



Année Universitaire : 2014-2015

**Master Sciences et Techniques GMP
Génie des Matériaux et des Procédés**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Etude du bilan thermique des échangeurs de chaleurs
et optimisation de la consommation énergétique**

Présenté par :

- EL KHALIFI OMAR

Encadré par :

- Mr. FADLI HASSAN	LESAFFRE-MAROC
- Pr. LHASSANI ABDELHADI	FST -FES

Soutenu Le 26 Juin 2015 devant le jury composé de:

- Pr. A. LHASSANI	FST-FES
- Pr. S. SABIR	FST-FES
- Pr. H. CHTIOUI	FST- FES

Stage effectué à : LESAFFRE - MAROC



2014/2015



Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom: EL KHALIFI OMAR

Titre : Etude du bilan thermique des échangeurs de chaleurs et optimisation de la consommation énergétique

Résumé

L'objectif du présent projet, effectué au sein de groupe LESAFFRE Maroc, est la réponse à la politique adoptée par le groupe c'est La gestion de l'énergie dans le but d'améliorer l'efficacité des échangeurs thermiques et d'être au niveau des attentes.

Après la présentation de LESAFFRE Maroc et le processus de fabrication de la levure, notre travail s'est articulé sur deux principaux axes : le premier correspond à l'étude du bilan thermique ainsi la consommation énergétique en présence et en absence d'échangeurs.

Afin de mener bien cette mission, on' a commencé par l'établissement du bilan énergétique des échangeurs de chaleurs, établissement de bilan énergétique en absence et en présence d'échangeurs thermique, le second axe correspond à l'optimisation de la consommation énergétique (en utilisant la méthode de gestion de la qualité ISHIKAWA).

A la lumière de cette étude, divers axes d'améliorations sont proposés à savoir :

- Amélioration de la surface d'échange pour les deux échangeurs en ajoutant des plaques.
- Nettoyage régulier des échangeurs.
- Réalisation d'une étude économique afin de déterminer le cout énergétique.

La mise en œuvre de ces solutions peut mener à une amélioration du prix de revient de la levure en minimisant les dépenses dues aux pertes d'énergie thermique.

Mots clés : Bilan thermique ; échangeurs thermiques ; Levure ; Diagramme cause-effet d'Ishikawa.

Remerciements

*Nous tenons à remercier le Directeur Général du groupe LESAFFRE Maroc, qui a accepté de nous accueillir au sein de son organisme et **Mr. HASSAN FADLI** qui nous a consacré de son temps pour le suivi et l'encadrement du projet.*

*Nos sincères remerciements s'adressent à notre tuteur, **Mr. ABDELHADI LHASSANI** pour ses directives et ses conseils durant notre période de stage ainsi que pour l'intérêt particulier qu'il a prodigué à notre projet. Nous le remercions également pour la confiance qu'il nous a accordée et sans laquelle ce projet n'aurait pas été tel qu'il le fût.*

*Nous remercions aussi **Mme .SABIR** et **Mr. CHTIOUI**, membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.*

*Nous adressons également nos remerciements les plus vifs à **Mr. OULMEKKI**, responsable de filière.*

*Nos vifs remerciements vont également à **Mr. IJJAALI**, doyen de la **FST FES**, ainsi que tout le corps administratif en témoignage de notre reconnaissance. Nous remercions sincèrement tous nos enseignants qui ont veillé à notre formation et orientation.*

Enfin, nous adressons notre gratitude à toute personne qui a contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Dédicace

A mes très chers parents,

Aucun terme et aucune langue ne pourra exprimer mon amour et mes sentiments envers vous.

En témoignage de mon amour, mon affection et ma reconnaissance pour les efforts que vous avez consentis pour moi durant toutes ces années je vous dédie cet humble travail.

A mes chers frères et sœurs,

Je ne sais comment vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A toute ma famille.

A mes chers amis,

Pour tout le soutien que vous m'avez offert, je vous dis MERCI.

A mon binôme,

Pour l'échange, la patience, les moments de partage et de soutien, je te dédie notre travail et je te remercie pour tes efforts.

A tous ceux qui m'aiment, je dédie ce travail...

abstract

The objective of this project, carried out within group lesaffre Morocco, is the answer to the policy adopted by the group it is the energy management with an aim of improving the effectiveness of the heat exchangers and of being on the level of waitings.

After the presentation of lesaffre Morocco and the manufacturing process of yeast, our work was articulated on two main axes: the first corresponds under investigation of the heat balance thus energy consumption in presence and absence of exchangers

In order to carry out this mission well, one 'started with the establishment of the energy assessment of heat exchangers, establishment of energy assessment in absence and in the presence of exchangers thermics, the second axis corresponds to the optimization of energy consumption (by using the method of management of quality ISHIKAWA)

In the light of this study, various axes of improvements are proposed namely:

- Improvement of the heat-transferring surface for the two exchangers by adding plates;
- Regular cleaning of the exchangers ;
- Realization of an economic study in order to determine the losses and the profits;

The implementation of these solutions can lead to an improvement of the cost price of yeast by minimizing the expenditure due to the losses of thermal energy.

Abréviations et acronymes

MD	Mélasses diluées
MDC	Mélasses diluées clarifiées
MDCS	Mélasses diluées clarifiées stérilisées
Iso 50001	International standard organisation
SPI	Levure sèche instantanée
SPH	Levure sèche hydratée
Φ	Flux de chaleur cédé
Φ'	Flux de chaleur gagné
m_e	Débit massique de l'eau
$m_{mél}$	Débit massique de mélange
m_m	Débit massique de la mélasse
m_{mch}	Débit massique de la mélasse chaude
m_{mf}	Débit massique de la mélasse froide
m_{ech}	Débit massique de l'eau chaude
m_{ef}	Débit massique de l'eau froide
C_{p_m}	Chaleur massique de la mélasse
C_{p_e}	Chaleur massique de l'eau
$C_{p_{mél}}$	Chaleur massique de mélange
ρ_e	Masse volumique de l'eau
ρ_m	Masse volumique de la mélasse
$\rho_{mél}$	Masse volumique de mélange
T_{m-e-f}	Température à l'entrée de l'échangeur de la mélasse froide
T_{e-e-ch}	Température à l'entrée de l'échangeur de l'eau chaude
T_{e-s-ch}	Température à la sortie de l'échangeur de l'eau chaude
T_{e-e-f}	Température à l'entrée de l'échangeur de l'eau froide
T_{m-e-ch}	Température à l'entrée de l'échangeur de la mélasse chaude
T_{m-s-f}	Température à la sortie de l'échangeur de la mélasse froide
T_{m-s-ch}	Température à la sortie de l'échangeur de la mélasse chaude
T_i	Température tiède
ΔT_{lm}	Différence de température logarithmique moyenne
η	Rendement
P_{ech}	Puissance des échangeurs
PCS-PCI	Pouvoir calorifique supérieur et inférieur
FOL	Fioul lourd

Tables des Figures

Figure	Titre	page
Figure 1	Organigramme de la société LESAFFRE FES	4
Figure 2	la mélasse	7
Figure 3	schéma de préparation de la mélasse	8
Figure 4	étapes de cultures pures de la souche avant pré-fermentation	9
Figure 5	schéma d'un séparateur	10
Figure 6	Filtre à tambour rotatif sous vide	11
Figure 7	Schéma d'un échangeur tubulaire	19
Figure 8	Schéma d'un échangeur à spirales	19
Figure 9	Schéma d'un échangeur à plaques	20
Figure 10	schéma d'encrassement d'un échangeur	20
Figure 11	Schéma d'un échangeur à plaques	22
Figure 12	l'évolution de la température au sein du 1er échangeur	22
Figure 13	schéma descriptif de l'entrée et la sortie des deux liquides dans l'échangeur GEA-1 (mélasse-mélasse)	23
Figure 14	Evolution du coefficient d'échange K de l'échangeur 1 (mélasse-mélasse)	27
Figure 15	évolution du coefficient d'échange K de l'échangeur de type GEA2 (mélasse-eau)	29
Figure 16	schéma représentatif de répartition de l'eau chaude	36
Figure 17	Diagramme cause-effet d'Ishikawa illustrant les causes de mal fonctionnement des échangeurs	40
Figure 18	schéma représentatif des nouvelles températures voulues	41
Figure 19	Principe de nettoyage de des échangeurs par l'eau chaude	44

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 1	Evolution du coefficient d'échange K de l'échangeur 1 (mélasse-mélasse)	27
Tableau 2	Résultats du bilan thermique de l'échangeur GEA- 2 (mélasse-eau)	28
Tableau 3	Résultats du suivi de coefficient d'échange pour l'échangeur GEA-2 (mélasse-eau)	29
Tableau 4	Moyenne de suivi de la consommation journalière de la mélasse et de l'eau	32
Tableau 5	Suivi des paramètres de dilution	32
Tableau 6	Températures moyennes de l'eau dans les fermenteurs	34
Tableau 7	quantité de chaleurs nécessaire au niveau des cuves de dilution-stérilisation	37
Tableau 8	Températures moyennes au niveau des fermenteurs	37
Tableau 9	PCI et PCS des différents combustibles	46
Tableau 10	les consommations journalières d'énergie à l'état actuel et de référence	46
Tableau 11	Quantification monétaire des gains journaliers, mensuels, et annuels en vapeur.	47
Tableau12 :	Consommation journalière et annuelle de FOL par 'kg'	48

Sommaire

Remerciements	1
Dédicace	2
abstract.....	3
Abréviations et acronymes.....	4
Tables des Figures	5
Liste des tableaux	6
INTRODUCTION générale	1
I. Présentation de la société	2
1. Group LESAFFRE	2
2. LESAFFRE au Maroc	2
3. Organigramme de l'entreprise	3
4. Présentation de l'unité de laboratoire.....	4
Chapitre I : Contexte général du projet.....	5
I. Procédé de fabrication de la levure et ses principes.....	6
1. levure	6
a. Définition	6
b. Mode de vie de levure	6
2. Etapes de production de la levure	7
1. préparation de la mélasse	7
a. Dilution	7
b. Clarification	7
c. Stérilisation de la mélasse.....	8
d. Refroidissement	8
2. Préparation de l'urée, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate :.....	9
3. Fermentation.....	9
a. Echelle laboratoire	9
b. Echelle industriel	10
4. Filtration	11
5. Séchage.....	11
6. Emballage	12
Conclusion	13
II. Présentation du sujet.....	14

1. <i>Problématique</i>	14
2. <i>Cahier de charge</i>	14
3. <i>ISO 50001</i>	14
Chapitre II : Généralités sur le bilan thermique	15
I. Généralités sur le bilan thermique.....	16
1. <i>Définition</i>	16
2. <i>But</i>	16
3. <i>Présentation des différents types de bilan</i>	16
a. <i>Hypothèses sur les échanges de chaleur</i>	16
b. <i>Bilan thermique simple</i>	17
c. <i>Bilan enthalpique</i>	17
II. Généralités sur les échangeurs.....	18
1. <i>Définition</i>	18
2. <i>Mode du transfert de chaleur</i>	18
3. <i>Classification des échangeurs de chaleur</i>	19
a. <i>Echangeur à faisceau tubulaire horizontal</i>	19
b. <i>Echangeur à spirales</i>	19
c. <i>Echangeur à plaques</i>	20
4. <i>Encrassement d'un échangeur</i>	20
Chapitre III : Elaboration du bilan thermique.....	21
I. Description de l'échangeur à plaques	22
II . Bilan thermique de l'échangeur à plaques de type GEA-1(mélasse-mélasse).....	22
1. <i>Profil de la température</i>	22
2. <i>Estimation de débit de la mélasse froide</i>	23
3. <i>Puissance d'échangeur</i>	24
4. <i>calcul des flux</i>	25
5. <i>Suivi de Coefficient d'échange de l'échangeur (mélasse-mélasse)</i>	26
6. <i>Interprétations</i>	27
7. <i>Rendement</i>	27
III. Bilan thermique de l'échangeur à plaques de type GEA-2 (mélasse-eau)	28
1. <i>Résultats d'étude</i>	28
2. <i>suivi de Coefficient d'échange de l'échangeur (mélasse-eau</i>	29
3. <i>Interprétations</i>	29
Conclusion.....	30

Chapitre IV : Etude de la consommation d'énergie en présence et en absence des échangeurs	31
I. Consommation en absence d'échangeurs.....	32
1. <i>Dilution de la mélasse</i>	32
2. <i>Stérilisation</i>	34
3. <i>Préparation des pieds de cuves</i>	34
4. <i>Interprétation des résultats</i>	35
II. Consommation en présence d'échangeurs.....	35
1. <i>Consommation actuelle d'énergie (en présence d'échangeurs)</i>	36
2. <i>Résultats et interprétations</i>	37
a. <i>dilution-stérilisation</i>	37
b. <i>Préparation des pieds de cuves :</i>	37
c. <i>Interprétation des résultats</i>	38
III. Production journalière de l'eau chaude.....	38
Chapitre V : Plan d'action et rentabilité de sujet	39
III. <i>Estimation du Coût énergétique</i>	39
I. Analyse du problème	40
1. <i>Diagramme cause-effet d'ISHIKAWA</i>	40
II. Plan d'action sur les échangeurs.....	41
1. Calcul du nombre de plaques nécessaire pour optimiser le fonctionnement des échangeurs	41
a. <i>Description</i>	41
b. <i>Echangeur GEA1 (mélasse-mélasse)</i>	41
c. <i>Echangeur GEA2 (mélasse-eau)</i>	41
2. <i>Méthodologie de calcul</i>	42
a. <i>Echangeur GEA-1 : (mélasse-mélasse)</i>	42
b. <i>Echangeur GEA-2 : (mélasse-eau)</i>	43
4. <i>nettoyage régulier des échangeurs</i>	44
a. <i>Type d'encrassement</i>	44
b. <i>type de nettoyage</i>	44
III. <i>Estimation du Coût énergétique</i>	45
1. <i>Pouvoir calorifique</i>	45
2. <i>consommation énergétique</i>	46
2. <i>Gain en énergie</i>	47
4. <i>Interprétation</i>	47

5. <i>Diminution de consommation des ressources énergétiques.</i>	47
Conclusion générale	49
BIBLIOGRAPHIE.....	51
Annexes	52

INTRODUCTION générale

Après avoir prodigué de nombreuses connaissances théoriques et pratiques, la formation à la FST intègre un stage pour que l'étudiant mette en pratique ces connaissances, se rende compte de l'efficacité de son savoir faire et ait une idée sur le monde du travail pour pouvoir s'intégrer dans la vie active et s'engager à prendre des responsabilités. Dans cet objectif, nous avons effectué un stage de fin d'étude à LESAFFRE-MAROC.

