



*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

## **Projet de Fin d'Etudes**

# ***Le bilan thermique des batteries chaudes au sien de la société LESAFFRE MAROC***

**Lieu : LESAFFRE MAROC**

**Référence : 19/17GI**

**Préparé par :**

- Chaiboub Chaymae
- Slasli Kaoutar

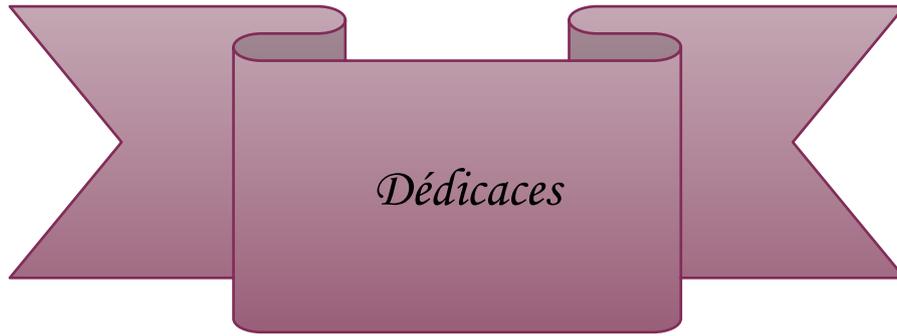
**Soutenu le 8 Juin 2017 devant le jury composé de :**

- Pr.A.Chafi(Encadrant FST)
- Pr.F. Belmajdoub (Examinateur)
- Pr.S. Haouache (Examinateur)
- Mr.S. Firdaoussi (Encadrant Société)



## Avant-propos

*Ce travail a été réalisé à la société Lesaffre Maroc de Fès  
Et plus précisément au service séchage dans le cadre de la  
Réalisation du projet de fin d'études à la  
Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



## *Dédicaces*

*Nous dédions ce modeste travail à toutes les personnes qui nous sont très chères, et avec lesquelles on a tout partagé :*

*A Nos très chers parents :*

*On leur présente notre travail si modeste, mais qui sera certes un premier pas pour leur rendre*

*Hommage et les remercier pour leurs grands efforts accomplis à notre égard.*

*Que Dieu les récompense et leur prête bonne santé et longue vie.*

*A nos chers frères et sœurs :*

*Vous, qui êtes à nos côtés, pour partager nos joies. On vous souhaite une vie comblée et la réussite.*

*A nos collègues :*

*A toute la promotion LST Génie Industriel 2016-2017, on vous souhaite une bonne continuation dans votre vie personnelle ainsi que professionnelle.*

# Remerciements

*A l'issue de ce projet de fin d'études, nous tenons à remercier en premier lieu notre **DIEU**,  
Notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Au terme de ce travail, nous nous sentons redevable à toutes les personnes qui ont contribué à rendre notre stage à **LESAFFRE MAROC** aussi agréable et qui, par leur enseignement et leurs conseils ont contribué à sa réalisation.*

*A notre encadrant de stage Mr le professeur **ANAS CHAFI** pour son Assistance et sa contribution à l'avancement de ce travail. Nous le remercions aussi pour sa Disponibilité et pour toutes les remarques et les précieux conseils prodigués*

*Nous tenons à remercier tout particulièrement Mr le Directeur de la société **LESAFFRE MAROC** pour nous avoir accepté comme stagiaires.*

*On adresse nos plus vifs remerciements à **MR. Timmouch** pour son accueil, son encadrement, sa disponibilité, et pour la confiance qu'il nous a accordées. Merci pour les nombreuses discussions que nous avons eu et les conseils précieux qu'il nous a prodigué tout au long de ce stage.*

*On tient à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadrants **Mr. El firdaoussi** et **Mr. Aziz**, qui nous ont accordé de leur temps précieux, pour leur soutien, leur disponibilité pour mener à bien ce modeste projet.*

*On souhaite remercier chaleureusement tout le personnel de la société **LESAFFRE MAROC** de nous avoir consacré de leur temps avec beaucoup de sympathie. A tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, nous disons*





# Sommaire

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Présentation de la société et Procédé de fabrication de la levure.....</b>	<b>2</b>
<b>1- Présentation de la société.....</b>	<b>2</b>
a- Group LESAFFRE .....	2
b- LESAFFRE au Maroc .....	2
c- Organigramme de l'entreprise .....	4
<b>2- Procédé de fabrication de la levure.....</b>	<b>5</b>
a- Présentation du microorganisme.....	5
b- Préparation de la mélasse.....	5
c- Préparation des sels nutritifs.....	7
d- Fermentation .....	8
e- Station de séparation.....	8
f- Station de filtration.....	9
g- Station d'emballage .....	9
<b>Chapitre II : Le bilan thermique des batteries chaudes.....</b>	<b>10</b>
<b>1- Le service séchage.....</b>	<b>10</b>
a- Qu'est-ce que le séchage ?.....	10
b- Pourquoi sèche-t-on des produits agro-alimentaires ?.....	10
c- Le séchage au sein de la société, comment ça se passe ?.....	10
<b>1- Le bilan thermique .....</b>	<b>16</b>
a- Définition .....	16
b- Démonstration.....	16
<b>2- Elaboration du bilan thermique.....</b>	<b>17</b>
a- Energie de vapeur .....	17
b- Energie de vaporisation.....	18
<b>Chapitre III : Les pertes énergétiques.....</b>	<b>21</b>
<b>1- Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>2- Pertes de levure sèche.....</b>	<b>22</b>
<b>3- Pertes en énergie de vapeur.....</b>	<b>22</b>
a- Bilan thermique au niveau du service séchage.....	22
b- Pertes fioul .....	22
<b>4- Pertes en énergie électrique.....</b>	<b>23</b>
<b>5- L'optimisation des pertes .....</b>	<b>23</b>
a- Généralités sur le « Diagramme D'ISHIKAWA ».....	23
b- Application du diagramme d Ishikawa .....	24
c-Interprétation du diagramme d'Ichikawa .....	24
d-Solutions pour l'optimisation des pertes .....	25
<b>Conclusion.....</b>	<b>27</b>

## *Listes des Figures*

*Figure 1 : levure fraîche*

*Figure 2 : Levure sèche*

*Figure 3 : Les améliorants*

*Figure 4 : Les cellules Saccharomyces cerevisiae*

*Figure 5 : la mélasse*

*Figure 6 : Un clarificateur*

*Figure 7 : schéma de préparation de la mélasse.*

*Figure 8 : étapes de cultures pures de la souche avant pré-fermentation.*

*Figure 9 : séparateur*

*Figure 10 : filtre rotatif*

*Figure 11 : boudineuse*

*Figure 12 : Triangle de combustion*

*Figure 13 : schéma d'une batterie chaude*

*Figure 14 : schéma de conservation de flux*

*Figure 15 : schéma de pertes*

*Figure 16 : Les cinq M*

*Figure 17 : Diagramme cause-effet d'Ishikawa illustrant les causes des pertes de levure.*

*Figure 18 : Les pertes de levure sèche*

## *Listes des tableaux*

*Tableau 1 : Comparaison entre levure sèche et levure fraîche*

*Tableau 2 : suivi du sécheur Glatt*

*Tableau 3 : suivi du sécheur T10*

*Tableau 4 : suivi de la consommation de vapeur pendant 2 jours.*

*Tableau 5 : Pourcentage de matière sèche dans le gâteau et la levure sèche*

*Tableau 6 : suivi de la température de l'air ambiant*

*Tableau 7 : la production réelle pour différentes charges*

*Tableau 8 : suivi de la puissance électrique*



## Listes de sigles et acronymes

<b>MD</b>	<i>Mélasses diluées</i>	<b>6</b>
<b>MDC</b>	<i>Mélasses diluées clarifiées</i>	<b>6</b>
<b>MDCS</b>	<i>Mélasses diluées clarifiées stérilisées</i>	<b>6</b>
<b>SPI</b>	<i>Levure sèche instantanée</i>	<b>10</b>
<b>SPH</b>	<i>SPH Levure sèche hydratée</i>	<b>10</b>
<b>FL</b>	<i>Fioul lourd</i>	<b>11</b>
<b>PCI</b>	<i>Pouvoir calorifique inférieur</i>	<b>11</b>
<b>PCS</b>	<i>Pouvoir calorifique supérieur</i>	<b>11</b>
<b>T<sub>P</sub></b>	<i>Température du produit</i>	<b>13</b>
<b>T<sub>airambiant</sub></b>	<i>Température de l'air ambiant</i>	<b>13</b>
<b>T<sub>airsec</sub></b>	<i>Température d'air chaud</i>	<b>13</b>
<b>T<sub>airsortie</sub></b>	<i>Température de l'air sortie vers l'atmosphère</i>	<b>13</b>
<b>Φ<sub>e</sub></b>	<i>L'énergie nécessaire pour faire chauffer l'air ambiant jusqu'à 120 °C</i>	<b>16</b>
<b>D<sub>v</sub></b>	<i>Le débit volumique de l'air</i>	<b>16</b>
<b>φ</b>	<i>La masse volumique de l'air</i>	<b>16</b>
<b>C</b>	<i>La chaleur massique de l'air</i>	<b>16</b>
<b>T<sub>i</sub></b>	<i>La température initiale de l'air ambiant</i>	<b>16</b>
<b>T<sub>f</sub></b>	<i>La température finale de l'air sec</i>	<b>16</b>
<b>Φ<sub>s</sub></b>	<i>L'énergie nécessaire pour faire évaporer le pourcentage d'eau qui se trouve dans la levure</i>	<b>17</b>
<b>Φ<sub>chauffer</sub></b>	<i>Le flux nécessaire pour chauffer l'air jusqu'à 100°C</i>	<b>17</b>
<b>Φ<sub>evaporation</sub></b>	<i>Le flux nécessaire pour faire évaporer l'eau</i>	<b>17</b>
<b>ΔH<sub>1→2</sub></b>	<i>L'enthalpie de l'eau ou la chaleur latente de l'eau</i>	<b>17</b>
<b>m</b>	<i>La masse de l'eau</i>	<b>17</b>
<b>C<sub>p</sub></b>	<i>La chaleur massique de l'eau</i>	<b>17</b>
<b>T'<sub>i</sub></b>	<i>La température initiale de l'eau</i>	<b>17</b>
<b>T'<sub>f</sub></b>	<i>La température finale de l'eau (point de vaporisation)</i>	<b>17</b>
<b>Φ<sub>Pertes</sub></b>	<i>Le flux de pertes</i>	<b>17</b>
<b>Φ'<sub>e</sub></b>	<i>Le flux de vapeur entrant au service séchage</i>	<b>22</b>
<b>Φ'<sub>s</sub></b>	<i>Le flux sortant du service séchage</i>	<b>22</b>
<b>Φ'<sub>Pertes</sub></b>	<i>Le flux de pertes au niveau du service séchage</i>	<b>22</b>



