UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Département de chimie

Licence Es-Sciences et Techniques (LST)

TECHNIQUES D'ANALYSE ET CONTROLE DE QUALITE (TACQ)

PROJET DE FIN D'ETUDES

Etude de bilan thermique au niveau De la station de mélasse

Présenté par :

- **Mr. Mohammed AIT CHARAA**

Encadré par :

- **Pr. Abdelouahed BOUAYAD (FST)**
- **Pr. Fouad EL YAGHMOURI (Société)**

Soutenu Le 15 Juin 2015 devant le jury composé de :

- Pr. Abdelouahed BOUAYAD
-Pr. Youssef KANDRI RODI
- Pr. Abdeslam BOUAYAD

Stage effectué à LESAFFRE

Année Universitaire 2014 / 2015

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES
Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14
Site web: http://www.fst-usmba.ac.ma

Remerciement

Il nous est agréable de nous acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes, dont l'intervention au cours de ce projet, a favorisé son aboutissement.

Nous tenons à ne remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à la réussite de ce modeste travail et à la tête de ces personnes notre encadrant Mr.Abdelouahed BOUAYAD qui nous a encadré d'une manière permanente jusqu'à la fin de ce travail et nous a donné le temps suffisant et les conseils favorisants afin de mener à bien ce travail, Sa sympathie et sa modestie nous font la plus grande estime.

Nos remerciements s'adressent également à Mr. Hassan Tagine pour avoir été toujours à l'écoute, et pour leurs conseils et éclaircissements.

Finalement, Nous tenons à remercier les membres du jury pour avoir eu l'extrême gentillesse de bien vouloir évaluer notre projet de
Fin d'études.

Dédicaces

À mes chers parents Zaina Laasri & Brahim Ait Charaa.

Pour les sacrifices, le soutien, l'amour et l'affection. Je vous dis Merci d'avoir toujours été là pour moi. Merci pour vos prières, bénédictions et efforts. Puisse Dieu le tout puissant, vous préserver, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

À mes chers frères

Accrochez-vous bien à vos rêves, c'est la clé de la réussite. Je ferai de mon mieux pour être toujours un bon exemple.

À Laila El Makkaoui

Pour vos encouragements et votre confiance en moi et surtout pour le grand soutien lors des moments difficiles.

A la mémoire de ma très chère grand-mère,
A toute ma famille,
A tous mes chers amis,
Je dédie ce travail.

Mohammed

Sommaire

- **Chapitre I : 1**

I) Introduction 2

II) Présentation du groupe lesaffre 2

II.1) Historique de groupe Lesaffre : 2

II.2) Lesaffre dans le monde 3

II.3) Leur mission 3

III) Historique LESAFFRE-Maroc 3

III.1) Laboratoire lesaffre-Maroc : 4

III.2) Produits et marques : 4

III.3) L'organigramme de l'entreprise : 5

- **Chapitre 2 : 6**

I) Introduction 7

II) La levure 7

II.1) Définition 7

II.2) Historique 7

II.3) Structure de la levure 8

III) Mode de vie de la levure 8

III.1) Développement de la levure 8

III.2) Rôle de levure 9

III.3) Type de levure 9

III.4) Paramètres influençant l'activité levurienne 9

IV) La chaine de production 10

IV.1) A l'échelle du laboratoire 10

IV.2) À l'échelle industrielle 11

IV.3) Traitement de mélasse 11

IV.4) Les sels nutritifs : 12

IV.5) La fermentation 13

IV.6) Phase de séparation et filtration sous vide 15

- **Chapitre 3 ..... 18**

I) Introduction 19

II) Généralité sur le bilan thermique 19

II.1) Définition 19

II.2) Bilan thermique simple 19

III) Bilans thermiques de la station de traitement de la mélasse 20

III.1) Quantité de chaleur dans les différentes étapes de traitement de la mélasse 20

III.2) Evaluation des pertes thermiques et les gains a porté par les échangeurs en terme d'énergie 26

III.3) Bilan financier : 27

III.4) Solutions proposées : 28

III.5) Conclusion générale : 28

Introduction générale

Aujourd'hui, plus que par le passé, la politique de maitrise d'énergie en valeur constitue la préoccupation majeure des différents organismes industriels, les organes de décision les incitent à s'engager sur la voie d'utilisation rationnelle de l'énergie. C'est dans ce but, on a établi un plan d'action basé notamment sur l'identification des gisements d'économie (énergie) et de mettre en œuvre des actions et des propositions d'optimisations rentables économiquement.

LESAFFRE a pour activité la fabrication des levures, cette industrie est très importante du fait qu'elle traite une grande masse des matières premières de faible valeur initiale pour aboutir à un produit également d'un faible prix mais dans des installations d'un coût élevé en terme d'énergie, elle dispose aujourd'hui d'une réelle expertise en matière d'innovation dont la démarche vise à anticiper l'évolution des attentes de ses clients et ainsi répondre au mieux à leurs exigences, pour cela il investit depuis de nombreuses années dans le domaine de la recherche et développement.

Le souci de la société est d'optimiser la quantité d'énergie utilisée dans l'unité de traitement de mélasse qui constitue une étape primordiale pour le procédé de fermentation de la levure, c'est la raison pour laquelle ils nous a été proposé un projet sous thème « étude thermique au niveau de la station de mélasse ».

Ce mémoire est constitué de trois parties :

La première partie donnera une présentation de LESAFFRE usine de Fès pour mieux situer le contexte de ce projet. Quant à, la deuxième partie de ce rapport elle est consacrée à la description du processus de fermentation adopté par la société LESSAFRE et le procédé de traitement de la mélasse. Dans la troisième partie, les différentes étapes suivies pour réaliser ce projet seront explicitées, ce stade s'articule autour de 3 axes

- Quantité de chaleur dans les différentes étapes de traitement de la mélasse
- Evaluation des pertes thermiques et les gains a porté par les échangeurs en terme d'énergie
-

Chapitre I :

Présentation de L'organisme D'accueil

d

I) Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de **LESAFFRE-Maroc** l'organisme qui m'a accueilli pendant toute la période de mon stage de fin d'études.

On va présenter leur mission, leur politique, leurs pôles d'excellence, et leur organigramme.

II) Présentation du groupe lesaffre

Lesaffre est un groupe familial, un acteur référent sur le plan mondial, né dans le Nord de la France, le groupe est spécialisé dans des produits de fermentation, aujourd'hui multi-local et pluriculturel, il s'engage dans chacune de ses activités : la panification, le goût et le plaisir alimentaire, la nutrition-santé et la biotechnologie, il a réalisé un chiffre d'affaires en 2014 estimé à 1,56 milliard d'euros.

Ses produits sont distribués dans plus de 180 pays. Lesaffre emploie 8000 collaborateurs répartis dans plus de 70 filiales. Lesaffre Maroc fait partie de ce groupe par son siège qui se situe est situé au quartier industriel SIDI BRAHIM à Fès

II.1) Historique de groupe Lesaffre :

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

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

Lorsqu'en **1871** le baron autrichien Max de Springer, propriétaire à Maisons-Alfort près de Paris d'une très belle distillerie, rapporte de chez Mautner, à Vienne, l'idée d'extraire la levure des moûts de fermentation des grains et de la vendre aux boulangers ; Lesaffre & Bonduelle décident à leur tour en **1873** de développer la fabrication de levure fraîche à Marcq-en-Barœul, à la place de l'ancien moulin. Mais contre toute attente en **1901** Les familles LESAFFRE et Bonduelle décident de poursuivre séparément leurs activités. L'entreprise est partagée en 3 branches : Lesaffre & Cie (alcool et levure) et Lesaffre Frères (sucrerie et distillerie). Bonduelle est aujourd'hui un acteur reconnu sur le marché du légume. Mais en **1910** L'usine de Marcq-en-Barœul subit un grand incendie qui la détruit totalement, elle est reconstruite.**1923** avec la crise de l'alcool de grains, l'Etat français décide brutalement d'abaisser le prix, rendant sa production économiquement impossible. Une nouvelle matière première pour la levure sera trouvée, la mélasse, moyennant quelques aménagements techniques.