Durant cette période de stage mon travail est porté sur l'élaboration du bilan thermique au niveau de l'unité de production, sur l'évaluation de performance des échangeurs thermiques et puis l'optimisation de la consommation énergétique au niveau de l'unité de production. Le présent rapport explique la démarche adoptée afin de répondre à l'objectif de ce sujet. Il est structuré en cinq parties.

Dans la première partie nous donnons une présentation générale de la société d'accueil et du procédé de fabrication, nous exposons ensuite la problématique du projet et le cahier des charges qui définit les objectifs à atteindre et les exigences imposées par l'industrie. Ainsi l'étude des échangeurs thermique, leurs descriptions et leurs divers types.

La seconde partie est consacrée pour le bilan thermique set ses différents types ainsi une généralité sur les échangeurs et décrire la structure de différent types de l'échangeur, ses modes et principes de fonctionnement.

Dans la troisième parti à l'établissement des bilans thermiques des deux Échangeurs GEA 1(mélasse-mélasse) et GEA2 (mélasse-eau) au niveau de séparation de la levure.

La quatrième partie consiste a déterminé la quantité de l'énergie consommer au cours des différentes étapes : Traitement de la mélasse, stérilisation et préparation des pieds des fermenteurs.

Enfin, la dernière partie représente le plan d'action des échangeurs qui consiste à suggérer des solutions pour l'amélioration de l'efficacité énergétique, redimensionnement ainsi une étude économique.

Présentation de la société

I. Présentation de la société

1. 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.

A la fin du 19^{ème} siècle, la société affiche déjà une volonté exportatrice. Ce qui semble tout naturel aujourd'hui représente un tour de force pour l'époque, en raison des conditions de transport et de distribution.

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.

2. *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.

Présentation de la société

3. Organigramme de l'entreprise

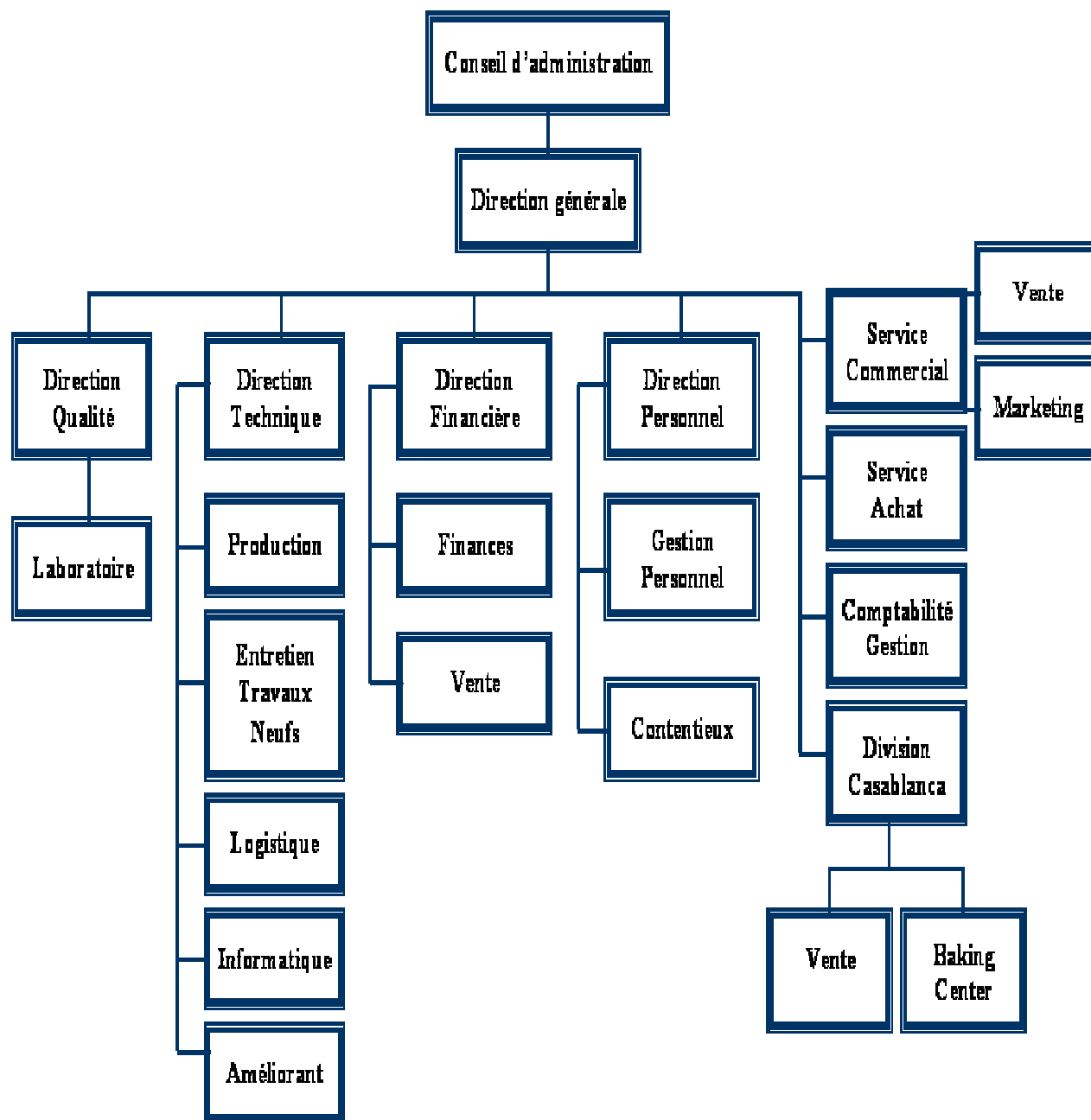


Figure 1: Organigramme de la société LESAFFRE FES

Présentation de la société

4. Présentation de l'unité de laboratoire

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

➤ **Laboratoire de microbiologie :**

La validité des contrôles microbiologiques, nécessite notamment l'obtention de résultats d'analyse fiables. La fiabilité des résultats implique l'utilisation de méthodes validées, mises en œuvre par un laboratoire compétent.

Ce laboratoire est divisé en quatre parties :

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

- Salle de stockage des matières premières.
- Et enfin une salle d'analyses bactériologiques.

➤ **Laboratoire physico-chimique :**

Il est équipé de matériels sophistiqués, alimenté de différents types d'eaux (eau adoucie, eau distillée, eau RADEEF) utilisées selon les besoins, et fait appel à un personnel qualifié effectuant quotidiennement des analyses physico-chimiques et veillant toujours à bien respecter les consignes du responsable de laboratoire .

Il est divisé en trois parties :

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

Chapitre I : Contexte général du projet

Cette partie est une présentation générale du projet. Elle commence par la présentation, du procédé de fabrication de la levure ainsi que la présentation du sujet.

I. Processus de fabrication De la levure

II. présentation du sujet

Contexte général du projet

I. Procédé de fabrication de la levure et ses principes

1. levure

a. Définition

La levure est un champignon microscopique, unicellulaire de forme ovoïde ou sphérique, les cellules de levures sont vivantes et naturelles. Elles ont besoin d'air pour se multiplier, mais l'absence d'air n'est pas non plus sans conséquence sur son développement.

b. Mode de vie de levure

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

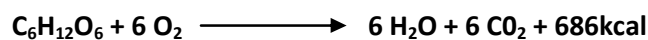
❖ En absence d'air :

En anaérobiose (absence d'air), le sucre est en grande partie transformé en alcool au détriment de l'énergie libérée. C'est le cas de la panification. La levure ne trouve plus d'oxygène. Le sucre fourni par la farine est transformé en alcool (évaporeré à la cuisson) et en gaz carbonique, témoins du processus métabolique de la fermentation.



❖ En présence d'air :

En aérobie (en présence d'air), les levures respirent et se multiplient abondamment, sans formation d'alcool. Le sucre dont elles se nourrissent est transformé en gaz carbonique et en eau. Ce phénomène s'accompagne d'une libération importante d'énergie qui leur permet de croître et de se multiplier par bourgeonnement.



Contexte général du projet

2. Etapes de production de la levure

Le fabricant de levure a pour objectif de produire une grande quantité de cellules vivantes. De la phase du laboratoire aux cuves industrielles, il favorise la multiplication des cellules dans des conditions optimales (mélasse, température, pH...).

1. préparation de la mélasse

La mélasse 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 2 : la mélasse

a. Dilution

La mélasse brute pose des problèmes d'engorgement lors de sa circulation dans les conduites. Pour faire face à ce problème, la société LESAFFRE débute la préparation de la mélasse par une dilution afin de diminuer la viscosité de la mélasse brute et pour avoir un bon mélange avec les autres ingrédients (sels nutritifs,...).

Pour effectuer cette tâche, on introduit dans une cuve de capacité de 15 m³ la mélasse brute qui provient de deux grands tanks de stockage.

La température dans la cuve est de 55°C grâce à l'eau chaude ajoutée (40°C) et la vapeur injectée (3.5bar) ce qui favorise la diminution de la viscosité de la mélasse.

b. Clarification

C'est l'opération qui permet de séparer la mélasse diluée de toutes impuretés comme les colloïdes et les boues. Elle permet ainsi d'éviter le colmatage de l'échangeur utilisé pendant la stérilisation. Pour cela on utilise la centrifugation grâce à des clarificateurs.

Contexte général du projet

c. Stérilisation de la mélasse

La mélasse diluée clarifiée (MDC) est stérilisée par injection de vapeur sous pression de 3.5bars. Le contact de la vapeur avec la mélasse MDC permet l'augmentation de la température de ce dernier de 90°C à 120°C afin d'éliminer les micro-organismes qui peuvent exister dans la mélasse MDC.

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.

d. Refroidissement

Avant d'être utilisée dans la fermentation, la MDCS passe dans des refroidisseurs, qui sont des échangeurs à plaques mélasse / eau froide, la mélasse se refroidit ainsi que l'eau se réchauffe.

Le chauffage de l'eau de refroidissement provoque la formation du calcaire et risque un colmatage des plaques de l'échangeur, l'utilisation du poly-phosphate à pour but d'empêcher le dépôt du calcaire, c'est l'opération décalcification.

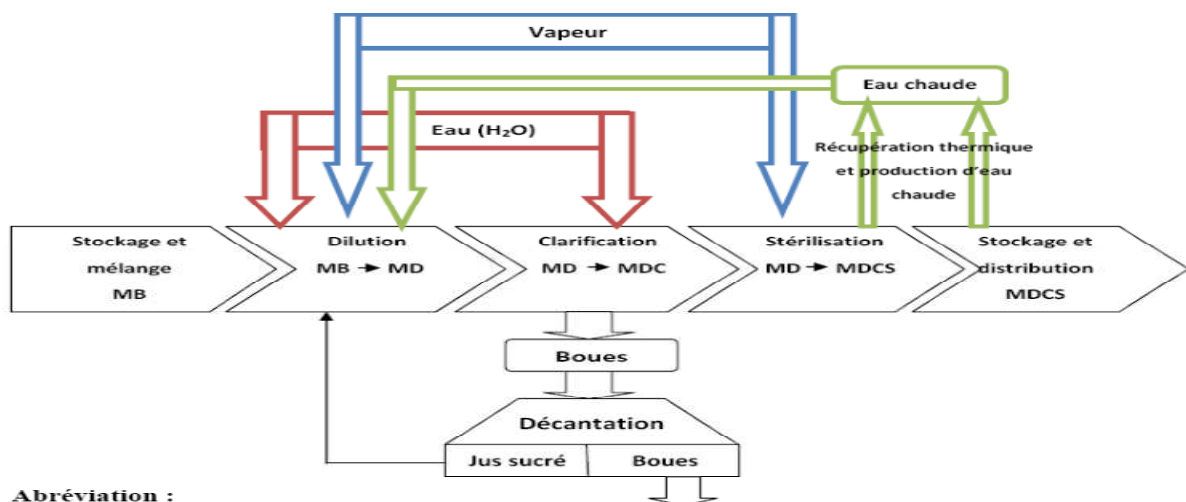


Figure 3 : schéma de préparation de la mélasse

MB : mélasse brute.