# Introduction Générale



*Le stage dans une industrie constitue un élément primordial dans la formation de chaque étudiant, et surtout pour un génie industriel afin de mieux connaître le milieu de travail, d'améliorer ses connaissances dans le domaine industriel et de renforcer ses acquis théoriques. Pour cela nous avons choisis la société LESAFFRE Maroc, le leader mondial de production de levure dans son unité de production installée à Fès pour effectuer notre stage de fin d'études et pour bien appliquer tout ce que nous avons appris durant notre formation au sein de la faculté des sciences et techniques Fès.*

*Durant cette période de stage notre travail est porté sur l'élaboration du bilan thermique au niveau du service séchage et l'optimisation des pertes énergétiques au niveau de ce dernier. Afin de pouvoir expliquer la démarche adoptée pour répondre à notre sujet, nous avons partagé notre rapport en 4 grands chapitres :*

*Dans le premier chapitre nous introduisons tout d'abord la société d'accueil puis nous abordons le procédé de fabrication de la levure.*

*Dans le deuxième chapitre nous allons définir le séchage Agrico-alimentaires au sein de la société Lesaffre Maroc, puis nous allons établir le bilan thermique au niveau du service séchage théoriquement et pratiquement.*

*Ce volet nous permettra d'aborder, le troisième chapitre qui est consacré au pertes énergétiques tout en proposant des solutions pratiques.*



# Présentation de la société et procédé de fabrication de la levure

## **1- Présentation de la société :**

### **a. Group LESAFFRE :**

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

*En 1871, le baron autrichien Max de Springer rapporte de chez Mautner l'idée d'extraire la levure des moûts de fermentation des grains et de la vendre aux boulangers. L'année suivante, LESAFFRE et Bonduelle développent la fabrication de levure fraîche à Marcq-en-Barœul. C'est à partir de ce site que se développera la Société Industrielle LESAFFRE.*

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

### **b. LESAFFRE au Maroc :**

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

*Son siège est situé au quartier industriel SIDI BRAHIM Fès. Elle produit environ 30.000 tonnes de levures par an 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.*

*Lesaffre fabrique et commercialise au Maroc de la levure et des améliorants de panification des marques suivantes :*

#### **Jaouda pour la levure fraîche (figure 1) :**



**Figure1 : Levure Fraiche**

***Rafiaa et Nevada pour la levure sèche (figure2), ainsi qu'un type spécial destiné pour saturer les besoins des forces armées royales (FAR) en levure :***



***Figure 2 : Levure sèche***

***Ibis bleu et Magimix pour les améliorants (figure3) :***

***Qui sont des produits qui apportent au consommateur le pain qu'il apprécie que ce soit en terme de volume, de texture et couleur, d'aspect et couleur de croûte, de conservation et bien sûr le goût. Sa large gamme de produits en fait aujourd'hui le leader sur le marché des professionnels.***



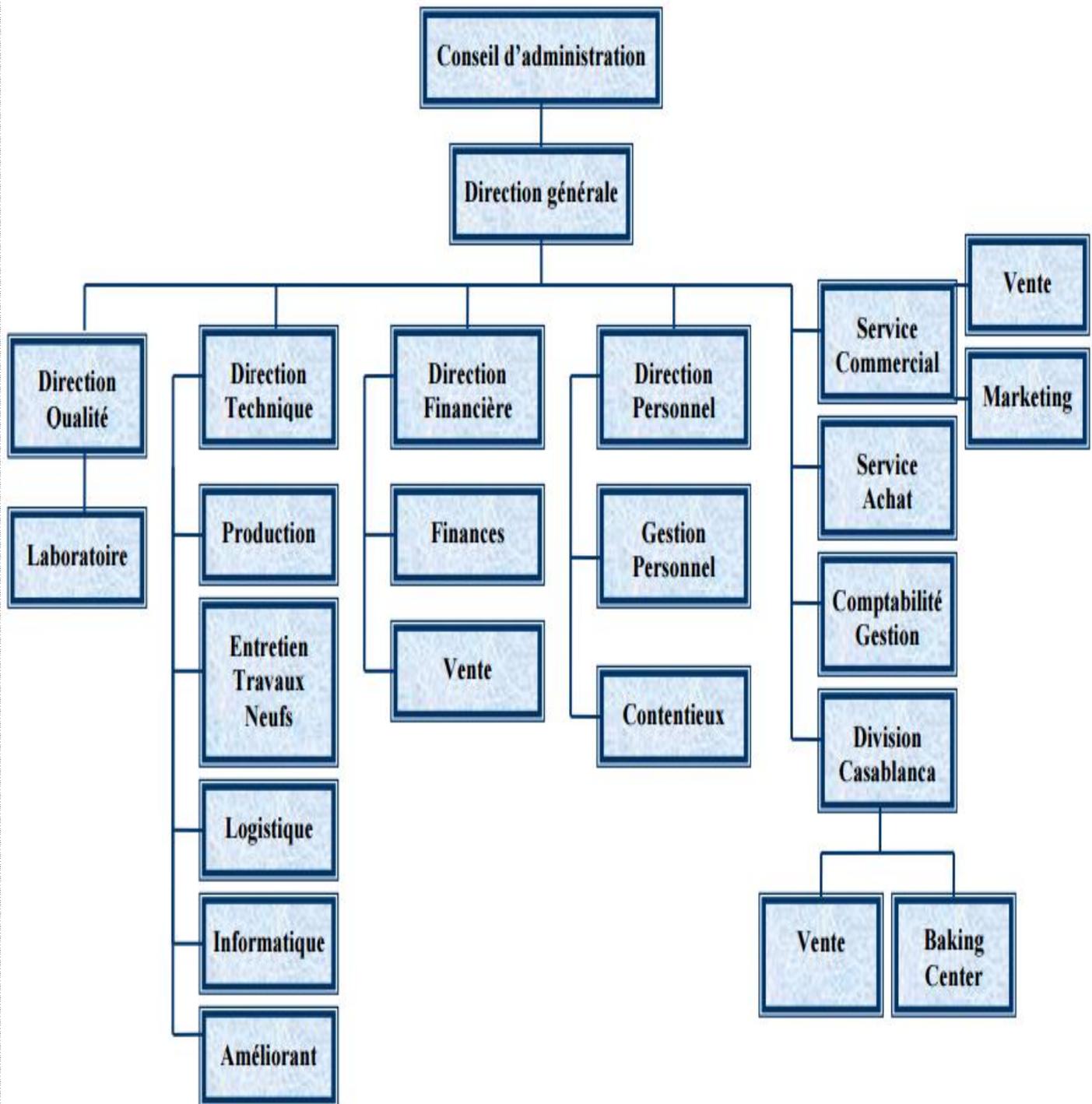
***Figure 3 : Les améliorants***

***Bénéficiant de l'expertise et du savoir-faire du groupe LESAFFRE, la société possède un laboratoire d'analyse qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et bactériologiques. La qualité des levures est ainsi sans cesse évaluée afin d'optimiser leurs performances : force fermentative, pureté, stabilité et résistance par rapport au contexte climatique et il a reçu 2 trophées :***

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

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

*c. Organigramme de la société :*



## ***2-Le procédé de fabrication de la levure et ses principes :***

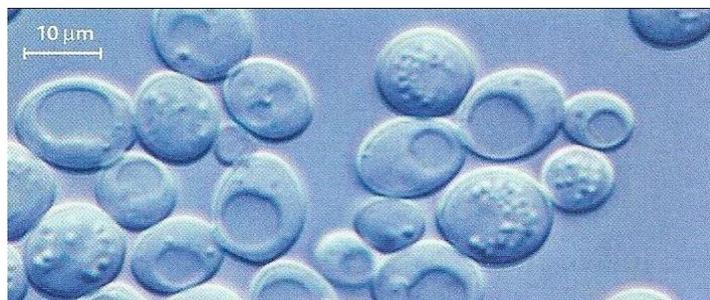
### ***a- Présentation du microorganisme :***

*Les levures sont des champignons microscopiques unicellulaires et eucaryotes, elles sont utilisées dans la fabrication du vin, du pain, de la bière et sont souvent utilisées comme aliments pour le bétail en raison de leur richesse en protéines et en vitamines B.*

*Elles sont capables de :*

- ❖ Dégrader les aliments qui se trouvent dans leur milieu de culture grâce à une gamme très étendue d'enzymes d'hydrolyse telles que des lipases, protéases, saccharases et lactases.*
- ❖ Effectuer les synthèses dont elles ont besoin pour leur croissance.*

