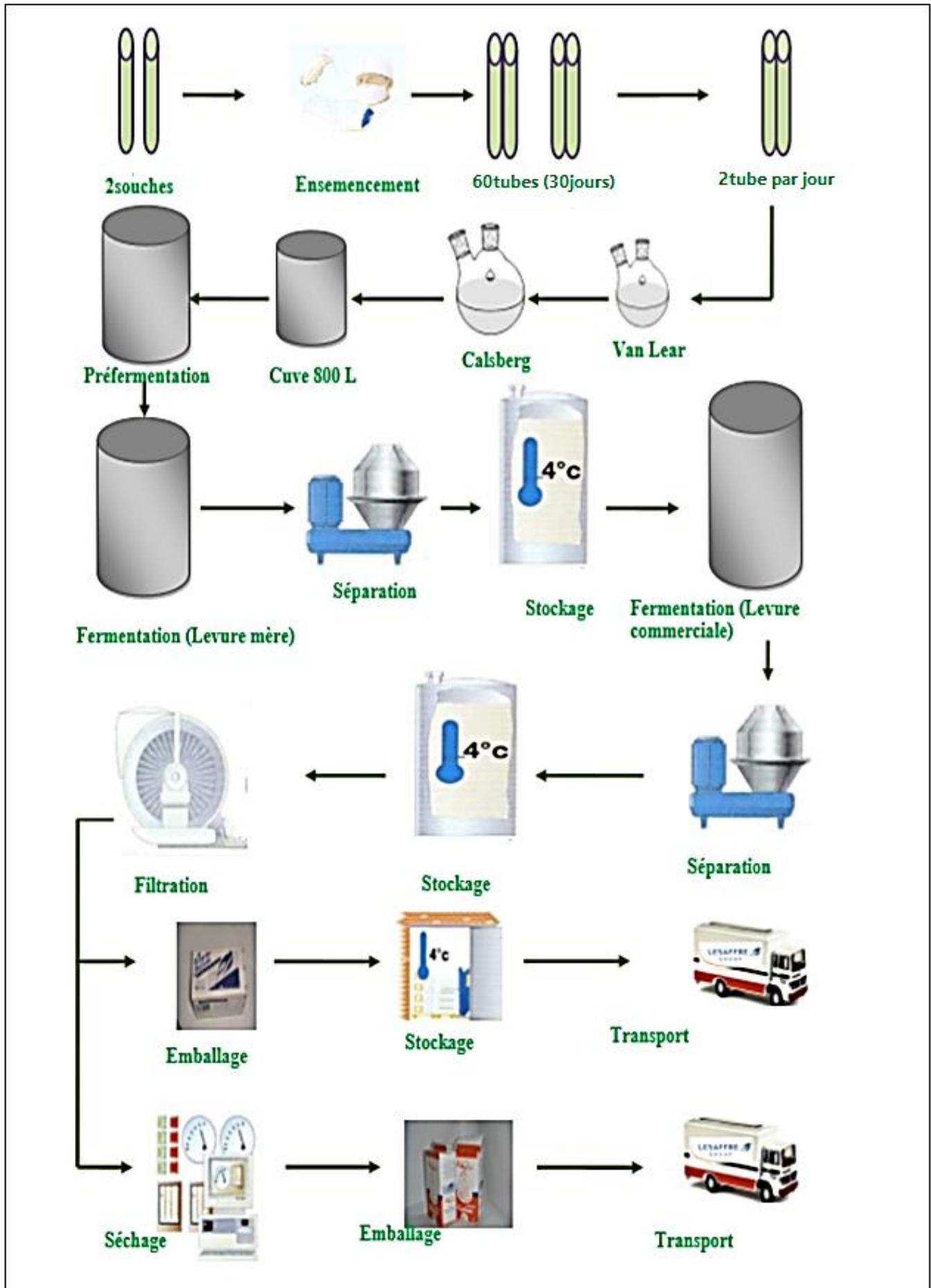


Figure 8 : Processus général de la fabrication de levure

Partie 2 :
Etude du bilan
thermique dans la
station de
traitement de la
mélasse :

Chapitre 1 : Généralité sur le Bilan thermique

I. Introduction:

La stérilisation est une étape plus importante dans le traitement de la mélasse pour éliminer toutes les micro-organismes qui mènent à une contamination de levure au niveau de la fermentation.