MD : mélasse diluée.

MDC : mélasse diluée clarifiée.

MDCS : mélasse diluée clarifiée stérilisée.

Contexte général du projet

2. Préparation de l'urée, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate :

Ces sels nutritifs offrent pour les levures les sources d'azote et du phosphate. Leurs Préparations comprennent seulement une dilution jusqu'à l'obtention du prix voulu. Après la préparation, chaque élément sera stocké dans une cuve, en attendant sa consommation lors de la phase de fermentation.

3. Fermentation

a. Echelle laboratoire

Chaque mois, la société *LESAFFRE MAROC* reçoit de la France 2 souches de *Saccharomyces cerevisiae*, une pour la levure fraîche et l'autre pour la sèche dans des tubes conservés à 4 °C, ces souches sontensemencées dans des tubes dans un milieu nutritif spécifique à la croissance des levures pour préparer 60 tubes par mois. Cette étape exige en premier temps un travail dans des conditions strictement aseptiques, pour écarter tout risque de contamination, sont appelées cultures pures, ensuite le contenu des tubes est transvasé dans un petit ballon de 250 ml appelé « Van Lear » dont le milieu gélosé contenant du saccharose et incubé à 30 °C pendant 48 H puis conservés à 4 °C laissera possible une première multiplication cellulaire. puis le contenu du « Van Lear » est versé dans un ballon plus grand appelé « Carlsberg » où elles se multiplient à nouveau et enfin dans des cuves de 800 L dans des conditions semi-aérobie.

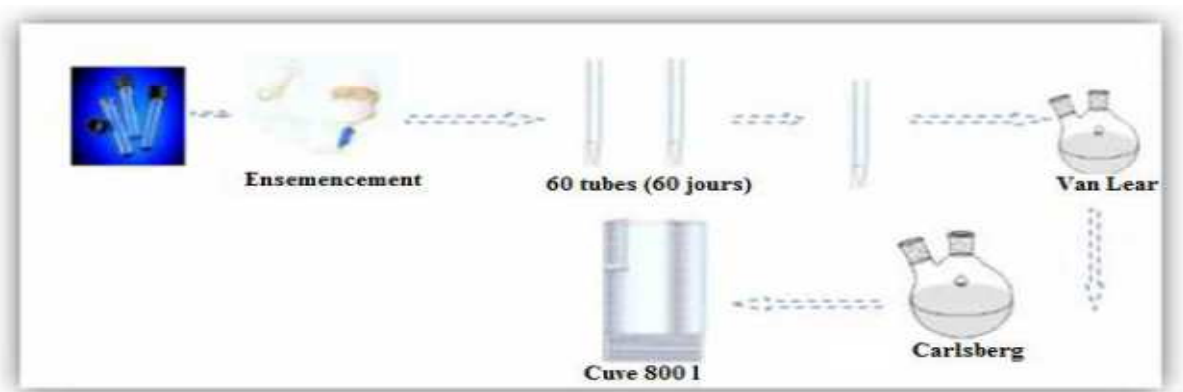


Figure 4 : étapes de cultures pures de la souche avant pré-fermentation

Contexte général du projet

b. Echelle industriel

✓ Pré-fermentation

Cette opération 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.

✓ Fermentation de la levure mère

Le contenu du pré-fermenteur est pompé dans un fermenteur alimenté par l'urée, ainsi que les éléments nutritifs ajoutés précédemment. Cette opération qui dure environ 16h se déroule dans un milieu suffisamment oxygéné pour favoriser le développement de la biomasse.

✓ Séparation de la levure mère

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



Figure 5 : schéma d'un séparateur

✓ Fermentation de la levure commerciale

La crème déjà séparée constitue le pied d'ensemencement pour la fermentation commerciale. Cette étape de fermentation se déroule dans des fermenteurs de capacité plus grande, fermentation de la levure mère. Après 16 h de fermentation, le contenu est refoulé vers la station de séparation

Contexte général du projet

✓ Séparation de la levure commerciale

Après l'obtention de la levure commerciale : le mout obtenu à la sortie des fermenteurs contient les cellules de levures et une solution liquide qui présentent les restes du milieu nutritif. Pour éliminer ces déchets et éclaircir la couleur de la pâte on utilise un séparateur qui a comme principe la centrifugation, La crème obtenue a une faible teneur en matières sèches (18 à 20 %) d'où la nécessité d'aspirer son eau sur filtre (30 à 33 % de matières sèches).

4. Filtration

Il consiste à éliminer l'eau présente dans la levure pour la préserver d'une éventuelle contamination.

La crème arrive au niveau d'un filtre rotatif qui contient une couche filtrante d'amidon, dont le but est de ne laisser pénétrer que l'eau. Puis, la crème étalée sur la surface du filtre est ensuite récupérée.



Figure 6. Filtre à tambour rotatif sous vide

5. Séchage

La levure sort du filtre à l'état pâteux et passe dans un mélangeur puis dans une grille percée de trous pour avoir une granulométrie bien déterminée. Donc, la levure granulée est récupérée dans des bols pour passer dans des séchoirs qui fonctionnent par l'envoi d'un courant d'air sec et chaud auparavant filtré sur la levure granulée.

Il existe deux types de la levure sèche :

- **La levure sèche hydratée S.P.H** : Sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ 4 h pour une quantité de 400Kg à 500Kg, et s'effectue à 45°C.

Contexte général du projet

Le séchage de la S.P.H se déroule en deux étapes :

- **La première étape :** On néglige la température de la levure et on fixe celle de l'air d'entrée à 65°C dans le but d'éliminer l'eau de surface.
- **La deuxième étape :** Pour éviter la détérioration des cellules sous l'influence de la chaleur, on diminue la température de l'air en faisant augmenter la température de la levure jusqu'à 45°C.
- **La levure sèche instantanée ou S.P.I :** Sous forme de bâtonnet, elle a une durée de séchage réduite, durant 20 minutes environ, pour une quantité de 1000 Kg.; son séchage se déroule en 3 étapes :
 - **La première étape :** Pour éliminer l'eau externe au maximum, on envoie un courant d'air d'une température de 100°C sur les grains de levure.
 - **La deuxième étape :** On diminue la température de la vapeur par rapport au produit pour éviter la mort des cellules.
 - **La troisième étape :** Pour augmenter la teneur de la matière sèche, on envoie d'une manière continue et rapide des courants d'air sur les grains de la levure.

6. Emballage

Cette étape s'effectue par des machines spécialisées :

- **Emballage de la levure fraîche :** L'emballeuse est composée de boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Quand la patte de la levure fraîche passe par cette machine, on obtient en sortie un produit sous forme de paquets de poids nette entre 497g et 513g.
- Emballage de la levure sèche** Pour emballer la levure sèche, elle passe dans un appareil d'emballage spécifique qui aspire l'air des paquets pour une conservation à longue durée.

Conclusion

Dans Cette Partie nous avons décrit la composition de la levure, et le procédé de fabrication au sein de la société LESAFFRE-Maroc, depuis la matière première passant par la fermentation jusqu'a au magasinage du produit fini.

En effet, la levure est produite à partir d'un milieu de culture bien définie dont les éléments essentiels (mélasse, soufre, urée, phosphate dont les composantes indispensables N, P, C, S) sous des conditions physico-chimiques optimums.

Ces éléments permettent la croissance des bactéries qui constituent les éléments indispensables pour la fermentation.

La mélasse, diluée et clarifiée (MDC), est stérilisé sous un barème de stérilisation de 120°C pour détruire toute la flore microbienne y compris les spores ce qui permet d'obtenir une mélasse diluée clarifiée stérilisée (MDCS). Cette dernière est refroidie par un échangeur à plaques mélasse-eau pour baisser la température.

II. Présentation du sujet

1. Problématique

De nombreux facteurs influencent la performance et la capacité de l'échangeur de chaleur, notamment la température de l'eau, le débit des mélasse chaude et froide et le nombre de plaques ainsi que leurs nettoyage c'est pourquoi il est important d'établir un bilan thermique en tenant compte de tous ces paramètres.

2. Cahier de charge

En se basant sur la problématique citée, l'encadrant nous a été proposé durant la période de stage de traiter les points suivants :

- Etablir un bilan thermique de l'échangeur GEA 1 (mélasse-mélasse).
- Etablir un bilan thermique de l'échangeur GEA2 (mélasse- eau).
- Etablir un bilan de la production journalière de l'eau chaude.
- Détermination de la quantité d'énergie consommée en présence et en absence des échangeurs.
- Qualifier la rentabilité de sujet.
- Définir les outils théoriques pour améliorer l'efficacité de l'échangeur.

(Dimensionnement).

3. ISO 50001

La norme ISO 50001, publiée le 15 juin 2011 par l'Organisation internationale de normalisation, est le fruit d'une collaboration entre 61 pays. Elle vise l'amélioration de la performance énergétique de toute organisation. Sa mise en place est donc une source d'économie énergétique potentielle pour les entreprises. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, cette norme pourrait avoir un impact sur 60 % de la demande d'énergie mondiale.

L'ISO 50001 donne les lignes directrices pour développer une gestion méthodique de l'énergie afin de privilégier la performance énergétique. À partir d'un diagnostic énergétique initial, l'organisme conforme à la norme définit ses cibles énergétiques et établit un plan de comptage de l'énergie. Un système de management respectant les exigences de cette norme permet de réaliser à court terme des économies d'énergie et de réduire les coûts.

Chapitre II : Généralités sur le bilan thermique

Dans cette partie on va définir le bilan thermique et ses différents types ainsi une généralité sur les échangeurs et décrire la structure de différents types de l'échangeur, ses modes et principes de fonctionnement et enfin l'encrassement d'un échangeur

I. Généralité sur le bilan thermique

II. Généralité sur les échangeurs

I. Généralités sur le bilan thermique

1. Définition

Le bilan thermique, est un bilan 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.

2. But

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.

3. Présentation des différents types de bilan

a. Hypothèses sur les échanges de chaleur

Dans les opérations unitaires du génie procédé toutes les formes d'énergie mises en jeu sont généralement négligeables devant l'énergie thermique. Par conséquent les bilans énergétiques se réduisent à des bilans thermiques. La réalisation du bilan permet d'effectuer des calculs de puissance thermique à fournir à une installation ainsi que la détermination des pertes thermiques.

Les bilans thermiques se basent sur le principe de conservation de l'énergie entre l'entrée et la sortie pour une opération unitaire continue ou entre l'instant initial et l'instant final pour une opération unitaire discontinue. Il convient évidemment de choisir un système d'étude comme dans un problème de thermodynamique classique.

Les processus thermiques en jeu sont de trois principaux types qu'il convient d'identifier pour chaque opération unitaire :

- Echauffement, refroidissement des corps présents dans un appareil ou le traversant. Ces processus se déroulent par échange entre deux corps séparés (cas des échangeurs) ou en contact (cas des rectifications) ;
- Consommation (réaction endothermique) ou production de chaleur (réaction exothermique) dans le cas d'un réacteur .

Généralités sur le bilan thermique

- Pertes thermiques vers l'extérieur du système. Si les pertes sont nulles ou supposées négligeables, le procédé est dit adiabatique.

b. 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).. On définit le système comme étant constitué du fluide froid et du fluide chaud dans leur traversée de l'échangeur.

Les fluides froid et chaud sont respectivement définis par les grandeurs suivantes: débits massiques (m' et m), chaleurs massiques moyennes (C_p' et C_p) et températures d'entrée (T_0' et T_0) et de sortie (T_1' et T_1). h_c est l'enthalpie massique de condensation du fluide chaud à la température T_0 .

On doit définir les flux de chaleur qui correspondent à des gains ou pertes d'énergie par unité de temps pour un fluide et sont donc des puissances thermiques exprimées en W ou souvent encore en kJ/h. On écrit pour chaque fluide Φ et Φ' les flux de chaleur respectivement perdu par le fluide chaud et gagné par le fluide froid:

$$\Phi = m C_p (T_1 - T_0) \quad \text{et} \quad \Phi' = m' C_p' (T_1' - T_0')$$

On doit bien remarquer que les différences de température s'expriment entre la température de sortie et la température d'entrée pour un procédé continu (entre la température finale et la température initiale pour un procédé discontinu). Les deux termes composant Φ sont négatifs

Donc Φ aussi. Φ' est par contre positif. Par application du principe de la conservation de l'énergie on écrit donc le bilan suivant:

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

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

c. Bilan enthalpique

Cette forme de bilan peut s'appliquer à tous les cas car elle est beaucoup plus générale. Elle est absolument équivalente à la formulation des bilans matière: dans le bilan enthalpique les masses (moles) et les débits massiques (molaires) sont remplacés par des quantités de chaleur (procédé discontinu) et des puissances thermiques (procédé continu).

