Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma

Année Universitaire : 2014-2015

Filière ingénieurs
Industries Agricoles et Alimentaires

Rapport de stage de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Application d'un Système de Management Energétique par l'étude des bilans thermiques et optimisation de la consommation énergétique, selon l'ISO 50001

Réalisé par:

ELOTMANI Hanae

Encadré par:

- Pr. J. ALFIGUIGUI (FST Fès).
- Mr. H. FADLI (LESAFFRE Maroc).

Présenté le 30 juin 2015 devant le jury composé de:

- P^{r}. J. ALFIGUIGUI	**Présidente**
- P^{r}. A. LAZRAQ	**Examinateur**
- P^{r}. M. EL ASRI	**Examinateur**

Stage effectué à : LESAFFRE Maroc.

Partie 1 : Contexte général de la société

Cette partie est une présentation générale du projet. Elle commence par la présentation de l'organisme d'accueil, généralités sur les levures et évoques les différentes étapes du processus de production de la levure.

Partie 2 : Les bilans thermiques

Cette partie présente en premier lieu, les bilans thermiques et ses types, en deuxième lieu des généralités sur les échangeurs thermiques en mettant le point sur quelques descriptions de ces derniers.

Partie 3 : la mise en œuvre d'un SMEn pour l'élaboration des bilans thermiques et l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Cette partie est consacrée pour la présentation de la méthodologie de la mise en œuvre d'un système de management de l'énergie suivant la préconisation de la norme ISO 50001, en cohérence avec l'approche « PDCA », ainsi son application au niveau de la station de traitement de la mélasse au sein du Groupe LESAFFRE.

ELOTMANI Hanae
Elève ingénieur IAA, FSTF

Table des figures

Figures	Titre	Page
1	Organigramme de groupe LESAFFRE Maroc	6
2	Schéma de préparation de la mélasse	11
3	Schéma des étapes de traitement de la mélasse	15
4	Principe de fonctionnement d'un échangeur	18
5	Echangeur à tube en U	19
6	Echangeur à courant croisé	20
7	Echangeur à spiral	20
8	Echangeurs à plaques	21
9	Schéma d'encrassement d'un échangeur	22
10	Modèle d'un système de management de l'énergie	26
11	Cycle « PDCA»	27
12	Evolution de températures au sein du 1er échangeur	35
13	Evolution du K de l'échangeur-1(mélasse-mélasse)	38
14	Evolution du K de l'échangeur-2(mélasse-eau)	39
15	Schéma représentatif de la répartition de l'eau chaude	43
16	Diagramme d'ISHIKAWA illustrant les causes de mal fonctionnements des échangeurs	44
17	Schéma représentatif des nouvelles températures voulues	45
18	Principe de nettoyage des échangeurs par l'eau chaude	47

Table des tableaux

Tableau	Titre	Page

1	Membre de l'équipe énergie	29
2	Moyennes de suivi de la consommation journalière de la mélasse de l'eau pour la consommation de référence	30
3	Moyennes de suivi des paramètres de dilution pour la consommation de référence	30
4	Moyennes de suivi des températures de l'eau chaude dans les fermenteurs	32
5	Moyennes de suivi de la consommation journalière de la mélasse et de l'eau pour la consommation actuelle	40
6	Moyennes de Suivi des paramètres de dilution pour la consommation actuelle	40
7	Températures moyennes de l'eau dans les fermenteurs	41
8	Alimentation des fermenteurs en eau chaude et froide	41
9	Résultats de bilan thermique de l'échangeur GEA-1	48
10	Résultats du bilan thermique de l'échangeur GEA-2	49
11	Plan d'action sur les échangeurs	49
12	Consommation journalière d'énergie à l'état actuelle et de référence	51
13	Résultats de la consommation actuelle	52
14	Quantification monétaire des gains journalière	52
15	Consommation journalière en FOL en 'kg'	52

Table des abréviations

SMEn	Système de management de l'énergie

ISO 50001	International standard organisation
MB	Mélasse brute
MD	Mélasse diluée
MDC	Mélasse diluée clarifiée
MDCS	Mélasse diluée clarifiée stérilisée
Φ	Flux de chaleur cédé
Φ'	Flux de chaleur gagné
AIE	Agence internationale de l'énergie
ISO 9001	système de management de la qualité
ISO 14000	Système de management de l'environnement
CEE	Certificats d'économie de l'énergie
NF EN	les internationales reprises dans la collection européenne : NF EN ISO...
EE	Equipe énergie
IPE	Indicateurs de performance énergétique
FOL	Fioul lourd
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PCS	Pouvoir calorifique supérieur
m	Débit massique
m'	Débit massique de la mélasse froide
C_P	Chaleur massique
ΔT	Différence de température
T_e	Température d'entrée de la mélasse chaude
T_e'	Température d'entrée de la mélasse froide
T_s	Température de sortie de la mélasse chaude
T_s'	Température de sortie de la mélasse froide
q_v	Débit volumique du mélange de dilution
Q'	Débit volumique de la mélasse
$P_{éch}$	Puissance de l'échangeur
K	Coefficient d'échange de l'échangeur
$S_{éch}$	Surface d'échange
ρ	Masse volumique
η	Rendement

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde pour nous, à toi

Mon père

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur

Maman que j'adore

A mon cher frère Youssef et sa femme,

A mes chères sœurs Loubna, Sanae, Rajae et leurs maris,

Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

A ma nièce Lara, et mes neveux Yassine, Walid, Nouh et Zaid

A toi Meryeme, Mouna, Houda et Kawtar

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont elles ne cessent de me combler

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour,

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur.

A tous ceux qui me sont chers . . . .

Remerciements

Je remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord je tiens à remercier vivement le Directeur Général du groupe LESAFFRE Maroc, qui m'a donné l'opportunité d'effectuer mon stage de fin d'étude au sein de groupe. Mr. Hassan EL FADLI, je le remercie pour sa générosité, sa patience ainsi que ses conseils qui m'ont, non seulement, permis de réaliser mon sujet d'étude, mais aussi de mieux comprendre le climat social de l'entreprise et de m'intégrer plus facilement.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à toute l'équipe de production, Mr. Fouad, Mr. ABABOU, pour leur accueil chaleureux, leur bienveillance, ainsi que leurs conseils fructueux.

J'adresse également mes remerciements les plus vifs à Mr. A. LAZRAQ, notre chef de filière.
Mes vifs remerciements vont également à Mr. AJAALI, le doyen de la FST FES, ainsi que tout le corps administratif de la FSTF en témoignage de notre reconnaissance.

C'est avec gaîté de cœur in-semblable que j'adresse mon vif sentiment de reconnaissance et de respect à mon encadrant Pr. Jamila FIGUIGUI qui a acceptée sans réserve de diriger ce travail. Elle s'est grandement impliquée dans la conduite de ce projet. Je tiens à la remercier aussi pour cette liberté qu'elle m'a permise, sans laquelle, je ne saurais affirmer ma manière de penser et de procéder. Mes remerciements s'adressent également au Pr. A. LAZRAQ, Pr. M. EL ASRI qu'ont consacré une partie de leurs temps pour examiner mon rapport.

Mes remerciements s'adressent à tous mes professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Introduction générale 1

Partie 1 : Contexte général de la société 3

I. Groupe LESAFFRE 3

1. Historique 3

2. LESAFFRE Maroc 4

3. Activités du groupe 4

4. Gamme de produits 4

5. Organigramme 6

II. Organisation de laboratoire de la société 7

1. Unité physico-chimique 7

2. Unité microbiologique 7

III. Généralités sur la levure 7

1. Définition 7

2. Mode de vie de levure 8

3. Paramètres influençant l'activité des levures 8

IV. Processus de fabrication de la levure 9

1. Préparation de l'inoculum 9

2. Préparation de la mélasse 10

2.1- Etapes de traitement de la mélasse 10

2.1.1- Dilution 11

2.1.2- Clarification 11

2.1.3- Stérilisation 12

3. Préparation de l'urée, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate 12

4. Fermentation 12

5. Séparation 13

6. Conditionnement 13

Partie 2 : Les bilans thermiques 16

I. Généralités sur les bilans thermiques 16

1. Définition et but 16

2. Différents types des bilans 16

II. Généralités sur les échangeurs 18

1. Définition 18

2. Mode de transfert de chaleur 19

3. Différents types d'échangeurs de chaleur 19

4. Encrassement d'un échangeur 21

Partie 3 : la mise en œuvre d'un SMEn pour l'élaboration des bilans thermiques et l'amélioration de l'efficacité énergétique 23

I. La norme ISO 50001 23

1. Définition et but de la norme 23

2. Démarche de l'ISO 50001 24

3. Cycle Plan-Do-Check-Act & Amélioration Continue 26

II. Mise en œuvre d'un SMEn au niveau de la station de traitement de la mélasse au sein du « Groupe LESAFFRE ». 28

1. Etablissement de la politique énergétique et application de SMEn au niveau de la station de traitement de la mélasse 28

Application de l'approche « PDCA » : 28

1.1- Planifier 28

1.2- Déployer les moyens 33

1.3- Contrôler 34

1.4- Ajuster : 44

III. Résultats 48

1. Consommation de référence 48

2. Bilan thermique de l'échangeur-1 (mélasse-mélasse) 48

3. Bilan thermique de l'échangeur -2 (mélasse-eau) 49

4. Consommation actuelle 49

5. Plan d'action sur les échangeurs 49

VI. Vérification de l'efficacité de la politique énergétique adoptée par la société. 50

1. Etude d'économie d'énergie 50

2. Diminution de consommation des ressources énergétiques 52

Conclusion générale 54

Bibliographie

Annexes

Introduction générale

La levure de boulangerie peut, à juste titre, être considérée comme un des plus anciens produits issus de la fermentation industrielle. Aujourd'hui encore, elle est un des plus importants produits de la biotechnologie, à la fois par la quantité annuelles et par la fonction, en effet les qualités du pain levé à la levure sont reconnues à travers le monde, dépassant les frontières nationales et culturelles.

Cependant, la production des levures est un domaine très énergivore. Cette consommation excessive en matière d'énergie se répercutera défavorablement sur le prix de revient des levures.

Actuellement, les entreprises industrielles de moyenne et grande envergure, les procédés thermiques recèlent un grand potentiel d'économie d'énergie. En ce sens, l'optimisation leur devenue un facteur très important, en fait consommer moins et produire plus reste la devise de chaque industrie. Pour réaliser cette optimisation énergétique intégrale, il conviendra d'abord d'identifier les principaux consommateurs d'énergie et d'analyser les procédés thermiques de production. Dans ce cadre, l'utilisation interne de la chaleur résiduelle (récupération) des installations de production est cruciale, les entreprises recourant à des procédés thermiques peuvent ainsi utiliser la chaleur résiduelle résultante des procédés de refroidissement pour certaines phases de chauffe, donnant lieu au final à une réduction des coûts énergétiques.

La minimisation du prix de revient qui inclut toutes les dépenses énergétique est le but principal de mon projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en industries agroalimentaires, effectué au sein du département de production de groupe LESAFFRE Maroc. L'objectif de mon travail est l'étude des bilans thermiques selon les démarches de la norme internationale ISO 50001, ainsi que l'optimisation de la consommation énergétique au niveau des stations consommatrices de la grande quantité d'énergie.

Durant ce stage, nous étions confrontés à faire tout d'abord un suivi des températures de la mélasse au cours des différentes étapes de traitement, ainsi que celles de l'eau utilisé au niveau de la station de stérilisation et ce dans le but d'étudier l'impact de l'utilisation des échangeurs thermiques et d'élaborer un système de management de l'énergie au cours de la fabrication de la levure boulangère.

Le présent rapport explique la démarche adoptée afin de répondre à l'objectif de ce sujet. Il est ainsi structuré en parties suivantes :

Au niveau de la première partie, nous présentons la société d'accueil « LESAFFRE Maroc», et les procédés de fabrication de la levure de boulangère.

La seconde est consacrée à une étude bibliographique sur les bilans thermiques ainsi que les échangeurs thermiques, leurs fonctionnements et leurs types.

Enfin, la dernière partie représente le principe de la norme ISO 50001 et traitera les travaux effectués au niveau de l'entreprise par l'application d'un système de management de l'énergie au niveau de la station de traitement de la mélasse.

Partie 1 : Contexte général de la société

I. Groupe LESAFFRE

1. Historique

Une entreprise, une histoire

1853 : Louis LESAFFRE-Roussel et Louis Bonduelle-Dalle créent une distillerie d'alcool de grains et genièvre à Marquette-lez-Lille.

1863 : Acquisition du premier moulin à Marcq-en-Barœul. C'est à partir de ce site que se développera la société Industrielle LESAFFRE.

1895 : Naissance de la marque de levure l'hirondelle. Une hirondelle dont le dessin va évoluer au fil du temps, jusqu'à devenir l'emblème du groupe en 2003.

1923 : Crise de l'alcool de grains dont l'état français décide brutalement d'abaisser le prix, ce qui rend sa production économiquement impossible. Il faut trouver d'urgence une nouvelle matière première pour la levure. Ce sera la mélasse, moyennant quelques aménagements techniques.

1974 : LESAFFRE crée son premier Baking center.

2001 : Création de LESAFFRE International et acquisition de la société américaine Red Star Yeast & Products.

2003-2004 : Première Coupe Louis LESAFFRE, sélection pour la Coupe du monde de la Boulangerie.

2007 : Construction d'une usine en Iowa, construction d'une unité de production en Chine et acquisition des activités levure de Gilde (Amérique du sud, Royaume uni,..)

2010 : Inauguration d'une usine de levure et d'extraits de levure à Laibin dans le Guangxi en Chine et mise en service d'une usine d'extraits de levure à Cedar Rapids (Iowa) aux Etats-Unis. 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 Maroc

La société LESAFFRE Maroc est l'une des principales filiales du groupe agroalimentaire LESAFFRE, leader mondial en matière de production de la levure de panification. C'est un groupe familial français indépendant, il est présent sur les cinq continents et compte plus de 7000 collaborateurs.

L'hirondelle Symbole de proximité et de fidélité, est l'emblème fédérateur du groupe LESAFFRE à travers le monde. Son siège est situé au quartier industriel SIDI BRAHIM à Fès.

L'entreprise compte, en plus du site de production à Fès, un Baking Center à Casablanca. Celui-ci constitue une vitrine des produits LESAFFRE où les boulangers peuvent suivre des formations et voir des démonstrations afin de consolider leurs connaissances et améliorer leur savoir faire.

La politique commerciale de la société LESAFFRE se base sur la qualité. Bénéficiant de l'expertise et du savoir faire du groupe LESAFFRE, LESAFFRE Maroc possède un laboratoire d'analyse qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et bactériologiques. La qualité des levures est ainsi sans cesse évaluée afin d'optimiser leur performance : force fermentative, pureté, stabilité et résistance par rapport au contexte climatique.

L'entreprise bénéficie d'une reconnaissance à l'échelle mondiale puisqu'elle a reçu deux trophées :

• Le trophée du prestige arabe en 1984 à Barcelone.

• Le trophée international de la qualité en 1985 à Madrid.

3. Activités du groupe

LESAFFRE conçoit et propose des solutions de panification ainsi qu'une large gamme de levures et d'améliorants. L'entreprise répond également à des demandes spécifiques de l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique, proposant ainsi des produits obtenus par fermentation et bioconversion utilisés pour leurs propriétés aromatisantes et nutritionnelles.

Concernant la fermentation et la distillerie, elle sélectionne la bonne souche de levure qui permettra d'obtenir la qualité et les caractéristiques souhaitées dans la fermentation alcoolique.

4. Gamme de produits

LESAFFRE Maroc est spécialisée dans la fabrication de la levure fraiche (levure pressée) conditionnée en pain de 500g sous le nom de « Jaouda ».

Ainsi que la levure sèche conditionnée en sachets. Ce dernier type compte deux produits :

- ✓ La SPI : levure sèche instantanée sous forme de petits bâtons fissurés et emballés sous vide dans des sachets de 500g, 125g et 10g .
- ✓ La SPH : levure sèche active ou à réhydratation, emballée sous air dans des sachets de 50g et 500g.