La température de stérilisation comprise entre 120 et 130°C, et pour élever la température de la mélasse dans la dilution et la stérilisation on utilise la vapeur d'eau à une température de 185°C, et dans cette augmentation de la température il y a des pertes thermiques qui traversèrent la paroi vers l'extérieur.

L'objectif du travail est l'étude du bilan thermique dans les différentes étapes de traitement de la mélasse et le calcul des pertes et les gains sous forme d'énergie calorifique.

II. Notion sur l'échangeur thermique :

1. Définition

L'échangeur de chaleur est un système qui permet de transférer un flux de chaleur d'un fluide chaud à un fluide froid à travers une paroi sans contact direct entre deux fluides.

2. Notion sur l'échangeur à plaques :

✚ Principe :

Ces échangeurs (figure 9), très répandus dans l'industrie, sont constitués d'un grand nombre de plaques parallèles entre lesquelles circule le fluide (figure 10). Ces plaques ont une surface ondulée selon un profil destiné à faciliter l'écoulement des fluides et à augmenter le coefficient d'échange en créant un régime d'écoulement turbulent [6].

✚ Avantages :

- L'encombrement est réduit car la conception de l'échangeur offre une bonne compacité
- Investissement réduit
- Système modulable

✚ Inconvénients :

- Cet échangeur fonctionne avec des écarts de température limités
- La perte de charge du système peut être élevée.

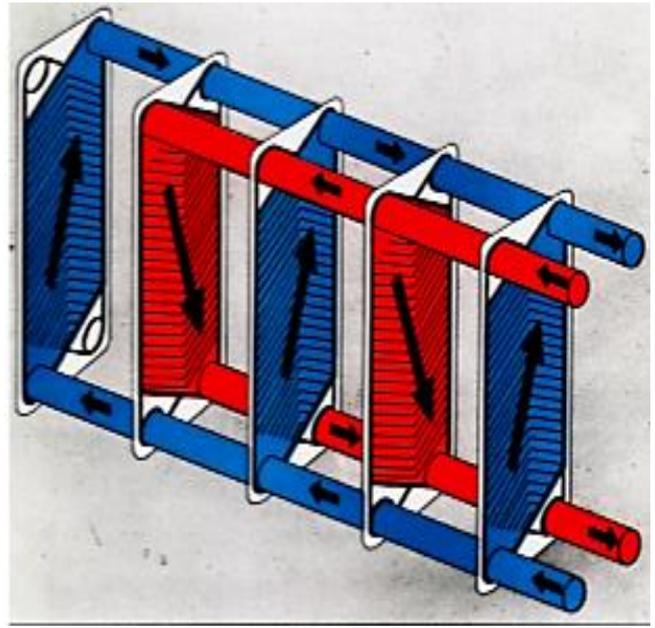


Figure 9: Échangeur à plaques utilisé dans la station Figure10 : Schéma d'un échangeur à plaques

III. Généralité sur le bilan thermique :

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 ...) sur une période continue, pour obtenir des résultats fiables.

2. Notions sur le transfert de chaleur :

a) Le flux de la chaleur :

Le flux thermique ou flux de chaleur, souvent noté Φ , entre deux milieux de températures T_i différentes correspond au transfert thermique Q qui s'écoule par unité de temps entre les deux milieux :

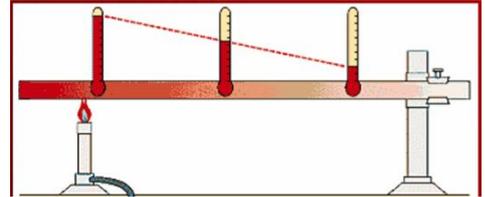
$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

Ce transfert d'énergie interne est réalisé du corps le plus chaud vers le corps le plus froid, ce qui produit à terme une égalisation des températures des deux corps en contact. Le flux thermique s'exprime en Joule par seconde (J/s) ou — c'est équivalent — en watt (W). L'évolution du flux thermique est gouvernée par les principes de la thermodynamique et l'équation de la chaleur.

b) Les modes de transfert de chaleur

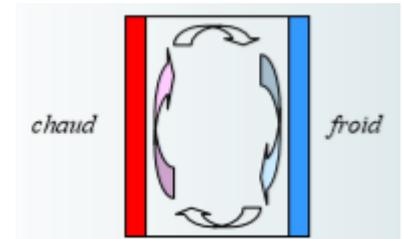
➤ *Conduction* :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres [6].