On définit d'abord un système qui est constitué d'un appareil ou d'une partie d'appareil. Ensuite on comptabilise les flux de matière entrant et sortant.

Généralités sur le bilan thermique

On se propose de réaliser le bilan enthalpique sur un mélangeur admettant en continu deux produits (débits massiques A et B) à des températures différentes T_A et T_B . Les deux produits ne réagissent pas dans le mélangeur. En sortie le mélange (débit massique C égal à A + B) est à une température supérieure T_C aux précédentes car le mélangeur est chauffé par un dispositif annexe fournissant la puissance thermique P chauffe.

On écrit alors les différents termes du bilan:

$$A * h_A + B * h_B + P_{\text{chauffe}} = C * h_C + P_{\text{pertes}}$$

P_{pertes} : représente la puissance thermique due aux pertes thermiques.

h ; enthalpie de réaction (cal)

On remarque que dans un tel bilan on se préoccupe uniquement de définir l'état Energétique d'une entrée ou d'une sortie (calcul de l'enthalpie) sans se soucier de ce qui peut se passer comme échange échanges thermiques à l'intérieur du système.

II. Généralités sur les échangeurs

1. Définition

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides.

on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement, par exemple l'eau d'un circuit primaire de refroidissement, d'une centrale nucléaire.

L'échangeur de chaleur le plus commun est celui à plaques. De nouveaux échangeurs à fils fins permettent des échanges eau/air à très faibles écarts de température en chauffage ou refroidissement.

2. Mode du transfert de chaleur

Les modes de transfert de chaleur dans les échangeurs thermiques se distinguent selon la direction des deux courants, on trouve le transfert:

- **À courant parallèle** : les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans le même sens.
- **À contre courant** : idem, mais les courants vont dans des sens opposés.
- **À courant croisé** : les deux fluides sont positionnés perpendiculairement.

Généralités sur le bilan thermique

- **À tête d'épingle** : un des deux fluides fait un demi-tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse. Cette configuration est comparable à un échangeur à courant parallèle sur la moitié de la longueur,
- **À contact direct ou à mélange** : les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, des buses projetant de l'eau chaude sont

3. Classification des échangeurs de chaleur

a. Echangeur à faisceau tubulaire horizontal

Un schéma typique d'un échangeur tubes calandre (échangeur à tube et virole) est présenté ci-dessous. L'appareil est constitué d'un faisceau de tubes, disposés à l'intérieur des tubes et l'autre à l'intérieur de la calandre, qui jouent le rôle de promoteurs de turbulence et améliorent le transfert à l'extérieur des tubes.

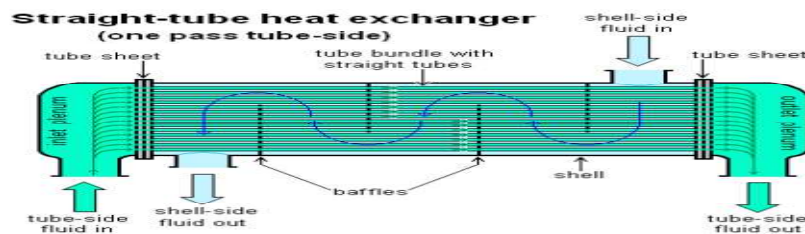


Figure 7 : Schéma d'un échangeur tubulaire

A chaque extrémité du faisceau sont fixées des boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en une ou plusieurs passes. La calandre est elle aussi munie de tubulures d'entrée et de sortie pour le second fluide (qui circule à l'extérieur des tubes) suivant le chemin imposé par les chicanes.

b. Echangeur à spirales

Un échangeur à spirales consiste en 2 plaques de métal enroulées de manière hélicoïdale pour former une paire de canaux en spirale. Le diamètre de l'échangeur est relativement grand, avec une surface d'échange maximale d'environ 185 m^2 pour un diamètre de 1,5m, ce qui le place dans la catégorie des échangeurs non-compacts.

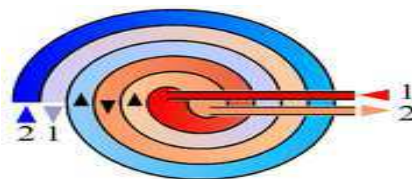


Figure 8 : Schéma d'un échangeur à spirales

Généralités sur le bilan thermique

L'échange de chaleur n'est pas aussi bon que celui de l'échangeur à plaques, car la surface d'échange ne possède pas en règle générale de profil, mais pour une même capacité d'échange, un échangeur spiral nécessite 20% de moins de surface d'échange qu'un échangeur à faisceau tubulaire.

c. Echangeur à plaques

L'échangeur à plaques est un type d'échangeur de chaleur qui connaît un usage croissant dans l'industrie. Il est composé d'un grand nombre de plaques disposées en forme de millefeuilles et séparées les unes des autres d'un petit espace (quelques millimètres) où circulent les fluides. Le périmètre des plaques est bordé d'un joint qui permet par compression de la structure d'éviter les fuites.

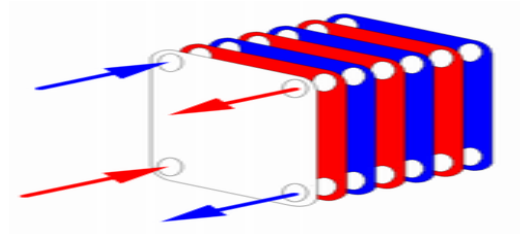


Figure 9 : Schéma d'un échangeur à plaques

Les plaques ne sont pas plates, mais possèdent une surface ondulée selon un schéma bien précis afin de créer un flux turbulent synonyme d'un meilleur transfert de chaleur, mais permet également de canaliser les fluides se déplaçant à la surface vers les coins de la plaque.

4. Encrassement d'un échangeur

Il est possible de classer l'encrassement selon le mécanisme qui contrôle la vitesse de dépôt, selon les conditions d'utilisation de l'échangeur ou selon le mécanisme dominant, même s'il ne contrôle pas la vitesse de dépôt (encrassement particulaire, corrosion, entartrage.....)



Figure 10 : schéma d'encrassement d'un échangeur

Chapitre III : Elaboration du bilan thermique

Cette partie établit le bilan thermique des deux Échangeurs GEA 1 (mélasse-mélasse) et GEA2 (mélasse-eau) au niveau de séparation de la levure.

I. description de l'échangeur à plaques.

II. Bilan thermique de l'échangeur à plaques de type GEA 1 (mélasse-mélasse).

III. Bilan thermique de l'échangeur à plaque de type GEA 2 (mélasse-eau).

Elaboration du bilan thermique

I. Description de l'échangeur à plaques

Un Echangeur à plaque il est constitué d'un ensemble de plaques muni de joint démontable, la mélasse chaude entre d'un coté des plaques pour chauffer la mélasse froide qui rentre de l'autre coté de plaques.

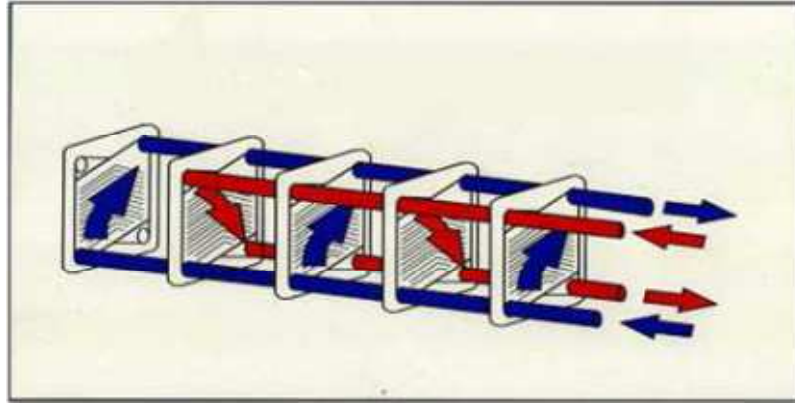


Figure 11 : Schéma d'un échangeur à plaques

II . Bilan thermique de l'échangeur à plaques de type GEA-1(mélasse-mélasse)

1. Profil de la température

La mélasse chaude entre d'un coté des plaques à une température d'environ 128°C, la température de la mélasse froide entre de l'autre coté à 55 °C

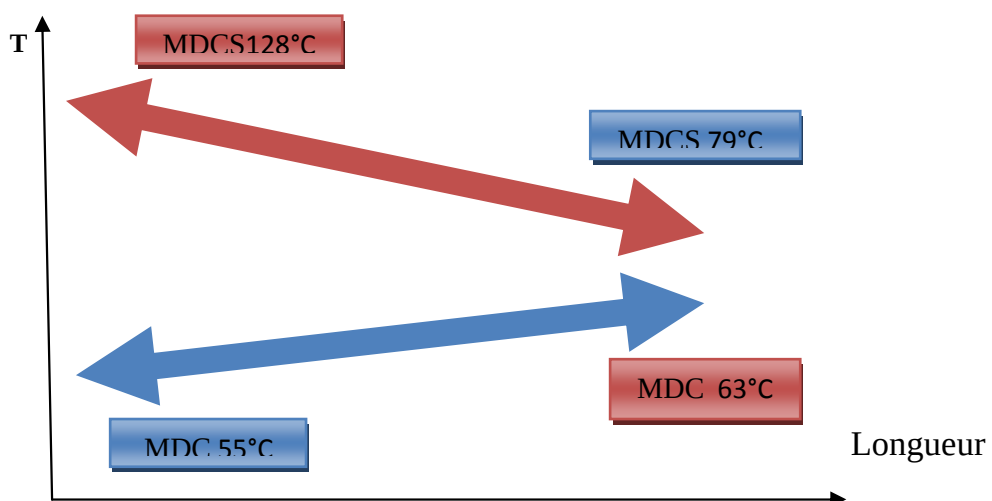


Figure 12 : l'évolution de la température au sein du 1er échangeur

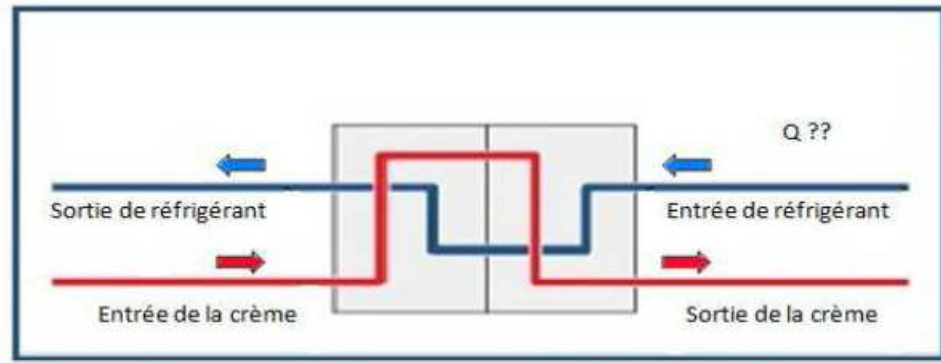


Figure 13 : schéma descriptif de l'entrée et la sortie des deux liquides dans l'échangeur GEA-1 (mélasse-mélasse)

2. Estimation de débit de la mélasse froide

Pour estimer le débit du mélasse froide, on suppose que le flux de chaleur cédé par la mélasse chaude est transmis entièrement à la mélasse froide

(Annexe1 : suivi des paramètres de l'échangeurs (mélasse-mélasse))

Soit ϕ : Flux de chaleur perdu par la mélasse chaude

$$\phi = m_{mc} \times C_{p_m} \times \Delta T = m_{mc} \times C_{p_m} \times (T_e - T_s)$$

Et ϕ' : Flux de chaleur gagné par La mélasse froide

$$\phi = m_{mf}' \times C_{p'} \times \Delta T' = m_{mf}' \times C_{p_m'} \times (T_{s'} - T_{e'})$$

On néglige les pertes thermiques :

$$\Rightarrow \phi = \phi'$$

$$m_{mc} \times C_{p_{mc}} \times (T_s - T_e) = m_{mf}' \times C_{p_{mf}'} \times (T_{s'} - T_{e'})$$

$$\Rightarrow m_{mf}' = \frac{m_{mc} \times C_{p_{mc}} \times (T_{m-e\ ch} - T_{m-s.ch})}{C_{p_{mf}'} \times (T_{m-s-f'} - T_{m-e-ch'})}$$

$$\Rightarrow m' = \frac{m \times (T_{m-e\ ch} - T_{m-s.ch})}{(T_{m-s-f'} - T_{m-e-ch'})}$$

Elaboration du bilan thermique

or On a : $m = \rho \cdot q_v = 1045 \text{ kg/m}^3 \times 13.763 \text{ m}^3 / \text{h}$, $m_{\text{mch}} = 14382.335 \text{ kg/h}$

Avec :