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

II.2) Lesaffre dans le monde

Afin d'être au plus près de ses clients, LESAFFRE compte plus de 50 sites de production ainsi que de nombreuses sociétés commerciales et de distribution. Son statut d'expert dans le domaine des levures et extraits de levures ainsi que sa volonté d'adaptation aux exigences des marchés internationaux, ils ont fait une référence mondiale sur ses marchés Levure & Panification et Nutrition & Santé.

II.3) Leur mission

Proche de ses clients et de ses partenaires, Lesaffre entreprend avec confiance pour mieux nourrir et protéger la planète. Ainsi, chaque jour :

- Nous nous attachons à Co-développer et Co-construire nos produits et nos services avec tous nos clients.
- Nous travaillons à améliorer la qualité de notre alimentation pour maintenir durablement la santé des vivants.
- Nous exerçons nos activités dans le respect de la planète.

III) Historique LESAFFRE-Maroc

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

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

III.1) Laboratoire lesaffre-Maroc :

Le laboratoire a été créé en 2006 par une équipe marocaine dans le but de répondre au besoin des contrôles microbiologiques et physicochimiques intervenant dans tous les niveaux de fabrication depuis la Réception de la matière première jusqu'à l'obtention du produit fini. Il est chargé d'effectuer ces Procédés dans des conditions de qualité et de confidentialité.

a) Laboratoire physico-chimique :

Ce laboratoire est divisé en trois parties :

- Salle de panification ou s'effectue la première étape de fabrication
- Salle de stockage ou se trouve tous les matériels et les produits initiaux
- Une salle d'analyses physico-chimiques

b) Laboratoire de microbiologie :

Il est divisé en trois parties :

- Une salle de pathogène ;
- Une salle de stockage des matières premières ;
- Une salle de préparation des milieux de culture, la stérilisation et d'autres activités ;
- Une salle d'analyse bactériologique.

III.2) Produits et marques :

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

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

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

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

III.3) L'organigramme de l'entreprise :

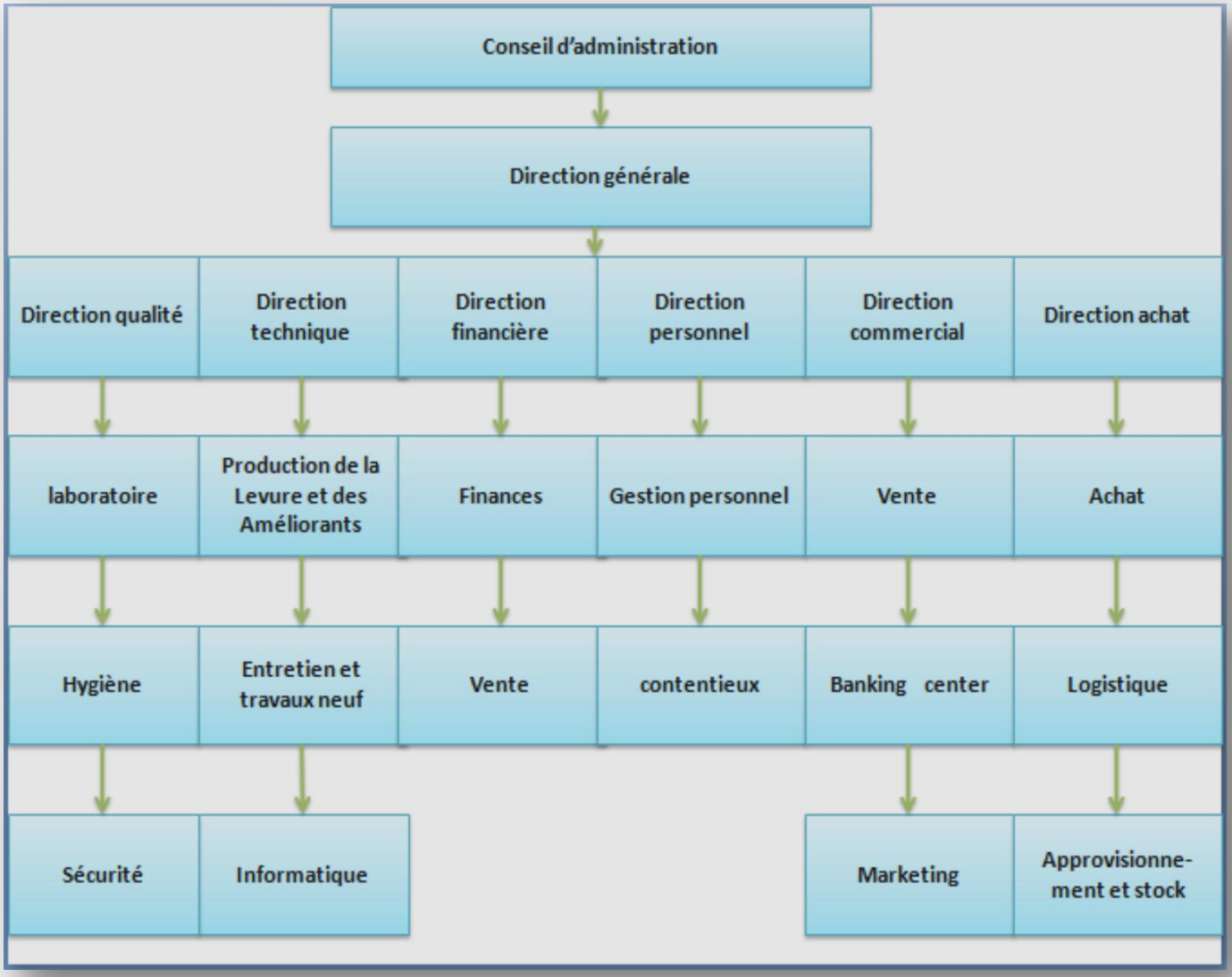


Figure1 : organigramme de la société

Chapitre 2 :

Généralités sur La levure.

I) Introduction

Parce qu'elle contient des minéraux, des vitamines et des acides aminés, la levure possède de multiples vertus.

Grâce à ces éléments indispensables au bon fonctionnement de notre organisme, la levure Joue un rôle nutritionnel dans notre alimentation et notre équilibre. Par exemple, la levure et ses dérivés sont utilisés dans des compléments alimentaires pour supplémenter notre alimentation, pourvoir à notre bien-être et contribuer à l'amélioration de notre santé.

La levure connaît également d'autres applications dans des secteurs tels que l'alimentation animale ou encore les cosmétiques.

Dans cette partie, nous allons savoir comment on procède à la fabrication de la levure dite commerciale que ça soit la fraiche ou sèche au sein de la société LESAFFRE-MAROC, le leader dans son domaine.

II) La levure

II.1) Définition

La levure est un champignon microscopique unicellulaire de la famille des ascomycètes. La levure utilisée en boulangerie appartient au genre Saccharomyces, espèce cerevisiae. La levure Saccharomyces cerevisiae a un cycle biologique particulier. Elle est capable de se multiplier sous deux formes : une forme diploïde (2n = 32 chromosomes) et une forme haploïde (1n = 16 chromosomes).

II.2) Historique

L'Homme a toujours utilisé la levure au cours de l'Histoire, et ce bien avant de savoir écrire. Les Égyptiens l'utilisaient déjà pour fabriquer leur pain, il y a cinq mille ans, Cependant, ils ignoraient le processus de fermentation.

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. Mais il faudra attendre **1857** et les travaux du scientifique français, Louis Pasteur pour comprendre le processus de fermentation.

Pasteur affirme que les agents responsables de la fermentation sont les levures. Il établit le rôle essentiel de la levure comme micro-organisme de la fermentation alcoolique. En perçant ainsi ces mystères, il démontre que la cellule de levure peut vivre avec ou sans oxygène. Pasteur comprit aussi très tôt que les levures étaient un élément essentiel à la formation des arômes et des saveurs du pain.

La levure de boulangerie Saccharomyces cerevisiae s'est imposée au fil de l'histoire pour faire lever universellement les pâtes boulangères.