➤ *Convection*

C'est une transmission de la chaleur dans liquide et les gaz. En chauffant les liquides et les gaz se dilatent et leur masse volumique diminue. Il s'ensuit qu'ils vont monter car ils sont devenus plus léger que le reste du milieu ambiant. Il y a donc un brassage de l'air ou du liquide [6].



➤ *Rayonnement*

Comme son nom l'indique ce type de chauffage fonctionne par rayonnement. Le rayonnement choisi pour faire du chauffage est l'infrarouge. Les corps directement exposés au rayonnement IR voient leur température augmenter [6].



3. Notion sur 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 (D' et D), chaleurs massiques moyennes (Cp' et Cp) et températures d'entrée ($T1'$ et $T1$) et de sortie ($T2'$ et $T2$). Lc est l'enthalpie massique de condensation du fluide chaud à la température $T1$.

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 kJ.h^{-1} . Dans le cas le plus général le flux de chaleur s'écrit comme la somme d'un terme du à une variation de température et d'un terme du à un changement d'état.

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

$$\phi = D \cdot Lc (T_1) + D \cdot Cp \cdot (T_2 - T_1)$$

et

$$\phi' = D' \cdot Cp' \cdot (T_2' - T_1')$$

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 On doit bien remarquer que les différences de température s'expriment entre deux termes composant Φ sont négatifs donc ϕ aussi. ϕ' 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 nulle [7].

Chapitre2 : Etude du bilan thermique dans la station de traitement de mélasse :

L'objectif de ce travail est évaluer l'apport de l'utilisation des échangeurs de chaleur dans l'efficacité énergétique du traitement de la mélasse et calcule les pertes thermiques au niveau de cette traitement. La station de traitement de la mélasse, constitue le vif du sujet car il s'agit de réaliser un bilan thermique pour les différentes parties de traitement de la mélasse <<dilution, stérilisation et refroidissement>>.

1. Les quantités de chaleur dans les différentes étapes de traitement de mélasse :

A. Dilution :

Dans une cuve de dilution (MD) on introduit 51% de la mélasse brute (80% de betterave et 20% de canne) et 49% d'eau chaude. A l'intérieur de la cuve on trouve une électrovanne qu'injecte la vapeur d'eau (185°C), et sous l'agitation mécanique on obtient une mélasse diluée de température 66°C (figure 11).

Dans cette étape on va déterminer le flux thermique reçu par la mélasse diluée et le flux cédé par la vapeur d'eau au cours de l'augmentation de la température jusqu'à 66°C.