- $C_{p_m} = 0,85 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$; $C_{p'_m} = 0,85 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$
- m : débit massique de la mélasse froide = 14382.35 kg/h ;
- $\rho_m = \rho'_{mc} = 1045 \text{ kg/m}^3$
- $T_{m-e-f} = 55^\circ\text{C}$; $T_{m-s-f}' = 63.076^\circ\text{C}$
- $T_{m-e-ch} = 126.769^\circ\text{C}$; $T_{m-s-ch} = 79^\circ\text{C}$

$$\Rightarrow m_{mf}' = \frac{14382.33 \times (126.769 - 79)}{(63.076 - 55)}$$

A.N :

$$m_{mf}' = 85070.55 \text{ kg/h}$$

➤ Le débit volumique de la mélasse froide est donné par :

$$Q_{mf}' = \frac{85070.55}{1045}$$

A.N :

$$Q_{mf}' = 81.40 \text{ m}^3/\text{h}$$

3. Puissance d'échangeur

la puissance d'échangeur est donné par :

$$P_{\text{echg1}} = \frac{C_p \times m \times (T_s' - T_e')}{\text{durée cycle}}$$

Elaboration du bilan thermique

Avec : $C_{p_{mf}} = 0,85 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C} = 3553 \text{ J/kg.}^\circ\text{C}$; ($1\text{cal} = 4.18\text{J}$)

m_{mf} = quantité de mélasse qui traverse l'échangeur ; $m_{mc} = 14382.335 \text{ kg/h}$

- $T_e' = 55^\circ\text{C}$ = Température d'entrée de la mélasse froide
- $T_s' = 63.076^\circ\text{C}$ = Température de sortie de la mélasse froide
- Durée. cycle = $1\text{h} = 3600\text{s}$

A.N :

$$P_{ech1} = \frac{3.553 \times 14382.33 \times (63.076 - 55)}{3600}$$

$\Rightarrow$

$$P_{ech1} = 114.635 \text{ kw}$$

➤ Commentaire :

d'après ces calculs on constate que le chauffage de la mélasse froide de 55°C à 65°C , l'échangeur a besoin d'une puissance de puissance de 114.635 [KW]

4. calcul des flux

le flux de chaleur est donnée par :

ϕ_C : flux de chaleur cédé par la mélasse chaude :

$$\phi_C = m_{mc} \times C_p \times \Delta T = m_{mc} \times C_p \times (T_{m-e-ch} - T_{m-s-ch})$$

$$\phi_C = 14382.35 \times 0.854.18 \times (126.769 - 79)$$

A.N :

$$\phi_C = 2441.02 \times 10^3 \text{ KJ/h}$$

Flux reçu ϕ' : flux de chaleur gagné par la mélasse froide :

$$\phi' = m'_{mf} \times C_p' \times \Delta T' = m'_{mf} \times C_p' \times (T_{m-sf}' - T_{m-ef})$$

$$\phi' = 85070.55 \times 0.85 \times 4.18 \times (63.076 - 55)$$

A.N :

$$\phi' = 2441.016 \times 10^3 \text{ KJ/h}$$

5. Suivi de Coefficient d'échange de l'échangeur (mélasse-mélasse)

Le coefficient d'échange donne l'idée sur la qualité d'échange, c'est une réplique fidèle de l'évolution de l'état physique de l'échangeur de chaleur. Le calcul est effectué suivant la méthode des Différences de Températures Logarithme Moyennes (DTLM)

L'objectif consiste alors à déterminer :

- Le coefficient d'échange
- Le flux échangé
- Le rendement

On calcule le coefficient d'échange suivant la formule :

$$K = \frac{\Phi_c}{S_{éch} \times \Delta T_{lm}}$$

Avec :

Φ_c : Le flux d'échange en W.

$S_{éch}$: La surface d'échange en m².

ΔT_{lm} en °C. : Différences de températures logarithmiques moyennes (DTLM)

K : Coefficient d'échange en w/ m² .°C $\Rightarrow K_{(constructeur)} = 678 \text{ w/ m}^2 \cdot C$

$$\text{Et} \quad S_{éch} = 55 \text{ m}^2 \quad ; \quad \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1})}$$

$$\Delta T_1 = (T_{m.e.ch} - T_{m.s.f}) \quad ; \quad \Delta T_2 = (T_{m.s.Ch} - T_{m.e.f})$$

$$\text{d'où} \quad K = \frac{\Phi_c}{S_{éch} \times \Delta T_{lm}}$$

Le tableau ci-dessous donne les coefficients d'échange (mélasse-mélasse)

Elaboration du bilan thermique

Tableau 1: suivi du coefficient d'échange K d'échangeur GEA-1 (mélasse-mélasse)

Date	$\Delta T_{lm} (^{\circ}C)$	Φ_c (kW)	K ($W/m^2.^{\circ}C$)
06/04/15	40.4	523.02	235.38
07/04/15	38.9	658.22	307.65
08/04/15	33.8	649.065	349.14
13/04/15	40.9	580.87	258.22
14/04/15	40.8	709.03	315.96
15/04/15	36.7	670.113	331.98
16/04/15	40	722.46	328.39
17/04/15	48.5	658.20	246.74
20/04/15	46.2	777.85	306.13
21/04/15	39.7	687.86	315.02
22/04/15	41.9	783.17	339.84
23/04/15	42.6	692.10	295.39
24/04/15	41	789.18	349.98
Moyenne	40.87	684.70	306.14

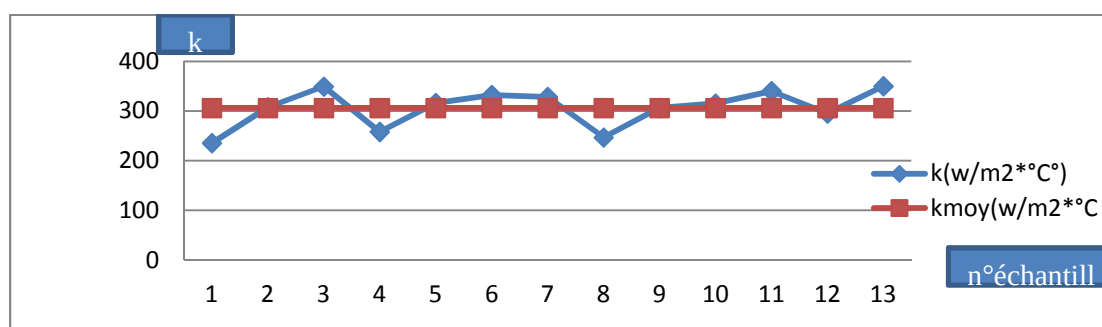


Figure 14 : Evolution du coefficient d'échange K de l'échangeur 1 (mélasse-mélasse)

(Annexe 2 : représente les suivis des paramètres thermiques et leurs calculs)

6. Interprétations :

La courbe ci-dessus montre que le coefficient d'échange K varie, cette variation est justifiée par le changement des paramètres de circulation (débit de mélasse, débit de la mélasse froide), et aussi par l'encrassement des appareils suite à l'absence de nettoyage.

7. Rendement

Le rendement est le rapport entre le coefficient d'échange actuel et le coefficient d'échange donné par le constructeur, il est donné par :

Elaboration du bilan thermique

$$\eta = \frac{K}{K_{constr}}$$

A.N :

$$\eta = \frac{306.14}{678} = 45\%$$

➤ L'échangeur GEA-1(mélasse-mélasse), a un rendement de 45%.

III. Bilan thermique de l'échangeur à plaques de type GEA-2 (mélasse-eau)

Idem pour le 2ème échangeur, on détermine leur bilan thermique

1. Résultats d'étude

Tableau 2 : résultats du bilan thermique de l'échangeur GEA- 2 (mélasse-eau)

m_{mc} (kg/h)	m'_{ef} (kg/h)	Q'_{ef} (m3/h)	$P_{éch 2}$ (kw)	Φ_c (KJ/h)	Φ_g (KJ/h)	η
14382.33	18867.34	18.054	553.46	1709.3×10^3	1708.9×10^3	45%

(Annexe 3 : représente les suivis des paramètres thermiques et leurs calculs)

Elaboration du bilan thermique

2. suivi de Coefficient d'échange de l'échangeur (mélasse-eau)

Tableau 3 : résultats du suivi de coefficient d'échange pour l'échangeur GEA-2 (mélasse-eau)

Date	ΔT_{lm} (°C)	Φ_c (kW)	K (W/m ² .°C)
06/04/15	30.3	509.6	305.8
07/04/15	28.6	387.1	246.1
08/04/15	27.6	442.4	291.4
13/04/15	29.1	482.6	306.8
14/04/15	23.1	486.6	383
15/04/15	27.3	341.6	227.5
16/04/15	24.1	447.9	290
17/04/15	30	643.5	391.3
20/04/15	30.1	478.5	288.7
21/04/15	28.2	426.2	274.8
22/04/15	28.6	363.6	231.1
23/04/15	26	541.3	375.6
24/04/15	26.2	594.9	378.2
Moyenne	28	472.7	306.9

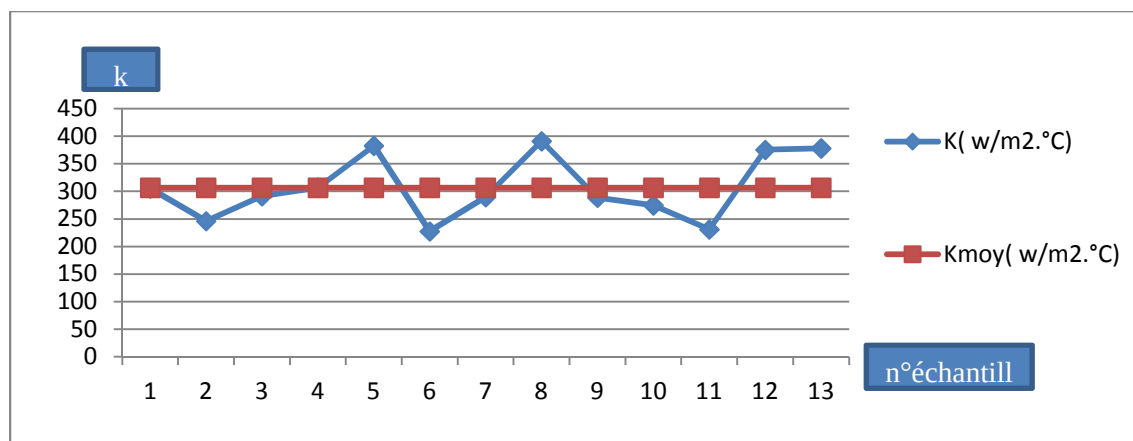


Figure 15 : évolution du coefficient d'échange K de l'échangeur de type GEA2 (mélasse-eau)

3. Interprétations

La courbe ci-dessus montre que le coefficient d'échange K varie, cette variation est justifiée par le changement des paramètres de circulation et aussi par l'encrassement des appareils suite à l'absence de nettoyage régulier.

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons déterminé les différents facteurs qui influencent sur la performance et la capacité des échangeurs GEA1 (mélasse-mélasse) et GEA 2 (mélasse-eau) et qui se résument comme suit :

- La quantité de chaleur.
- Le débit des liquides à l'entrée et à la sortie des échangeurs.
- Les puissances des échangeurs.
- Suivi de coefficient d'échange

Chapitre IV : Etude de la consommation d'énergie en présence et en absence des échangeurs

Cette partie décrit consiste a déterminé la quantité de l'énergie consommer au cours des différentes étapes : Traitement de la mélasse, stérilisation et préparation des pieds des fermenteurs.

I. consommation d'énergie en absence d'échangeurs

II. consommation d'énergie en présence d'échangeurs

Etude de la consommation énergétique

I. Consommation en absence d'échangeurs

La détermination de la consommation de référence, consiste à déterminer la quantité de l'énergie consommée au cours des différentes étapes : Traitement de la mélasse, stérilisation et préparation des pieds des fermenteurs.

1. Dilution de la mélasse

La consommation journalière moyenne de la mélasse (mélange de mélasse de betterave et mélasse de canne), et de l'eau est déterminée selon un suivi (**Annexe5**).

Tableau 4 : moyenne de suivi de la consommation journalière de la mélasse et de l'eau (

Débit	Consommation journalière en :				
	Eau (l)	Betterave (l)	Betterave (Kg)	Canne (l)	Canne (kg)
Moyenne	52360.1	81770.37	84400	10188.87	10630

Volume totale de la mélasse (canne + betterave) : 91959.24 l.

Volume totale du mélange : 144319.34 l.

Tableau 5 : Suivi des paramètres de dilution (annexe 6).

T° moyenne (°C): Mélasse froide	T° moyenne (°C) : Eau froide	qv (m ³ /h) : MD
25.6	22.5	12.105

La première étape de traitement de la mélasse est la dilution de cette dernière pour but de diminuer sa viscosité, et pour faciliter l'écoulement dans les conduites.