LESAFFRE fabrique également des améliorants de panification : les marques 'Ibis Bleu' (figure : 3) et 'Magimix' (Figure : 4) apportent au consommateur le pain qu'il apprécie que ce soit en terme de volume, de texture, de couleur de miel, d'aspect, de conservation et bien sûr de goût.

5. Organigramme

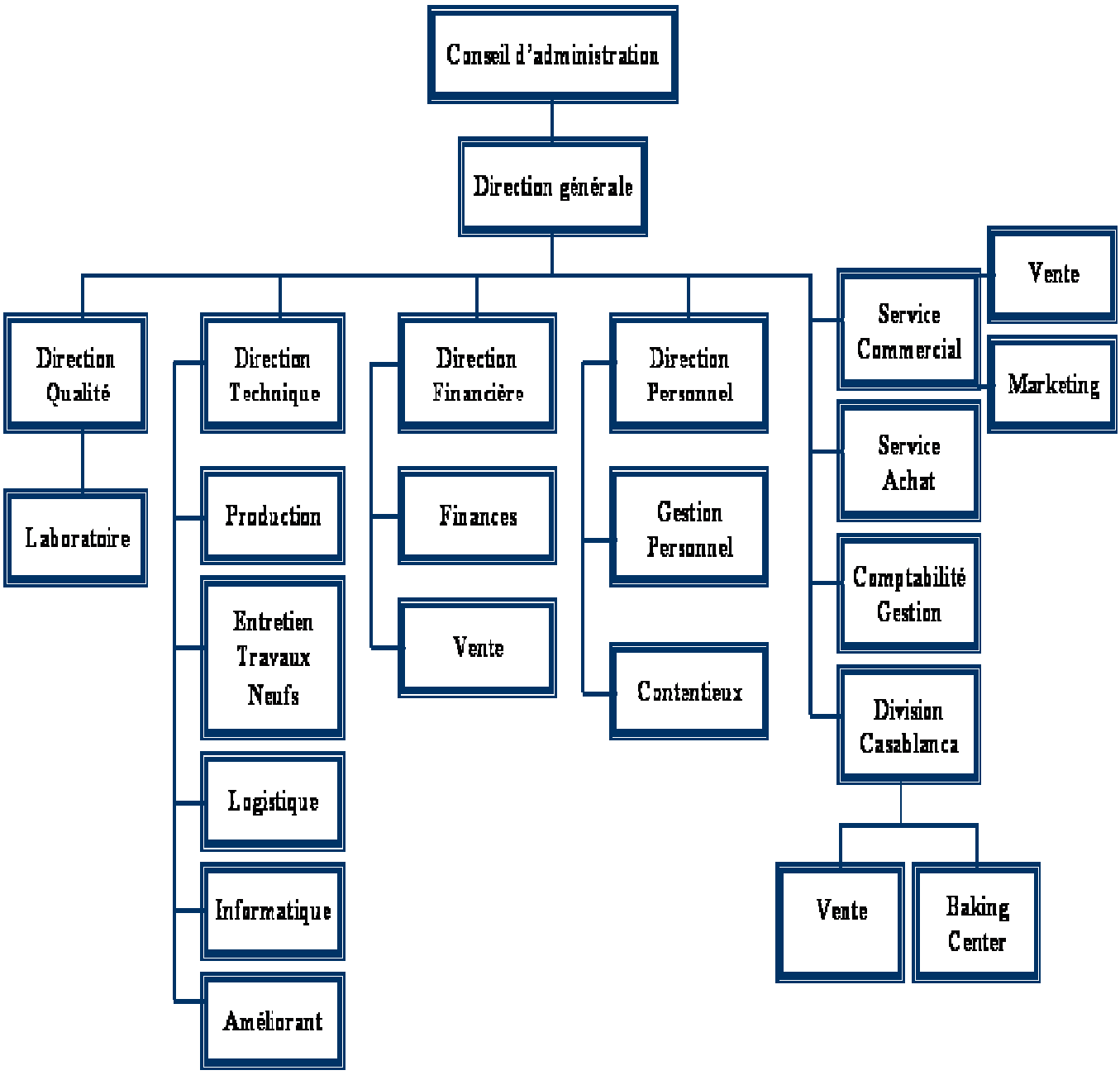


Figure 1: Organigramme de groupe LESAFFRE Maroc.

II. Organisation de laboratoire de la société

Ce laboratoire a été crée en 2006 par une équipe marocaine afin 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.

1. Unité physico-chimique

Elle est équipé de matériels sophistiqués, alimenté de différents types d'eaux (eau adoucie, eau distillée, eau RADEEF) utilisée selon les besoins. Cette unité fait appel à un personnel qualifié effectuant quotidiennement des analyses physico-chimiques et veillant toujours à bien respecter les consignes du responsable de laboratoire. Ce dernier participe à l'application du plan de contrôle et assure l'efficacité de la démarche qualité par la surveillance instantanée.

Cette unité est divisée en trois parties :

- ✓ Salle de panification ou s'effectue la première étape de fabrication.
- ✓ Salle de stockage où se trouvent tous les matériels et les produits initiaux.
- ✓ Enfin une salle d'analyses physico-chimiques où s'effectuent ces analyses :
  Brix, pH, conductivité, dosage de l'azote, dosage de phosphate et autres.

2. Unité microbiologique

Elle est divisée en quatre parties selon un flux :

- ✓ Salle de stockage de matières premières.
- ✓ Salle de préparation des milieux de culture, de stérilisation et d'autres activités.
- ✓ Salle de pathogène ou s'effectue l'analyses des germes pathogènes.
- ✓ Enfin une salle d'analyse bactériologiques.

Ces unités sont toujours sous une température de 20 C°.

III. Généralités sur la levure

1. Définition

Les levures sont des champignons microscopiques unicellulaires et eucaryotes utilisées dans la fabrication du vin, du pain, de la bière et sont souvent utilisées comme aliments pour le bétail en raison de leur richesse en protéines et en vitamines B. Elles sont capables de dégrader les aliments qui se trouvent dans leur milieu de culture grâce à une gamme très étendue d'enzymes d'hydrolyse telles que des lipases, protéases, saccharases et lactases.

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 la « *Saccharomyces cerevisiae* », elle est naturellement présente dans l'air et peut se déposer sur la paroi des végétaux ou sur les aliments. En absence d'air, elle tire l'énergie nécessaire à sa vie du processus de fermentation panaire.

2. 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.

Ainsi, l'énergie nécessaire à sa survie et à sa reproduction est produite de deux manières différentes, en fonction du milieu ambiant.

- ✓ **la voie aérobique** : respiration, transformation du glucose en dioxyde de carbone et ATP à l'aide de l'oxygène ou utilisation de l'éthanol avec consommation d'O_2 (transition diauxique).

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

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

- ✓ **la voie anaérobique** : la fermentation alcoolique du glucose.

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

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.

Le premier est utilisé en cuisine, tandis que la fermentation est privilégiée pour la production d'alcool tel que le vin ou la bière.

3. Paramètres influençant l'activité des levures

3.1- 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.

En revanche la baisse d'hydratation opérée pour maintenir le niveau de consistance lorsqu'on incorpore certains ingrédients (comme la matière grasse ou le sucre), diminue l'activité levurienne. D'où on augmente l'apport de levure pour compenser cette diminution d'activité.

3.2- pH

L'activité enzymatique ne peut se faire qu'à des pH donnée.

Quand à la levure la plage optimale de pH se situe entre 4,6 et 6.

3.3- Température

La température optimale de culture des levures se situe en général entre 25 et 30 °C, mais comme les autres micro-organismes, les levures peuvent être classées en levures psychrophiles, mésophiles et thermophiles. D'une façon générale, les *Saccharomyces* ne sont pas thermorésistantes, la destruction cellulaire commence dès 52°C.

3.4- Pression osmotique et la force ionique

Le sel et les sucres augmentent la pression osmotique, de ce fait l'activité des levures diminue.
Cette augmentation de la pression osmotique conduit à la diffusion de l'eau intracellulaire vers l'extérieur de la cellule, donc à une déshydratation. Cependant les sucres et les sels à des doses inférieures à 10%, activent la fermentation.

3.5- Concentration en alcool

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

IV. Processus de fabrication 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…).
Au cours de la production, on trouve deux chaines de production, l'une produit la levure sèche, et l'autre produit la levure fraiche. Au laboratoire on distingue entre deux souches différentes de levure : la souche L13 destinée à la production de la levure sèche et la souche L20 destinée à la levure fraiche.

1. Préparation de l'inoculum

La levure utilisée dans cette production est transportée d'une façon hebdomadaire depuis la France dans un tube qui contient une souche spécifique. Après, l'inoculation est réalisée au sein du laboratoire selon les étapes suivantes :

- Dans des conditions stériles, nous commençons par un repiquage dans 30 tubes contenant de milieu de culture YM-Agar (Annexe: 1). L'ensemencement des tubes se fait dans une erlène de 250mL de milieu de culture, après nous versons le contenu dans un autre récipient de 7.5L contenant la mélasse.
- La fermentation à grande échelle se réalise en utilisant des cuves de 800L contenant la mélasse, l'eau et les sels essentiels pour la levure (urée, phosphate et sulfate).
- En suite la levure est passée dans un pré-fermenteur, afin de séparer le mélange en moût délevuré qui va être rejeté et en levure mère qui va être stockée.
- Enfin, le stockage de la levure mère se fait dans des silos de stockage à 4°C et à pH neutre.

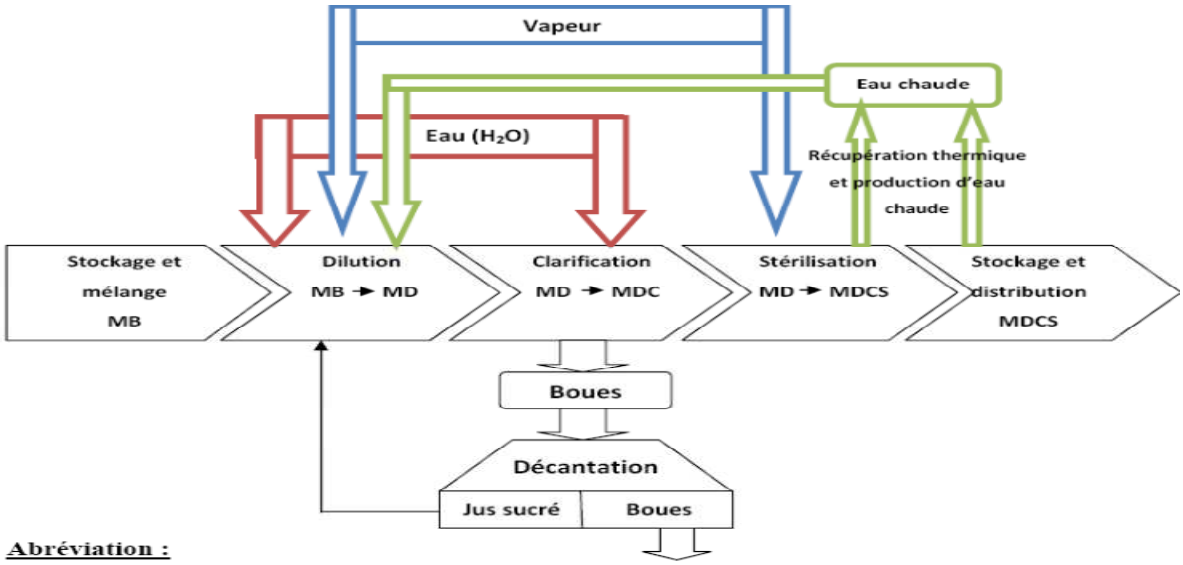
2. Préparation de la mélasse

Après la réception de la matière première, qui est la mélasse (un résidu du raffinage du sucre extrait de la canne à sucre et de la betterave, que l'on trouve sous forme de poudre marron ou d'un sirop très épais et également très visqueux) , cette devenue est filtrée et mélangée avec de l'eau chaude (dilution) afin de diminuer sa viscosité, ensuite elle est envoyée vers la salle de clarification où toutes les impuretés sont enlevées. La mélasse clarifiée est stérilisée par injection de la vapeur à 120°C.

A la fin, la mélasse est stockée après un refroidissement avant d'être utilisée dans la fermentation.

2.1- Etapes de traitement de la mélasse

La mélasse est ensuite pompée vers les différents tanks de stockage (quatre pour la mélasse issue de betterave et les trois autres pour celle de la canne). Une homogénéisation assurée par des pompes est très nécessaire (Figure : 2).



Abréviation :

MB : mélasse brute.

MD : mélasse diluée.

MDC : mélasse diluée clarifiée.

MDCS : mélasse diluée clarifiée stérilisée.

Figure 2: Schéma de préparation de la mélasse.

Pour convenir à une bonne fermentation, la mélasse doit subir un prétraitement comprenant plusieurs phases :

2.1.1- Dilution

La mélasse brute pose des problèmes d'engorgement lors de sa circulation dans la conduite, pour faire face à ce problème la société LESAFFRE débute le traitement de la mélasse par une dilution, jusqu'à obtention de la concentration souhaitée.

Pour effectuer cette tâche on introduit dans une cuve la mélasse brute (80% betterave+20% canne) qui provient de deux grandes cuves de stockage, cette mélasse est très visqueuse donc elle nécessite un échauffement pour diminuer sa viscosité, l'échauffement s'effectue par le contact de la mélasse avec la vapeur d'eau injectée (3,5bar) et grâce à l'eau chaude ajouté pour faciliter le mouvement de la mélasse.

2.1.2- Clarification

Puis on passe à la clarification de la mélasse diluée (MD) à l'aide d'un clarificateur qui élimine tous les dépôts non désirés comme les colloïdes et les boues.

La matière première non traitée contient des substances qui inhibent la croissance des organismes et peuvent conduire à des problèmes dans la fiabilité du processus de fermentation. Il s'agit notamment du sable, du calcium et des protéines provenant de la récolte de sucre lui-même ou à partir de la

production de sucre. C'est pourquoi les substances indésirables doivent être retirées de la mélasse par la clarification.

A la fin, la mélasse monte vers le haut et les impuretés descendent vers les égouts. La mélasse sortie des clarificateurs, appelée mêlasse diluée clarifiée (MDC) est stockée provisoirement dans une cuve MDC.

2.1.3- Stérilisation

La stérilisation à la vapeur a pour but d'éliminer tous les germes ou les contaminants en portant la mélasse (MDC) et le sucre dilué à une température de 120°C. Il ya deux paramètres à contrôler au cours de cette opération :

- ✓ La température dans le stérilisateur.
- ✓ Le temps de contact.

La mélasse est dite stérilisée, MDCS.

3. 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 de concentration voulue. Après la préparation, chaque élément sera stocké dans une cuve, en attendant sa consommation lors de la phase de fermentation.

4. Fermentation

4.1- A l'échelle du laboratoire

Chaque mois, la société LESAFFRE Maroc reçoit de la France deux souches de *Saccharomyces cerevisiae*. Une destinée à la levure fraîche et l'autre à la levure sèche. Ces souches sont ensemencées dans des tubes dans un milieu nutritif spécifique à la croissance des levures pour préparer 60 tubes par mois (30 tubes de chaque souche). Cette étape exige un travail dans des conditions strictement aseptiques pour éviter tout risque de contamination, puis le contenu des tubes est transvasé dans un petit icône appelé « Van Lear » dont le milieu nutritif très riche rendra possible une première multiplication et donc la production de nombreuses cellules.

Après 24h, les levures obtenues sont inoculées dans une autre verrerie appelée « Galsberg » où elles se multiplient à nouveau à une température de 28°C pendant 24h avec agitation pour l'aération.

Finalement nous obtenons une quantité de levure suffisante pour passer à l'échelle semi industriel qui se déroule dans une cuve de 800 litres.

4.2- A L'échelle industrielle

4.2.1- Pré-fermentation

Cette opération est effectuée 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 : l'eau, le sulfate de magnésium, les vitamines, l'eau de javel pour la stérilisation et l'acide sulfurique pour ajuster le pH(le pH entre 3,4 et 4).

Notons bien que la mélasse, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate sont ajoutés graduellement au cours du pré fermentation selon les besoins de la levure. Aussi l'air est apporté graduellement avec le temps suivant la concentration de la levure dans le milieu.