*Il existe plus de 500 espèces de levures, mais seulement une petite partie de celles-ci est considérée comme ayant une importance commerciale, parmi elles, celle utilisée dans la fabrication de la levure boulangère *Saccharomyces cerevisiae* (figure 4) qui est naturellement présente dans l'air et peut se déposer sur la paroi des végétaux ou sur les aliments. En absence d'air, elle tire l'énergie nécessaire à sa vie du processus de fermentation panaire. En présence d'air, elle réalise des réactions de respiration et se multiplie abondamment. Ce processus est exploité lors de sa production industrielle.*



***Figure 4 : Les cellules *Saccharomyces cerevisiae****

### ***b- Préparation de la mélasse :***

*La mélasse présentée sur la figure 5 est la matière première essentielle pour la production de la levure, c'est un sous-produit des sucreries. La mélasse présente pour la levure une source de carbone, sa préparation (88% betterave + 12% canne) consiste à une dilution, clarification, stérilisation et refroidissement.*



***Figure 5 : la mélasse***

### ***Dilution :***

*La mélasse brute passe à 20°C vers une grande cuve dont la capacité est de 15 m<sup>3</sup> dans deux canalisations, l'une pour la betterave et l'autre contient la canne, on ajoute de l'eau chaude à 65°C. On injecte par la suite, la vapeur par une électrovanne pour élever la température à 70°C. en fin, on mélange le tout grâce à un agitateur ; on parle d'une mélasse diluée (MD) dont la température est de 70°C.*

### ***Clarification :***

*La mélasse diluée passe ensuite dans un clarificateur (figure 6) où elle est centrifugée. Cette étape consiste à éliminer les colloïdes et les boues, ce qui permet d'éviter le colmatage des échangeurs utilisés lors de la stérilisation de la mélasse. A la fin, la mélasse diluée et clarifiée est stockée dans des cuves MDC à une température de 70°C.*



**Figure 6 : Un clarificateur**

### ***Stérilisation :***

*La stérilisation est l'opération où la mélasse (MDC) est mise en contact direct avec la vapeur d'eau pendant un moment déterminé et une pression convenable.*

*La température de stérilisation est de 120 à 130 °C pendant 2 à 3 min selon le débit de mélasse. Ensuite elle passe dans un échangeur à plaque (MDC)\_(MDCS) afin d'être refroidie.*

### ***Refroidissement :***

*Avant d'être utilisée dans la fermentation, la MDCS passe dans des refroidisseurs, qui sont des échangeurs à plaques mélasse / eau froide. Le chauffage de l'eau de refroidissement provoque la formation du calcaire et risque un colmatage des plaques de l'échangeur, d'ici vient la nécessité d'utiliser le poly-phosphate dans la décalcification.*

*La figure 7 montre les différentes étapes de préparation de la mélasse :*

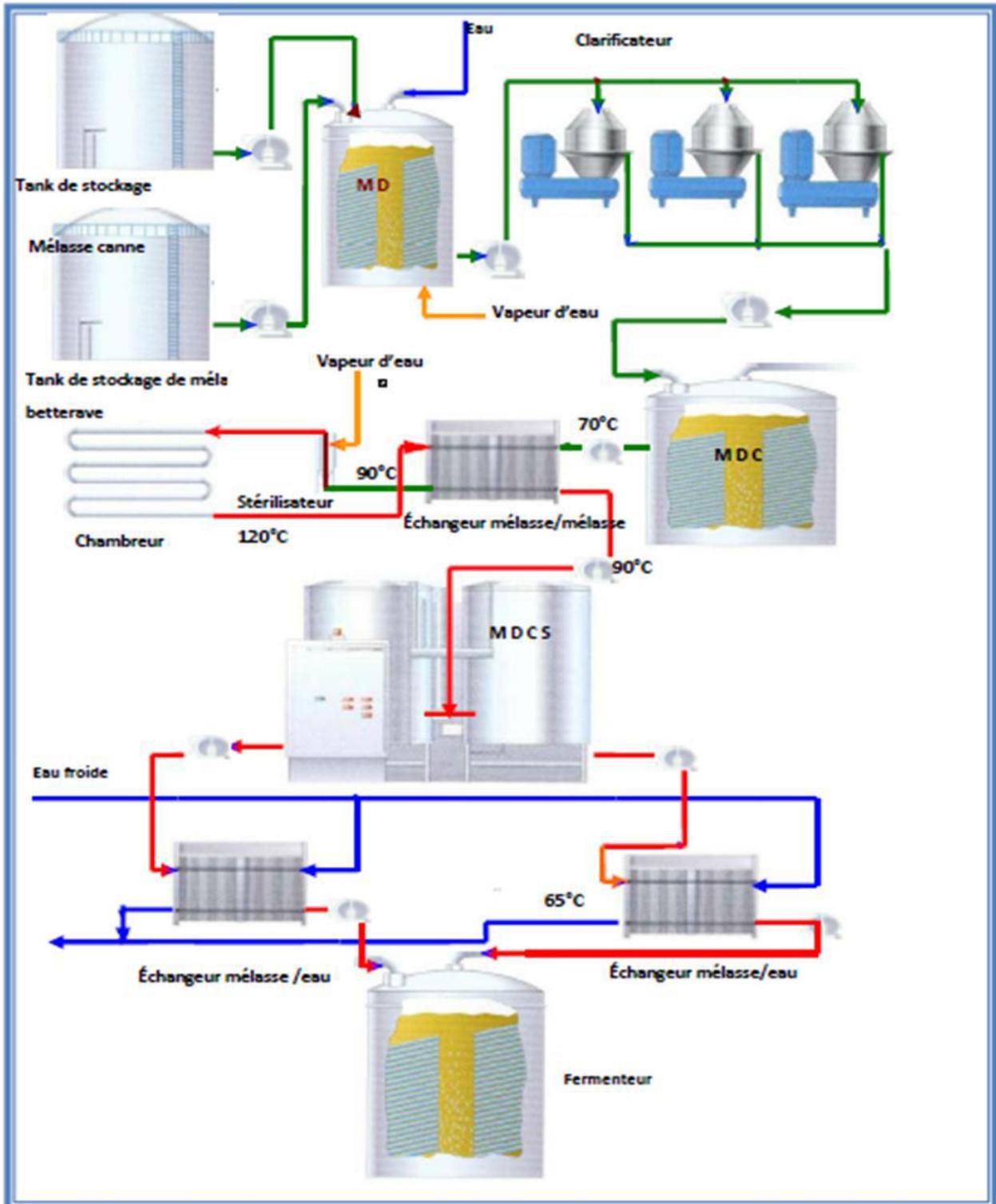


Figure 7 : schéma de préparation de la mélasse

### ***c- Préparation des sels nutritifs :***

*L'urée, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate offrent pour les levures les sources d'azote et du phosphate dont elles ont besoin au cours de sa fermentation leurs préparations comprennent seulement une dilution.*

### ***d- Fermentation :***

*A partir d'une souche soigneusement sélectionnée, on obtient une cellule de "Saccharomyces cerevisiae" cette dernière est inoculée dans un ballon appelé Van Lear à une température inférieure à 5°C, contenant un milieu nutritif pour favoriser la première multiplication. Après 24 heures, les levures obtenues sont inoculées dans une autre verrerie nommée Carlsberg à une température de 28°C puis on les laisse 24 heures sous agitation pour l'aération de la levure.*

*On obtient ainsi une quantité de levure suffisante pour passer à l'échelle semi industriel qui se déroule dans une cuve de 800 litres, en ajoutant cette fois la mélasse et les sels nutritifs ainsi qu'une quantité d'air (O<sub>2</sub>) cette démarche est présentée sur la figure 8.*



**Figure 8 : Etapes de cultures pures de la souche avant pré-fermentation**

*Le processus se poursuit dans un pré-fermenteur bien nettoyé par la soude à une température de 90 °C et rincé à l'eau. Avant le refoulement du volume de 800L, le milieu doit être préparé par les éléments suivants : la cuve est remplie par le volume d'eau nécessaire, on ajoute le sulfate de magnésium, les vitamines, l'eau de javel pour la désinfecter et l'acide sulfurique pour ajuster le pH.*

*La mélasse, le sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate sont ajoutés graduellement au cours de la pré-fermentation selon les besoins de la levure. L'air aussi est apporté graduellement avec le temps, suivant la concentration de la levure dans le milieu.*

*A la fin de la fermentation on obtient un mout qui servira à ensemercer le fermenteur avec un milieu nutritif bien spécifier et après 18 à 20 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.*

#### *e- Station de séparation :*

*Le moût est un mélange de levure, d'eau et du reste de la mélasse, ce qui nécessite une séparation. Cette opération est effectuée dans une salle de séparation qui contient des séparateurs (figure 9), à la fin de l'opération on obtient une crème qui contient de la levure pure celle-ci est refroidie à 4°C et stockée dans de grands bacs.*

*Avant son utilisation il faut lui ajouter du sel qui joue un rôle très important au nettoyage des cellules et la régulation de la matière sèche.*



*Figure 9 : séparateur*

#### *f- Station de filtration :*

*La société LESAFFRE utilise des filtres rotatifs (figure 10) à tambour d'une grande surface pour une meilleure filtration. On ajoute de la saumure ( $\text{Na Cl} + \text{H}_2\text{O}$ ) à la crème, on aura donc une différence de concentration entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule de la levure, ce qui favorise une diffusion de l'intérieure vers l'extérieure.*

*On met une pré-couche d'amidon, dissoute dans l'eau, sur des filtres d'épaisseur 2 à 3cm. Cette pré- couche permet de filtrer la levure et faire passer uniquement l'eau.*



*Figure 10 : filtre rotatif*

## *g-Station d'emballage :*

*La société produit deux types de levure :*

***La levure fraîche :** la levure sous forme de patte tombe dans des trémies où elle est mélangée avec une huile de vaseline avant de passer dans la boudineuse, puis elle est pressée pour obtenir un pain de levure, ce dernier est découpé en portions de 500g à l'aide d'un fil en inox connecté à une cellule photoélectrique, ce processus s'effectue dans une machine nommée la boudineuse (figure 11) :*