II.3) Structure de la levure

La forme végétative des levures peut être sphérique, globuleuse, ovoïde, allongée ou cylindrique. Il existe cependant des formes cellulaires caractéristiques : forme en bouteille et forme triangulaire.

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.

Les cellules de la levure sont sphériques ou ovales et mesurent environ 1/100ème de millimètre (à 8µm), Dans 1 gramme de levure en pain (culture de levures, concentrée puis pressée), il y a 5 à 12 milliards de cellules, sa structure est la suivante :

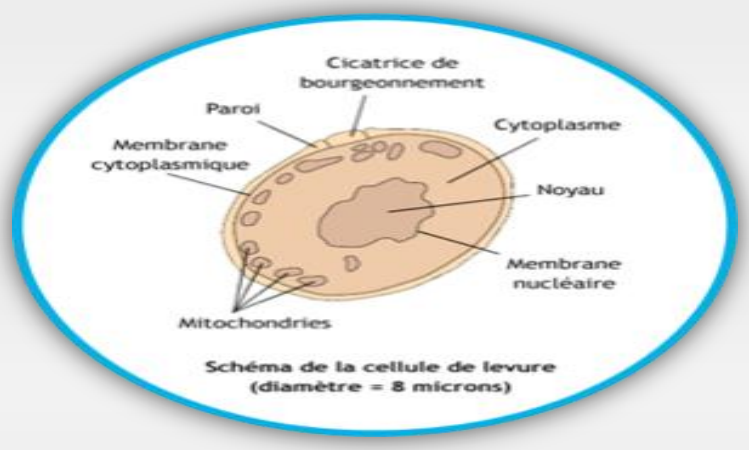


Figure 2 : structure d'une cellule de levure

III) Mode de vie de la levure

III.1) Développement de la levure

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

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

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

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ H_2O + 6\ CO_2 + 686kcal$$

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

- **En l'absence d'air**, la levure fermente : grâce à ses enzymes (les zymases), elle dégrade les sucres simples (en C_6) présents dans son milieu de vie, par un métabolisme fermentatif qui conduit à la formation de gaz carbonique, d'alcool et un peu moins d'énergie, Ce métabolisme fermentatif moins énergétique que le métabolisme oxydatif, affecte la multiplication cellulaire mais a l'avantage de permettre à la levure de survivre même en anaérobiose.

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ C_2H_5OH + 27\ kcal$$

III.2) Rôle de levure

Le rôle de levure peut se présenter comme :

- Améliore la légèreté des produits.
- Apporte une structure alvéolée grâce au gaz carbonique.
- Provoque la dégradation des sucres de la farine créant ainsi la fermentation.
- Renforce l'arôme lors d'une fermentation longue.
- Agit sur la coloration de la croûte

III.3) Type de levure

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

La levure fraîche : Elle est donc plus hydratée et besoin d'un endroit frais (autour de 4°C) pour se conserver autour de 2 semaines. Elle doit avoir un bel aspect clair, humide et sans odeur acide. Elle est plus fragile. Si les conditions idéales de température et d'humidité ne se vérifient pas, elle risque de mourir, on peut la congeler mais pas au-delà de -18°C.

III.4) Paramètres influençant l'activité levurienne

a) L'hydratation

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

b) Le pH

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

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

c) - La température

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

compromis entre la vitesse de fermentation (production de gaz) et la qualité technologique des pâtes (texture).

d) La pression osmotique et la force ionique

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

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

e) La concentration en alcool

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

IV) La chaine de production

L'objectif de fabrication est de produire une quantité importante de levure capable de garder l'aptitude à fermenter pendant 2 semaines pour la levure fraiche et 6 mois pour la sèche dans les conditions de stockage de 4°C, Les étapes se déroulent en deux échelles :

IV.1) A l'échelle du laboratoire

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

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

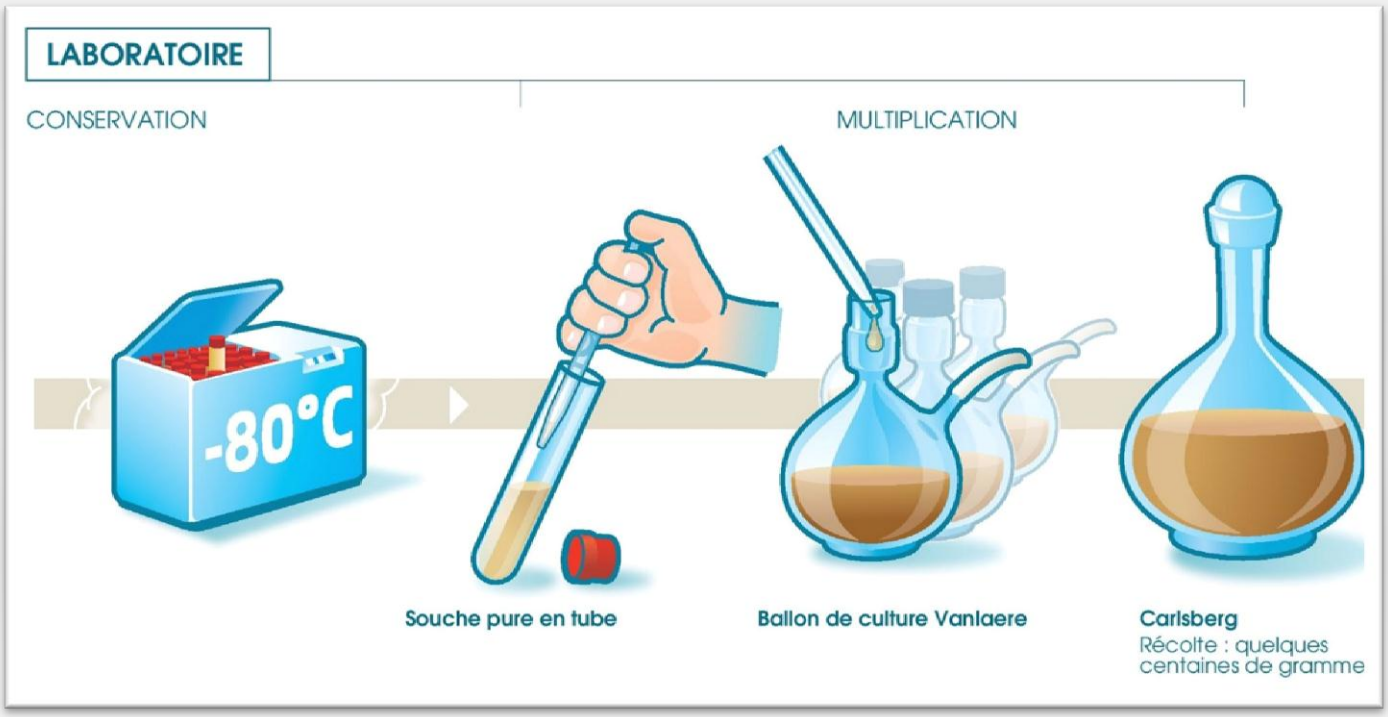


Figure 3 : Représentation des étapes d'ensemencement

IV.2) À l'échelle industrielle

Les étapes de fabrication à l'échelle industrielle sont :

- La préparation de la mélasse et des sels nutritifs
- Phase de fermentation
- Phase de séparation et filtration sous vide
- Phase de conditionnement de la levure *(1)

IV.3) Traitement de mélasse

- **Réception**

La mélasse est la matière première essentielle pour la production de la levure, provient de différentes sucreries du Maroc par des camions citernes, en prenant des échantillons pour analyser le pH on s'assure que de la qualité de mélasse.

La mélasse et stocker dans des tanks qui sont équipées de pompes qui assurent la poussé de la mélasse pour la dilution.

- **Dilution**

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

La mélasse brute à diluer contient environ 78% et 22 % de canne.