4.2.2- Fermentation

La fermentation se fait dans des grandes cuves. Pendant cette étape l'alimentation en mélasse et les autres ingrédients est continue. Après certain temps (17h) nous obtenons une grande population de levure sous forme liquide qu'on appelle « le moût ». L'introduction d'un anti-mousse est nécessaire pour éviter les mousses qui se produisent lors de la fermentation.

5. Séparation

Le moût est un mélange de levure, de l'eau et du reste de la mélasse ce qui nécessite une séparation, cette opération est effectuée dans une salle de séparation qui contient des séparateurs.

A la fin de l'opération nous obtenons une crème qui contient de la levure pure. La crème obtenue est refroidie et stockée à une température de 4°C, puis elle est passée à la cuve d'acidification pour lutter contre le développement des bactéries.

Après une première séparation dans une cuve contenant l'eau, les éléments nutritifs (mélasse, l'urée, phosphate), et de l'oxygène, la crème va subir une deuxième séparation avant stockage à une température de 4°C.

6. Conditionnement

6.1- Levure fraîche

Le conditionnement débute par la filtration de la crème sur des filtres rotatifs sous vide. Cette phase essentielle permet de passer d'une crème de levure à 22% de matière sèche à un gâteau de levure à 32% de matière sèche, donnant après boudinage la levure bien friable que le boulanger recherche.

Le boudin de levure pressée est découpé en pain de 500g, puis enveloppé individuellement dans un papier paraffiné. Après mise en carton, la levure est conservée en chambre froide afin d'être réfrigérée à cœur avant son expédition.

6.2- Levure sèche

Pour la levure sèche, le gâteau provenant de la filtration sous vide est mélangé avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et 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 il est transféré au sécheur 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.

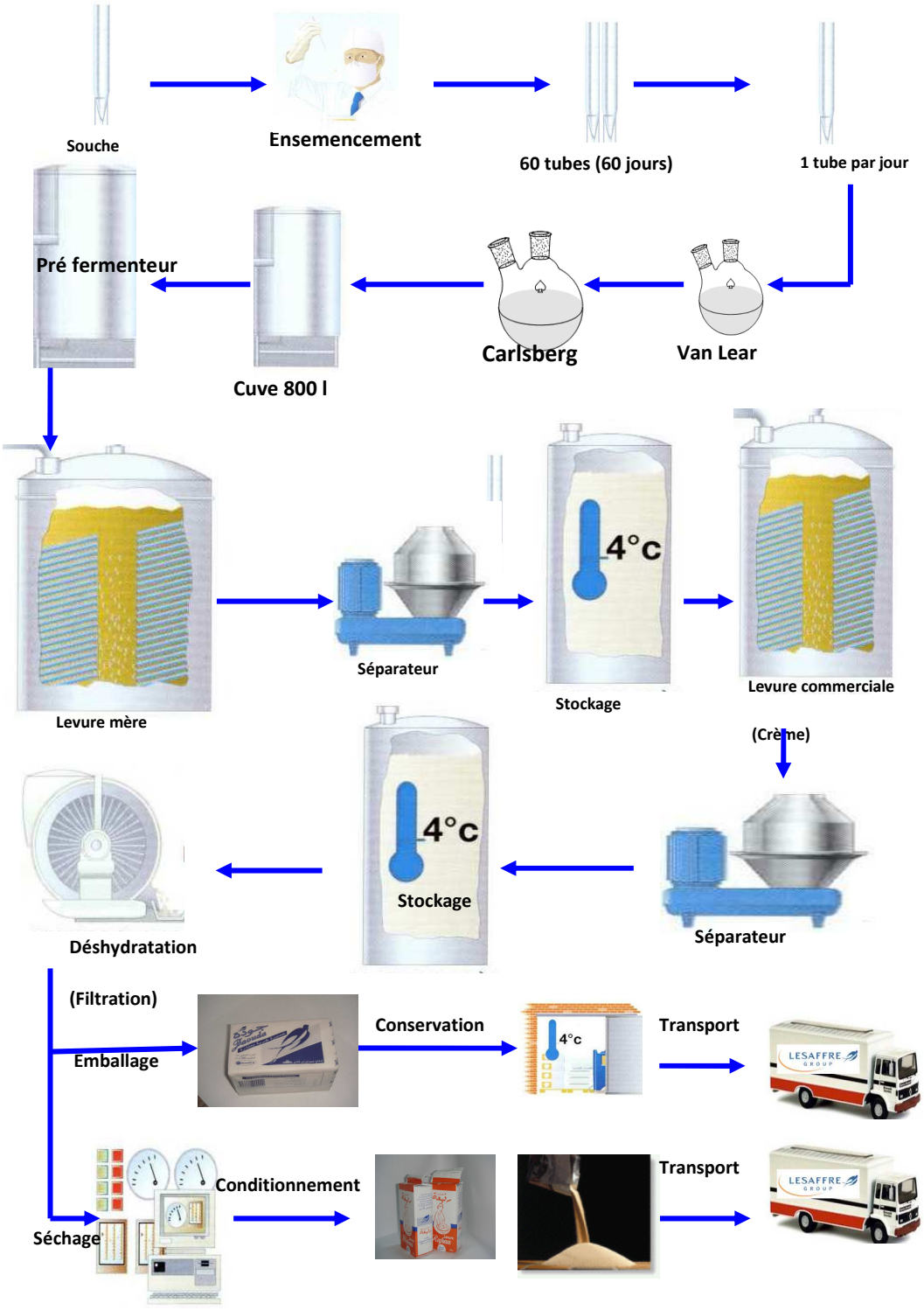


Figure 3: Schéma des étapes de la production de la levure.

Partie 2 : Les bilans thermiques

I. Généralités sur les bilans thermiques

1. Définition et but

Le bilan thermique = bilan énergétique, est un calcul qui consiste à évaluer les diverses quantités d'énergie mises en œuvre dans les transformations physico-chimiques d'un procédé.
Il est nécessaire pour déterminer les besoins en chauffage et en refroidissement, d'une part, en énergie mécanique de compression et de circulation d'autre part, et pour but de déterminer les quantités d'énergie et en particulier les quantités de chaleur mises en jeu dans un procédé.

Dans les opérations unitaires du génie chimique 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.

Les processus thermiques mis en jeu sont de trois 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.
- Pertes thermiques vers l'extérieur du système. Si les pertes sont nulles ou supposées négligeables, le procédé est dit adiabatique.

2. Différents types des bilans

2.1- Bilan thermique simple

Ce type de bilan peut être utilisé pour la plupart des procédés. On peut prendre l'exemple d'un échangeur de chaleur où circulent sans être en contact un fluide froid liquide et un fluide chaud à l'état de vapeur à l'entrée et à l'état de liquide refroidi à la sortie. Le fluide chaud subit donc un changement d'état (condensation par exemple). Le but recherché est de déterminer les pertes thermiques avec l'extérieur. On définit le système comme étant constitué du fluide froid et du fluide chaud dans leur traversée de l'échangeur.

Les fluides (froid et chaud) sont respectivement définis par les grandeurs suivantes: débits massiques (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 ' est l'enthalpie massique de condensation du fluide chaud à la température T_0.

L'identification des les flux de chaleur qui correspondent à des gains ou pertes d'énergie par unité de temps pour un fluide 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 du à une variation de température et d'un terme du à un changement d'état.

Pour chaque fluide Φ et Φ' sont les flux de chaleur respectivement perdu par le fluide chaud et gagné par le fluide froid:

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

Nous remarquons 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 nous déduirons 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 est nulle

2.2- 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).

Nous définissons d'abord un système qui est constitué d'un appareil ou d'une partie d'appareil, ensuite nous comptabilisons les flux de matière entrant et sortant ainsi que les apports de puissance thermique (exemple: chauffage du bouilleur d'une rectification par la vapeur ou une résistance électrique), les évacuations de puissance thermique (exemple: par le fluide de refroidissement au condenseur d'une colonne de rectification) et les pertes thermiques vers l'extérieur, nous proposons une réalisation de 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).

II. Généralités sur les échangeurs

On entend par la chaleur perdue celle qui est contenue dans un fluide rejeté par un procédé de fabrication et dont la température est supérieure à la température ambiante de l'usine. Les fluides dont la température est inférieure à la température ambiante renferment eux aussi une forme d'énergie perdue réutilisable, à des fins de refroidissement par exemple.

La récupération de la chaleur suppose que la chaleur autrement perdue soit transférée à un autre support (l'air ou l'eau, par exemple) pour servir ultérieurement. Elle sert généralement au réchauffement ou au refroidissement des fluides utilisés dans les procédés de transformation ou autres : par exemple, le réchauffement de l'eau d'alimentation des chaudières, le réchauffement préalable de l'eau de nettoyage, le réchauffement ou le refroidissement préalable du produit à traiter, le réchauffement ou le refroidissement de l'air amené par le système de ventilation.

Le recours à la chaleur perdue offre des avantages que d'autres sources d'énergie n'ont pas, car cette chaleur existe déjà dans l'usine et est disponible pendant que celle-ci fonctionne.

Ce recours peut diminuer la gravité des problèmes de pollution thermique de l'environnement et éliminer le besoin d'installer des refroidisseurs.

1. Définition

Un échangeur thermique est un appareil qui, sans mélanger le fluide caloporteur avec le fluide à réchauffer, permet à la chaleur de se transmettre de l'un à l'autre à travers la paroi qui les sépare. C'est la différence de température entre les deux fluides qui rend la chose possible.

La plupart du temps, 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, ou d'une centrale nucléaire.

L'échangeur de chaleur le plus commun est celui à plaques (Figure : 4).

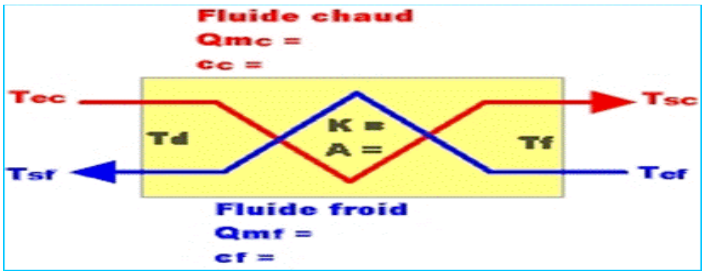


Figure 4: principe de fonctionnement d'un échangeur.

2. Mode de transfert de chaleur

- 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 situés perpendiculairement.
- À tête d'épingle : un des deux fluides fait un demi-tour dans un conduit plus large, que le deuxième fluide traverse. Dans cette configuration, nous pouvons comparer ce dernier à un échangeur à courant parallèle sur une distance identique à la moitié de l'échangeur, et pour l'autre moitié à un échangeur à contre courant.
- À contact direct ou à mélange : les deux fluides peuvent être mis en contact comme c'est le cas dans les tours de refroidissement, l'air chaud monte de bas en haut dans une grande tour et des buses projetant de l'eau froide sortent des parois donnant la possibilité ainsi de refroidir l'air.

3. Différents types d'échangeurs de chaleur

3.1- Echangeur à tubes en U

Les échangeurs tubulaires peuvent être utilisés pour effectuer des transferts de chaleur entre deux fluides ne subissant pas de changement de phase, mais aussi pour condenser une vapeur où évaporer un liquide.

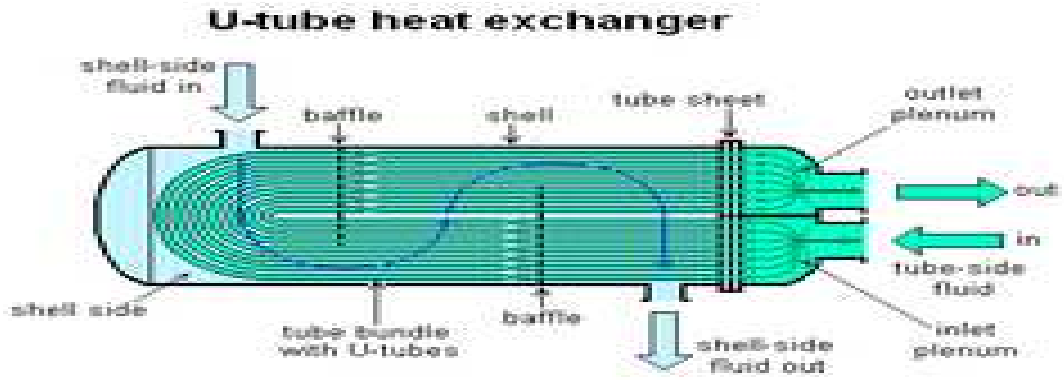


Figure 5 : Echangeur à tube en U.

Le modèle le plus simple se compose d'un tube ou d'une conduite placée concentriquement à l'intérieur d'un autre tube qui tient alors lieu d'enveloppe.

3.2- Échangeurs à courants croisés

Dans ce type d'échangeurs, l'un des fluides circule dans une série de tubes tandis que l'autre fluide circule perpendiculairement autour des tubes. Dans la plupart des cas, c'est un liquide qui circule dans les tubes tandis que c'est un gaz qui circule autour. Les tubes sont presque toujours munis d'ailettes qui permettent d'augmenter le flux de chaleur échangée en augmentant la surface d'échange. L'exemple type de ce modèle d'échangeur est le radiateur de refroidissement qu'on trouve à l'avant de la plupart des véhicules à moteur.

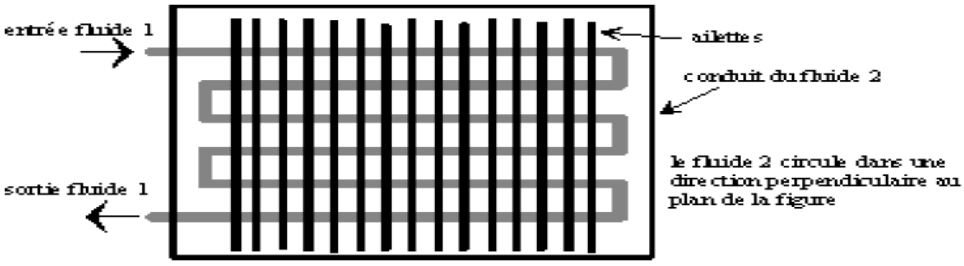


Figure 6 : Echangeur à courant croisé.

3.3- Échangeur Spiral

L'échangeur spiral est constitué d'une tôle enroulée autour d'un mandrin de façon à constituer un corps spiralé à deux canaux.

Les sont soudés sur un bord pour assurer l'étanchéité. L'appareil comporte deux couvercles fixés par crapauds de serrage de part et d'autre du corps spiralé.

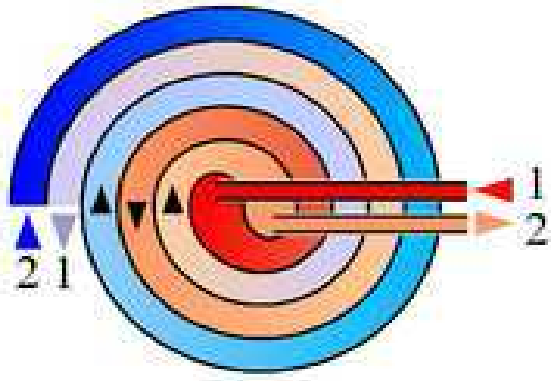


Figure 7 : Echangeur Spiral.

3.4- Échangeur 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.

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.

Le fluide se déplace, par exemple, du coin inférieur gauche vers le coin supérieur droit de la plaque, où un orifice lié à un tuyau lui permet de passer de l'autre côté de la plaque et de sauter une couche du millefeuille (un espace entre 2 plaques) avant de s'écouler à nouveau le long de la plaque suivante.

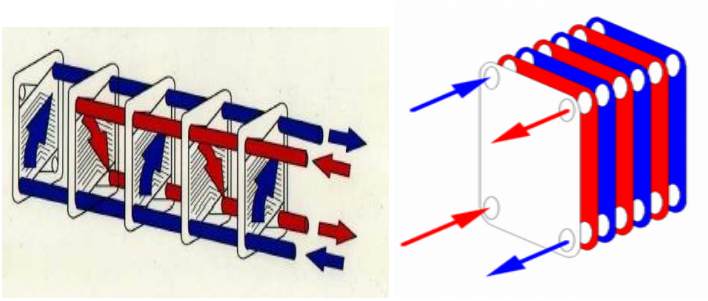


Figure 8 : Echangeurs à plaques.