*Figure 11 : boudineuse.*

*Ces portions sont à leur tour enveloppés par du papier paraffiné, c'est l'emballage. Après elles sont mises en carton et passent dans le détecteur de métaux et l'indicateur de poids, les cartons sont disposés sur des palettes de manière à avoir un vide entre eux pour faciliter la circulation d'air froid avant le stockage dans la chambre froide.*

***Levure sèche :** Pour la levure sèche, le gâteau provenant de la filtration sous vide est mélangé avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et donner aussi la couleur blanche caractéristique de la levure.*

*Le gâteau obtenu est transformé en vermicelle à l'aide d'une grille ensuite elle est transférée au sécheur par des convoyeurs. Afin d'augmenter le taux de matière sèche jusqu'à 94% pour la SPH et 95% pour la SPI.*

*Sous forme de petits grains sphériques, SPH est emballées sous air dans des sachets de 50 g, 100 g, et 500 g (Jaouad).*

*Ainsi que SPI qui est Sous forme de bâtonnets emballées sous vide dans des sachets de 125 g, 13 g (Rafiaa) ou 500 g (Nevag).*



**Comparaison entre levure sèche et levure fraîche :**

	<i>Levure Fraiche</i>	<i>Levure Sèche</i>
<b>Forme</b>	<b>Patte</b>	<b>Grains sèches</b>
<b>Matière Sèche %</b>	<b>30 %</b>	<b>95%</b>
<b>Force de fermentation (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>125</b>	<b>110</b>
<b>Temps de conservation</b>	<b>15 jours</b>	<b>2 ans</b>
<b>Caractéristiques</b>	<b>Couleur jaune grisâtre</b> <b>Très friable</b> <b>Fraiche et agréable</b> <b>Odeur légèrement acidulée</b>	<b>Stable</b> <b>Résistante pendant le transport</b> <b>Séchée sous vide</b>

**Tableau1 : Comparaison entre levure sèche et levure fraîche**



# Le bilan thermique des batteries chaudes

## ***1- Le service séchage :***

### ***a- Qu'est-ce que le séchage ?***

*Le 'séchage' est l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Le corps humide en jeu peut être solide ou liquide mais le produit final est solide ce qui distingue le séchage de la concentration d'un liquide par évaporation.*

### ***b- Pourquoi sèche-t-on des produits agro-alimentaires ?***

- *Permettre sa conservation par diminution de l'activité de l'eau qui permet d'obtenir une inhibition des phénomènes microbiens et une stabilité des produits.*
- *Modifie le produit dans sa forme, sa texture, son goût, ses qualités nutritionnelles*
- *Diminuer la masse et le volume des aliments pour faciliter leurs emballages, transports.*

### ***c- Le séchage au sein de la société, comment cela se passe?***

*Pour la réalisation de l'opération du séchage il faut passer par trois postes :*

#### ***❖ La chaudière :***

*La chaudière est un réservoir contenant un fluide est muni d'un système de chauffage, son but est de produire et stocker de l'énergie thermique dans se fluide et d'utiliser cette énergie dans un autre lieu.*

*La combustion (figure 12) est la réaction chimique qui a lieu lors de la combinaison entre une matière combustible et l'oxygène avec dégagement de chaleur.*



***Figure 12 : Triangle de combustion***

*Le fonctionnement d'une chaudière à fioul repose sur la combustion du FL de PCI égale à 11,69 kWh et un PCS égale à 10,99 kWh. Pour que le phénomène de combustion se produise, il faut que le fioul soit porté à une certaine température en présence d'oxygène et du bruleur qui est un élément important dans la combustion.*

Généralement, une chaudière fonctionne en circuit fermé, le fluide chaud sort par une tuyauterie fixée sur sa partie haute (vers le service séchage) et revient par une autre tuyauterie fixée sur sa partie basse (vers la chaudière) après avoir circuler et s'être refroidi.

#### ❖ *Les batteries chaudes :*

Les batteries chaudes (figure 13) sont des équipements couramment utilisés dans les entreprises industrielles afin de chauffer l'air.

Ces équipements se présentent sous la forme d'un échangeur de chaleur entre la vapeur et l'air ambiant. Elles sont généralement directement intégrées à la gaine de ventilation.

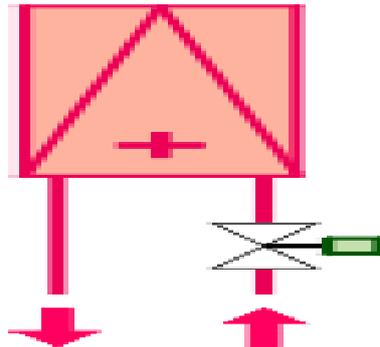


Figure 13 : schéma d'une batterie chaude

#### ❖ *Le sécheur a lit fluidise :*

Son principe consiste à envoyer le courant du gaz, chauffé en dessous d'une plaque perforée, sur laquelle est placé le solide à sécher au débit qui correspond à sa fluidisation.

La réalisation de ce type de séchage peut se faire en disposant le solide dans un récipient muni d'un double fond, la paroi supérieure de ce dernier étant une plaque perforée, l'alimentation se fait en continu et le produit séché sort en continu par le trop-plein.

Dans la société Lesaffre on trouve deux types de sécheurs :

Le premier appelé T10 subit un remplissage de charge direct. Le second est appelé GLATT et se compose de deux bols, un qui reçoit la levure fraîche et qui fait un pivotage avec l'autre bol après qu'elle soit séchée. Cette dernière est tamisée et envoyée au conditionnement à l'aide d'un convoyeur. Pendant le séchage, la poussière se produit et pour éviter la sortie de cette dernière à l'atmosphère, il existe des filtres dépoussiéreurs en haut du sécheur (T10) ou à l'extérieur (GLATT), qui sont vidés d'une manière quotidienne.

Les deux sécheurs sont liés à un ordinateur, pour un contrôle à distance.

❖ *Suivi de fonctionnement des sécheurs :*

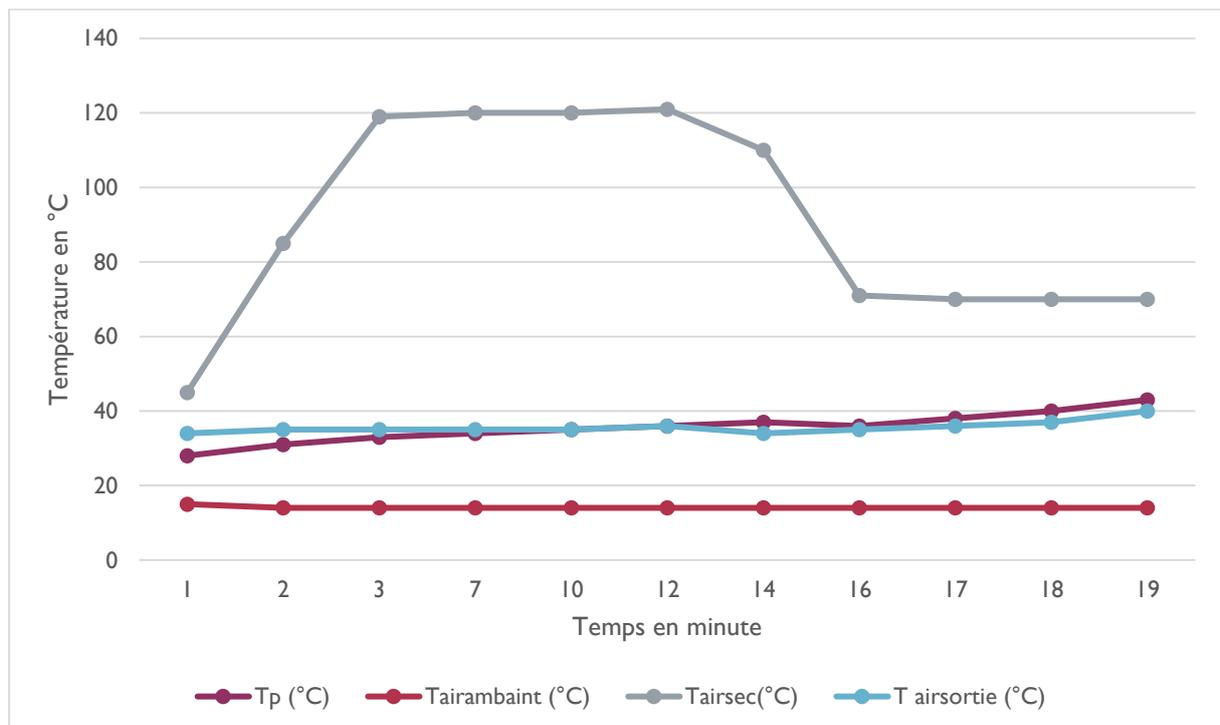
*Nous avons fait plusieurs suivis pour montrer la variation du débit d'air et des températures (produit, air ambiant, air sec) en fonction de temps au cours de séchage, ceci pour bien comprendre le fonctionnement de l'opération du séchage.*