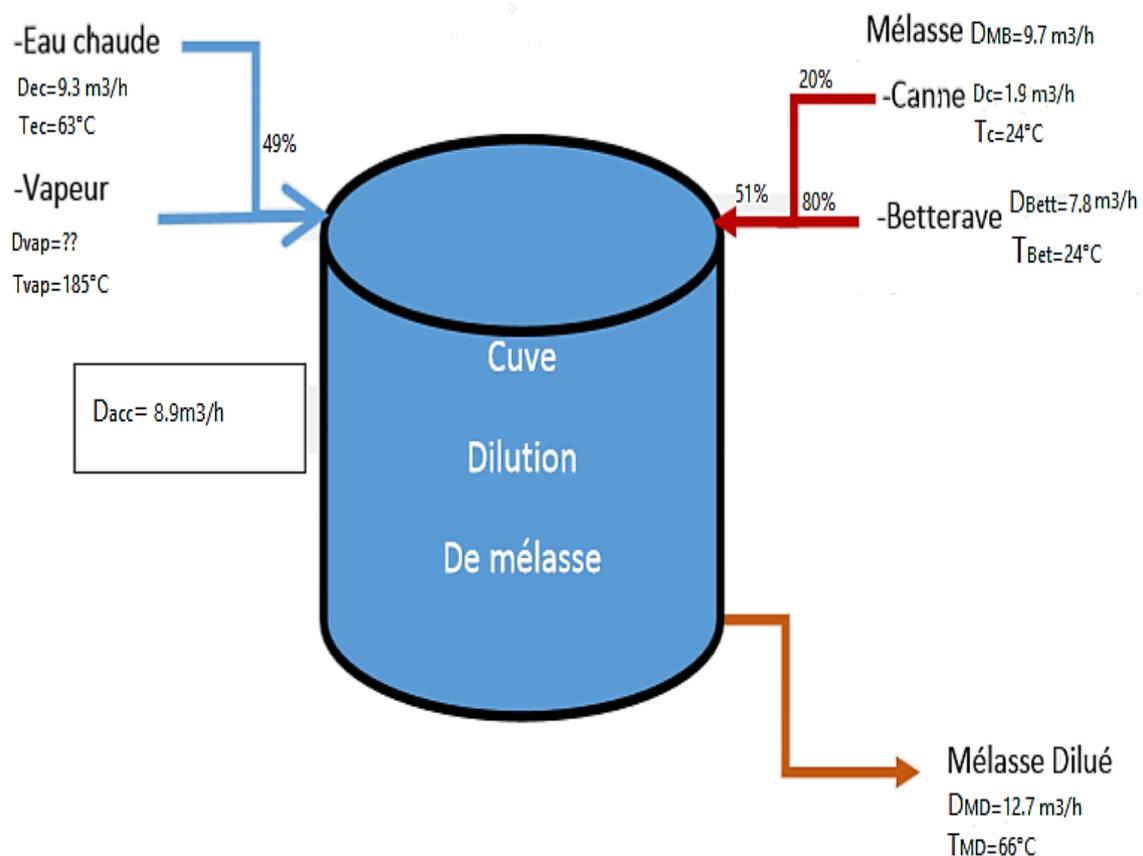


Figure 11 : schéma de la cuve de dilution

Avec :

- D_{vap} : Débit volumique de vapeur ; D_{MB} : débit volumique de la mélasse brute
- D_c : Débit volumique de canne ; D_{Bett} : Débit volumique de Betterave
- D_{MD} : Débit volumique de la mélasse diluée ; D_{acc} : Débit volumique d'accumulation
- D_{ec} : Débit volumique d'eau chaude

Avant d'établir un bilan thermique au niveau de la cuve de dilution on va établir premièrement un bilan matière pour déterminer le débit de vapeur qu'on a injecté. Pour faciliter le travail on va calculer le débit, la capacité calorifique et la température moyenne du mélange mélasse-eau.

❖ Bilan de matière pour déterminer la quantité de vapeur :

$$D_{MB} + D_{ec} + D_{vap} = D_{MD} + D_{acc}$$

$$D_{vap} = (D_{MD} + D_{acc}) - (D_{MB} + D_{ec})$$

$$D_{vap} = (12.7 + 8.9) - (9.3 + 9.7)$$

$$D_{vap} = 2.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

❖ Détermination des débits massique de chaque constituant :

$$D_{massique} = D_{volumique} * \rho$$

Avec : D_{mass} : en Kg/h

D_{volu} : en m^3/h

L'utilisation de la formule ci-dessus permet de calculer les débits massiques de différents constituants.

$$D_{ec} = 9.3 * 1000 = 9.3 \text{ tonne/h}$$

$$D_{MD} = 12.7 * 1243 = 15.78 \text{ tonne/h}$$

$$D_{vap} = 2.6 * 886.6 = 2.3 \text{ tonne/h}$$

$$D_{acc} = 8.9 * 1243 = 11.06 \text{ tonne/h}$$

$$D_{MB} = (D_{acc} + D_{MD}) - (D_{ec} + D_{vap}) = 15.24 \text{ tonne/h}$$

Sachant que :

$$\rho \text{ (MD)} = 1243 \text{ Kg/m}^3 \quad ; \quad C_p \text{ (MB)} = 3.223 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$\rho \text{ (eau)} = 1000 \text{ Kg/m}^3 \quad ; \quad C_p \text{ (eau)} = 4.18 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$\rho \text{ (vapeur)} = 886.6 \text{ Kg/m}^3 \quad ; \quad C_p \text{ (vap)} = 4.206 \text{ Kj/Kg.K}$$