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. Quatre types différents peuvent alors être définis :

- Encrassement particulaire.
- Corrosion.
- Entartrage.
- Encrassement par réaction chimique.

4.1- Encrassement particulaire

Il s'agit du dépôt puis de l'accumulation sur les surfaces d'échange de particules transportées par l'écoulement des fluides industriels :

- ✓ 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).
- ✓ les écoulements gazeux pouvant être fortement chargés de particules de poussières
- ✓ les fumées industrielles de résidus solides de combustion.

4.2- Corrosion

L'encrassement par corrosion est le résultat d'une réaction chimique ou électrochimique entre la surface de transfert de chaleur et le fluide en écoulement. Les produits de la réaction qui se forment et restent sur la surface d'échange créent l'encrassement.

4.3- Entartrage

Il est généralement associé à la production d'un solide cristallin à partir d'une solution liquide. Il dépend donc de la composition de l'eau industrielle.

L'entartrage peut se produire dans les échangeurs refroidis à l'eau, dans les unités de dessalement d'eau de mer ou saumâtre, dans les chaudières, dans les échangeurs de l'industrie agroalimentaire, dans les systèmes géothermiques. Il existe différentes méthodes de prévention de l'entartrage.

4.4- Encrassement par réaction chimique

On rencontre ce type d'encrassement quand une réaction chimique se produit près d'une surface d'échange et que les solides produits par la réaction s'y déposent. Cette réaction est souvent une polymérisation.

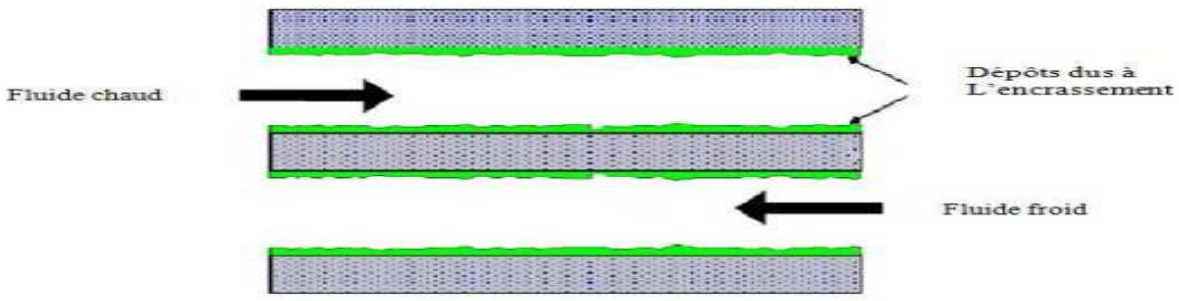


Figure 9 : schéma d'encrassement d'un échangeur.

Partie 3 : la mise en œuvre d'un SMEn pour l'élaboration des bilans thermiques et l'amélioration de l'efficacité énergétique

I. La norme ISO 50001

La norme ISO 50001, décrit les exigences et fournit des recommandations pour la mise en œuvre d'un système de management de l'énergie (SMEn). Elle est destinée à aider les organismes à développer une gestion méthodique de l'énergie notamment une baisse significative de leur facture énergétique (entre 5 et 22% d'énergie dans les entreprises énergivores, selon une étude de l'AIE).

1. Définition et but de la norme

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.

Elle 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.

C'est une norme de référence au niveau mondial dans ce domaine, intègre des exigences pour l'établissement d'une politique énergétique efficace.

Comme pour les autres normes ISO de systèmes de management, la certification selon l'ISO 50001 est une possibilité, mais pas une obligation. Certains utilisateurs décident de mettre en œuvre la norme simplement pour les avantages directs qu'elle procure, d'autres font le choix de la certification pour prouver à des tiers qu'ils mettent en œuvre un système de management de l'énergie.

- Norme internationale : ISO 50001(juin 2011).
- Titre : Systèmes de management de l'énergie – Exigences et recommandations de mise en œuvre.
- Objectif : Permettre à tout organisme de parvenir, par une gestion méthodique à l'amélioration continue de sa performance énergétique, laquelle inclut l'efficacité, l'usage et la consommation énergétiques.
- Contenu : Spécifie les exigences pour mettre en œuvre et améliorer un système de management de l'énergie dans le respect d'une politique énergétique et d'obligations légales auxquelles l'organisme doit se conformer.
- Caractéristique : N'établit pas de critères de performance spécifiques en matière d'energie.

2. Démarche de l'ISO 50001

L'ISO 50001 se fonde sur l'amélioration continue, un modèle de système de management que l'on retrouve dans d'autres normes bien connues, dont l'ISO 9001 et l'ISO 14001. Ainsi, il est plus facile pour un organisme, d'intégrer le management de l'énergie à l'ensemble des efforts qu'il met en œuvre pour améliorer son management de la qualité et son management environnemental.

ISO 50001 définit un cadre d'exigences pour que les organismes puissent :

- Élaborer une politique pour une utilisation plus efficace de l'énergie.
- Fixer des cibles et des objectifs pour mettre en œuvre la politique.
- S'appuyer sur des données pour mieux cerner l'usage et la consommation énergétiques.
- Prendre des décisions relatives.
- Mesurer les résultats.
- Examiner l'efficacité de la politique.
- Améliorer en continu le management de l'énergie.

2.1- Système de management de l'énergie

« Un système de management de l'énergie (SMEn) offre une approche concrète pour maîtriser ses consommations d'énergie et améliorer de façon continue sa performance énergétique ».
Le contexte international de l'énergie a d'ores et déjà conduit – voire contraint, de nombreuses entreprises à aborder le sujet de sa maîtrise, que ce soit en termes de consommation, de coût, d'usage ou d'efficacité énergétique.

Si le but final est recherché avant tout en termes de coût, il est également de plus en plus significatif de pouvoir arborer des performances environnementales avec des émissions de CO_2 ou un bilan carbone à la baisse.

De fait, la norme aborde l'ensemble de ces éléments dans son introduction. « La mise en œuvre de la norme internationale », a pour objectif de conduire à une diminution des émissions de gaz à effet de serre, des coûts liés à l'énergie et des autres impacts environnementaux associés, par la mise en œuvre méthodique du management de l'énergie.

2.2- Leviers pour la mise en œuvre d'un système de management de l'énergie

- SMEn et la directive sur l'efficacité énergétique :

La loi 16 juillet 2013 va obliger à partir de fin 2015 les grandes entreprises à réaliser, tous les 4 ans, un audit énergétique.

Extrait de l'art. 40 de la loi n° 2013-619 :

Les personnes morales immatriculées au registre du commerce et des sociétés ainsi que les personnes morales de droit privé mentionnées à l'article L. 612-1 du code de commerce dont le total du bilan, le chiffre d'affaires ou les effectifs excèdent des seuils fixés par décret en Conseil d'Etat sont tenues de réaliser, tous les quatre ans, un audit énergétique satisfaisant à des critères définis par voie réglementaire, établi de manière indépendante par des auditeurs reconnus compétents, des activités exercées par elles en France.

« Le premier audit est établi au plus tard le 5 décembre 2015. La personne morale assujettie transmet à l'autorité administrative les informations relatives à la mise en œuvre de cette obligation ».

- Bonification des CEE :

Afin d'accompagner et faciliter l'accès des organisations à la mise en œuvre d'un SMEn selon la norme ISO 50001, les pouvoirs publics ont jugé nécessaire de proposer une démarche progressive basée sur une certification en deux niveaux des exigences de la norme.

- Le niveau 1 : permet aux organismes de s'engager dans la démarche. Il donne lieu à une bonification de + 50 %. Il correspond à la mise en place des premières étapes d'un système de management de l'énergie selon l'ISO 50001, soit globalement les étapes correspondant à l'engagement de la direction et à la planification du système de management de l'énergie.

- Le niveau 2 : correspond à une certification selon la norme NF EN ISO 50001 du site industriel ou du bâtiment tertiaire. La certification pour le niveau 2 couvre ainsi l'ensemble des exigences de la norme. Le taux de bonification des certificats d'économie d'énergie est de + 100 %.

Cette certification donne lieu à l'émission d'un certificat ISO 50001. Tout comme pour le niveau 1, ce certificat est une des preuves à joindre au dossier de demande de certificats d'économie d'énergie.

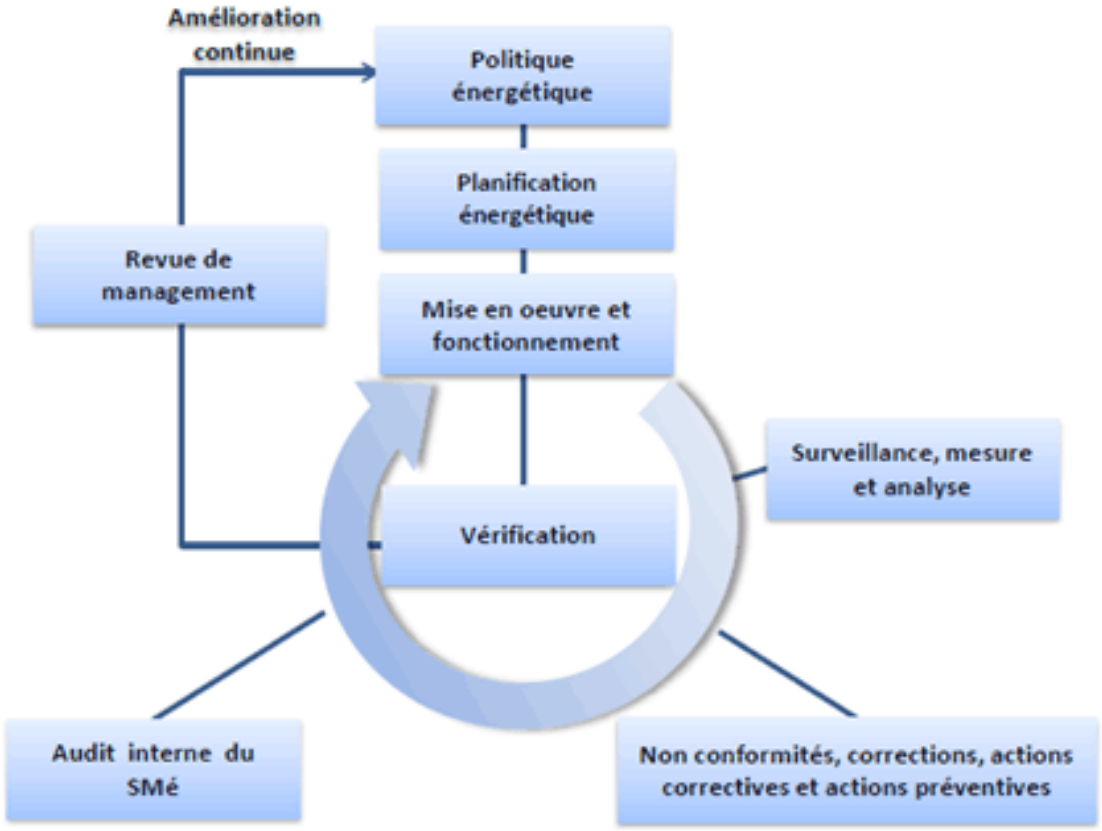


Figure 10: Modèle de système de management de l'énergie.

3. Cycle Plan-Do-Check-Act & Amélioration Continue

La structure de l'ISO 50001 est similaire à celle de la norme ISO 14001, et reprend le principe d'amélioration continue (PDCA) « Plan-Do-Check-Act » / « Planifier- Déployer les moyens- Contrôler- Ajuster ».

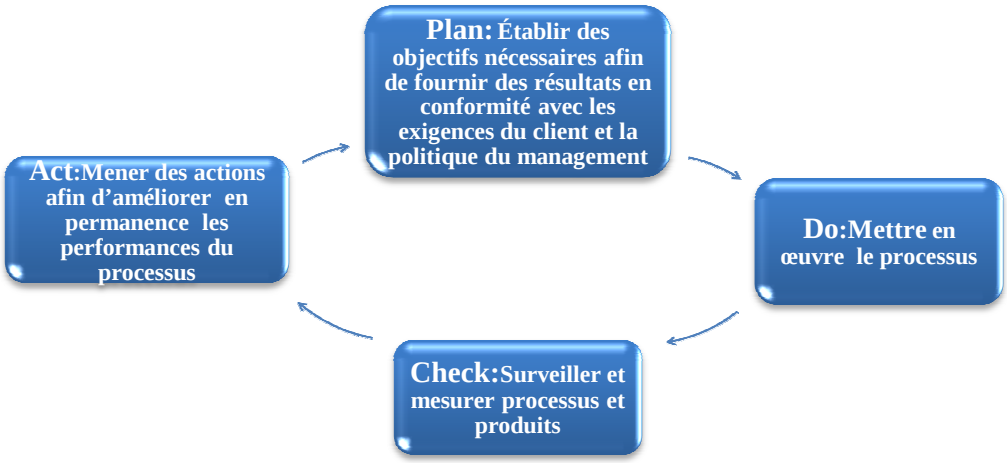


Figure11: Cycle « PDCA».

Cette approche peut être décrite succinctement comme suit :

3.1- Plan (Planifier)

Procéder à la revue énergétique, définir la consommation énergétique de référence et les indicateurs de performances énergétiques, définir les objectifs et cibles énergétiques.

3.2- Do (Déployer les moyens) :

Déployer les moyens nécessaires - techniques et humains- à l'application des plans d'action et autres éléments issus de la planification.

3.3- Check (Contrôler) :

Mesurer et analyser les caractéristiques clés des activités de l'organisme déterminant sa performance énergétique au regard de la politique et des objectifs énergétiques.

3.4- Act (Ajuster) :

Assurer l'amélioration continue de la performance énergétique à travers la mise en place de revues de management.

II. Mise en œuvre d'un SMEn au niveau de la station de traitement de la mélasse au sein du « Groupe LESAFFRE ».

La mise en œuvre d'un système de management de l'énergie conduit l'entreprise à fonctionner avec une sensibilisation importante de sa dépense énergétique, et c'est le cas pour le « Groupe LESAFFRE », en ce sens l'application de ce SMEn au niveau de la chaine de production et plus précisément au niveau de la station de traitement de la mélasse, est l'objectif de mon projet de fin d'étude.

1. Etablissement de la politique énergétique et application de SMEn au niveau de la station de traitement de la mélasse

La politique énergétique est la première étape que l'organisme doit réaliser pour accéder à l'établissement du système de management de l'énergie, et c'est le cas pour le groupe LESAFFRE. Notre travail s'introduit par une revue énergétique du périmètre préoccupé par cette étude.

Nous allons déterminer les bilans thermiques des différentes étapes de préparation de la mélasse, (depuis La dilution, passant par la stérilisation et les échangeurs mélasse/mélasse et mélasse/eau), afin de mettre en œuvre le SMEn selon l'approche « PDCA ».

Application de l'approche « PDCA » :

1.1- Planifier

La finalité d'un SMEn consiste à parvenir à une amélioration de la performance énergétique du groupe à partir d'une gestion méthodique de l'énergie, considérant que la station de traitement de la mélasse est l'unité la plus consommatrice de l'énergie et au niveau de la quelle existe une grande partie des pertes énergétiques.

1.1.1 Domaine d'application :

Le domaine d'application de la démarche est limité au niveau de la station de traitement de la mélasse, et surtout les étapes les plus consommatrices de l'énergie telle que :

- La dilution de la mélasse.

- La stérilisation.

- La préparation des pieds des fermenteurs.

1.1.2 Constitution d'une équipe de management de l'énergie

Les stratégies qui influent sur les consommations énergétiques concernent différents niveaux dans l'entreprise. La constitution d'une « Equipe Energie » (EE) facilite l'intégration du management énergétique en instaurant une implication de tous les acteurs influents.

Au-delà de ses missions de planification et de mise en œuvre des actions d'amélioration, la constitution d'une telle équipe facilite la communication avec les employés et les autres parties prenantes.

Notre EE est constituée de 3 membres :

Tableau1 : Membres de l'équipe énergie.