La température interne de la cuve attient 70°C grâce à l'eau chaude ajoutée et la vapeur injectée (3.5 Bar) afin de diminuer sa viscosité et pour avoir un bon mélange avec les autres ingrédients

- **Clarification**

La clarification est une opération qui consiste à séparer la mélasse diluée par centrifugation grâce à des clarificateurs de toutes impuretés indésirables comme les boues. Elle permet ainsi d'éviter le colmatage de l'échangeur utilisé pendant la stérilisation. L'étape de clarification est précédée par une étape de filtration qui a le même but et elle est effectuée par un filtre à panier qui élimine toutes les grandes particules pour faciliter la clarification

- **Stérilisation**

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

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

- **Refroidissement :**

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

IV.4) Les 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 multiplication, pour couvrir les besoins de la levure on ajoute

- **L'urée et les sulfates d'ammonium** : sont une source d'azote nécessaire pour à la biosynthèse des protéines et la production des enzymes.
- **Phosphate mono ammonium (MAP)** : sont une source de phosphore qui peut également apporter de l'azote (phosphate d'ammonium) de formule chimique $(NH_4)_3PO_4$. Le phosphore est nécessaire pour la production d'énergie et la phosphorylation membranaire.

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

Lesaffre importe ses sels nutritifs à partir des sociétés qui fabriquent les engrais utilisés dans l'agriculture

IV.5) La fermentation

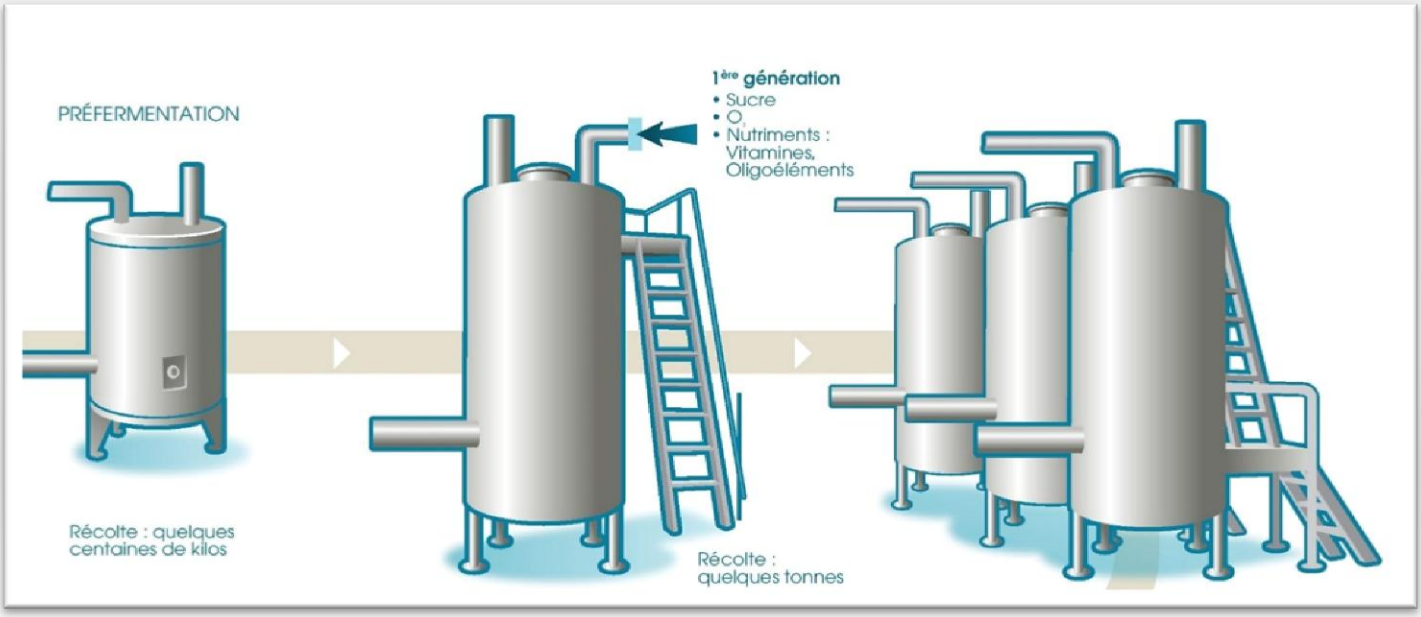


Figure 4 : Représentation des étapes de fermentation

a) La pré-fermentation

Après une incubation dans le cuve de 800 litres le mout est envoyer par des circuits à un pré-fermentateur stérilisé, nettoyé par la soude à une température de 90 °C et rincé à l'eau, le milieu doit être préparé par les éléments suivants

- La mélasse
- Le phosphate
- L'urée
- Les sels minéraux
- L'acide sulfurique pour maintenir le milieu à un pH entre 3,4 et 4,5
- L'oxygène introduit par des soufflants de l'air qui joue 2 rôles :
  - La respiration de levure
  - L'agitation par barbotage pour économiser l'énergie.

b) La fermentation de levure mère

Après l'étape de pré-fermentation le contenu et transporter vers des grandes cuves pour effectuer la fermentation de levure mère. L'alimentation pour cette étape et différente à celle de l'étape dernière, la mélasse et les autres ingrédients sont introduit en continue avec un débit bien précis.

Après 16 heures la quantité de levure est estimer par des dizaines tonnes sous forme d'un liquide qu'on appelle le moût, l'ajoute de l'anti-mousse a pour effet d'éviter les mousses qui se produisent lors de la fermentation.

Un contrôle sévère et chaque heure de PH, Température, Brix, et le taux d'alcool est nécessaire pour le bon déroulement de la fermentation

- **Le ph** et contrôler par un PH mètre
- **La température** par régulateur lié à un tour de refroidissement qui refroidit le milieu à chaque fois le la température dépasse le conseil
- **Le taux d'alcool** est contrôler par la prise d'un échantillon en milieu acide, l'éthanol (CH_3CH_2OH) est oxydé par le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$). On peut ainsi réaliser un dosage en retour : on va oxyder tout l'éthanol d'un échantillon en présence d'un excès exactement connu de dichromate, puis on va mesurer le reliquat de dichromate à l'aide d'une réaction redox avec du fer ferreux (sel de Mohr) en présence d'un indicateur coloré redox d'équivalence. Par différence, on pourra ainsi connaître la quantité d'éthanol de l'échantillon. Les couples redox en jeu sont les suivants :

$$2\times (Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightarrow + 6e^- \ 2Cr^{3+} + 7H_2O)$$

$$3 \times (CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3C00H + 4e^- + 4H^+)$$

$$2\ Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 3\ CH_3CH_2OH \rightarrow 3\ CH_3C00H + 4\ Cr^{3+} + 11\ H_2O$$

Ainsi que :

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

$$6 \times (Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-)$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6\ Fe^{2+} \rightarrow 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$$

c) Séparation de la levure mère :

Dès que la fermentation de la levure mère touche sa fin, la nutrition est arrêter, le moût levuré est envoyé vers un séparateur centrifuge afin de séparer la phase solide (crème) de la phase liquide (moût). La crème obtenue sera stockée dans des cuves munies d'un système de refroidissement pour assurer une température de 4°C.

d) Fermentation de la levure commerciale :

La crème séparée subit le même principe que celui de la fermentation de la levure mère afin d'avoir une fermentation commerciale. Cette étape de fermentation se déroule dans des fermenteurs de capacité plus grande, elle permet d'obtenir le produit fini estime par des dizaines de tonnes, après 17 heures de fermentation le contenu est envoyer vers la station de séparation.

IV.6) Phase de séparation et filtration sous vide

a) Séparation de la levure commerciale

La station de séparation comporte deux lignes de séparation en parallèle, et au niveau de chaque ligne se trouvent deux séparateurs montés en série, le premier sépare le moût délevuré de la crème et le deuxième séparateur fini le travail en mélangeant la crème avec l'eau pour éliminer le maximum de moût délevuré et éclaircir sa couleur. La crème commerciale ainsi obtenue est stockée dans des cuves de garde à une température de 4°C.