$$L_c \text{ (à } 100^\circ\text{C)} = -2257 \text{ Kj/Kg}$$

❖ **Calcul débit moyen mélasse-eau avant l'injection de la vapeur :**

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

$$D_{\text{moy}} = 0.51 * 15.24 + 0.49 * 9.3$$

$$D_{\text{moy}} = 12.33 \text{ tonne/h}$$

❖ **Calcul de la température de mélange eau-mélasse avant l'injection de la vapeur:**

On suppose que les pertes de chaleur à travers la cuve vers l'extérieur est négligeable

On a :

$$\phi (\text{entré}) = \phi (\text{sortie})$$

Donc

$$D_{\text{ec}} * C_{\text{pec}} * (T_{\text{ec}} - T_{\text{F}}) + D_{\text{MB}} * C_{\text{p}}(\text{MB}) * (T_{\text{F}} - T_{\text{MB}}) = 0$$

$$T_{\text{F}} (D_{\text{ec}} * C_{\text{pec}} + D_{\text{MB}} * C_{\text{p}}(\text{MB})) = (T_{\text{ec}} * D_{\text{ec}} * C_{\text{pec}}) + (T_{\text{MB}} * D_{\text{MB}} * C_{\text{p}}(\text{MB}))$$

$$T_{\text{F}} = \frac{(T_{\text{ec}} * D_{\text{ec}} * C_{\text{pec}}) + (T_{\text{MB}} * D_{\text{MB}} * C_{\text{p}}(\text{MB}))}{D_{\text{ec}} * C_{\text{pec}} + D_{\text{MB}} * C_{\text{p}}(\text{MB})}$$

$$T_{\text{F}} = \frac{(9.3 * 1000 * 4.18 * 63) + (12.33 * 1000 * 3.223 * 24)}{(9.3 * 1000 * 4.18) + (12.33 * 1000 * 3.223)}$$

$$T_{\text{F}} = 43.28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

❖ **Le flux reçu par le mélange mélasse-eau, pour augmenter la température de 43.28°C à Ts = 66°C:**

L'injection de la vapeur d'eau va augmenter la température de mélange de 43.28 à 66 °C. Le mélange donc va gagner la chaleur, donc le flux reçu est déterminé par la formule suivante :

$$\phi = D_{\text{massique}} * C_{\text{p}} * \Delta T$$

Calcul de la capacité calorifique du mélange mélasse-eau :

$$C_{\text{p}}(\text{MD}) = \% \text{MB} * C_{\text{p}}(\text{MB}) + \% \text{eau chaude} * C_{\text{pec}}$$

$$C_{\text{p}}(\text{MD}) = 0.51 * 3.223 + 0.49 * 4.18$$

$$C_{\text{p}}(\text{MD}) = 3.96 \text{ KJ/Kg.K}$$

$$\phi_{\text{reçu}} = D_{\text{moy}} * C_{\text{p}}(\text{MD}) * (T_{\text{S}} - T_{\text{F}})$$

$$\phi_{\text{reçu}} = \frac{12.33 * 1000}{3600} * 3.96 * (66 - 43.28)$$

$$\phi_{\text{reçu}} = 308.15 \text{ KW}$$

❖ **L'injection de vapeur qui subit un changement d'état (condensation) :**

Pour l'augmentation de la température de mélange mélasse-eau, la vapeur d'eau va perdre la chaleur sous forme d'énergie calorifique, cette diminution de la température de vapeur subit une condensation et pour déterminer le flux cédé par l'injection de la vapeur on va diviser en trois parties selon l'état de l'eau.