Responsable énergie (chef de projet)	Mr. H ELFADLI
Responsable QSE (Qualité-Sécurité-Environnement)	Mr. S FERDAOUISSI
Assistant chef de projet	Hanae ELOTMANI

1.1.3 Objectifs et cibles

Les objectifs attendus de cette mise en œuvre sont:

- Economiser l'utilisation énergétique au cours de production de la levure.
- Récupération de l'énergie perdue, et la réutiliser pour chauffer l'eau destinée à d'autre utilisation (dilution, fermentation).
- Protection de l'environnement par réduction de libération des gaz à effet de serre.
- Assurer une amélioration continue de ce SMEn : optimisation et modélisation des échangeurs.
- Diminution des couts de production.
- Assurer un gain économique.

1.1.4 Documentation des usages énergétiques

La documentation des usages énergétiques est faite pour chaque source identifiée, c'est rassembler les informations permettant de déterminer l'usage final de l'énergie consommée.

Durant toute la période de notre suivi, les données obtenues sont enregistrées sur des documents (fiches de suivi), selon la date ainsi que la correspondance des données entre elles (Annexes).

1.1.5 Consommation de référence

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

- Dilution de la mélasse :

La consommation journalière moyenne de la mélasse, et de l'eau est déterminée selon un suivi (annexe2).

Tableau2 : Moyennes de suivi de la consommation journalière de la mélasse et de l'eau pour la consommation de référence.

	Consommation journalière en :				
Débit	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.

Tableau3 : Moyennes de suivi des paramètres de dilution pour la consommation de référence.

T° moyenne (°C): Mélasse froide	**T° moyenne (°C) : Eau froide**	**q_v (m3/h)**
25.6	22.5	12.105

La première étape de traitement de la mélasse est la dilution de cette dernière qu'a 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 :

$$\mathrm{Ti} = \frac{(\text{volume eau} \times \text{T eau}) + (\text{volume melasse} \times \text{T melasse})}{\text{volume total}}$$

AN : $Ti = \frac{(52360.1 \times 22.5) + (91959.24 \times 25.6)}{144319.34} = 24.47°C.$

La quantité de chaleur que le mélange a besoin pour augmenter sa température de 24.47 °C à 55°C est : $\Phi = m \times C_p \times \Delta T$

Avec :

- ✓ m : débit massique de mélange de dilution, kg/h.

$$\text{débit massique}\left(\frac{kg}{h}\right) = \text{débit volumique}\left(\frac{m3}{h}\right) \times \text{masse volumique}\left(\frac{kg}{m3}\right)$$

La masse volumique de mélange : $\rho = (\%\ \text{eau} \times \rho_{eau}) + (\%\ \text{mélasse} \times \rho_{mélasse})$

$= (0.36 \times 1000) + (0.64 \times 1045) = 1028.8\ kg/m^3.$

$\underline{\rho = 1028.8\ kg/\ m^3.}$

- ✓ Cp : Chaleur massique de mélange, kcal/kg. °C.

Chaleur massique de mélange : $C_P = (\%\ \text{eau} \times C_{P\ eau}) + (\%\ \text{mélasse} \times C_{P\ mélasse})$

$= (0.36 \times 0.93) + (0.64 \times 0.85) = \underline{0.88\ kcal/kg.°C.}$

$\underline{C_P = 0.88\ kcal/kg.°C = 3.68\ kJ/kg.°C}$ (sachant que : 1kcal = 4.18 kJ)

- ✓ ΔT : Différence de température.

Alors : $\Phi = m \times Cp \times \Delta T$

S'écrit comme : $\Phi = qv \times \rho \times Cp \times \Delta T$

AN : $\Phi = 12.105 \times 1028.8 \times 3{,}68 \times (55 - 24.47)$

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

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

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

- Stérilisation :

La quantité de chaleur nécessaire pour stérilisé la MDC :

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

$$\Phi = qv \times \rho \times Cp \times \Delta T$$

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: $16 \times 3.289 \times 10^6 \Longrightarrow \boxed{\Phi = 52.624 \times 10^6 \text{kJ}}$

- Préparation des pieds de cuves :

Un pied de cuve, également appelé « starter de levure », nous permet de préparer nos levures avant de les ensemencer 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 d'un pied de cuve de $53m^3$,90 m^3et $95m^3$, la température finale de chaque fermenteur est affichée sur un automate au niveau de la salle de contrôle (annexe 4).

Les températures moyennes de ces 3 fermenteurs :

Tableau4 : Moyennes de suivi des températures de l'eau dans les fermenteurs.

	Fermenteur 1 ($53m^3$)	**Fermenteur 2 ($90m^3$)**	**Fermenteur 3 ($95m^3$)**
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 :

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

Avec :

- ✓ m = débit massique de l'eau (kg/h).

$$m = q_v \times \rho_{eau} \qquad \text{avec : } \rho_{eau} = 1000 \text{kg /m3}$$

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

- ✓ Cp de l'eau = 0.93 kcal/kg.°C = <u>3.887 kJ/kg.°C</u> .
- ✓ ΔT = la différence de température entre l'eau froide et celle dans le fermenteur (°C).

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

$\Phi_1 = 2.343 \times 10^6$ kJ $\Longrightarrow$ 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 :

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

$\Phi_2 = 3.198\times 10^6$ kJ.

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

$\Phi_3 = 3.220\times 10^6$ kJ.

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

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

La consommation de référence recherchée est celle consommée durant une journée.

1.2- Déployer les moyens

En vue de la consommation extensive de l'énergie par la société, l'équipe énergie a déterminée des plans d'actions pour atteindre les cibles et les objectifs fixés.

Le plan d'action est une feuille de route qui décrit les responsabilités, les taches, les ressources, et les échéances des actions à mettre en œuvre.

Les différentes actions qui peuvent avoir lieu :

- ✓ Actions sur le plan managérial : sensibilisation du personnel, amélioration de la gestion de l'énergie (ajustement des températures ambiantes par exemples).
- ✓ Actions sur le plan technique : optimisation et automatisation des règles, optimisation du plan de maintenance préventive, remplacement ou mise en place du matériel à investissement faible.

1.2.1 Indicateurs de performance énergétique (IPE)

L'organisme doit s'assurer que les caractéristiques essentielles de son fonctionnement qui déterminent la performance énergétique sont surveillées, mesurées et analysées à l'intervalle planifié.

Les IPE peuvent revêtir les formes d'un paramètre simple, un ratio simple ou d'un modèle plus complexe, ils peuvent aussi inclure la consommation énergétique par période, par unité de production ou des modèles à plusieurs variables car la performance énergétique constitue un enjeu stratégique pour la vie du groupe et de leurs employés.

Les indicateurs de performance énergétique que nous avons pris en considération pour nous informer sur la performance énergétique associée au fonctionnement des échangeurs sont :

Indicateurs directs :

- ✓ les débits de : la MDC, la MDCS, l'eau chaude, la mélasse de canne, la mélasse de betterave.
- ✓ Les températures de : l'eau froide, l'eau chaude, la mélasse, la MDCS, la MDCS à l'entrée et la sortie de chaque un des deux échangeurs et des fermenteurs.

Indicateurs indirects :

- ✓ Détermination des flux de chaleur, les débits massiques, puissance des échangeurs ainsi que leurs coefficients d'échange.

1.2.2 Plan d'action

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 couts.

L'établissement des bilans thermiques pour chaque un des deux échangeurs, ainsi que les flux et les débits qui sont des outils primordiaux pour la qualification de ces derniers, faire une analyse comparative de la performance énergétique de la station en présence et en absence des échangeurs.

L'amélioration continue de ce système de management de l'énergie est fondée sur l'optimisation des échangeurs utilisés par le redimensionnements et nettoyage, pour garantir l'atteinte des objectifs ciblés.

L'étude économique sera le fruit de notre travail, il sert à évaluer les gains, quantification monétaire et proposer des recommandations afin d'assurer une économisassions sur tous les niveaux : énergétique, économique et environnemental.

1.3- Contrôler

La phase de surveillance et de contrôle est une formalisation du plan de comptage définit antérieurement, elle s'appuie sur les données concernant la consommation initiale et la consommation attendue, les usages énergétiques significatifs et les indicateurs de performances énergétiques.

1.3.1 Mesure et surveillance des processus qui détermine la performance énergétique au regard de la politique et des objectifs énergétique.

Le bilan thermique est notre outil pour nous assurer que le fonctionnement des échangeurs est réalisé de façon optimale sur le plan énergétique, établir les bilans thermique des deux échangeurs GEA-1(mélasse-mélasse) et GEA-2 (mélasse-eau) est l'objet de cette surveillance.

✓ Bilan thermique de l'échangeur à plaques GEA-1 (mélasse-mélasse) :

- Profil de température :

La mélasse chaude entre d'un coté des plaques de l'échangeur à une température d'environ 126°C, la température de la mélasse froide qui entre de l'autre coté augmente de 55°C à 63°C.

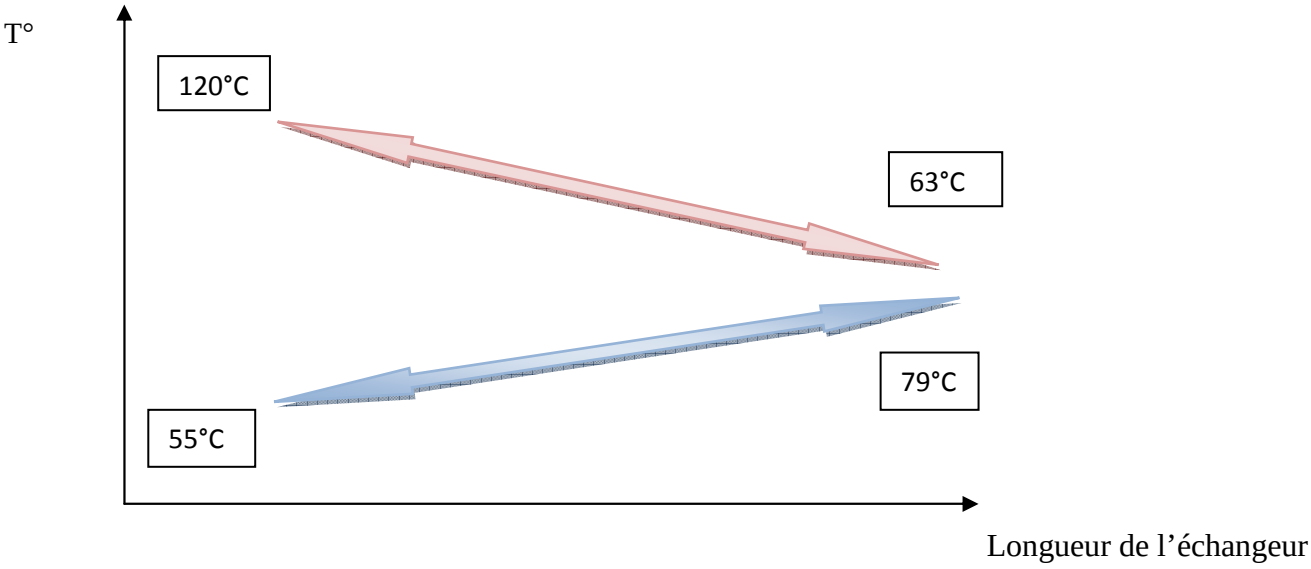


Figure 12: Evolution de la température au sein du 1er échangeur

- Estimation de débit :

Pour estimer le débit de la mélasse, nous avons supposés que le flux de chaleur cédé par la mélasse chaude est transmis entièrement à la mélasse froide (annexe 5) :

Soit Φ : Flux de chaleur perdu par la mélasse chaude.

$$\Phi = m \times C_p \times \Delta T = m \times C_p \times (T_s - T_e)$$

Et Φ' : Flux de chaleur gagné par La mélasse froide.

$$\Phi' = m' \times C_p' \times \Delta T' = m' \times C_p' \times (T_s' - T_e')$$

On néglige les pertes thermiques :

$$\boldsymbol{\Phi' = \Phi}$$

$$\Longrightarrow \quad m \times C_p \times (T_s - T_e) = m' \times C_p' \times (T_s' - T_e')$$

$$\Longrightarrow \quad m'_{=} \quad \frac{m \times \cancel{C_p} \times (T_s - T_e)}{\cancel{C_p}' \times (T_s' - T_e')}$$

$$m' = \frac{m \times (Te - Ts)}{(Ts' - Te')}$$

On a: $m = \rho.q_v = 1045\ kg/m^3 \times 13.763\ m3 / h$, $m = 14382.335\ kg/h$.

Avec :

- $C_p = 0{,}85$ kcal/kg. °c ; - $C_p' = 0{,}85$ kcal/kg.°c
- $m = 14382.35$ kg/h ; - $\rho = \rho' = 1045\ kg/m^3$
- $T_e' = 55°C$; - $T_s' = 63.076\ °C$
- $T_e = 126.769°C$; - $T_s = 79°C$

AN :

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

$$\boxed{m'_{=} 85070.55\ kg/h}$$

Le débit volumique de la mélasse froide est donné par :

$$Q' = \frac{m'}{\rho'} = \frac{85070.55}{1045}$$

$$\boxed{Q' = 81.40\ m^3/h}$$

- Puissance de l'échangeur :

$$P_{échg\text{-}1}\ (kW) = \frac{Cp \times m \times (Ts' - Te')}{\text{durée de cycle}}$$

Avec : - $C_p = 0{,}85$ kcal/kg.°c = 3,553 kJ/kg.°c ; (1cal= 4.18J)

- m = quantité de mélasse qui traverse l'échangeur ; $m = m' = 14382.335\ kg/h$
- $T_e' = 55°C$ =Température d'entrée de la mélasse froide.
- $T_s' = 63.076°C$= Température de sortie de la mélasse froide.
- Durée de cycle = 1h = 3600s.

A.N :

$$P_{échg\text{-}1} = \frac{3.553 \times 14382.33 \times (63.076 - 55)}{3600}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{P_{échg\text{-}1} = 114.635\ kW}$$

D'après ces calculs nous constatons que, pour chauffer la mélasse froide de 55°C à 63,076°C, l'échangeur a besoin d'une puissance de 114..635 kW.

- Calcul des flux :

Le flux de chaleur est donnée par :

Φ : flux de chaleur cédé par la mélasse chaude :

$$\Phi = m \times C_p \times \Delta T = m \times C_p \times (T_e - T_s)$$

AN : $\Phi = 14382.35 \times 0.85 \times 4.18 \times (126.769-79)$

$$\boxed{\Phi = 2441.02 \times 103 \text{ kJ/h}}$$

Φ' : flux de chaleur gagné par la mélasse froide :

$$\Phi' = m' \times C_p' \times \Delta T' = m' \times C_p' \times (T_s' - T_e')$$

AN : $\Phi' = 85070.55 \times 0.85 \times 4.18 \times (63.076-55)$

$$\boxed{\Phi' = 2441.016 \times 10^3 \text{ kJ/h}}$$

- Coefficient d'échange :

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 (annexe 6).

Le calcul est effectué suivant la méthode des Différences de Températures Logarithme Moyennes (DTLM) (annexe 7).

L'objectif consiste alors à déterminer :

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

Le coefficient d'échange est calculé par la formule suivante : $K = \frac{\Phi c}{S\,éch \times \Delta Tlm}$

Avec :

Φ : flux d'échange en W.

$S_{éch}$: surface d'échange en m².

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

K : coefficient d'échange en w/ m^2. °C $\Rightarrow$ K (constructeur) = 978,53 w/ m2.°C

Avec : $T_{lm} = \frac{\Delta T2 - \Delta T1}{\ln(\frac{\Delta T2}{\Delta T1})}$

$$\Delta T_1 = (T_{e\text{-}ch} - T_{s\text{-}f}) \quad \text{et} \quad \Delta T_2 = (T_{s\text{-}ch} - T_{e\text{-}f})$$

$$\Delta T_1 = (126.769-63.076) \quad \text{et} \quad \Delta T_2 = (79-55)$$

AN : $$\Delta T_{lm} = \frac{(79-55)-(126.769-63.076)}{\ln(\frac{79-55}{126.769-63.076})}$$

$$\boxed{\Delta T_{lm} = 40.67°C}$$

On déduit la surface d'échange :

$$S_{éch} = \frac{\Phi c}{K(constructeur)\times \Delta Tlm}$$

Avec : K_{constr} = 984,86 W/m^2. °C ; $\Phi c = 678061.11W$.