La température finale de dilution est fixée à 55°C, la température de mélange (36 % eau, 64 % mélasse) se calcule comme suite :

$$T_i = \frac{(volume\ eau \times T\ eau) + (volume\ mélasse \times T\ mélasse)}{volume\ total}$$

Etude de la consommation énergétique

$$\text{AN : } T_i = \frac{(52360.1 \times 22.5) + (91959.24 \times 25.6)}{144319.34} = 24.47^\circ\text{C}.$$

La quantité de chaleur que le mélange a besoin pour augmenter sa température de 24.47°C à 55°C est :

$$\Phi = m_{\text{mél}} \times C_p \text{ mél} \times \Delta T$$

Avec :

✓ $m_{\text{mél}}$: Débit massique de mélange de dilution, kg/h.

$$\text{débit massique} \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \text{débit volumique} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times \text{masse volumique} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{La masse volumique de mélange : } \rho &= (\% \text{ eau} \times \rho_{\text{eau}}) + (\% \text{ mélasse} \times \rho_{\text{mélasse}}) \\ &= (0.36 \times 1000) + (0.64 \times 1045) = 1028.8 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

$$\underline{\rho_{\text{mél}} = 1028.8 \text{ kg/m}^3}.$$

✓ $C_p \text{ mél}$: Chaleur massique de mélange, kcal/kg. $^\circ\text{C}$.

$$\begin{aligned} \text{Chaleur massique de mélange : } C_p \text{ mél} &= (\% \text{ eau} \times C_p \text{ eau}) + (\% \text{ mélasse} \times C_p \text{ mélasse}) \\ &= (0.36 \times 0.93) + (0.64 \times 0.85) = \underline{0.88 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}}. \end{aligned}$$

$$\underline{C_p \text{ mél} = 0.88 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C} = 3.68 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}} \quad (\text{sachant que : } 1\text{kcal} = 4.18 \text{ kJ})$$

✓ ΔT : Différence de température.

$$\text{Alors : } \Phi = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\text{S'écrit comme : } \Phi = qv(\text{MDC}) \times \rho(\text{mél}) \times C_p(\text{mél}) \times \Delta T$$

$$\text{AN : } \Phi = 12.105 \times 1028.8 \times 3.68 \times (55 - 24.47)$$

$$\Phi = 1.4 \times 10^6 \text{ kJ/h}$$

❖ La durée estimée de fonctionnement des installations au sein de la société est de 16h/jour.

$$\text{Alors } \Phi \text{ consommée pour la dilution par jour est : } 16 \times 1.4 \times 10^6 \Rightarrow \boxed{\Phi = 22.4 \times 10^6 \text{ kJ}}$$

Etude de la consommation énergétique

2. Stérilisation

La quantité de chaleur nécessaire pour stériliser la MDC :

$$\Phi = q_{vMDC} \times \rho_{mél} \times C_{p-mél} \times \Delta T$$

AN : $\Phi = 12.105 \times 1028.8 \times 3,68 \times (126.769 - 55)$

$$\Phi = 3.289 \times 10^6 \text{ kJ/h.}$$

Alors Φ consommée pour la stérilisation par jour est: $16 \times 3.289 \times 10^6 \implies \boxed{\Phi = 52.624 \times 10^6 \text{ kJ}}$

3. Préparation des pieds de cuves

Faire un pied de cuve, également appelé « starter de levure », nous permet de préparer nos levures avant de les ensemer dans le moût à l'échelle industrielle.

La fermentation se fait au niveau de 3 fermenteurs ayant des volumes différents, chacun doit contenir un volume initial d'eau pour la préparation de pied de cuve 53 m^3 , 90 m^3 et 95 m^3 , la température finale de chaque fermenteur est affichée sur un automate au niveau de la salle de contrôle (annexe).

➤ Les températures moyennes de ces 3 fermenteurs :

Tableau 6 : Températures moyennes de l'eau dans les fermenteurs (annexe 7).

	Fermenteur 1 (53 m^3)	Fermenteur 2 (90 m^3)	Fermenteur 3 (95 m^3)
T° moyenne (°C)	33.875	31.643	31.222

Et de la même façon, pour augmenter la température de l'eau de la température ambiante à la température indiquée sur l'afficheur des températures, il faut une quantité de chaleur de :

$$\Phi = m_e \times C_{pe} \times \Delta T$$

Avec : m_e = débit massique de l'eau (kg/h).

$$m_e = q_v \times \rho_{\text{eau}}$$

$$\text{avec : } \rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Etude de la consommation énergétique

$$m = 53 \times 10^3 \text{ kg}$$

- C_p de l'eau = $0.93 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C} = 3.887 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$.
- ΔT = la différence de température entre l'eau froide et celle dans le fermenteur ($^\circ\text{C}$).

AN : $\Phi_1 = 53 \times 10^3 \times 3.887 \times (33.875 - 22.5)$

$\Phi_1 = 2.343 \times 10^6 \text{ kJ} \implies$ la quantité de chaleur fournie pour augmenter la T° de 22.5°C à 33.875°C d'un volume de 53 m^3 d'eau.

Idem pour les deux autres fermenteurs :

- $\Phi_2 = 90 \times 10^3 \times 3.887 \times (31.643 - 22.5)$

A.N : $\Phi_2 = 3.198 \times 10^6 \text{ kJ}$.

- $\Phi_3 = 95 \times 10^3 \times 3.887 \times (31.222 - 22.5)$

A.N : $\Phi_3 = 3.220 \times 10^6 \text{ kJ}$.

Le total des quantités de chaleur consommée au niveau des échangeurs pour chauffer l'eau froide est :

$$\Phi = 8.761 \times 10^6 \text{ kJ}$$

4. Interprétation des résultats

Pour chauffer le mélange de dilution d'une quantité de 144319.34 l , il le faut une quantité de chaleur de $22.4 \times 10^6 \text{ kJ}$. La stérilisation de la MDC (126.769°C), l'étape au cours de la quelle on observe une grande consommation de l'énergie, alors qu'elle a besoin d'une quantité de chaleur de $52.624 \times 10^6 \text{ kJ}$. Alors que celle nécessaire pour préparer les pieds de cuve est de $8.761 \times 10^6 \text{ kJ}$. La consommation journalière de l'énergie de la station de traitement de la mélasse est égale à :

$$\Phi = 83.785 \times 10^6 \text{ kJ}$$

II. Consommation en présence d'échangeurs

Pour but de réutiliser le surplus énergétique produit au cours de traitement de la mélasse dans d'autres usages, LESAFFRE a décidé d'installer des échangeurs thermiques à la sortie de stérilisateur pour récupérer l'énergie. Cette décision est prise pour réduire le gaspillage énergétique et minimiser les coûts.

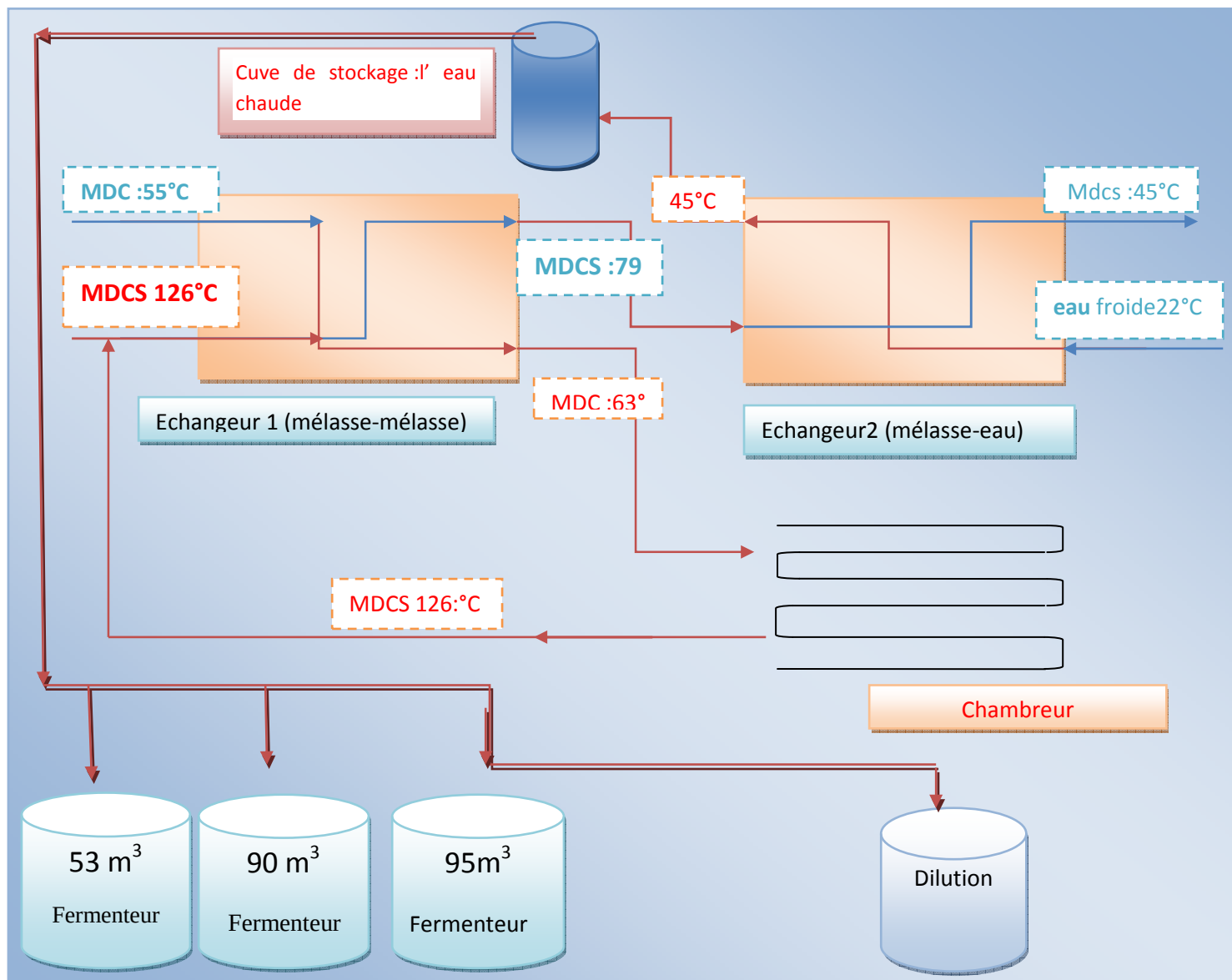


Figure 16 : schéma représentatif de répartition de l'eau chaude

1. Consommation actuelle d'énergie (en présence d'échangeurs)

La consommation actuelle en énergie représente la répartition des quantités d'énergie utilisées au cours des étapes de production de la mélasse. Comme c'est le cas pour la consommation de en absence des échangeurs, la consommation actuelle détermine les quantités de chaleur nécessaire pour traiter la mélasse et la stériliser ainsi de préparer les pieds de cuve des fermenteurs.

Etude de la consommation énergétique

2. Résultats et interprétations

a. dilution-stérilisation

Tableau 7: quantité de chaleurs nécessaire au niveau des cuves de dilution-stérilisation

	$T_i = \frac{(V_e \times T_e) + (V_{mel} \times T_{mel})}{V_{tot}}$	$\Phi \text{ (kJ/h)}$	$\Phi \text{ (kJ/j)}$
dilution	32.96°C.	1.01×10^6	16.16×10^6
stérilisation	—	2.918×10^6	46.688×10^6

b. Préparation des pieds de cuves :

Tableau 8: Températures moyennes au niveau des fermenteurs

	Fermenteur 1 (53 m ³)	Fermenteur 2 (90 m ³)	Fermenteur 3 (95 m ³)
Eau froide (m ³)	29	50	53
Eau chaude (m ³)	24	40	42
T° moyenne (°C)	33.0	31.9	31.85
T° (°C)	33.87	32.64	32.22

Commentaire :

D'après les résultats obtenus, on déduit que l'eau utilisé au niveau des fermenteurs n'est plus besoin d'être chauffer en présence de l'échangeur 2, car le mélange de l'eau chaude est celui froide donne une température 32°C à 33°C ce qui est affiché sur les automates programmeurs.

c. Interprétation des résultats

Pour chauffer le mélange de dilution d'une quantité de 144319.34 l, il le faut une quantité de chaleur de $16.16 \times 10^6 \text{ kJ}$.

- La stérilisation de la MDC (126.769°C) a besoin d'une quantité de chaleur de $46.688 \times 10^6 \text{ kJ}$. Alors que les pieds de cuve n'ont besoin d'aucune quantité de chaleur.
- La consommation journalière de l'énergie de la station de traitement de la mélasse est égale $\Phi = 62.848 \times 10^6 \text{ kJ}$

III. Production journalière de l'eau chaude

Le deuxième échangeur de chaleur est placé à la sortie du premier échangeur, ce dernier est alimenté d'une part de la mélasse refroidie 79.076°C, et d'autre part par de l'eau froide 22.5°C. Le transfert de chaleur se réalise entre les deux fluides afin de chauffer l'eau à une température moyenne de 45.9 °C.

La production journalière de l'eau chaude est en fonction des heures de fonctionnement de l'installation et le débit de l'eau chaude traversant les plaques de l'échangeur.

- 16 h/jr, est le temps de fonctionnement des échangeurs et le débit de l'eau est à l'ordre de $17.22 \text{ m}^3/\text{h}$.