➤ *vapeur de 185°C à 100°C*

$$\phi_1 = D_{\text{vap}} * C_{p_{\text{vap}}} * (100 - 185)$$

$$\phi_1 = \frac{2.3 * 1000}{3600} * 4.206 * (100 - 185)$$

$$\phi_1 = -228.41 \text{ KW}$$

➤ *changement de phase à 100°C*

On suppose que le Débit est constant

$$\phi_2 = D_{\text{vap}} * L_c$$

$$\phi_2 = \frac{2.3 * 1000}{3600} * -2257$$

$$\phi_2 = -1441.97 \text{ KW}$$

➤ *eau liquide de 100°C à 66°C*

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

$$\phi_3 = \frac{2.3 * 1000}{3600} * 4.18 * (66 - 100)$$

$$\phi_3 = -90.8 \text{ KW}$$

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

$$\phi_{\text{cédé}} = -(228.41 + 1441.97 + 90.8)$$

$$\phi_{\text{cédé}} = -1761.18 \text{ KW}$$

❖ **la perte thermique dans l'étape de dilution :**

$$\phi_{\text{perte}} = \phi_{\text{reçu}} + \phi_{\text{cédé}} = 308.15 - 1761.18$$

$$\phi_{\text{perte}} = -1453.03 \text{ KW}$$

Nous voyons que les résultats montrent que la dilution de la mélasse demande une énergie de **1453.03 KW**, et que la perte thermique présente un pourcentage de **82.5%**.

B. Stérilisation :

La stérilisation est une étape essentielle dans le traitement de la mélasse, avant de stériliser la MDC passe dans un échangeur mélasse-mélasse pour augmenter leur température. Au niveau du stérilisateur, l'injection de la vapeur va augmenter la Température de MDC jusqu'à 127°C on obtient MDCS, ce dernier repasse dans l'échangeur pour baisser sa température et pour chauffer la MDC revient au stérilisateur (voir figure 12).

Dans cette partie on va établir un bilan thermique au niveau de l'échangeur mélasse-mélasse, et au niveau du stérilisateur, et on calcule les flux reçus et cédés dans cette étape.