AN : $$S_{éch} = \frac{678061.11}{984.86\times 41}$$

$$\boxed{S_{éch} = 16.92\ m^2} \quad \Rightarrow \quad K = \frac{\Phi c}{Séch\times \Delta Tlm}$$

AN : $$K = \frac{678061.11}{16.80\times 41}$$

$$\boxed{K = 984.86\ W/m^2.°C}$$

L'évolution de coefficient d'échange en fonction de temps nous a permis de tracer la courbe suivante (Figure :13). (Les données brutes sont présentées dans l'annexe : 6).

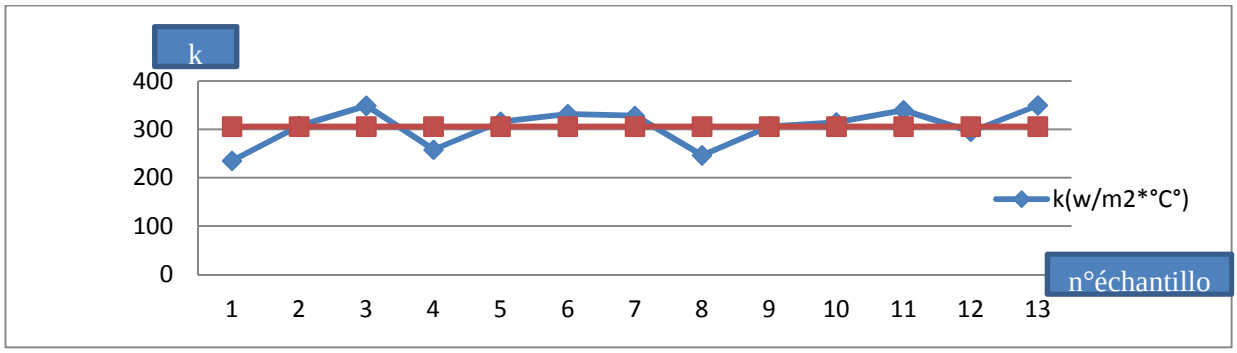


Figure13 : Evolution du K de l'échangeur de type GEA2 (mélasse-mélasse).

Interprétation :

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.

- 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 :

$$\eta = \frac{Km}{Kconstr}$$

AN :

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

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

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

Comme nous l'avons fait pour le premier échangeur à plaques types GEA-1(mélasse-mélasse) les mêmes calculs ont été réalisés pour le deuxième échangeur à plaques de type GEA-2(mélasse-eau) (annexes : 8,9).

Les résultats sont présentés par la figure suivante (Figure : 14).

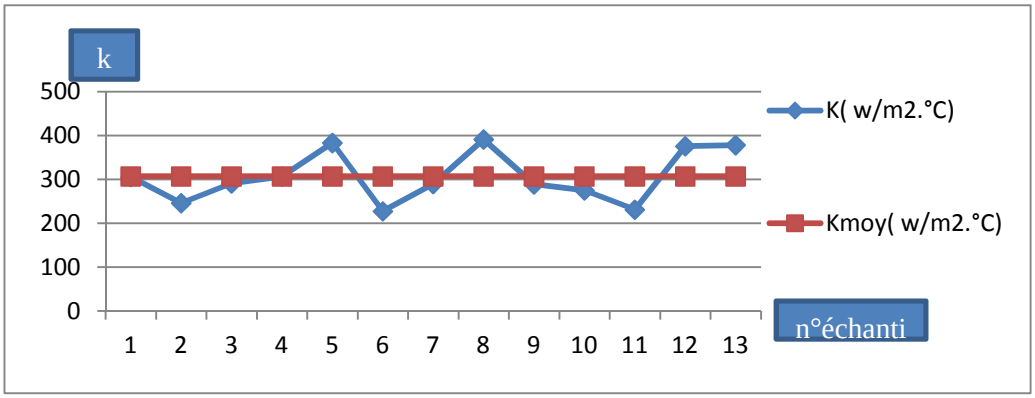


Figure14 : Evolution du K de l'échangeur de type GEA-2 (mélasse-eau).

Interprétation :

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.

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.

1.3.2 Consommation actuelle d'énergie

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 référence, 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.

- 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 (annexe 2).

Tableau5: Moyennes de suivi de la consommation journalière de la mélasse et de l'eau pour la consommation actuelle.

	Consommation journalière en :				
Débit	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.

Tableau6 : Suivi des paramètres de dilution pour la consommation actuelle.

T° moyenne (°C): Mélasse froide	T° moyenne (°C) : Eau chaude	$q_{v\text{- MDC}}$ (m^3/h)
25.6	45.923	12.105

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

$$Ti = \frac{(\text{volume eau} \times \text{T eau}) + (\text{volume melasse} \times \text{T melasse})}{\text{volume total}}$$

AN : $$T_i = \frac{(52360.1 \times 45.9) + (91959.24 \times 25.6)}{144319.34} = 32.96°C.$$

La quantité de chaleur que le mélange a besoin pour augmenter sa température de 32.96 °C à 55°C est : $\Phi = m \times C_p \times \Delta T$

S'écrit comme : $\Phi = qv \times \rho \times Cp \times \Delta T$

Avec : La masse volumique de mélange : $\rho = 1028.8$ kg/ m^3.

Chaleur massique de mélange : C_P = 0.88 kcal/kg.°C = 3.68kj/kg.°C.

AN : $\Phi = 12.105 \times 1028.8 \text{x } 3{,}68 \text{ x } (55-32.96)$

$\boxed{\Phi = 1.01 \times 10^6 \text{kJ/h}}$

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

Alors Φ consommée pour la dilution par jour est : $16 \times 1.01 \times 10^6 \Longrightarrow \boxed{\Phi = 16.16 \times 10^6 \text{ kJ}}$

- Stérilisation :

La quantité de chaleur nécessaire pour stérilisé la MDC :

$$\Phi = m \text{ x } C_p \text{ x } \Delta T$$

En présence de l'échangeur-1 à la sortie de stérilisateur, la mélasse stérilisée fournie une quantité de chaleur au MDC avant que cette dernière rentre dans le stérilisateur pour subir au traitement thermique. La température moyenne de la MDC est de 63.076°C ≅ 63.1°C (annexe 5).

$$\Phi = qv \times \rho \times Cp \times \Delta T$$

AN : $\Phi = 12.105 \times 1028.8 \text{ x } 3{,}68 \text{ x } (126.769-63.1)$

$\Phi = 2.918 \times 10^6 \text{kJ/h.}$

Alors Φ consommé pour la stérilisation par jour est: $16 \times 2.918 \times 10^6 \Longrightarrow \boxed{\Phi = 46.688 \times 10^6 \text{kJ}}$

- Préparation des pieds de cuves :

Les températures moyennes de ces 3 fermenteurs :

Tableau7 : Températures moyennes de l'eau dans les fermenteurs.

	Fermenteur1 (53 m^3)	Fermenteur2 (90 m^3)	Fermenteur3 (95 m^3)
T° moyenne (°C)	33.875	31.643	31.222

Lors du procédé, chacun de ces fermenteurs s'alimente à des volumes fixes en eau froide et eau chaude.

Tableau8 : Alimentation des fermenteurs en eau chaude et froide.

	Fermenteur1 (53 m^3)	Fermenteur2 (90 m^3)	Fermenteur3 (95 m^3)
Eau froide (m^3)	29	50	53
Eau chaude (m^3)	24	40	42

Et de la même façon, nous calculons la température de l'eau tiède (mélange eau froide et eau chaude).

Avec : T° eau chaude = 45.9°C et T° eau froide = 22.5°C.

- ✓ Pour le premier fermenteur :

$$Ti = \frac{(\text{volume eau froide} \times T° \text{ eau froide}) + (\text{volume eau chaude} \times T° \text{eau chaude})}{\text{volume total de fermenteur}}$$

AN : $Ti = \frac{(29 \times 22.5) + (24 \times 45.9)}{53} = \underline{33.09°C}$

Idem pour les deux autres fermenteurs :

- ✓ Fermenteur 2 :

$Ti = \frac{(50 \times 22.5) + (40 \times 45.9)}{90} = \underline{32.9°C}$

- ✓ Fermenteur 3 :

$Ti = \frac{(53 \times 22.5) + (42 \times 45.9)}{95} = \underline{32.85°C}$

Interprétation :

D'après les résultats obtenus, nous déduisons que l'eau utilisée au niveau des fermenteurs n'a plus besoin d'être chauffée en présence de l'échangeur-2, car le mélange de l'eau chaude et froide donne une température de 32 à 33 °C ce qui est affiché sur les automates dans la salle de contrôle des fermenteurs.

1.3.3 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 m^3/h.

Ce qui donne une production de : $16 \times 17.22 = \underline{275.52\ m^3/jr}$

Ce chiffre, sera par la suite destiné à l'utilisation dans de procédé de production de la levure : dilution de la mélasse, préparation des pieds de cuve et la dilution de la soude (utilisé pour le nettoyage des installations) (Figure : 15).

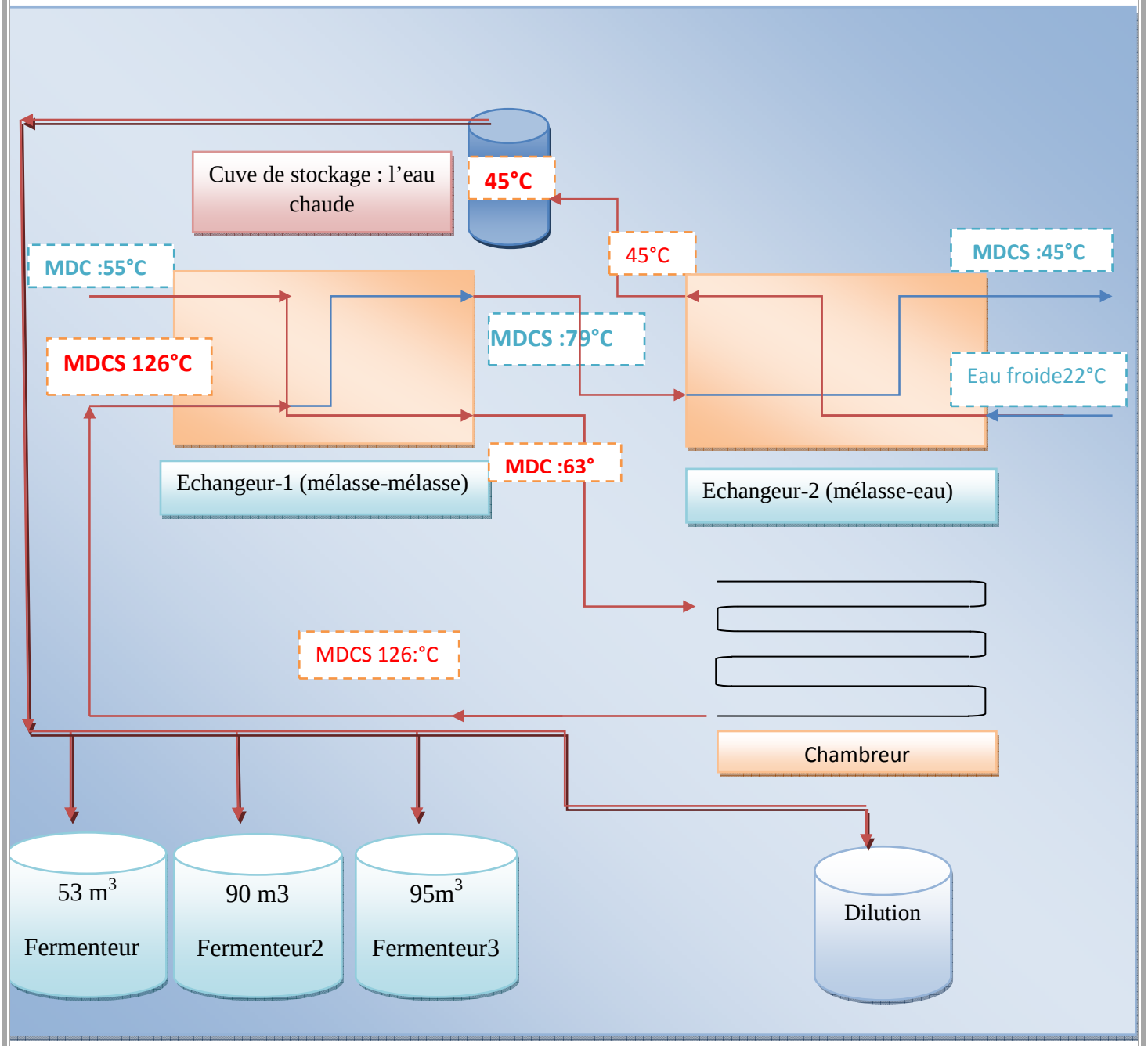


Figure 15 : Schéma représentatif de la répartition de l'eau chaude.

1.4- Ajuster :

La revue de management doit permettre de vérifier, à intervalle régulier, que le SMEn reste efficace et conforme aux cibles. La revue de management permet de boucler le processus PDCA en ajustant ou en redéfinissant si nécessaire les différents éléments constitutifs de la démarche ainsi que de mener les actions permettant d'améliorer le système énergétique et garantir l'attente des objectifs fixés.

1.4.1 Analyse de l'état actuel de l'échangeur

Afin d'effectuer une analyse de l'état actuel des échangeurs de chaleur, on a eu recours au :

- ✓ Diagramme ISHIKAWA :

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

Matière : variation de débit, variation de température.

Matériel : surfaces d'échange des échangeurs insuffisantes.

Méthodes : mauvaise répartition de la consommation de vapeur, manque de rinçage des équipements.

Main-d'œuvre : qualification des personnels insuffisante.

Milieu : température, humidité.

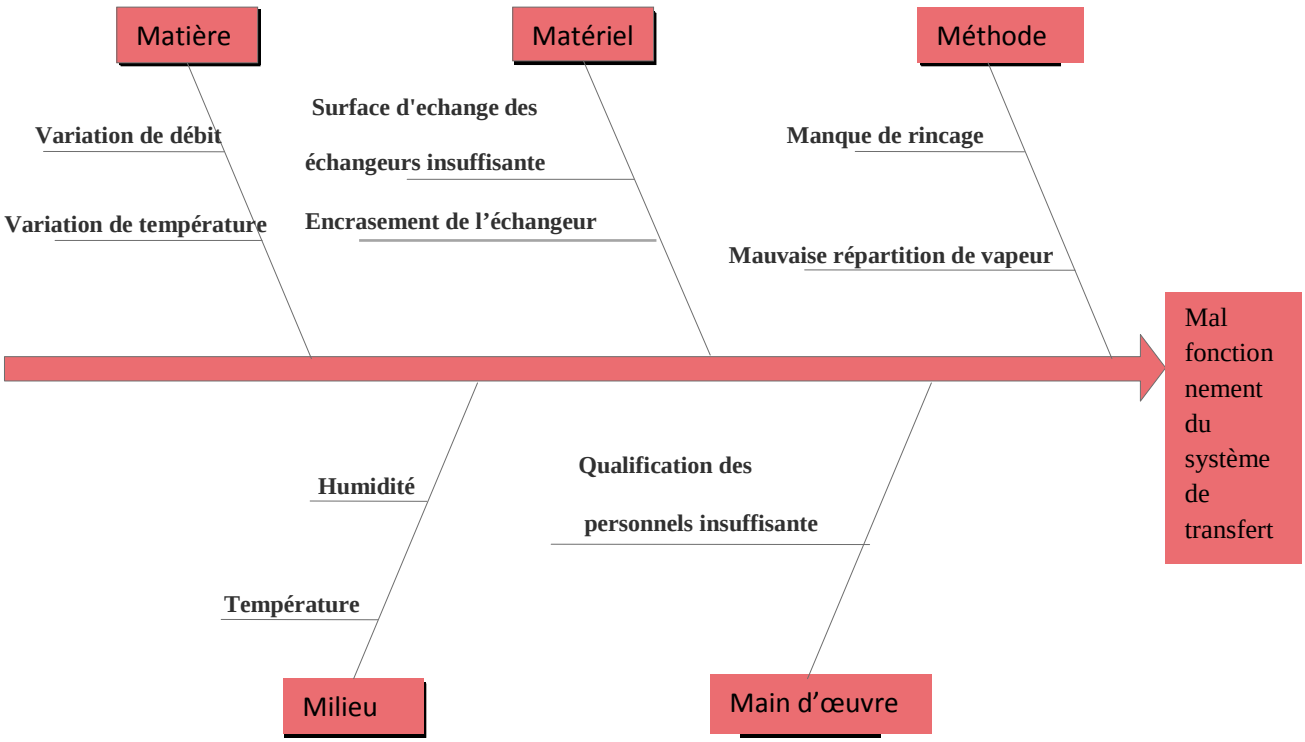


Figure16 : Diagramme d'ISHIKAWA illustrant les causes de mal fonctionnement des échangeurs.