Ce qui donne une production de :

$16 \times 17.22 = 275.52 \text{ m}^3/\text{jr}$ Cette quantité de l'eau chaude produite 275.52 m³, sera par la suite destinés à l'utilisation dans de procédé de production de la levure :

Dilution de mélasse, préparation des pieds de cuve et la dilution de la soude.

Chapitre V : Plan d'action et rentabilité de sujet

Cette partie décrit d'une part l'analyse du problème, les solutions qui vont améliorer l'efficacité thermique des échangeurs de chaleur à travers des plans d'actions, et d'autre part aborde une étude du coût énergétique pour évaluer la rentabilité du projet.

I. Analyse du problème

II. Plan d'action sur les échangeurs

III. Estimation du Coût énergétique

Plan d'action et rentabilité de sujet

I. Analyse du problème

Afin d'effectuer une analyse de l'état actuel des échangeurs de chaleur, on a eu recours à la méthode pour la gestion de la qualité à pour but de répertorier les différents problèmes causant le nombre total d'effet.

1. Diagramme cause-effet d'ISHIKAWA

Le diagramme d'Ishikawa nommé aussi diagramme "causes/effet". Cet outil graphique issu d'un brainstorming, consiste à recenser les causes aboutissant à un effet. Les causes sont réparties dans cinq catégories:

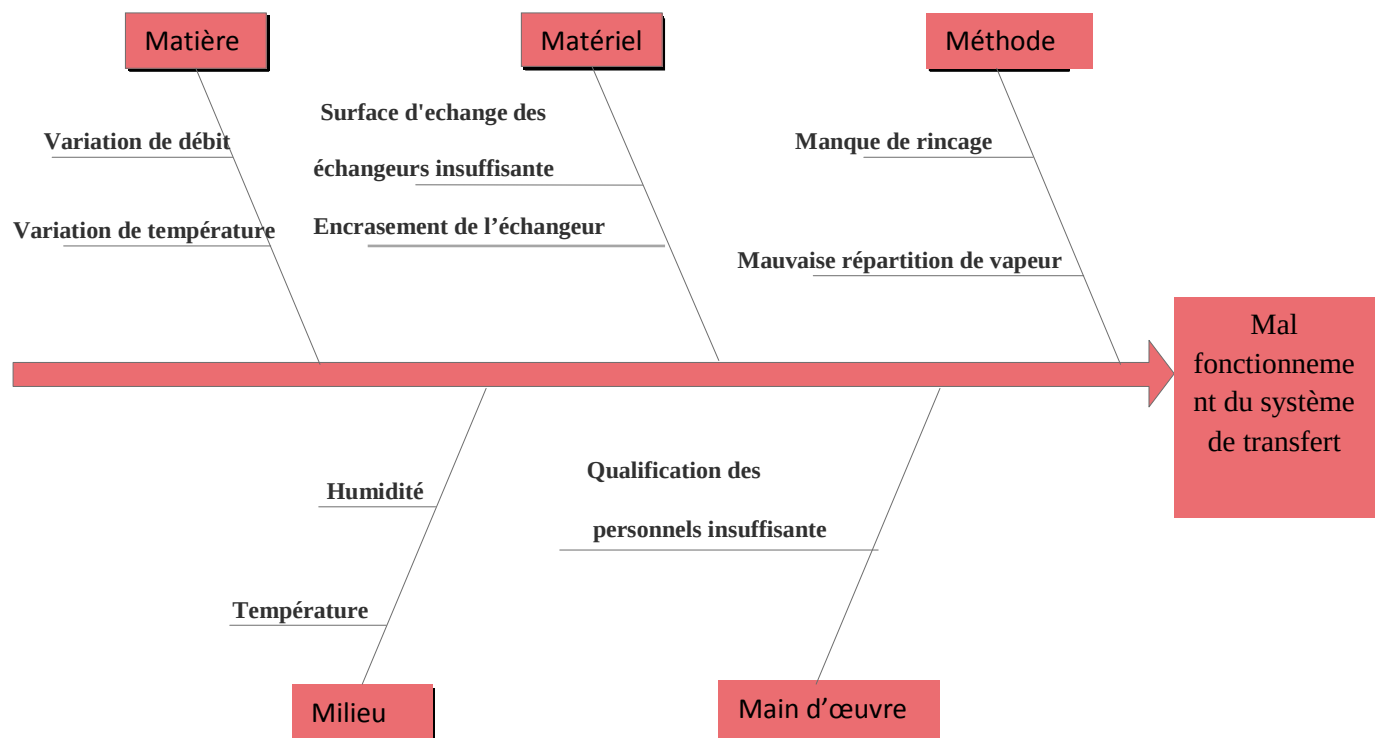


Figure 17 : Diagramme cause-effet d'Ishikawa illustrant les causes de mal fonctionnement des échangeurs

II. Plan d'action sur les échangeurs

1. Calcul du nombre de plaques nécessaire pour optimiser le fonctionnement des échangeurs

a. Description

Le projet consiste à augmenter la surface d'échanges au 1^{ère} échangeur afin d'augmenter la température de la mélasse froide . Cette amélioration permettra de perfectionner la rentabilité des Echangeurs

b. Echangeur GEA1 (mélasse-mélasse)

L'échangeur 1 (mélasse-mélasse) doit être capable d'alimenter l'échangeur 2 (mélasse-eau) avec une mélasse d'une température de 74°C au lieu de 79 °C.

c. Echangeur GEA2 (mélasse-eau)

L'échangeur 2 (mélasse-eau) doit être capable d'alimenter la cuve de stockage de l'eau chaude d'une température de 50°C au lieu de 45°C.

Le schéma ci-dessus (figure : 18) illustre le fonctionnement des échangeurs pour l'obtention des températures ciblées au niveau de chacun de ces derniers.

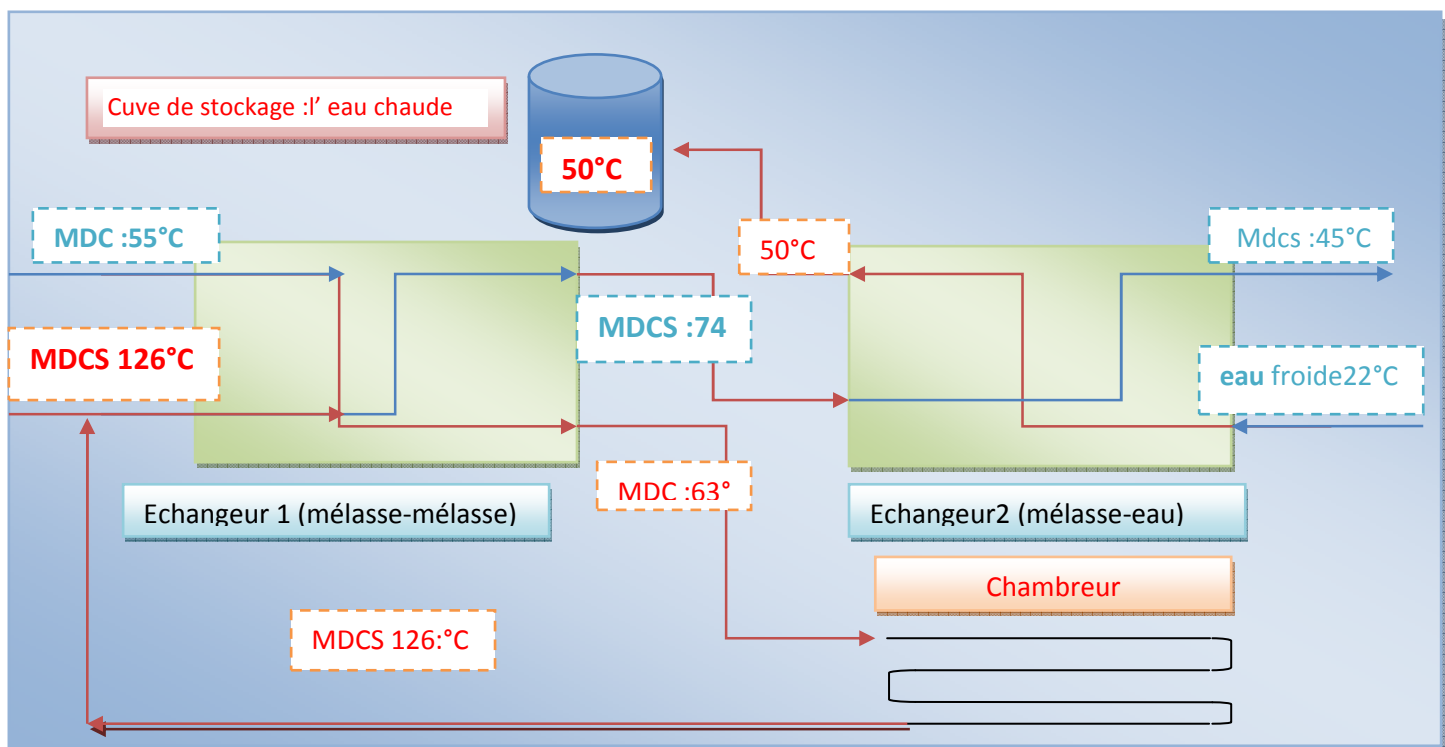


Figure 18 : schéma représentatif des nouvelles températures voulues

2. Méthodologie de calcul

a. Echangeur GEA-1 : (mélasse-mélasse)

Pour que l'échangeur 1 GEA (mélasse-mélasse) 1 soit capable de refroidir la MDCS de 126.76 °C à 74 °C il a besoin d'une nouvelle surface d'échange :

$$S' = \frac{\Phi_c}{K \times \Delta T_{lm'}} = \frac{m \times C_p \times (T_{e.ch} - T_{s.ch'})}{K \times \Delta T_{lm'}}$$

Avec :

- S' : la nouvelle surface total d'échange.
- m_{mf} : Débit massique de la mélasse froide est de 14379.2 kg /h.
- C_p : La chaleur spécifique massique de la mélasse froide est de 0.85 kcal /°C. kg.
- $T'_{s.ch}$: la nouvelle T° de la mélasse chaude à la sortie de l'échangeur est de 74 °C.
- $T_{e.ch}$: Température de la mélasse froide à l'entrée de l'échangeur est de 126.76 °C.
- K : Coefficient d'échange est de 306.14 W/ °C.m².
- $\Delta T'_{lm}$: la nouvelle MLDT des deux fluides (mélasse-mélasse) : 36.73 °C.

AN :
$$S' = \frac{14379.2 \times 0.85 \times 4.18 \times 10^3 (126.76 - 74)}{306.14 \times 36.73}$$

$$S' = 67 \text{ m}^2$$

On déduit le nombre N'' de plaques a ajouté

$$N'' = N' - N \quad ; \quad N'' = (S'/S) - N$$

Avec :

S: la surface d'une seule plaque est 0.5 m² ($N' = S'/S = 67/0.5 = 134$ plaques)

N : le nombre de plaque actuelle est de $N = S/0.5 = 55/0.5 = 110$ plaques.

N'' : le nombre de plaque à ajouter $N'' = N' - N = 134 - 110$

$$N'' = 24 \text{ plaques}$$

- Donc pour atteindre une température de la mélasse refroidis 74 °C à la sortie de 1 ère échangeur il faut ajouter 24 plaques.

b. Echangeur GEA-2 : (mélasse-eau)

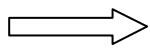
L'échangeur 2 (mélasse-eau) doit être capable d'alimenter la cuve de stockage de l'eau chaude d'une température de 50°C au lieu de 45°C.

$$S' = \frac{\Phi_c}{K \times \Delta T_{lm'}} = \frac{m \times C_p \times (T_{e.ch} - T'_{s.ch})}{K \times \Delta T_{lm'}}$$

Avec :

- S' : la nouvelle surface total d'échange.
- m : Débit massique de la mélasse froide est de 14000 kg /h.
- C_p : La chaleur spécifique massique de la mélasse froide est de 0.93kcal /°C. kg.
- $T'_{s.ch}$: la nouvelle T° l'eau froide chaude à la sortie de l'échangeur est de 50 °C.
- $T_{e.ch}$: Température de l'eau froide à l'entrée de l'échangeur est de 22 °C.
- K : Coefficient d'échange est de 307 W/ °C.m².
- $\Delta T'_{lm}$: la nouvelle MLDT des deux fluides (mélasse-mélasse) : 26°C.

AN :
$$S' = \frac{14379.2 \times 0.85 \times 4.18 \times 10^3 (50 - 22)}{307 \times 26}$$

 $S' = 61 \text{ m}^2$

On déduit le nombre N'' de plaques a ajouté

$$N'' = N' - N \quad ; \quad N'' = (S'/S) - N$$

Avec :

S : la surface d'une seule plaque est 0.5 m²($N' = S'/S = 61/0.5 = 122$ plaques)

N : le nombre de plaque actuelle est de $N = S/0.5 = 55/0.5 = 110$ plaques.