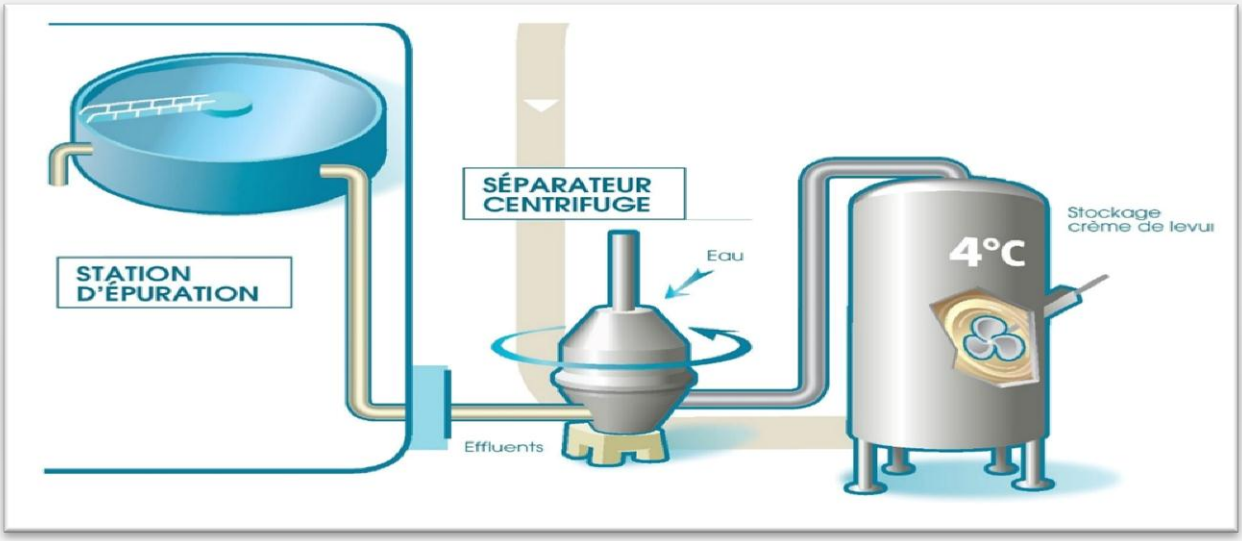


Figure 5 : représentation de séparation

b) La filtration et emballage de la levure

Un filtre à eau est composé d'un système de filtration qui vise à séparer l'eau des particules solides en la faisant passer travers d'un milieu poreux, ce qui ne laisse passer que les liquides et les particules solides plus fines que les trous du filtre (porosité). La filtration se fait à l'aide d'un déshydrateurs rotatoires sous vide contenant une pré-couche d'amidon (toile filtrante) qui ne laisse passer que l'eau sans la suspension solide et munis de racleurs. Les cellules sont immergées à tour de rôle dans l'auge contenant la crème et le NaCl. Sous l'action du vide, l'eau traverse la pré-couche et la levure se dépose sur celle-ci sous forme de gâteau, La levure est ensuite raclée par un coteau fixé sur le filtre. Ce coteau fonctionne d'une façon à ne pas toucher la couche d'amidon. La levure récupérée est malaxée, boudiné et extrudé à travers des filières téflonées de sections carrées puis envoyée vers le conditionnement.

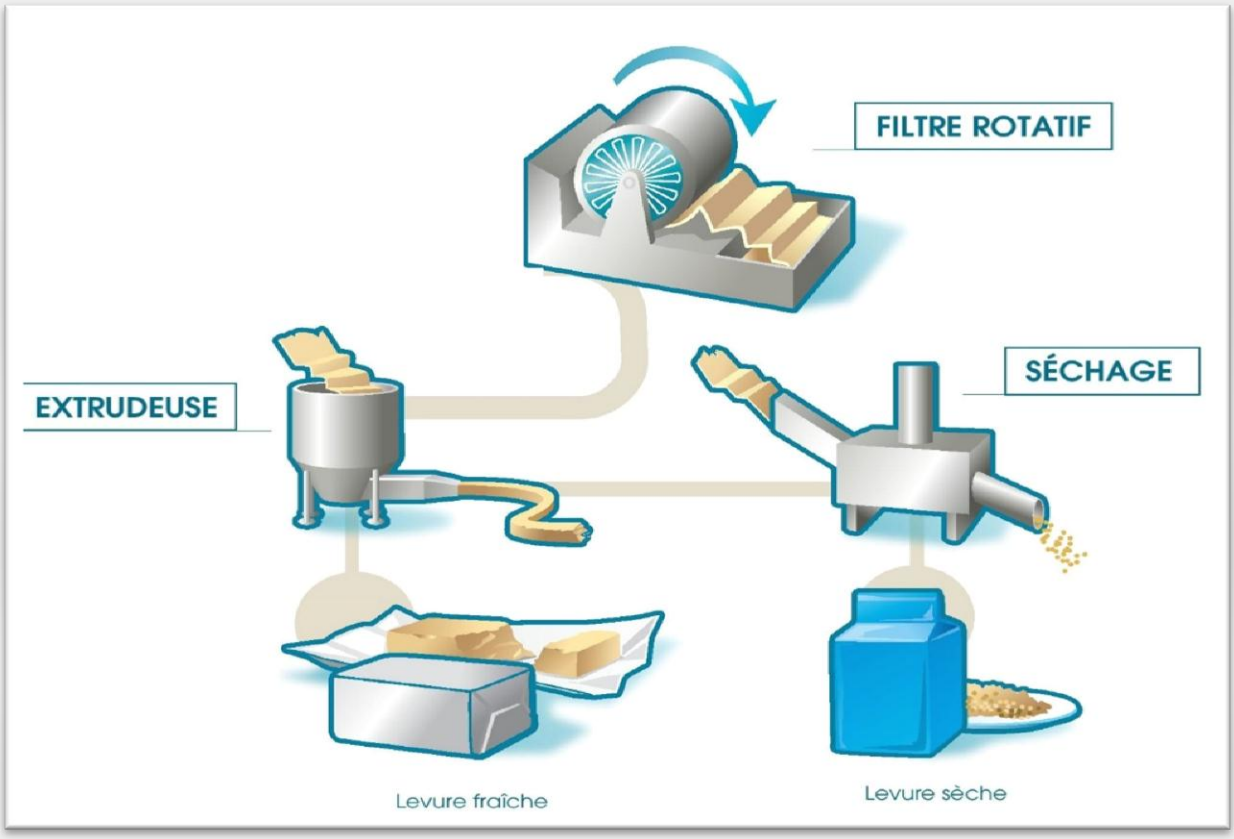


Figure 6 : présentation de la filtration sous vide

c) Conditionnement de la levure

Pour la levure fraiche l'emballage s'effectue grâce à une machine constituée de trois parties : une boudineuse, découpeuse et d'une enveloppeuse.

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

Pour la levure sèche La production de ce type suit les mêmes étapes que la levure fraîche sauf qu'après la filtration sous vide la pâte est mélangé avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et donne aussi la couleur blanche caractéristique de la levure. Le gâteau obtenu est transformé en vermicelle à l'aide d'une grille de porosité connue, ensuite elle est transférée au sécheur à lit, fluidisé à l'air chaud par une conduite vibratoire afin d'éliminer le maximum d'eau restant dans la cellule sans l'endommager, tout en augmentant le taux de matière sèche jusqu'à 94% pour la SPH et 95.5% pour la SPI, La levure sèche obtenue est ensuite tamisée puis stockée dans des silos.

SPI : levure sèche instantanée sous forme de petits bâtons fissurés emballées sous vide ou gaz neutre dans des sachets de 450g ainsi que dans des cartons de 25kg destinés à l'export.

SPH : levure sèche active ou à réhydratation sous forme de granules ou de sphérules, emballées sous air dans des sachets de50g, 100g et 500g.