*Parmi ces suivis celui fait le 14 avril 2017*

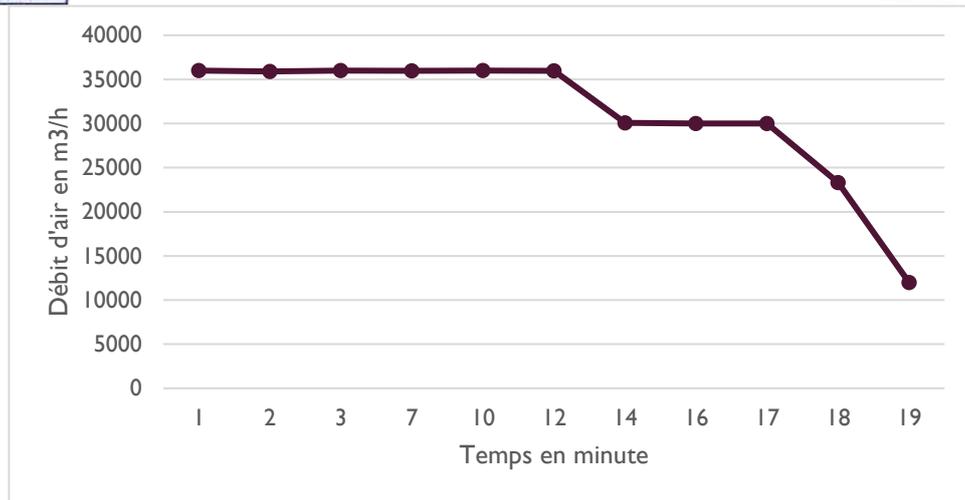
<i>Temps (min)</i>	<i>T<sub>p</sub> (°C)</i>	<i>T<sub>airambiant</sub> (°C)</i>	<i>T<sub>airsec</sub>(°C)</i>	<i>T<sub>airsortie</sub> (°C)</i>	<i>Débit d'air(m<sup>3</sup>/h)</i>
<i>1</i>	<i>28</i>	<i>15</i>	<i>45</i>	<i>34</i>	<i>36000</i>
<i>2</i>	<i>31</i>	<i>14</i>	<i>85</i>	<i>35</i>	<i>35900</i>
<i>3</i>	<i>33</i>	<i>14</i>	<i>119</i>	<i>35</i>	<i>36000</i>
<i>7</i>	<i>34</i>	<i>14</i>	<i>120</i>	<i>35</i>	<i>35990</i>
<i>10</i>	<i>35</i>	<i>14</i>	<i>120</i>	<i>35</i>	<i>36000</i>
<i>12</i>	<i>36</i>	<i>14</i>	<i>121</i>	<i>36</i>	<i>35990</i>
<i>14</i>	<i>37</i>	<i>14</i>	<i>110</i>	<i>34</i>	<i>30065</i>
<i>16</i>	<i>36</i>	<i>14</i>	<i>71</i>	<i>35</i>	<i>30003</i>
<i>17</i>	<i>38</i>	<i>14</i>	<i>70</i>	<i>36</i>	<i>30000</i>
<i>18</i>	<i>40</i>	<i>14</i>	<i>70</i>	<i>37</i>	<i>23300</i>
<i>19</i>	<i>43</i>	<i>14</i>	<i>70</i>	<i>40</i>	<i>12000</i>

*Tableau 2 : suivi du sécheur Glatt*

*Les courbes (1) et (2) montre les différentes variations des températures et le débit :*



*Courbe 1 : La variation de la température du produit, air ambiant, air sec et air de sortie en fonction du temps*

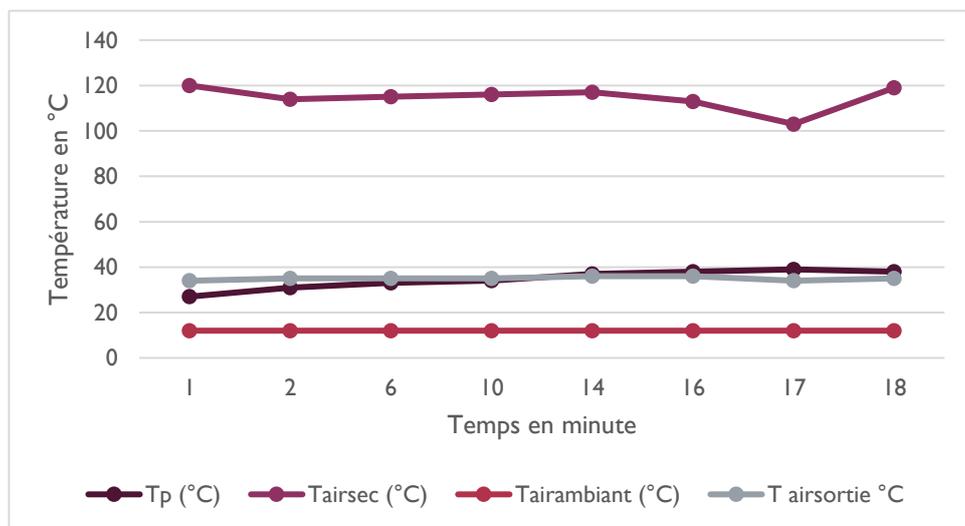


**Courbe 2 : La variation du débit d'air en fonction du temps.**

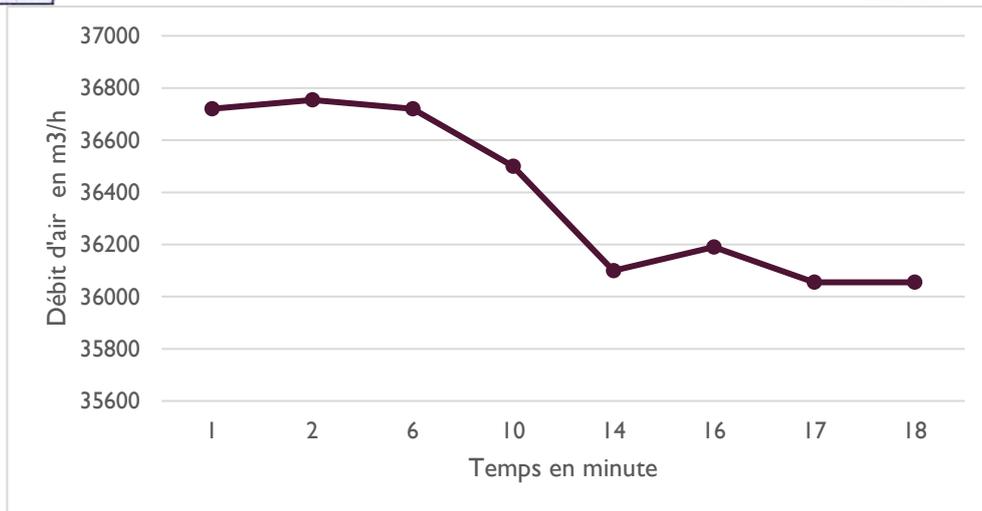
Temps (min)	$T_p$ (°C)	$T_{airsec}$ (°C)	$T_{airambiant}$ (°C)	$T_{airsortie}$ °C	Débit d'air (m <sup>3</sup> /h)
1	27	120	12	34	36720
2	31	114	12	35	36754
6	33	115	12	35	36720
10	34	116	12	35	31393
14	37	117	12	36	36100
16	38	113	12	36	36190
17	39	103	12	34	36055
18	38	119	12	35	36055

**Tableau 3 : suivi du sécheur T10**

Les courbes (3) et (4) montre les différentes variations des températures et le débit :



**Courbe 3 : La variation de la température du produit, air ambiant, air sec et air de sortie en fonction du temps.**



**Courbe 4 : La variation du débit d'air en fonction du temps.**

*D'après le suivi effectué on remarque que l'extraction de l'eau se fait en 3 étapes :*

- 1ère étape : pour éliminer l'eau externe au maximum, on fait envoyer un courant d'air d'une température de 120°C sur les grains de la levure.*
- 2ème étape : on diminue la température de l'air pour éviter la mort des cellules.*
- 3ème étape : pour augmenter la teneur de la matière sèche, on fait envoyer d'une manière continue et rapide des courants d'air sur les grains.*

## **2- Le bilan thermique :**

### **a- Définition :**

*Le bilan thermique, est l'ensemble des quantités de chaleur entrant et sortant d'une installation industrielle et 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.*

*Le bilan thermique sert à donner une image instantanée du fonctionnement de l'installation par l'évaluation et la quantification des différents postes. La comparaison des bilans permet de suivre les progrès de fonctionnement et les améliorations techniques, ou de localiser les causes d'anomalies et de dérives.*

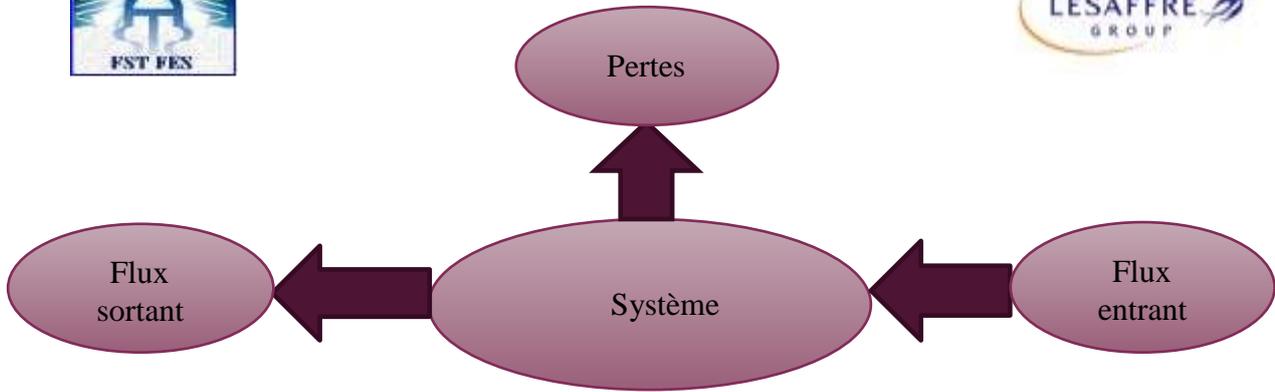


Figure 14 : schéma de conservation de flux

Pour la plupart des procédés le *Bilan thermique simple* est fréquemment utilisé. On peut prendre l'exemple d'une batterie chaude où circule sans être en contact un fluide à température ambiante et un fluide chaud à l'état de vapeur à l'entrée et à l'état liquide refroidi à la sortie. Le fluide chaud subit donc un changement d'état (condensation).