N'' : le nombre de plaque à ajouter $N'' = N' - N = 122 - 110$

$N'' = 12 \text{ plaques}$

Donc pour atteindre une température de 50 °C de l'eau chaude à la sortie du 2 ère échangeur , nous devons ajouter 12 plaques.

4. nettoyage régulier des échangeurs

Face au problème de l'encrassement des échangeurs thermiques, pour lequel aucune solution miracle ne semble exister, il est néanmoins possible d'utiliser une ou plusieurs des nombreuses méthodes en vigueur. Le choix de l'une ou de plusieurs d'entre elles est conditionné par la nature de la surface d'échange et par le type d'encrassement auquel sera soumis l'échangeur.

a. Type d'encrassement

- il s'agit d'un encrassement particulaire : c'est l'accumulation des dépôts des particules transportés par l'écoulement des fluides industriels sur les surfaces d'échange.
- L'eau des chaudières contenant des produits de corrosion, celle des tours de refroidissement, des particules transportées par l'air et des produits de corrosion (oxydes et hydroxydes de fer) .

b. type de nettoyage

Le nettoyage de l'échangeur à plaques par des produits chimiques est déconseillé, vu la faible épaisseur des plaques, ils peuvent détériorer les plaques en formant des fissures qui se propage par la suite.

La meilleure solution est le nettoyage régulier des plaques en utilisant l'eau chaude et en inversant le débit.

La figure ci-dessous montre le schéma du circuit de rinçage proposé

VP : entrée vapeur

R : vanne de rinçage par eau chaude

C : sortie condensat

P: purge

S1, S3: entrée solution et S2, S4: sortie solution

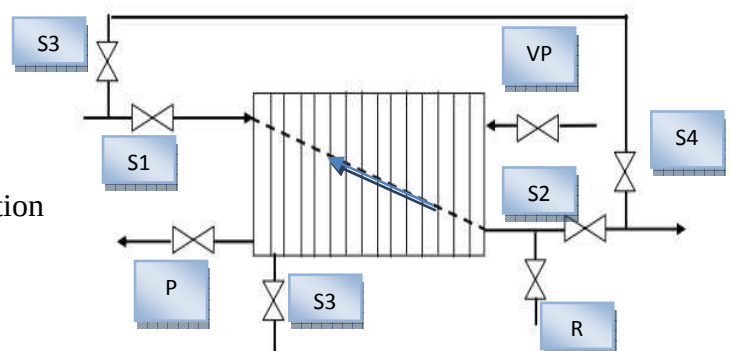


Figure 19 : Principe de nettoyage de des échangeurs par l'eau chaude

Plan d'action et rentabilité de sujet

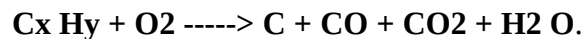
Nous fermons les vannes d'entrée de la solution S1, S3 ainsi que la vanne d'entrée de la vapeur, Puis on ouvre la vanne de rinçage R à contre courant de l'entrée de la mélasse refroidis.

III. Estimation du Coût énergétique

Le dispositif des Certificats d'Économies d'Énergie a été introduit par la loi sur l'énergie pour objectif de réaliser des économies d'énergie dans les secteurs diffus : principalement le bâtiment, mais aussi la petite et moyenne industrie, l'agriculture ou les transports.

Les hydrocarbures en général et le fioul lourd sont composées de molécules résultant essentiellement de la combinaison d'atomes de Carbone et d'Hydrogène. On les représente par le symbole **Cx Hy**.

- On schématise la combustion comme suit:



- Combustible utilisé : fioul lourd.

Les fiouls lourds (abrégés en FOL) sont des combustibles à haute viscosité souvent utilisés par les gros moteurs Diesel installés à bord des navires ou pour alimenter les centrales thermiques. Ils contiennent toujours des impuretés plus ou moins nocives au bon fonctionnement des moteurs

1. Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique représente l'énergie contenue dans le combustible. Pour la transmettre à l'eau de chauffage, le combustible est brûlé dans une chaudière.

On distingue donc deux pouvoirs calorifiques différents :

- **Pouvoir calorifique supérieur** : est une propriété des combustibles. Il s'agit de la quantité d'énergie dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée condensée et la chaleur récupérée.

Plan d'action et rentabilité de sujet

- **Pouvoir calorifique inférieur** : est une propriété des combustibles. Il s'agit de la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de combustible, la vapeur d'eau étant supposée non condensée et la chaleur non récupérée.

$$\text{PCI} + \text{Chaleur contenue dans la vapeur} = \text{PCS}$$

Tableau 9 : PCI et PCS des différents combustibles

	PCI	PCS
Gaz naturel	De 8 à 11.5 kWh/m ³	De 9 à 13 kWh/m ³
Butane, propane	13.5 kwh / kg	15 kwh/kg
Fioul domestique	12 kwh/kg	13 kwh/kg
Fioul lourd	11 kwh/kg	12 kwh/kg
Charbon	8 kwh/kg	8.5 kwh/kg

2. consommation énergétique :

D'après les résultats obtenus, la réalisation d'une étude économique est faisable, une comparaison en termes de la quantité de FOL brûlé au cours des deux consommations de l'énergie, la consommation de référence et celle actuelle, est le but de notre étude. Cette comparaison sera traduite en locution monétaire pour identifier le gain que le groupe atteint.

Tableau 10 : consommation journalières d'énergie en absence et en présence d'échangeur

	Consommation en absence d'échangeur	Consommation en présence d'échangeur
consommation journalière de l'énergie dans la station de traitement de la mélasse en' kJ'	83.785×10^6	62.848×10^6

Nous utilisons le PCS, sachant que celui de FOL est égal à 12 kWh/kg et 1kWh = 3600 kJ.
Alors : La consommation en absence d'échangeurs est égale 23273.61 kWh

Avec : 1kg de FOL = 12 kWh cela nous donne : 1939.47 kg

Plan d'action et rentabilité de sujet

- ✓ 1939.47kg est la quantité de FOL consommé par jour.
- ✓ D'après le cout du marché : 1Kg de fioul coût presque 3,7 DH.

Alors le coût d'énergie est de : $3.7 \times 1939.47 = 7176.039$ DH.

Nous avons fait les mêmes calculs pour la consommation actuelle :

Consommation en kWh : 17457.78.

Consomme en kg : 1454.82.

Coût en 'Dh' : 5382.834.

2. Gain en énergie

Tableau 11 : quantification monétaire des gains journaliers, mensuels, et annuels en vapeur

Gain en énergie	Gain énergie	Gain énergie
DH/jr	DH /mois	DH/an
1793.2	52796	645552

4. Interprétation

L'évaluation économique a révélé un coût monétaire de 645552 DH /an, en fait l'installation des échangeurs est une décision économiquement rentable pour le groupe.

5. Diminution de consommation des ressources énergétiques.

L'Agence internationale de l'énergie a estimé que la demande mondiale d'énergie pourrait augmenter de 45 % d'ici l'an 2030, notamment en raison du développement démographique et de l'industrialisation de pays. La consommation d'électricité devrait croître 2 fois plus vite que la consommation moyenne d'énergie.

En outre, l'économie de la consommation des ressources énergétiques est la responsabilité de toute industrie de grande ou de petite taille. L'application d'un système de management de l'énergie est l'une des clés de réussite pour la diminution de la consommation de ces ressources.

Tableau12 : Consommation journalière et annuelle de FOL par 'kg'

	Consommation en	Consommation actuelle
La consommation journalière de FOL en' kg'	1939.47	1454.81
La consommation annuelle de FOL en' kg'	698209.2	523731.6

Interprétation :

Il ressort de la différence entre la consommation en absence d'échangeur et actuelle ($698209.2 - 523731.6 = 174477.6$ kg), une diminution annuelle de 174477.6 kg de consommation de FOL c'est-à-dire 25% de la consommation initiale, ceci constitue un des objectifs de système de management de l'énergie adopté par LESAFFRE.

Conclusion générale

Durant le stage effectué au sein du groupe LESAFFRE Maroc, nous nous sommes intéressées, dans un premier temps, à mettre en œuvre un système de management de l'énergie au niveau de l'atelier de production afin d'économiser l'énergie thermique consommée, selon la norme mondiale ISO 50001, tout en se focalisant sur la stérilisation qui présente la source de consommation excessive de l'énergie au niveau de l'industrie.

Pour mener à bien ce travail et répondre à notre objectif, nous avons quantifié les gains au cours de la production dont le coût total annuel est presque de 645552 DH.

De ce fait, nos actions ont essentiellement porté sur :

- ✓ L'installation des échangeurs thermiques à la sortie de stérilisateur.
- ✓ La réutilisation de la chaleur pour chauffer l'eau froide.

Au cours de cette étude, nous avons déterminé les différents facteurs qui influencent sur la performance et la capacité des échangeurs GEA-1 et GEA-2 et qui se résument comme suit :

- ✓ La quantité de chaleur.
- ✓ Le débit des liquides à l'entrée et à la sortie des échangeurs.
- ✓ Les puissances des échangeurs et leurs rendements.

L'étude de l'impact de l'économie de l'énergie sur les différentes étapes de processus de fabrication de levure a révélé une diminution d'utilisation des ressources énergétiques de 174477.6 kg de FOL par an,

Sur la base de l'ensemble des résultats obtenus de cette étude, une liste de recommandations a été établie pour maîtriser le système énergétique tout en sachant le degré de complexité de réaliser un compromis idéal entre la consommation et la production d'énergie :

- ✓ Amélioration de la surface d'échange pour les deux échangeurs en ajoutant des plaques.
- ✓ Nettoyage régulier des échangeurs.

- ✓ Réalisation d'une étude économique afin de déterminer les pertes et les gains.
- ✓ Adoption d'un plan de maintenance préventif pour les équipements.

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

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Guide de formation de lesaffre
- [2] Technologie Génie Chimique (ANGLARET - KAZMIERCZAK) Tome 1
- [3] Philippe LAPLAIGE, Jean LEMALE, « Énergie géothermique »
Technique de l'ingénieur [BE 8 590].
- [4] Manuel de thermique, B. EYGLUNENT, HERMES (97)

Annexes

Annexe 1 : Fiche de suivi : échangeur mélasse-mélasse

Annexe 2 : Fiche de suivi de coefficient d'échange Mélasse- Mélasse.

Annexe 3 : Fiche de suivi : Echangeur Mélasse-Eau.

Annexe 4 : Fiche de suivi de coefficient d'échange : échangeur Mélasse-Eau

Annexe 5 : Fiche de suivi de la dilution de mélasse

Annexe 6 : Fiche de suivi des paramètres de dilution

Annexe 7 : fiche de suivi des températures des fermenteurs

Annexe 1 : Fiche de suivi des paramètres d'échangeur mélasse-mélasse

Date	q _v (m ³ /h)	T ° (MDCS °C)	T ° (MDCS Ref °C)	T ° (MDC Chauff °C)	Q'(m ³ /h)
06/04/15	12.678	123	83	67	_____
07/04/15	12.514	128	77	65	63.81
08/04/15	14.303	119	75	66	62.41
13/04/15	13.737	123	82	64	_____
14/04/15	13.480	129	78	63	85.93
15/04/15	12.740	125	74	62	92.89
16/04/15	14.010	127	77	61	116.74
17/04/15	14.182	132	87	62	105.91
20/04/15	14.504	134	82	61	_____
21/04/15	13.339	127	77	62	95.27
22/04/15	13.560	131	75	65	75.93
23/04/15	14.588	126	80	59	167.76
24/04/15	14.795	124	81	63	68.76
moyenne	13.763	126.769	79.076	63.076	93.51

ANNEXE 2 : Fiche de suivi de coefficient d'échange d'échangeur Mélasse- Mélasse.

Date	T_{m-e-ch} (°C)	T_{m-s-f} (°C)	T_{m-e-f} (°C)	T_{m-s-ch} (°C)	$\Delta T_1 =$ $T_{m-e-ch} - T_{m-s-f}$ (°C)	$\Delta T_2 =$ $T_{m-s-ch} - T_{m-e-f}$ (°C)	ΔT_{lm} (°C)	Φ_c (kW)	K (W/m ² .°C)
06/04/15	123	67	55	83	56	28	40.4	523.021	235.38
07/04/15	128	65	55	77	63	22	38.9	658.225	307.65
08/04/15	119	66	55	75	53	20	33.8	649.065	349.14
13/04/15	123	64	55	82	59	27	40.9	580.877	258.22
14/04/15	129	63	55	78	66	23	40.8	709.036	315.96
15/04/15	125	62	55	74	63	19	36.7	670.113	331.98
16/04/15	127	61	55	77	66	22	40	722.466	328.39
17/04/15	132	62	55	87	70	23	48.5	658.200	246.74
20/04/15	134	61	55	82	73	27	46.2	777.855	306.13
21/04/15	127	62	55	77	65	22	39.7	687.861	315.02
22/04/15	131	65	55	75	66	20	41.9	783.178	339.84
23/04/15	126	59	55	80	67	25	42.6	692.100	295.39
24/04/15	124	63	55	81	61	26	41	789.180	349.98
Moyenne	126.769	63.076	55	79.076	63.692	23.384	40.876	684.705	306.14