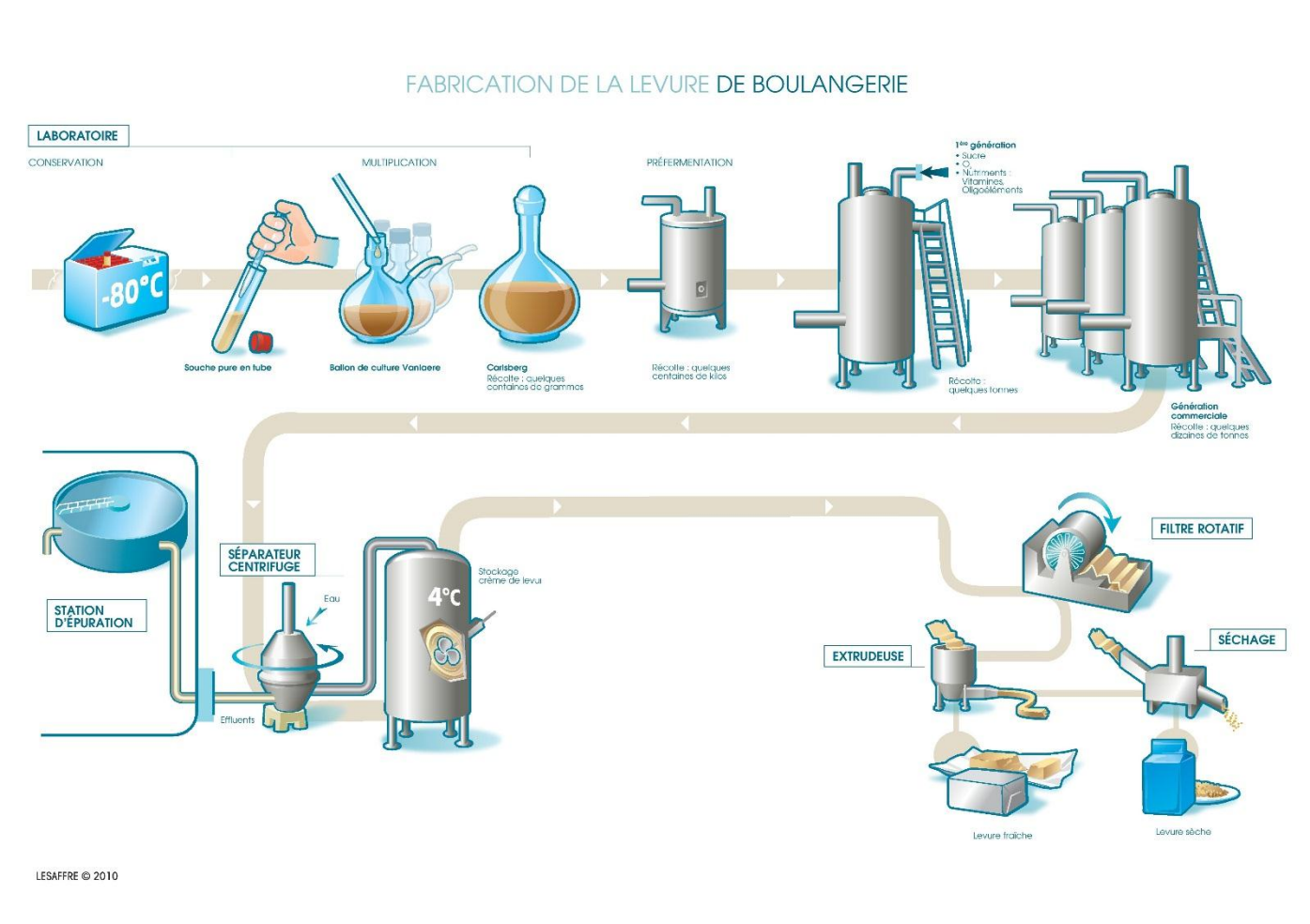


Figure 7 : procèdes de fabrication de la lavure

Chapitre 3

Partie pratique

I) Introduction

La consommation énorme en terme d'énergie au niveau de la station de traitement de mélasse est un problème chez les industries de levure, notre travail consiste à calculer les gains à porter par les échangeurs thermiques, évaluer les pertes en terme d'énergie au niveau de la dilution, la stérilisation et proposer des solutions d'amélioration qualitative et quantitative de la production.
Le souci de la société est de réduire la quantité d'énergie utilisée dans l'unité de traitement de mélasse

II) Généralité sur le bilan thermique

II.1) Définition

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

II.2) Bilan thermique simple

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

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

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

$$\phi = Q.l_c(T_e) + Q.\ C_p.\ (T_s - T_e) \quad \text{et} \quad \phi' = Q'.C_p'.\ (T_s' - T_e')$$

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

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

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

III) Bilans thermiques de la station de traitement de la mélasse

La station de traitement de la mélasse, constitue le vif du sujet car la détermination et l'amélioration du rendement de la production de la levure exigent de minimiser les pertes en énergies au sein de la station de traitement de la mélasse.

Dans cette partie nous allons déterminer le bilan thermique des différentes étapes de préparation de la mélasse « dilution, stérilisation et refroidissement » et essayer de calculer les gains apportés par l'utilisation des échangeurs thermique et l'efficacité de la température utilisée en fonction du temps et du débit. Cette étude aidera par la suite de prévoir une modification ou amélioration de cette station.

III.1) Quantité de chaleur dans les différentes étapes de traitement de la mélasse

a) Dilution

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

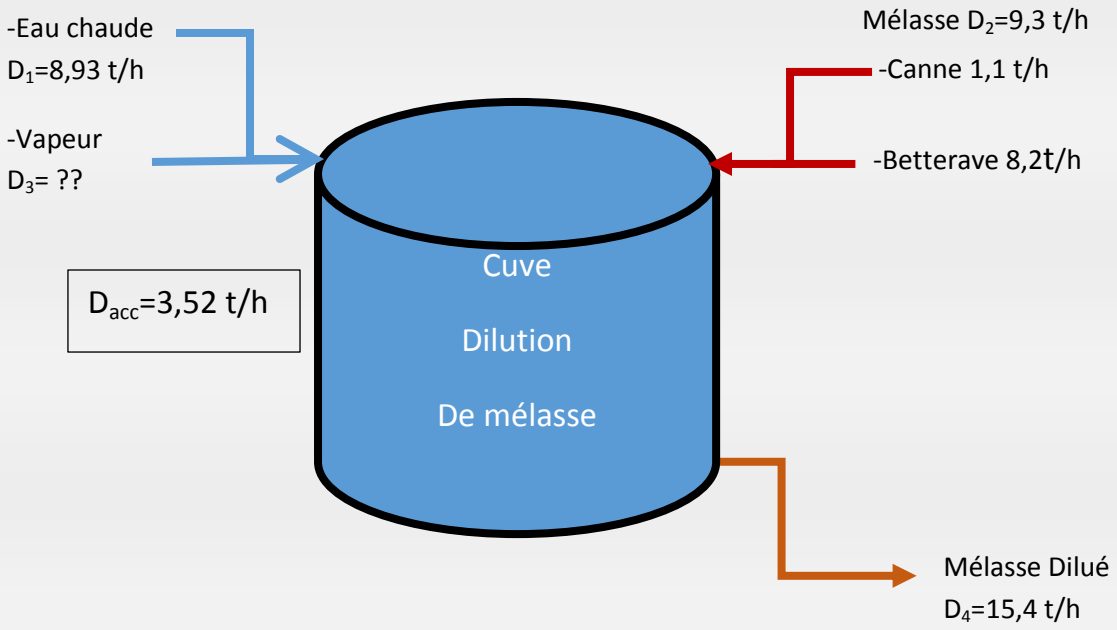
Sachant que la chaleur massique de la mélasse diluée étant :

Cp eau = 4,180 kJ/kg.k **Cp mélasse = 3,223 kJ/kg.k**

Cp vapeur = 4,185 kJ/kg.k

Chaleur latente de condensation de la vapeur :

Lc (162°c) = -2047,73 kJ /kg



- Bilan de matière pour déterminer la quantité de vapeur

$$D_1+D_2+D_3=D_{acc}+D_4$$

$$D_3= (D_{acc}+D_4) - (D_1+D_2)$$

Avec :

D_1 = 8,93 t/h : débit Massique de l'eau chaude.

D_3 = ? : Débit Massique de la vapeur.

D_2= 9,3 t/h : débit Massique de la mélasse.

D_{ACC} = 3,54 t/h : débit Massique d'accumulation.