1.4.2 Plan d'action sur les échangeurs

- Description :

Le projet consiste à augmenter la surface d'échanges du 1ère échangeur afin d'augmenter la température de la mélasse froide et refroidir la mélasse stérilisée. Cette amélioration permettra de perfectionner la rentabilité des échangeurs.

- Redimensionnement des échangeurs :

- Echangeur-1 : 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.

- Echangeur-2 : 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 : 17) illustre le fonctionnement des échangeurs pour l'obtention des températures ciblées au niveau de chacun de ces derniers.

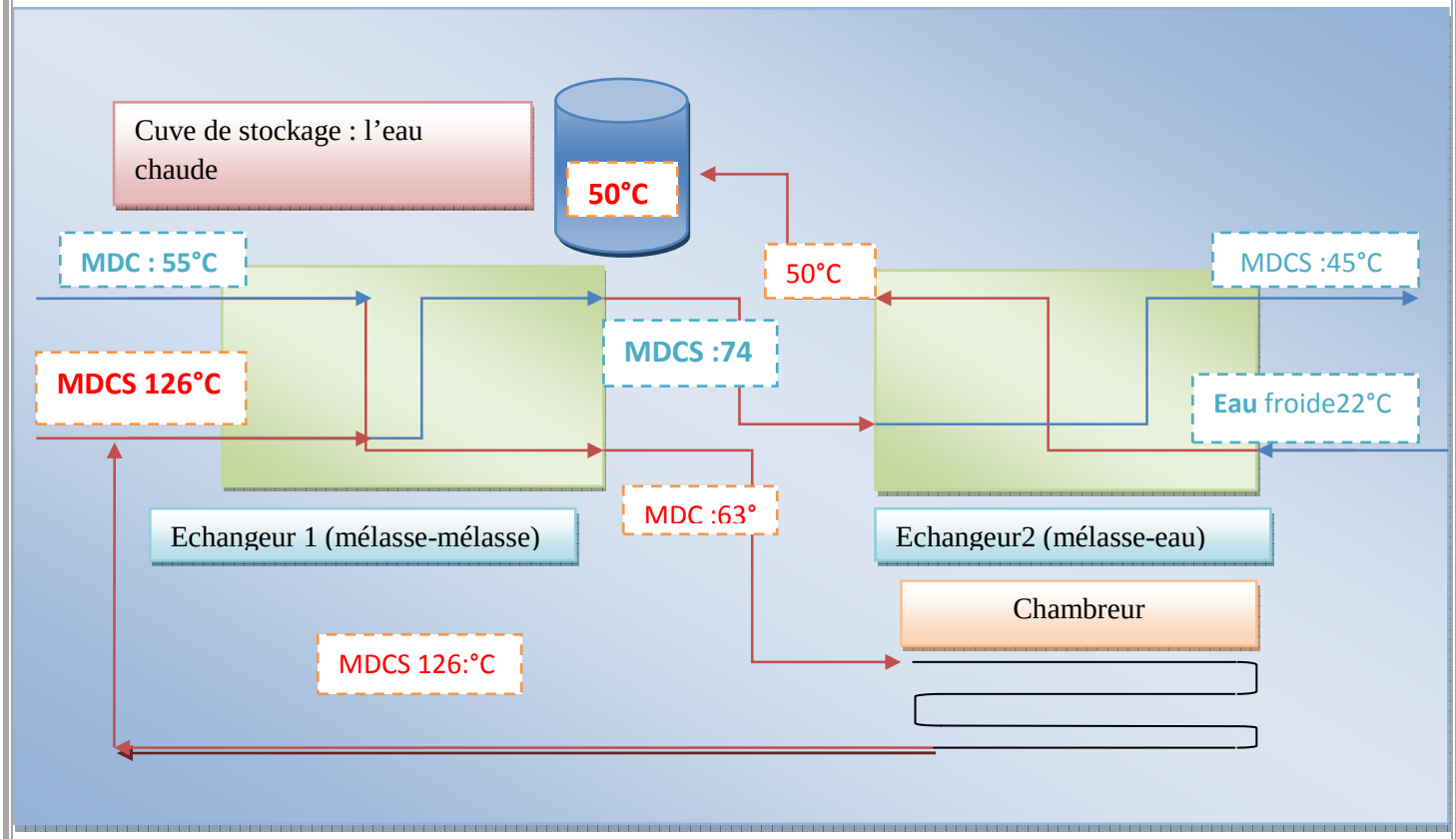


Figure17 : Schéma représentatif des nouvelles températures voulues.

1.4.3 Méthodologie de calcul

✓ Echangeur-1 (mélasse-mélasse) :

Pour que l'échangeur-1 soit capable de refroidir la MDCS de 126.76°C à 74°C au lieu de 79°C, il a besoin d'une nouvelle surface d'échange.

La nouvelle surface d'échange est donc :

$$S' = \frac{\Phi c}{K \times \Delta Tlm'} = \frac{m \times Cp \times (Te.ch - T's.ch)}{K \times \Delta Tlm'}$$

Avec :

- S' : la nouvelle surface total d'échange.
- m : Débit massique de la mélasse froide est de 14379.2 kg /h.
- C_p : La chaleur spécifique massique de la mélasse froide est de 0.85kcal /°C. kg.
- $T'_{s\text{-}ch}$: la nouvelle T° de la mélasse chaude à la sortie de l'échangeur est de 74 °C.
- $T_{e\text{-}ch}$: 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 : $$S' = \frac{14379.2 \times 0.85 \times 4.18 \times 10\text{^}3 \times (126.76 - 74)}{306.14 \times 36.73}$$

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

On déduit le nombre N'' de plaques à 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

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

Donc pour atteindre une température de74 °C de la mélasse refroidie à la sortie du 1er échangeur, il faut ajouter 24 plaques.

✓ Echangeur GEA-2 (mélasse-eau) :

Pour que l'échangeur-2 soit capable de chauffer l'eau de 22.5 à 50°C au lieu de 45.9 °C, il a besoin d'une nouvelle surface d'échange.

Pour ce but nous avons procédé à la même méthode de calcul que l'échangeur-1.

1.4.4 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 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.

- Encrassement particulaire : c'est l'accumulation des dépôts des particules transportés par l'écoulement des fluides industriels sur les surfaces d'échange.
- 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).

Chez la société LESAFFRE, le nettoyage de l'échangeur par des produits chimiques est déconseillé, vu la faible épaisseur des plaques, elles peuvent se détériorer en formant des fissures qui se propagent par la suite.

La meilleure solution est le nettoyage régulier des plaques en utilisant l'eau chaude et en inversant le débit, comme la montre la figure ci-dessous :

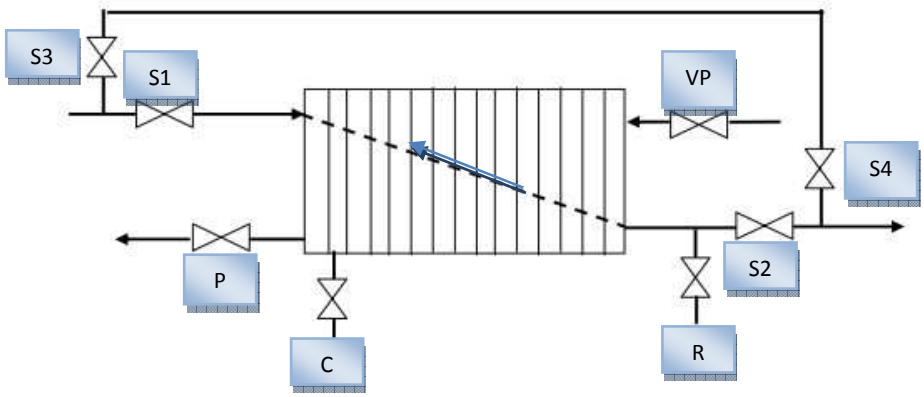


Figure18 : Principe de nettoyage des échangeurs par l'eau chaude.

- VP : entrée vapeur
- R : vanne de rinçage par eau chaude
- C : sortie condensat
- P : purge
- S1, S3: entrée solution et S2, S4: sortie solution

Le principe de nettoyage consiste à fermer les vannes d'entrée de la solution S1, S3 ainsi que la vanne d'entrée de la vapeur, puis ouvrir la vanne de rinçage R à contre courant de l'entrée de la mélasse refroidie.

III. Résultats

Les résultats d'application de la démarche sont les suivants :

1. Consommation de référence

D'après les calculs effectués ci- dessus, ils ressort que les quantités de chaleur nécessaires pour chauffer le mélange de dilution, pour la stérilisation et pour préparer les pieds de cuve sont respectivement de 22.4×10^6kJ, 52.624×10^6kJ, et 8.761×10^6kJ.

Donc la consommation journalière de l'énergie de la station de traitement de la mélasse est égale à :

$\Phi = 83.785\times10^6$Kj

2. Bilan thermique de l'échangeur-1 (mélasse-mélasse)

Les résultats de ce bilan sont résumées dan le tableau 9 :

Tableau9 : Résultats du bilan thermique de l'échangeur GEA-1.

Profil de température	De 120 à 79 et de 55 à 63 °C
m'	85070.55 kg/h
Q'	81.40 m^3/h
$P_{échg1}$	114.635 kW
Φ_c	2441.02×10^3 kJ/h
Φ'_c	2441.016×10^3 kJ/h
ΔT_{lm}	40.67°C
$S_{éch}$	16.92 m^2
K	984.86 W/ m^2.°C
η	45%

3. Bilan thermique de l'échangeur -2 (mélasse-eau)

Les résultats de ce bilan sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau10 : Résultats du bilan thermique de l'échangeur GEA-2.

m'	18867.34 kg/h
Q'	18.054 m^3/h
$P_{échg1}$	553.46 kW
Φ_c	1709.3×10^3 kJ/h
Φ'_c	1708.9×10^3 kJ/h
ΔT_{lm}	28 °C
$S_{éch}$	m^2
K	306.9 W/ m^2.°C
η	45%

4. Consommation actuelle

Comme nous l'avons dit ci-dessus, les quantités de chaleur nécessaires pour chauffer le mélange de dilution, la stérilisation et pour préparer les pieds de cuve sont respectivement de 16.16×10^6kJ, 46.688×10^6kJ, alors que les pieds de cuve n'ont besoin d'aucune quantité de chaleur.

D'où, la consommation journalière de l'énergie de la station de traitement de la mélasse est égale à :

$\Phi = 62.848\times10^6$kJ

5. Plan d'action sur les échangeurs

Ce plan d'action a concerné le redimensionnement des échangeurs-1 et l'échangeur-2 sur le profil de température, la surface d'échange et sur nombre des plaques. Ces résultats sont présentés par le tableau11 :

Tableau11 : Plan d'action sur les échangeurs.

GEA	**1**	**2**
Profil de température	De 126.76 à 79, au lieu de 74 °C	De 22.5 à 50, au lieu de 45.9 °C
S'	67 m^2	61 m^2
N''	24 plaques	12 plaques

VI. Vérification de l'efficacité de la politique énergétique adoptée par la société.

1. Etude d'économie d'énergie

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie a été introduit par la loi sur l'énergie est a 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 en particulier) sont composées de molécules résultant essentiellement de la combinaison d'atomes de carbone et d'hydrogène.

On les représente par le symbole $\mathbf{C_x\ H_y}$.

On schématise la combustion comme suit:

$$\mathbf{C_x\ H_y + O_2 \text{-----}> C + CO + CO_2 + H_2O}$$

La proportion des produits dépend de la proportion des réactifs.

1.1- 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 :

- Eau, en quantité assez élevée, ce qui nuit à l'auto-allumage des moteurs Diesel.
- Boues, ce qui affecte la qualité de la combustion et peut être dangereux pour les pompes d'injection.
- Soufre, dont la forte teneur provoque la corrosion des parois de la chambre de combustion et des soupapes d'échappement.

1.2- PCI et PCS de fioul lourd.

Le pouvoir calorifique d'un combustible (FOL) est la quantité de chaleur produite par sa combustion, à pression constante et dans les conditions dites "normales" de température et de pression (c'est à dire à 0°C et sous une pression de 1 013 m bars).

Certaines techniques permettent de récupérer la quantité de chaleur contenue dans cette eau de combustion en la condensant. On parle alors de chaudières à condensation.

En fonction qu'on condense ou non la vapeur contenue dans les fumées, le pouvoir calorifique va varier.

On distingue donc deux pouvoirs calorifiques différents :

- le pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui suppose que la fumée contient l'eau de combustion à l'état de vapeur. La chaleur contenue dans cette eau est perdue (chaudière classique).
- le pouvoir calorifique supérieur (PCS) qui suppose que l'eau de combustion est entièrement condensée. La chaleur contenue dans cette eau est récupérée (chaudière à condensation).

Pour un même combustible, le PCS est toujours supérieur au PCI :

PCI + Chaleur contenue dans la vapeur = PCS

Dans le cas du fioul lourd les valeurs de PCS et de PCI sont respectivement de 12 kWh/kg et 11 kWh/kg.

1.3- Etude énergétique

D'après les résultats obtenus, la réalisation d'une étude économique est faisable. Une comparaison en terme de la quantité de FOL brulé 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.

Tableau12 : Consommations journalières d'énergie à l'état actuel et de référence.

	Consommation de référence	**Consommation actuelle**
La consommation journalière de l'énergie dans la station de traitement de la mélasse en' kJ'	83.785×10^6	62.848×10^6

En utilisant le PCS, et sachant que celui de FOL est égal à 12 kWh/kg et 1kWh = 3600 kJ. Donc :

La consommation en absence d'échangeurs est :

$$83.785\times10^6 \text{ kJ} = 23273.61 \text{ kWh}$$

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

$$\frac{23273.61}{12} = 1939.47 \text{ kg}$$

1939.47 kg, est la quantité de FOL consommé par jour.

D'après la Littérature : 1Kg de fioul coûte presque 3,7 DH.

Alors le coût d'énergie est de : 3.7×1939.47 = 7176.039 DH.

Nous avons fait les mêmes calculs pour la consommation actuelle :

Tableau13 : Résultats de la consommation actuelle.

Consommation en 'kWh'	Consommation en 'kg'	Coût 'DH'
17457.78	1454.82	5382.834

Gain en énergie :

Tableau14 : Quantification monétaire des gains journaliers, mensuels, et annuels en énergie.

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

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

2. Diminution de consommation des ressources énergétiques

L'agence internationale de l'énergie (AIE) 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 de l'approche PDCA est une des clés de réussite pour la diminution de la consommation de ces ressources.

Tableau15 : Consommation journalière et annuelle de FOL par 'kg'.

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

D'après le tableau 16, nous constatons que il y'a une diminution de la consommation de FOL après la mise en œuvre de SMEn.

Interprétation :

Il ressort de la différence entre la consommation de référence 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 avant l'application de l'approche, ceci constitue un des objectifs de système de management de l'énergie qu'en mettant en œuvre, LESAFFRE va bénéficier des CEE et ses objectifs notamment une diminution d'émission des gaz a effet de serre.

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 deux échangeurs 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, se qui ce traduit par un abaissement de 25% d'émissions des gaz à effet de serre.

Sur la base de l'ensemble des résultats obtenus de cette analyse, une liste de recommandations a été établie pour maitriser 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.

Nous espérons que nos propositions concernant l'amélioration de la consommation de l'énergie soient bénéfiques pour assurer une bonne rentabilité des échangeurs thermiques.

Dans le cadre des certificats d'économies d'énergie, nous avons adoptés les CEE des opérations réalisées dans le périmètre d'un certificat ISO 50001, afin de faciliter la mise en œuvre et certification ISO 50001, la mise en place des étapes de SMEn donne lieu à une bonification intermédiaire de 50%. Le niveau 2 correspond à la certification ISO des opérations d'économies d'énergie que le groupe souhaite avoir vers la fin d'année donnant lieu à une bonification de 100%.