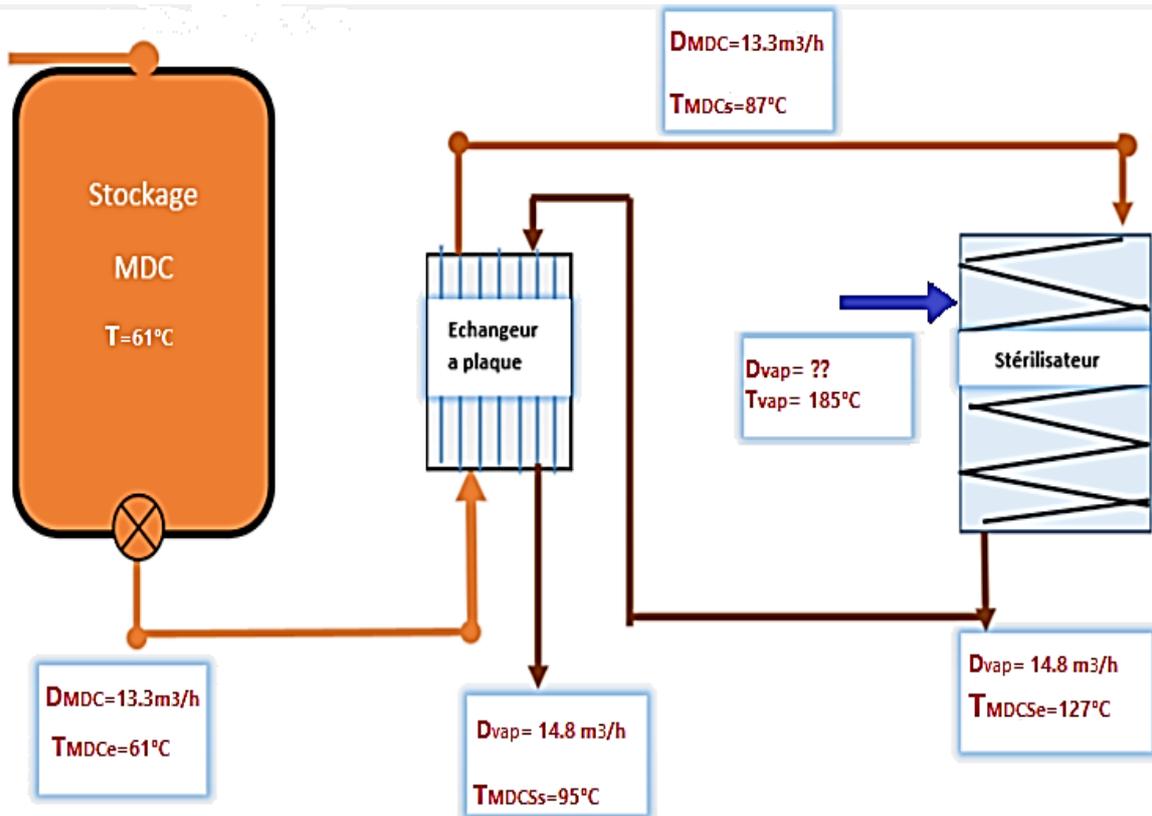


Figure 12 : schéma de la stérilisation :

Avec :

D_{MDC} : débit de la mélasse diluée clarifiée

D_{MDCS} : débit de la mélasse diluée clarifiée stérilisée

T_{MDCe} : température de la mélasse diluée clarifiée à l'entrée de l'échangeur mélasse-mélasse

T_{MDCs} : température de la mélasse diluée clarifiée à la sortie de l'échangeur mélasse-mélasse

T_{MDCSe} : température de la mélasse diluée clarifiée stérilisée à l'entrée de l'échangeur mélasse-mélasse

T_{MDCSs} : température de la mélasse diluée clarifiée stérilisée à la sortie de l'échangeur mélasse-mélasse

❖ **Bilan thermique au niveau d'échangeur mélasse-mélasse**

✓ *Le flux reçu par la mélasse diluée clarifiée au niveau d'échangeur :*

Calculs les débits massiques de différents constituants :

$$D_{MDC} = 13.3 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow D_{MDC} = 13.4 * 1204 = 16.133 \text{ tonne/h}$$

$$D_{MDCS} = 14.8 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow D_{MDCS} = 14.8 * 1203 = 17.804 \text{ tonne/h}$$

$$\phi_{reçu1} = D_{MDC} * C_p(MD) * (87-61)$$

$$\phi_{reçu1} = \frac{16.133 * 1000}{3600} * 3.96 * (87-61)$$

$$\phi_{reçu1} = 461.4 \text{ KW}$$

✓ *Le flux cédé par la mélasse diluée clarifié stérilisée au niveau d'échangeur :*

Au niveau de l'échangeur mélasse-mélasse on a un refroidissement de MDCS de 127°C à 95°C (on suppose que le débit est constant (D_{vap}= Deau condensé)

$$\phi_{cédé1} = D_{MDCS} * C_p(MD) * (95-127)$$

$$\phi_{cédé1} = \frac{17.804 * 1000}{3600} * 3.96 * (95-127)$$

$$\phi_{cédé1} = -626.70 \text{ KW}$$

✓ *La perte thermique sous forme d'énergie :*

$$\phi_{perte} = \phi_{reçu1} + \phi_{cédé1} = -165.3 \text{ KW}$$

L'échangeur nous permet de récupérer un gain d'énergie équivalent à **461.4 kW** soit **73.6%** d'énergie cédé.

❖ **Bilant thermique au niveau de stérilisateur**

✓ *Le flux reçu par la MDC pour augmenter sa température de 87°C à 127°C*

$$\phi_{reçu2} = D_{MDC} * C_p(MD) * (127-87)$$

$$\phi_{reçu2} = \frac{16.133 * 1000}{3600} * 3.96 * (127-87)$$

$$\phi_{reçu2} = 709.85 \text{ KW}$$

✓ *Le flux cédé par la vapeur au niveau du stérilisateur :*

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

$$D_{\text{vap}} = D_{\text{MDCs}} - D_{\text{MDC}}$$

$$D_{\text{vap}} = 17.804 - 16.133$$

$$D_{\text{vap}} = 1.67 \text{ tonne/h}$$

On suppose que la vapeur d'eau est totalement condensée au niveau du stérilisateur

$$\phi_{\text{cédéd2}} = D_{\text{vap}} * C_{p_{\text{vap}}} * (127 - 185) + D_{\text{vap}} * L_c$$

$$\phi_{\text{cédéd2}} = \frac{1.67 * 1000}{3600} * 4.206 * (127 - 185) + \frac{1.67 * 1000}{3600} * -2257$$

$$\phi_{\text{cédéd2}} = -1160.16 \text{ KW}$$

❖ **Les pertes en termes d'énergie au niveau du stérilisateur :**

$$\phi_{\text{pertes}} = -1160 + 709.85$$

$$\phi_{\text{pertes}} = -450.31 \text{ KW}$$

Nous voyons que les résultats montrent que le stérilisateur de mélasse demande une énergie de **450.31 KW**, et que la perte thermique présente un pourcentage de **38.8%**.