D_4 = 15,4 t/h: débit Massique de la mélasse

Nous trouverons

$$D_3= (2,45+14,28) - (8,93+9,3)$$

$$D_2= 0,69 \text{ t/h}$$

- Calcul thermique :

Le flux reçus par l'eau chaude pour augmenter sa de Te=45°C à Ts=54,5°C est donner par la formule :

$$\phi_1 = D_1 \times Cp_{eau} \times \Delta T$$

$$\phi_1 = D_2 \times Cp_{eau} \times (Ts - Te)$$

$$\phi_1 = \left(\frac{8{,}93 \times 1000}{3600}\right) \times 4{,}180 \times (54{,}5-45)$$

$$\phi_1 = 98{,}5 \text{ Kw}$$

Le flux reçu par la mélasse pour passer sa température de Te=28°C à Ts=54,5°C est donner par :

$$\phi_2 = D_2 \times Cp_{Mélasse} \times \Delta T = D_2 \times Cp_{Mélasse} \times (Ts - Te)$$

$$\phi_1 = \left(\frac{9{,}3 \times 1000}{3600}\right) \times 3{,}223 \times (54{,}5-24{,}5)$$

$$\phi_2 = 250{,}6 \text{ kW}$$

Les flux reçus sont :

$$\phi \text{ reçu} = \phi_1 + \phi_2 \quad \Longleftrightarrow \quad \phi \text{ reçu} = 349{,}1 \text{ kW}$$

Les flux cédés sont :

-L'injection de vapeur qui subit un changement d'état (condensation), le flux de chaleur cédé s'écrit sous la forme :

$$\phi_3 = D_3 \times Lc + D_3 \times Cp\ eau \times \Delta T$$

$$\phi_3 = \left(\frac{0{,}69 \times 1000}{3600}\right) \times (-2047{,}73 + 4{,}180 \times (54{,}5-162))$$

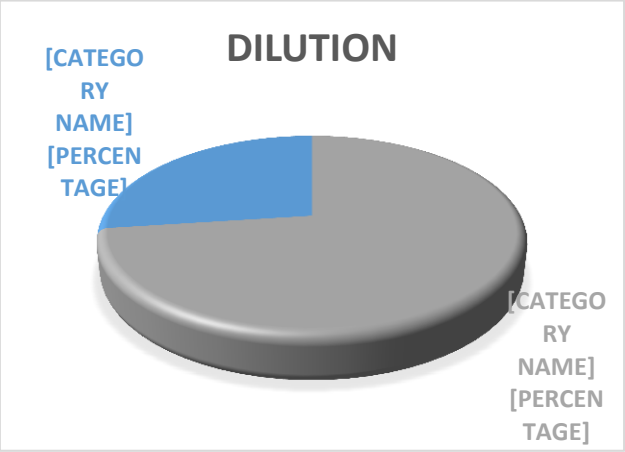
$$\phi_{cédé} = \phi_3 = -478{,}6 \text{ kW}$$

- Les pertes en termes d'énergie :

$$\phi_{perte} = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = -129{,}6 \text{ Kw}$$

Nous voyons que les résultats montrent que la dilution de la mélasse demande une énergie de **349,1** Kw, et que la perte thermique présente un pourcentage de **27**%.

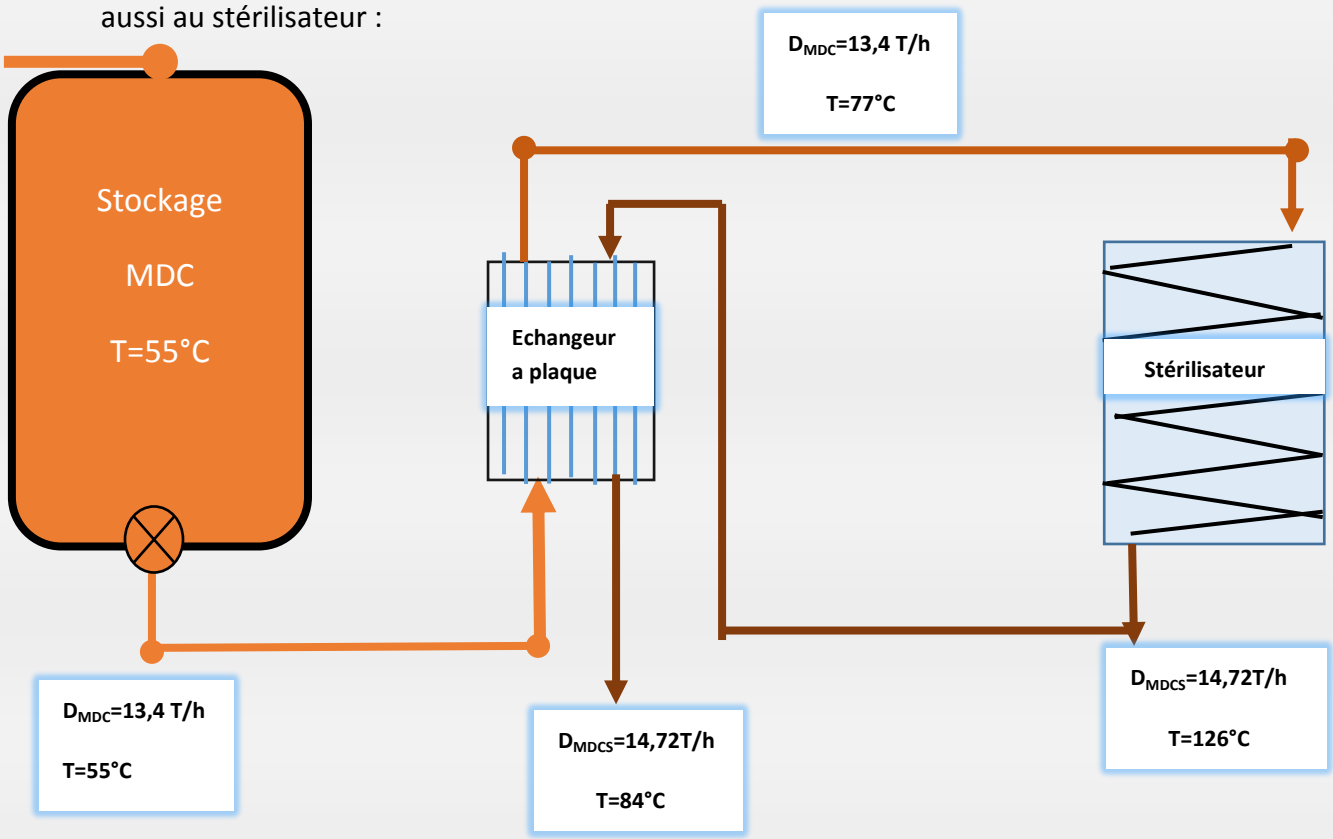
Les pertes sont essentiellement dues au transfert de chaleur vers l'extérieur par conduction à travers les parois de la cuve de dilution.



b) La stérilisation et échangeur à plaque(mélasse/mélasse) :

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

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



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

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

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

$$\phi_{MDC}=-\left(\frac{13{,}4\times1000}{3600}\right) \times 3{,}223 \times (77-55)$$

$$\phi_{MDC}=273{,}9 \text{ kW}$$

Flux cédé par la mélasse diluée clarifié stérilisé :

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

$$\phi_{MDC}=\left(\frac{14{,}7\times1000}{3600}\right) \times 3{,}223 \times (84-126)$$

$$\phi_{MDCS}=-552{,}7 \text{ kW}$$

- Les pertes en termes d'énergie :

$$\phi_{perte}=\phi_{MDC}+\phi_{MDCS}=-273{,}8 \text{ kW}$$

L'échangeur nous permet de récupérer un gain d'énergie équivalent à **273,9 kW** soit **48 %** d'énergie cédé.