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 .

On définit alors  $\Phi_e$  et  $\Phi_s$  les flux de chaleur tel que :

$$\Phi_e = D_v * \varphi * C * (T_f - T_i)$$

Avec

$\Phi_e$  : L'énergie nécessaire pour faire chauffer l'air ambiant jusqu'à 120 °C en W

$D_v$  : Le débit volumique de l'air en m<sup>3</sup>/h

$\varphi$  : La masse volumique de l'air Kg/m<sup>3</sup>

$C$  : La chaleur massique de l'air J/Kg °C

$$\Phi_s = \underbrace{m C_p (T_f - T_i)}_{\text{Énergie de chauffage}} + \underbrace{m \Delta H_{1 \rightarrow 2}}_{\text{Énergie d'évaporation}}$$

Avec

$\Phi_s$  : L'énergie nécessaire pour faire évaporer le pourcentage d'eau qui se trouve dans la levure

$m$  : La masse de l'eau dans la levure

$C_p$  : la chaleur massique de l'eau

$\Delta H_{1 \rightarrow 2}$  : La variation de l'enthalpie de l'eau ou la chaleur latente de l'eau

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

$$\Phi_e = \Phi_s + \Phi_{\text{Pertes}}$$



Dans le cas où les pertes sont nulles ou négligeables, les flux seront égaux.

## 2-Elaboration du bilan thermique « batteries chaudes » :

### a-Energie de chauffage d'air :

Afin de connaître la consommation moyenne du service séchage pour une journée, nous avons fait recours à un suivi de consommation durant 4 jours, ce suivi nous a permis d'avoir les résultats suivants :

Quantité de vapeur consommé en (Kg)	La puissance consommé en KW	Production (kg)
22213	13883	9912
28357	17723	10962
27993	17495	11236
24855	15534	10745

Tableau 4 : suivi de la consommation de vapeur pendant 4 jours

D'après ce qui précède on peut conclure que le service a une consommation moyenne quotidienne de 25854 Kg de vapeur, et une production moyenne de 10713 kg de levure sèche. Nous allons calculer d'une manière théorique le flux de vapeur nécessaire pour augmenter la température de l'air ambiant jusqu'à 120 °C.

Vu que la température de l'air ambiant varie tout au long de la journée, nous avons effectué un suivi de 8h à 12h pour avoir une moyenne de température :

Temps(h)	8h	9h	10h	11h	12h	moyenne
Temperature(°C)	17	17	19	21	23	19.4

Tableau 7 :suivi de la température de l'air ambiant

Appliquant la relation suivante :

$$\Phi_e = D_v * \varphi * C * (T_f - T_i)$$

Avec  $D_v = 36000 \text{ m}^3/\text{h}$

$\varphi = 1.25 \text{ kg/m}^3$

$C = 1.004 \text{ kJ/kg} \cdot \text{°C}$

AN :

$$\Phi_e = 36000 * 1.25 * 1.004 * (120 - 19.4) = 4545108 \text{ KJ/h}$$

D'après les relations précédentes :

$$\Phi_e = 126.2530 \text{ KW}$$



**Remarque :**

*Un kilowatt d'énergie est équivalent à 1.6 kg de vapeur*

**Commentaire :**

*La capacité de la batterie chaude utilisée dans le service séchage est 2 tonnes de vapeur.*

***b-Energie d'évaporation***

***b-1- Le pourcentage d'eau dans la levure :***

*Afin de connaître la puissance thermique qu'il faut fournir à une quantité bien déterminée de la levure pour la sécher, nous avons effectué plusieurs mesures pour savoir le pourcentage de matière sèche dans le gâteau et donc la quantité d'eau qui existe dans ce dernier.*

*Il faut noter que les échantillons qu'on a utilisés ont une masse de 2g, et que l'opération a été effectuée à l'aide d'une machine appelée « METTLER TOLEDO ».*

<i>Num échantillon</i>	<i>MS% (gâteau)</i>	<i>MS%(levure sèche)</i>
<i>1</i>	<i>34.33</i>	<i>94.8</i>
<i>2</i>	<i>34.06</i>	<i>95</i>
<i>3</i>	<i>35.2</i>	<i>94.65</i>
<i>4</i>	<i>33.56</i>	<i>94.86</i>
<i>5</i>	<i>33.6</i>	<i>95</i>
<i>6</i>	<i>34.4</i>	<i>95.04</i>
<i>7</i>	<i>34.26</i>	<i>95.2</i>
<i>8</i>	<i>34.1</i>	<i>95</i>
<i>9</i>	<i>34.14</i>	<i>94.97</i>

**Tableau 5 : Pourcentage de matière sèche dans le gâteau et la levure sèche**

*Par un calcul simple, on aboutit à :*

*La moyenne MS% (gâteau) est 34% donc le % d'eau est 66%.*

*La moyenne MS% (Levure sèche) est 95% donc le % d'eau est 5%.*

*D'où on peut conclure que la quantité d'eau qu'il faut sécher du gâteau est 61%*

*Prenant l'exemple d'une charge de 280kg de levure (SPI) sur laquelle on est basé dans notre calcul :*

$$X = 280 * 0.61 = 170 \text{ kg}$$

*Avec X est la quantité d'eau dans une charge de 280 kg Appliquant la relation suivante :*

$$\text{L'énergie pour chauffer l'eau : } \Phi_{\text{chauffer}} = m c (T_f - T_i)$$

*Avec c = 4186 J/Kg°C*



AN :

$$\Phi_{chauffe} = 170 * 4186 * (100 - 27) = 57356572 \text{ J}$$

L'énergie pour évaporer l'eau :  $\Phi_{evaporation} = m \Delta H_{1 \rightarrow 2}$

Avec  $\Delta H_{1 \rightarrow 2} = 2.3 * 10^6 \text{ J /kg}$

$$\Phi_{evaporation} = 170 * 2.3 * 10^6 = 391 * 10^6 \text{ J}$$

$$\Phi_s = \Phi_{chauffage} + \Phi_{evaporation} = 448356 \text{ KJ}$$

Or 1Kw est équivalent à  $3.6 * 10^3 \text{ KJ}$  à une pression atmosphérique  $1,013 25 \times 10^5 \text{ Pa}$  et une température de  $19.4 \text{ °C}$

Et donc :  $\Phi_s = 124.54 \text{ KW}$

Commentaire :

Pour extraire l'eau qui existe dans une charge de 280Kg on a besoin de 124.54 KW d'énergie

**Remarque :**

Pour calculer la quantité de levure obtenue après séchage il suffit d'appliquer le bilan de matière :

$$\text{Entrée} = \text{Sortie}$$

Crème à 34% de matière sèche = Levure sèche à 95% de matière sèche

D'après la remarque :

$$280(\text{Kg}) * 34\% = X (\text{Kg}) * 95\%$$

$$X(\text{Kg}) = (280(\text{Kg}) * 34) / 95 = 100 \text{ Kg}$$

Ce qui implique que 100kg de levure sèche consomme 199kg de vapeur.

Ceci va introduire la relation fondamentale utilisée dans la société LESAFFRE :

**1 tonne de levure sèche → 2 tonnes de vapeur**

1tonne consomme 1245.4 KW d'énergie

Par application du principe de conservation d'énergie :

$$\Phi_e = \Phi_s + \Phi_{Pertes}$$

Donc le flux de pertes

$$\Phi_{Pertes} = \Phi_e - \Phi_s = 1262.530 - 1245.4 = 17.13 \text{ KW}$$

Commentaire :