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.

www.lesaffre.com

[2] Technologie Génie Chimique (ANGLARET - KAZMIERCZAK) Tome.
https://books.google.fr

[3] Pascal THOMAS, délégué régional Est « ISO 50001: des économies d'énergie aujourd'hui et demain ».

http://www.codlor.com

[4] ISO 5000, Management de l'énergie » gagner le défi de l'énergie avec l'ISO 50001 ».
http://www.iso.org

[5] Philippe LAPLAIGE, Jean LEMALE, « Énergie géothermique » technique de l'ingénieur.

[6] B. BOURRET, « Les échangeurs de chaleur » INSA Toulouse.

https://moodle.insa-toulouse.fr

[7] Manuel de thermique, B. EYGLUNENT, HERMES (97).

Annexes

Annexe 1 : Milieu de culture YM-Agar.

Annexe 2 : Fiche de suivi des paramètres de la consommation journalière en mélasse et en eau.

Annexe 3 : Fiche de suivi des paramètres de dilution.

Annexe 4 : fiche de suivi des températures des fermenteurs.

Annexe 5 : Fiche de suivi des paramètres de l'échangeur GEA-1 (mélasse-mélasse).

Annexe 6 : Fiche de suivi de coefficient d'échange de l'échangeur GEA-1 (Mélasse-Mélasse).

Annexe 7 : Méthode de différences de températures logarithmiques moyennes (DTLM).

Annexe 8 : Fiche de suivi des paramètres de l'échangeur GEA-1 (mélasse-mélasse).

Annexe 9 : Fiche de suivi de coefficient d'échange de l'échangeur GEA-1 (Mélasse-Eau).

Annexe 1: Milieu de culture YM-Agar

Milieu de culture YM-Agar: Composition (g) pouvant être modifiée pour 1 litre de milieu :
Extrait de levure : 3,0.

Extrait de malt : 3,0.

Peptone : 5,0.

Glucose : 10,0.

Agar agar : 20,0.

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 6,2 ± 0,2.

Incubation à 30°C pendant 40 à 72 heures. Stockage : Mil. Déshydraté : 15-30°C Mil. Préparé en tubes : 15-30°C Mil. Préparé en boîtes : 2-8°C

Au cours du stockage de la levure on ajout une quantité de sel. Le sel joue deux rôles : le premier c’est de réduire la teneur en eau, et le deuxième concerne la tendreté de la levure.

Annexe 7 : Méthode de différences de températures logarithmiques moyennes (DTLM)

Si on suppose que le flux de chaleur cédé par le flux chaud sera entièrement gagné par le flux froid. On peut écrire :

$$d\Phi' = d\Phi$$

Et donc le bilan total s'écrit :

$$\Phi = \Phi'$$

Avec :

$$\Phi' = m' \times C' \times (T_s' - T_e') \quad (1) \qquad \text{Et} \qquad \Phi = m \times C \times (T_s - T_e) \quad (2)$$

L'égalité entre les équations (1) et (2) donne :

$$dT_c - dT_f = d(T_c - T_f) = -\left(\frac{1}{mc \times cp} + \frac{1}{m \times cp'}\right) \times d\Phi$$

$$= -\left(\frac{1}{mc \times cp} + \frac{1}{m \times cp'}\right) \times K \times (T_e - T_f)\, dS$$

On intégrant cette équation on trouve :

$$\log\left(\frac{Ts - Te'}{Te - Ts'}\right) = \frac{[(Ts - Te') - (Te - Ts')]}{\Phi} \times K \times S$$

Donc on définit comme suit :

$$\Delta T_{lm} = \frac{[\Delta T2 - \Delta T1]}{\ln\left(\frac{\Delta T2}{\Delta T1}\right)}$$

Pour l'écoulement contre courant :

$$\Delta T_2 = T_s - T_e' \qquad \Delta T_1 = T_e - T_s'$$

Annexe 4 : fiche de suivi des températures des fermenteurs.

Date	Fermenteur (1) (°C)	Fermenteur (2) (°C)	Fermenteur (3) (°C)
06/04/15	32.9	32.37	31
07/04/15	33.46	30.06	34
08/04/15	34	31.78	34.07
13/04/15	32.57	31.59	34.1
14/04/15	33.97	32.94	34.64
15/04/15	34.25	34.64	33.96
16/04/15	32.67	32.70	34.65
17/04/15	34.65	30	33.89
20/04/15	33.58	31.25	32.91
21/04/15	33.80	30.94	33.01
22/04/15	33.88	31.72	34.35
23/04/15	33	31.37	33.56
24/04/15	34.65	30	34.66
Moyenne	**33.875**	**31.643**	**31.222**

Annexe 8 : Fiche de suivi des paramètres de l'échangeur-2 (mélasse-eau).

Date	q_v (m^3/h)	T° mélasse chaude (°C)	T° mélasse froide (°C)	T° eau froide (°C)	T° eau chaude (°C)	Q′(m^3/h)
06/04/15	12.678	83	44	18	47.8	_____
07/04/15	12.514	77	47	21	45.5	14.63
08/04/15	14.303	75	45	23	40.8	24.35
13/04/15	13.737	82	47	24	45.7	_____
14/04/15	13.480	78	43	26	47.4	20.56
15/04/15	12.740	74	48	21	46.3	14.7
16/04/15	14.010	77	46	25	49.5	16.93
17/04/15	14.182	87	43	23	44.4	27.85
20/04/15	14.504	82	50	26	44.8	_____
21/04/15	13.339	77	46	20	46.6	14.85
22/04/15	13.560	75	49	18	48.7	10.96
23/04/15	14.588	80	44	24	46.8	15.1
24/04/15	14.795	81	42	25	42.7	12.43
Moyenne	**13.763**	**79.153**	**45.692**	**22.615**	**45.923**	**17.22**

Annexe 5 : Fiche de suivi des paramètres de l'échangeur -1 (mélasse-mélasse)

Date	q_v (m^3/h)	T ° (MDCS °C)	T ° (MDCS refroidis °C)	T° (MDC chauffée °C)	Q′(m3/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**	_____

Annexe 5 : Fiche de suivi des paramètres de l'échangeur GEA-1 (mélasse-mélasse)

Date	q_v (m^3/h)	T ° (MDCS °C)	T ° (MDCS refroidis °C)	T° (MDC chauffée °C)	Q′(m3/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**	_____

Annexe 2 : Fiche de suivi des paramètres de la consommation journalière en mélasse et en eau

	Suivi de Cumule de consommation			Consommation journalière en :				
Date	**Débit : Eau (l)**	**Débit : Mélasse Betterave (t)**	**Débit : Mélasse Canne (t)**	**Débit : Eau (l)**	**Débit : Betterave (l)**	**Débit : Betterave (Kg)**	**Débit : Canne (l)**	**Débit : Canne (kg)**
06/04/15	4465220	76072	302808	_____	_____	_____	_____	_____
07/04/15	4520123	76083.1	302887	54903	75598	79000	10622	11000
08/04/15	4587985	76096	302986	67862	94736.84	99000	12344.49	10900
13/04/15	4938707	76161	303446	_____	_____	_____	_____	_____
14/04/15	4981503	76172	303526	42796	76555	80000	10596.3	11000
15/04/15	5024303	76181	303599	42800	77511.96	81000	11483.25	12000
16/04/15	5067173	76193	303680	42870	77511.96	81000	11483.25	11000
17/04/15	5116988	76203.5	303752	49815	78947.36	72000	10047.84	10500
20/04/15	5265807	76233.6	303967	_____	_____	_____	_____	_____
21/04/15	5321374	76244.7	304048	55567	77511.96	81000	10622.01	10000
22/04/15	5381609	76256.8	304135	60235	83253.58	87000	11578.94	12100
23/04/15	5445168	76269.9	304228	63559	88995.26	93000	12535.88	10100
24/04/15	5588362	76282.5	304319	43194	87081.33	91000	12057.41	11600
Moyenne	_____	_____	_____	**52360.1**	**81770.37**	**84400**	**10188.87**	**10630**

Annexe 8 : Fiche de suivi des paramètres de l'échangeur GEA-2 (mélasse-eau).

Date	q_v (m^3/h)	T° mélasse chaude (°C)	T° mélasse froide (°C)	T° eau froide (°C)	T° eau chaude (°C)	Q′(m^3/h)
06/04/15	12.678	83	44	18	47.8	_____
07/04/15	12.514	77	47	21	45.5	14.63
08/04/15	14.303	75	45	23	40.8	24.35
13/04/15	13.737	82	47	24	45.7	_____
14/04/15	13.480	78	43	26	47.4	20.56
15/04/15	12.740	74	48	21	46.3	14.7
16/04/15	14.010	77	46	25	49.5	16.93
17/04/15	14.182	87	43	23	44.4	27.85
20/04/15	14.504	82	50	26	44.8	_____
21/04/15	13.339	77	46	20	46.6	14.85
22/04/15	13.560	75	49	18	48.7	10.96
23/04/15	14.588	80	44	24	46.8	15.1
24/04/15	14.795	81	42	25	42.7	12.43
Moyenne	**13.763**	**79.153**	**45.692**	**22.615**	**45.923**	**17.22**

Annexe 4 : fiche de suivi des températures des fermenteurs.

Date	Fermenteur (1) (°C)	Fermenteur (2) (°C)	Fermenteur (3) (°C)
06/04/15	32.9	32.37	31
07/04/15	33.46	30.06	34
08/04/15	34	31.78	34.07
13/04/15	32.57	31.59	34.1
14/04/15	33.97	32.94	34.64
15/04/15	34.25	34.64	33.96
16/04/15	32.67	32.70	34.65
17/04/15	34.65	30	33.89
20/04/15	33.58	31.25	32.91
21/04/15	33.80	30.94	33.01
22/04/15	33.88	31.72	34.35
23/04/15	33	31.37	33.56
24/04/15	34.65	30	34.66
Moyenne	**33.875**	**31.643**	**31.222**

Annexe 3 : Fiche de suivi des paramètres de dilution

Date	T° de la mélasse (°C)	T° d'eau (°C)	q_v (m^3/h)
06/04/15	23	18	12.265
07/04/15	26	21	12.360
08/04/15	24	21	11.956
13/04/15	23	24	12.387
14/04/15	27	26	12.617
15/04/15	25	21	12.083
16/04/15	27	25	11.904
17/04/15	25	23	11.652
20/04/15	27	26	11.998
21/04/15	26	20	12.083
22/04/15	28	18	12.252
23/04/15	25	24	12.040
24/04/15	27	25	11.765
Moyenne	**25.6**	**22.5**	**12.105**

Annexe 6 : Fiche de suivi de coefficient d'échange de l'échangeur GEA-1 (Mélasse- Mélasse).

Date	$T_{e\text{-}ch}$ (°C)	$T_{s\text{-}f}$ (°C)	$T_{e\text{-}f}$ (°C)	$T_{s\text{-}ch}$ (°C)	$\Delta T_1 = T_{e\text{-}ch} - T_{s\text{-}f}$ (°C)	$\Delta T_2 = T_{s\text{-}ch} - T_{e\text{-}f}$ (°C)	ΔT lm (°C)	Φc (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**

Annexe 9 : Fiche de suivi de coefficient d'échange de l'échangeur GEA-1 (Mélasse-Eau).

Date	$T_{m\text{-}e\text{-}ch}$ (°C)	$T_{e\text{-}s\text{-}f}$ (°C)	$T_{e\text{-}e\text{-}f}$ (°C)	$T_{m\text{-}s\text{-}ch}$ (°C)	$\Delta T_1 = T_{me\text{-}ch} - T_{e\text{-}s\text{-}f}$ (°C)	$\Delta T_2 = T_{ms\text{-}ch} - T_{e\text{-}ef}$ (°C)	ΔT lm (°C)	Φc (kW)	K ($W/m^2.°C$)
06/04/15	83	47.8	18	44	35.2	26	30.3	509.6	305.8
07/04/15	77	45.5	21	47	31.5	26	28.6	387.1	246.1
08/04/15	75	40.8	23	45	34.2	22	27.6	442.4	291.4
13/04/15	82	45.7	24	47	36.3	23	29.1	482.6	306.8
14/04/15	78	47.4	26	43	30.6	17	23	486.6	383
15/04/15	74	46.3	21	48	27.7	27	27.3	341.6	227.5
16/04/15	77	49.5	25	46	27.5	21	24.1	447.9	290
17/04/15	87	44.4	23	43	42.6	20	30	643.5	391.3
20/04/15	82	44.8	26	50	37.2	24	30.1	478.5	288.7
21/04/15	77	46.6	20	46	30.4	26	28.2	426.2	274.8
22/04/15	75	48.7	18	49	26.3	31	28.6	363.6	231.1
23/04/15	80	46.8	24	44	33.2	20	26	541.3	375.6
24/04/15	81	42.7	25	42	38.3	17	26.2	594.9	378.2
Moyenne	**79.153**	**46**	**22.7**	**45.7**	**33.2**	**23.1**		**472.7**	**307**

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques Fès
www.fst-usmba.ac.ma

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat

- **Nom et prénom : ELOTMANI Hanae.**
- **Année Universitaire : 2014-2015.**
- **Titre : Application d'un SMEn par l'étude des bilans thermiques et optimisation de la consommation énergétique, selon l'ISO 50001.**

Résumé

Dans un contexte de forte concurrence, la flexibilité et l'amélioration continue de l'entreprise constituent une réponse primordiale pour assurer sa pérennité.
C'est dans cette optique que le groupe LESAFFRE Maroc a opté pour une mise en place d'un système de management de l'énergie dans le but d'améliorer l'efficacité des échangeurs thermiques et d'être au niveau des objectifs fixés.
Après la présentation du groupe LESAFFRE Maroc et le processus de fabrication de levure dont le cout annuel de production est de 645552 DH, notre travail s'est articulé sur deux principaux axes :

- Le premier correspond à une présentation de la norme ISO 50001, son but ainsi que ses objectifs.
- Le deuxième est consacré pour la mise en place d'un SMEn, ainsi que pour vérifier l'efficacité de la politique énergétique adoptée par la société.

Afin de mener bien cette mission, nous étions amenés à établir un bilan énergétique de référence, bilan énergétique actuel et quantité d'eau chaude produite pour l'optimisation de la consommation énergétique en utilisant la méthode de gestion de la qualité ISHIKAWA.
A la lumière de cette étude, un plan d'action sur les échangeurs est proposé à savoir :

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

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 ce qui est traduit par une diminution d'utilisation des ressources énergétiques de 174477.6 kg de FOL par an et par conséquent un abaissement de 25% d'émission des gaz à effet de serre.

Mots clés : ISO 50001, SMEn, consommation d'énergie, mélasse, échangeurs.

Abstract

- **Title: Applying a SMEn by the study of heat balances and optimization of energy consumption, according to ISO 50001.**

In a context of strong competition, the flexibility and the continuous improvement of the company constitute a paramount answer to ensure its perenniality.
It is accordingly that group LESAFFRE Morocco chose an installation of a system of management energy with an aim of improving the effectiveness of the heat exchangers and of being on the level of the set objectives.
After the presentation of group LESAFFRE Morocco and the manufacturing process of yeast whose annual cost of production is of 645552 DH, our work was articulated on two main axes:
The first corresponds to a presentation of the standard ISO 50001, its goal like its objectives.
Second is devoted for the installation of SMEn, thus of checked the effectiveness of the energy policy adopted by the company.
In order to carry out this mission well, we started with the establishment of the energy assessment of reference, current energy assessment and quantity of warm water produced for the optimization of energy consumption by using the method of management of quality ISHIKAWA. In the light of this study, an action plan on the exchangers is proposed namely:

- Improvement of the heat-transferring surface for the two exchangers.
- Regular cleaning of the exchangers.

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 what is translated by a reduction in use of the resources energy of 174477.6 kg FOL a year, which this translated by a lowering of 25% of emissions of greenhouse gases.

Keywords: ISO 50001, SMEn, energy consumption, treacle, exchangers.

B.P. 2202, Route d'Imouzzer FES
+212(0)535608014 /+ 212(0)535609635/+212(0)535602953 - 212(0)535608214