❖ **La perte thermique au niveau de l'étape de stérilisation est :**

$$\Sigma \Phi_{\text{perte}} = -615.61 \text{ KW}$$

C. Refroidissement :

A l'étape de refroidissement de la mélasse au niveau de l'échangeur mélasse-eau, il est très difficile de mettre un bilan thermique. Parce que d'une part on n'a pas un débit constant de mélasse 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.

2. Evaluation des pertes thermiques et les gains portés en termes d'énergie :

a) 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.

$$\Sigma \phi_{\text{pertes}} = 1453.03 + 615.61 = 2068.64 \text{ KW}$$

b) Les gains thermiques par l'échangeur mélasse-mélasse:

$$\phi_{\text{gains}} = 461.4 \text{ KW}$$

3. l'efficacité de l'échangeur mélasse-mélasse :

On définira l'efficacité ε 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 faible, on peut expliquer ce phénomène par deux Hypothèses :

- Soit l'échangeur est mal dimensionné → les surfaces d'échanges 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).

4. Les solutions proposées pour diminué les pertes thermique au niveau de la station de traitement :

Les pertes thermiques sont les plus grands problèmes connus à l'échelle des procédés agro-alimentaire, pour réduire ces pertes on propose une isolation entre intérieur et l'extérieur de chaque matériau utilisé.

- Cas des cuves : utilisation de parois composées de trois couches, le premier de l'intérieur est généralement l'acier inoxydable suivi par un isolant composé de laine de roche, laine grillagée ou polyuréthane, et enfin un revêtement en inox ou aluminium
- Cas des tuyauteries : le principe on change seulement la nature d'isolant (utilisation de laine de verre).
- Cas d'échangeur : augmentation d'efficacité par :
 - Redimensionnement d'échangeur (augmentation de nombre de plaques suivi d'une augmentation de surface d'échange).
 - Elimination d'encrassement : nettoyage physico-chimique par l'acide et la soude à longue temps.

Conclusion

Le projet avait pour objet l'établissement du bilan thermique dans les différentes parties de traitement de la mélasse au sein de l'entreprise Lesaffre-Maroc.

L'établissement du bilan thermique nous a permis de calculer l'efficacité des échangeurs thermique et d'identifier les pertes et les gains thermiques au niveau des différentes étapes de traitement de la mélasse.

Les résultats ainsi obtenu, nous permis de conclure :

- L'échangeur thermique d'une efficacité de 40%.
- La cuve de dilution avec une perte de 82.5%.
- Le stérilisateur avec une perte de 38.8%.
- L'échangeur mélasse-mélasse permet de récupéré un gain d'énergie de 73.6%.

Ces pertes sont fardeaux financièrement pour l'institution de traitement de la mélasse. Pour remédier à cette problématique d'efficacité énergétique, la mise en place des solutions alternatives sont indispensables :

- Un entretien régulier des appareils.
- Un audit énergétique régulier.
- Un redimensionnement des échangeurs.
- Etablissement d'une isolation dans les parois des différents matériels.

Références bibliographiques

- [1] : <http://www.lesaffre.com/fr/le-groupe/lesaffre-dans-le-monde.html> 15/05/2016
- [2] : <http://www.lesaffre.com/> 15/05/2016
- [3] : <http://www.wikipedia.com/> 16/05/2016
- [4] : <http://www.google.com/image> 16/05/2016
- [5] : <http://www.univ-biskra.dz/enseignant/bensaada/Transfert%20de%20chaleur>
28/05/2016
- [6] : <http://www.gsi-energie.univ-rouen.fr/IMG/pdf/cours-iup-me-echangeurthermique-2> 25/05/2016
- [7] : http://www.eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/thermig
24/05/2016