La puissance perdue au niveau de la batterie chaude est de 17.13 KW

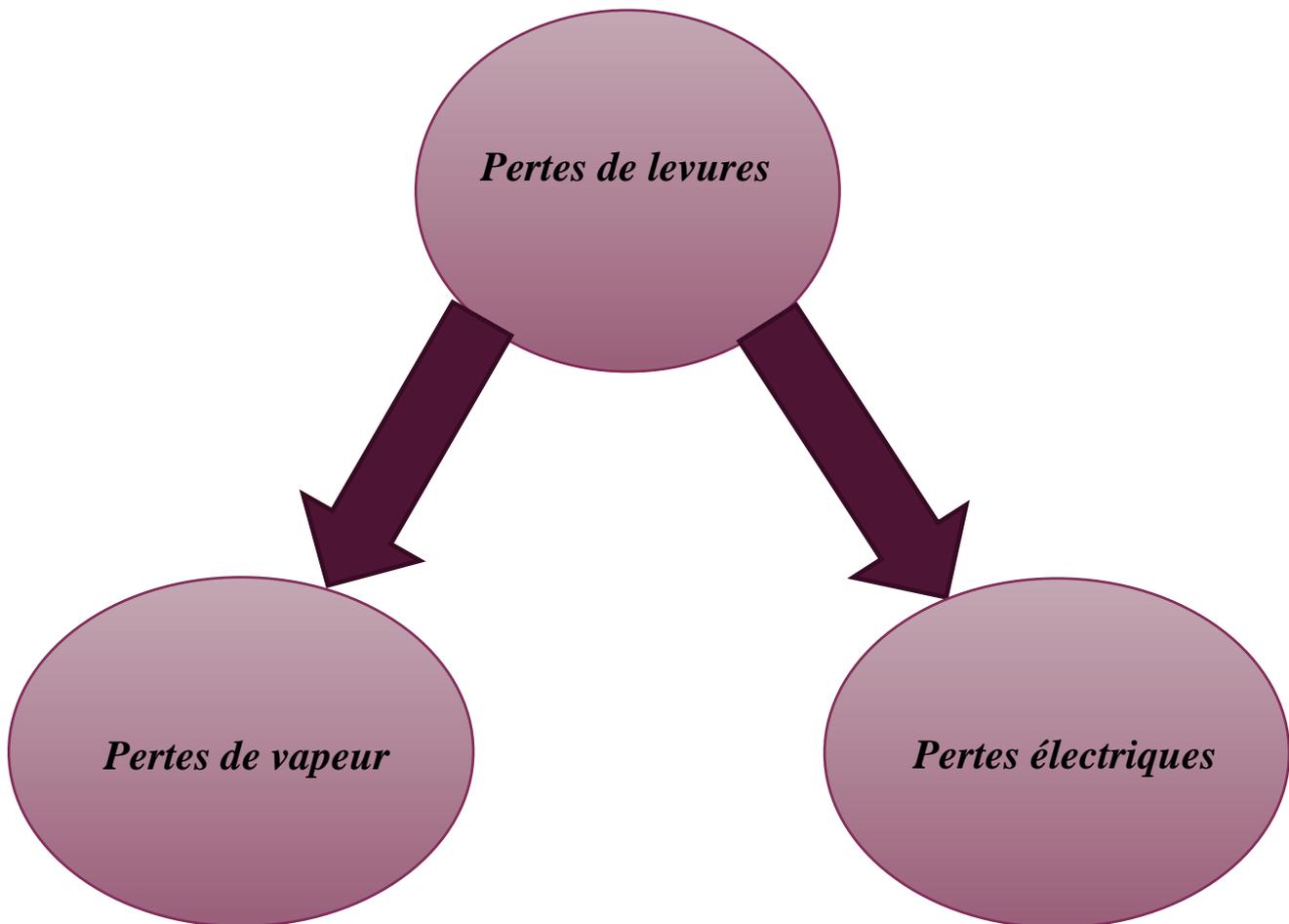


## *Les pertes énergétiques*

## ***1- Introduction :***

*Au cours du séchage, il y a des pertes de levure au niveau des deux sècheurs GLATT et T10, ces pertes touchent le cotés économique de la société.*

*La figure suivante présente les deux types de pertes d'énergie provoquées par les pertes de la levure sèche :*



*Figure 15 : schéma de pertes*

## ***2- Les pertes de levure sèche :***

*Vu que les pertes de levure sont la raison des pertes énergétiques, nous avons commencé par les déterminer, donc on a pesé la quantité de levure sèche réelle pour différentes charges et on va la comparer avec la quantité produite théoriquement.*

<b><i>Pour T10(170kg)</i></b>	<b><i>59</i></b>	<b><i>66.5</i></b>	<b><i>64.68</i></b>	<b><i>Moyenne 63.3</i></b>
<b><i>Pour GLATT(280kg)</i></b>	<b><i>99</i></b>	<b><i>98</i></b>	<b><i>101</i></b>	<b><i>Moyenne 99.3</i></b>

***Tableau 7 : la production réelle pour différentes charges***



*Afin de savoir s'il y a des pertes de levure ou non, on a calculé la quantité de levure sèche qui doit exister dans une charge en se basant sur le pourcentage d'eau :*

*Pour une charge de 280kg on a :*

*$280 \times 0.61 = 170$  kg (quantité d'eau) ceci implique que  $280 - 170 = 110$ kg (quantité de levure sèche).*

*$110 - 99.3 = 10.7$  kg sont les pertes de levure au niveau du GLATT.*

*Pour une charge de 170 kg on a :*

*$170 \times 0.61 = 103$ kg (quantité d'eau) ceci implique que  $170 - 103 = 67$ kg (quantité de levure sèche).  
 $67 - 63.33 = 3.7$ kg sont les pertes de levure au niveau du T10.*

*Ces pertes font perdre la société sur différents cotés :*

### ***3- Les pertes en énergie de vapeur :***

*Connaissant les pertes de levure sèche pour une charge, on peut facilement conclure celles d'une production quotidienne :*

*$110 + 67 = 177$ kg et  $10.7 + 3.7 = 14.4$  kg*

*Donc pour 1 kg de levure sèche  $\rightarrow 0,08135$  kg de pertes*

*Sachant que la production moyenne de levure pour une journée est : 10437 kg alors 849kg de pertes.*

*D'autre part, on sait que 1kg de levure consomme 2kg de vapeur donc, 849kg de levures va consommer 1698kg de vapeur.*

#### ***a- Bilan thermique au niveau du service séchage :***

*D'après le calcul précédant on peut facilement obtenir le flux sortant en appliquant le principe de conservation énergétique, sachant que le service séchage a comme flux d'entrée*

**$\Phi'_e = 13046$  KW et sachant que  $\Phi'_{pertes} = 1061$  KW**

**Donc ,le flux sortant du service séchage :  $\Phi'_s = \Phi_e - \Phi'_{pertes} = 11984$  KW**

#### ***b- Pertes fioul :***

*Ces 1698 kg de vapeur constituent des pertes, qu'on va convertir en fioul par la suite en utilisant la relation suivant :*

*Pour produire 14.2kg de vapeur, on a besoin de 1kg de fioul.*

*Et ainsi pour 1698 de vapeur on a besoin de 119.5kg de fioul.*

*D'après le cout du marché : 1kg de fioul cout 2.5DH, alors 119.5 kg de perte de fioul est équivalent à 299DH quotidiennement.*

#### ***4- Les pertes en énergie électrique :***

*Parallèlement à sa consommation de vapeur, le service séchage utilise l'énergie électrique lors de la production de la levure (filtre rotatif, convoyeurs, ventilateurs...).*

*La consommation électrique moyenne du service est de :2226 KW*

*On a pu connaitre cette moyenne grâce à un suivi de consommation électrique tout au long d'une semaine :*

<i>Le jour</i>	<i>Puissance électrique(KW)</i>
<i>14/05</i>	<i>2093</i>
<i>15/05</i>	<i>2223</i>
<i>16/05</i>	<i>2366.7</i>
<i>17/05</i>	<i>2223.6</i>
<i>18/05</i>	<i>2455</i>
<i>Moyenne (KW)</i>	<i>2226</i>

*Tableau 8 : suivi de la puissance électrique*

*Sachant que 1 kg de levure sèche → 0,08135 kg de pertes, et que la production moyenne quotidienne est 10437 kg consomme une puissance électrique moyenne de 2226 KW, on peut déduire que 1kg de levure sèche consomme 0.21 KW.*

*La moyenne des pertes est 849 Kg donc l'énergie électrique consommée est 178 KW*

*Or 1KW coute 1.5 DH*

*Donc ces pertes coutent l'entreprise 267DH quotidiennement.*

#### ***5- L'optimisation des pertes :***

*Après la définition des pertes au niveau du service séchage, on a fait recours à l'une des méthodes de gestion de la qualité pour essayer de diminuer ces pertes tout en repérant les différents problèmes causant le nombre total d'effet.*

##### ***a- Généralités sur le « Diagramme D'ISHIKAWA »***

*Le **DIAGRAMME d'ISHIKAWA**, ou diagramme de cause à effet est un outil développé par Kaoru Ishikawa en 1962 et sert dans la gestion de la qualité, c'est une représentation structurée de toutes les causes qui conduisent à une situation. Son intérêt est de permettre aux membres d'un groupe d'avoir une vision partagée et précise des causes possibles d'une situation. Le*

schéma comprend les facteurs causaux identifiés et catégorisés selon la règle des 5 M (figure 14).

En effet, il a été repéré que les facteurs causaux relèvent généralement de ces cinq catégories :

- **Matière** : les différents consommables utilisés, matières premières...
- **Milieu** : le lieu de travail, son aspect, son organisation physique...
- **Méthodes** : les procédures, le flux d'information...
- **Matériel** : les équipements, machines, outillages, pièces de rechange...
- **Main d'œuvre** : les ressources humaines, les qualifications du personnel

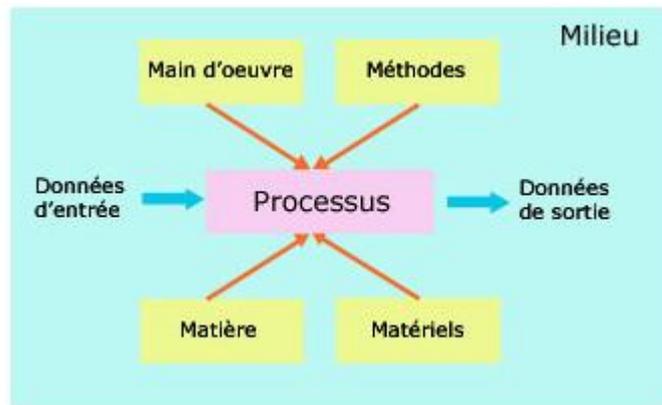


Figure 16 : Les cinq M

### a- Application du diagramme d'Ishikawa :

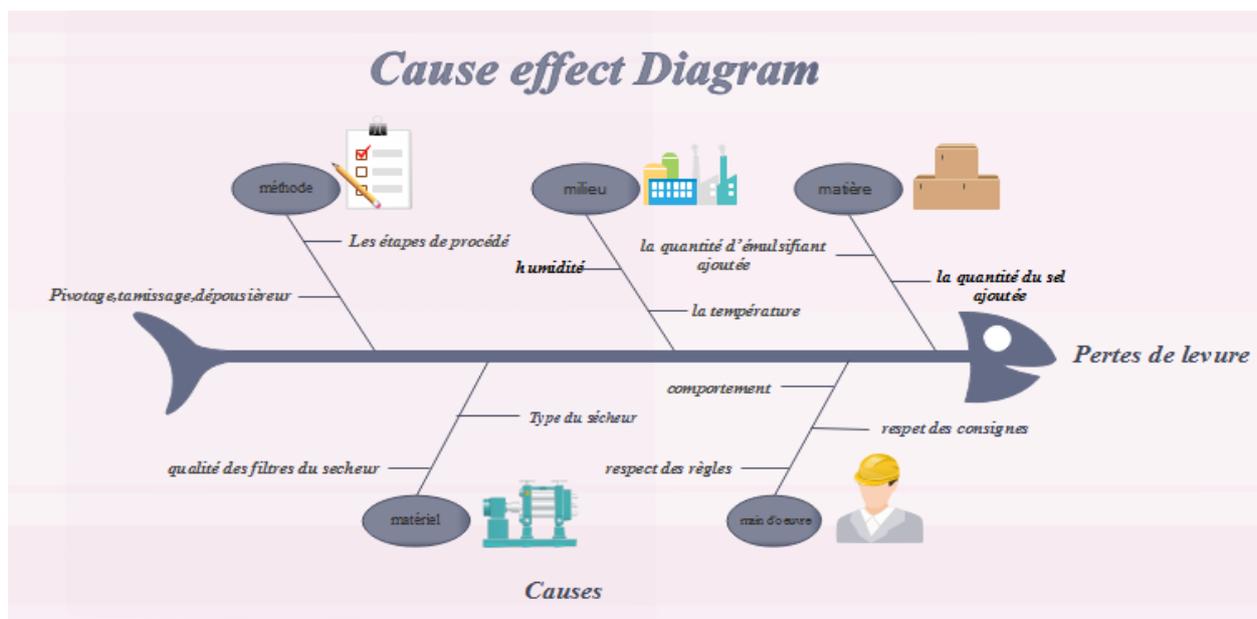


Figure 17 : Diagramme cause-effet d'Ishikawa illustrant les causes des pertes de levure.