- <u>Bilant thermique au niveau de stérilisation :</u>

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

$$D_{vapeur}=D_{MDCS}-D_{MDC}$$

$$D_{vapeur}=14{,}72-13{,}4=1{,}32 \text{ T/h}$$

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

$$\phi_{vapeur} = Dv_{apeur} \times Lc + D_{vapeur} \times Cp_{eau} \times \Delta T$$

$$\phi_{vapeur} = \left(\frac{1{,}32\times1000}{3600}\right) \times (-2056{,}5 + 4{,}18*(128 - 165))$$

$$\phi_{vapeur} = -810{,}7 \text{ kW}$$

Le flux reçu par la mélasse diluée clarifié pour augmenter sa température de 77°C à 126°C et donné par :

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

$$\phi_{MDC}=_{=} \left(\frac{13{,}4\times1000}{3600}\right) \times 3{,}223 \times (126-75)$$

$$\phi_{MDC}=587{,}8\ kW$$

$$\phi_{MDC} = 587{,}8\ kW$$

Les pertes d'énergie :

$$\phi_{perte} = \phi_{vapeur} + \phi_{MDC} = -222{,}9\ kW$$

La mélasse diluée récupère 72 % de flux cédé dans cette étape, alors qu'il y 28 % de perte thermique, ce qui montre que le stérilisateur n'est pas entièrement isolé, c'est-à-dire qu'il y a un transfert de chaleur vers l'extérieur par conduction.

c) Refroidissement (eau/mélasse) :

La mélasse diluée clarifiée et stérilisée **MDCS** est stockée dans des bacs de stockage dans lesquels règne une température T = 84°C, à l'aide d'un échangeur à plaque cette température est baissée à 33°C.

L'eau de refroidissement utilisée dans le refroidisseur est réutilisée dans la phase de dilution.

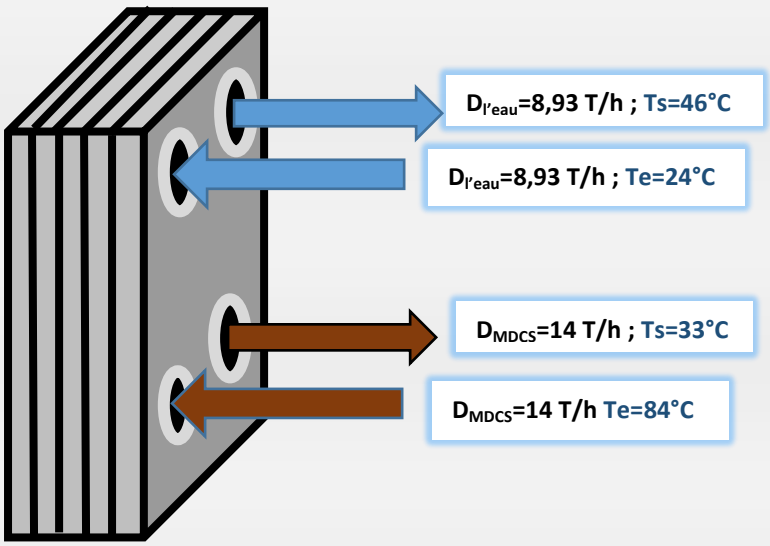


Figure 8 : schéma de l'échangeur à plaque lors de refroidissement

Le gain récupérer par l'échangeur pour augmenter la température de l'eau est donnée par :

$$\phi_{EAU} = D_{EAU} \times Cp_{EAU} \times \Delta T$$

$$\phi_{EAU} = \left(\frac{8{,}93 \times 1000}{3600}\right) \times 4{,}180 \times (46-20)$$

$$\phi_{EAU} = 300{,}1 \text{ kW}$$

Le flux fourni par la mélasse diluée clarifiée stérilisée :

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

$$\phi_{MDCS} = \left(\frac{14 \times 1000}{3600}\right) \times 3{,}223 \times (33-84)$$

$$\phi_{MDCS} = -640{,}6 \text{ kW}$$

$$\phi_{perte} = \phi_{MDCS} + \phi_{EAU} = -340{,}5 \text{ kW}$$

L'eau de refroidissement à son tour récupère 46% de l'énergie fournie.

III.2) Evaluation des pertes thermiques et les gains a porté par les échangeurs en terme 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.

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

$$\Sigma\, \phi_{perte} = 352{,}5 \text{ kW}$$

Les pertes au niveau **des échangeurs thermiques**

$$\Sigma\, \phi_{perte} = 639{,}3 \text{ kW}$$

b) Les gains apportés par les 2 échangeurs :

Les échangeurs thermiques nous permettons de récupérer une quantité d'énergies considérer comme des gains :

$$\Sigma\, \phi_{gains} = 543{,}9 \text{ kW}$$

III.3) Bilan financier :

a) Consommation en fuel

La société LESAFFRE-MAROC utilise, pour la production de la vapeur, à partir de ses chaudières, le fioul lourd qui a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'environ 12 kW/kg. C'est-à-dire qu'un kilogramme de fioul apporte environ 43200Kj d'énergie en brulant.

Le rendement PCI des chaudières variant entre 80 et 90% due aux pertes d'énergie lors de la vaporisation d'eau dans les fumées, donc un kg de fuel lourd nous apporte 10,2 kW.

Le besoin en vapeur dans la station de traitement de la mélasse étant **1289,2 kW**, la consommation en fioul par heure pour ce besoin étant :

$$Q_{fuel/h} = \frac{\Sigma\ \phi \text{concommé}}{PCI} = 126{,}4\ \text{kg}$$

La quantité de fuel en kg par heure apportés par les échangeurs :

$$Q_{fuel/h} = \frac{\Sigma\ \phi \text{gains}}{PCI} = 54\ \text{kg}$$

La quantité de fuel en kg par perdu

$$Q_{fuel/h} = \frac{\Sigma\ \phi \text{perte}}{PCI} = 34{,}5\ \text{kg}$$

b) Les Pertes en dirhams :

Le prix de fuel sur le marché est de **3 678 DH** (sortie Mohammedia) par tonne soit **3,7Dh** par kg, on peut déduire alors en termes de capital le cout de consommation, les pertes et les gains apportés par l'échangeur.

Consomation	• ***467,68 dh*** par heure • soit ***336 729 Dh*** par mois
gains	• ***200 dh*** par heure • soit ***140 000 dh*** par mois
pertes thermique sans compte tenu les pertes thermique au niveau de l'échangeur*	• ***127,6 dh*** par heure. • soit ***91 872 dh*** par mois

III.4) Solutions proposées :

Pour lutter contre ses dépenses aussi voraces financièrement qu'énergiquement, les solutions est d'éviter les déperditions thermiques.

Pour cela certaines des propositions qui suivent visent à soutenir est optimiser le rendement d'échangeurs :

a par l'ajout des plaques, avec une isolation du l'échangeur et stérilisateur par des isolants efficaces.

L'encrassement, le tartre et d'autres débris présents sur les surfaces d'échange des échangeurs constitue un problème de fonctionnement chronique, pour cela une bonne clarification de mélasse est tellement recommander, les opérations de nettoyage est nécessaires doivent également de plus en plus longue et fréquents avec l'utilisation d'acides.

Contrôler les Fuite d'énergie sur les parois d'une chaudière à vapeur et sur les conduites de transport de vapeur.

Est finalement optimiser les débits avec un l'écoulement turbulent pour augmenter les transferts de chaleur entre un fluide et une paroi.

III.5) Conclusion générale :

Ce stage nous a permis de découvrir l'univers des grandes industries, tant dans leur immensité que dans leur développement. En effet, il nous était contraint de créer notre autonomie pour pouvoir orienter nos choix de sujets, de le conduire par la suite.

En effet lors de l'exécution de notre projet, nous avons pu constater l'importance du développement et de la recherche au niveau des bases théoriques de toute industrie.

Au terme de ce stage nous avons eu la satisfaction d'avoir réalisé un modeste travail mais qui nos appartient. Mais plus que cette satisfaction, nous avons eu le plaisir de travailler dans un domaine dans lequel nous aimerions poursuivre nos études

Références bibliographiques

- **La fiche technique de l'échangeur à plaque**
- **www.Lesaffre.com**
- **www.lesaffre.com/fr/le-groupe/lesaffre-dans-le-monde.html**
- **www.toutsurlalevure.fr**
- **http://techno.boulangerie.free.fr/**