### *b- Interprétation du diagramme d'Ichikawa :*

*D'après le diagramme d'Ishikawa on peut constater que les causes principales de perte de levure sont :*

*Matière : la quantité d'émulsifiant et du sel ajouté.*

*Le milieu : l'humidité et la température.*

*Le matériel : la qualité des filtres des sècheurs et le type de sècheurs.*

*La méthode : les étapes de procédé, pivotage, tamisage, dépoussiéreur.*

*Main d'œuvre : le comportement, respect des consignes et des règles, et la formation.*

### *c- Solutions pour l'optimisation des pertes :*

*Pour diminuer le maximum ces pertes, il est indispensable de toucher aux facteurs qu'ils les causent :*

*En fait **la matière première** est le facteur le plus important quand on parle des pertes de levure, vu qu'une conductivité et une quantité d'émulsifiant hors les normes peut augmenter les pertes. Alors pour les diminuer il faut que l'émulsifiant ajouté et la conductivité respectent les normes :*

- La conductivité doit être entre 19000 et 21000  $\mu\text{s}/\text{m}^3$ .*
- Le débit d'émulsifiant est entre 580 et 650 g/min.*

*Pour **le milieu** de travail il doit être organisé, isolé et non humide.*

*Quand on parle du **matériel** il faut que ce dernier soit d'une grande maintenabilité, il faut faire un check out de temps en temps afin d'éviter tout sorte de fuite au niveau du sècheur, batterie, circuit...*

*Il faut ajouter que les filtres qui sont parmi les éléments essentiels constituant le sècheur doivent être d'une très bonne qualité ceci nécessite un changement de ces derniers d'une période à une autre.*

*Notant aussi que le type du sècheur influence d'une manière directe la quantité de pertes, par exemple les pertes provenant du sècheur T10 sont inférieures à celles provenant du sècheur GLATT. Ceci revient du fait que le sècheur T10 a un cycle continu, et les pertes sont d'origine du dépoussiéreur seulement. Alors que le sècheur GLATT est caractérisé par un tamisage, pivotage.*

*Pour diminuer les pertes, il faut aussi s'intéresser à **la méthode** de travail, ceci se fait en respectant les consignes de travail, et en maîtrisant les différentes étapes du procédé de production.*

On sait tous que *la main d'œuvre* est l'élément essentiel dans le processus de la fabrication de la levure sèche, elle joue un rôle très important, pour cela il est nécessaire de prendre en compte cette catégorie, en faisant des formations de temps en temps pour augmenter les compétences du personnel ainsi que faire des tests pour évaluer ces formations.

**Remarque :**

Les pertes présentent un pourcentage important, et la totalité de ces pertes est destinée aux aliments de bétails à prix bas (figure 18).

D'autre part, il est préférable de diminuer ces pertes par l'application de la méthode 'Ishikawa 'et le respect des solutions suggérées ci-dessus.



Figure 18 : Les pertes de levure sèche

**Résumé**

Le sujet des pertes est nouveau dans le domaine de la recherche. En effet c'est depuis toujours une notion d'équilibre ménager devant les quantités colossales qui sont en jeu et l'effet des pertes sur l'ensemble de la biosphère. Il redevient une priorité dans les efforts pour assurer la sécurité alimentaire mondiale et dépasse le domaine d'économie ménagère. Cela soulève bien sur des questions de normes de réglementation, de validation et de recherche de la méthode pour limiter ces pertes.



## *Conclusion*

*Durant le stage effectué au sein du groupe LESAFFRE Maroc, nous nous sommes intéressées, dans un premier temps, au domaine de fabrication de levure au sein de cette entreprise multinationale implantée dans la région de Fès, tout en se concentrant sur notre sujet de PFE « Le bilan thermique au niveau des batteries chaudes » qui a été traité par différentes façons théoriques et pratiques.*

*Au cours de cette étude, nous avons pu déterminer théoriquement le flux d'énergie entrant « la vapeur » et sortant « l'air sec » tout en déterminant les différents facteurs qui influencent ces derniers, nous avons aussi pu calculer le flux d'énergie nécessaire pour le fonctionnement du service séchage, ainsi que les pertes qu'il génère ce qui nous a permis de déduire le flux à la sortie.*

*L'étude énergétique a pu révéler les différentes pertes qui touchent le niveau économique :*

- ❖ Des pertes de vapeur quotidienne de 1698 kg de vapeur qui va être convertie en 119.5 kg de fioul perdus qui coutent 299DH cela veut dire des pertes de 109135 DH annuellement*
- ❖ Des pertes électriques d'environ 178 KW qui coutent 267 DH quotidiennement et 97455 DH annuellement.*

*Sur la base de l'ensemble des résultats obtenus de cette étude, une liste de recommandations a été établie pour maîtriser le système énergétique par application du diagramme d'ISHIKAWA :*

- ❖ Une bonne qualité de la matière première (la conductivité, la quantité d'émulsifiant)*
- ❖ Un milieu bien organisé tout en respectant les différentes conditions de production*
- ❖ Un matériel bien soigné et maintenable*
- ❖ Un respect et application strictes des consignes et des règles de production*
- ❖ Une main d'œuvre compétente et un flux de personnel bien organisé*

*Malgré quelques contraintes rencontrées lors de déroulement de ce projet (rareté et confidentialité des documents, ...), cette expérience au sein du groupe LESAFFRE Maroc a été extrêmement enrichissante et précieuse en termes de développement des connaissances techniques et des compétences professionnelles telles que l'acquisition d'un esprit de synthèse, un sens d'organisation, une gestion des priorités ainsi qu'une ouverture d'esprit.*



# *Bibliographie*

*Guide de formation de Lesaffre*

*La levure qu'est-ce que c'est ? : <http://www.toutsurlalevure.fr//>*

*Evaluation et optimisation des pertes de la levure sèche par BOUKROUROU Fatima Ezzahra  
Partie II. Séchage de la levure : état de la question*

*Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires par J-J Bimbenet*

*Séchage par lit fluidisé : [https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich6\\_1.htm](https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich6_1.htm)*

*L'air deséchage : <http://energie.wallonie.be/fr/l-air-desechage.html?IDC=8636&IDD=97672>*

*Pouvoir fioul : [pouvoir fioul .docx](#)*

*Manuel de thermique, B. EYGLUNENT, HERMES (97)*

*Définitions et Introduction aux Transferts Thermiques :*

*<http://ilm-perso.univ-lyon1.fr/~asmiguel/teaching/Thermodynamique/thermo10.pdf>*

*Savoir utiliser le diagramme d'Ishikawa : <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/ishikawa-5m>*

*Outil1 : le diagramme d'Ishikawa : <HTTP://WWW.ESEN.EDUCATION.FR//>*

## Annexes

### *Annexe 1 : Suivi de Conductivité, Quantités de charge, densité de crème et débit d'émulsifiant*

Date	N° de crème	PH	Conductivité de crème ( $\mu\text{s}/\text{cm}^3$ )		Conductivité Gâteau(levure) ( $\text{ms}/\text{cm}^3$ )	Qtés Chargés (Kg)	Densité crème	Débit d'émulsifiant (g/min)
			Avant salage	Après salage				
12/04	346	3.3	9200	19800	235	640	1060	580
13/04	354	3.3	6300	20000	236	640	1084	732
14/04	357	3.8	5300	19210	281	640	1070	680
15/04	361	3.9	6100	20400	310	260	1040	685
16/04	365	3.8	6300	20000	270	260	1035	580
17/04	367	3.8	6240	20100	240	240	1040	680
18/04	372	3.7	5800	20500	210	260	1040	680

### *Annexe 2 : Suivi des pertes au niveau des sécheurs*

Date	N° de crème	Nbr de charge	Pertes(Kg)				%pertes
			Dépoussiéreur	Pivotage	Tamisage	Production	
13/04	346	21	104	11	8	4800	3.3
		19	106	-	-	2400	4.41
14/04	354	65	145	64	33	6360	3.8
		5	48	-	-	2010	2.8
15/04	361	65	152	13	49	5949	3.4
		5	62	-	-	2700	2.2
16/04	367	65	196	2	116	6381	4.9
		20	231.5	-	-	3262	7.1
17/04	367	69	191	76	7	6174	4.4
		8	161	-	-	2893	5.5
18/04	374	33	79	1.1	22.9	3148	3.4
		24	40	-	-	1471	2.7



