

*Faculté des Sciences et Techniques de Fès*



*Département de Génie Industriel*



*LST de Génie Industriel*

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

# Bilan énergétique au niveau des échangeurs GEA

**Lieu** : LESAFFRE Fès

**Référence** : 06 / 13 GI

**Préparé par :**

- Faoubar Issam
- Moussaoui El Mehdi

**Soutenu le 14 Juin 2013 devant le jury composé de :**

- Pr. A. Chamat
- Pr. S.Haouache
- Pr. D. Tahri

## Remerciement

Nous voulons tous d'abord présenter nos plus vifs remerciements à notre encadrant Mr. Abderrahim CHAMAT pour les conseils qu'il nous a prodigué, son judicieux encadrement et son assistance pour la rédaction de ce rapport.

Nous tenons aussi à remercier Mr. Hassan TAJINE Ingénieur de production qui nous a été d'une grande aide durant notre affectation et d'un profond soutien durant notre stage.

Nous remercions également Mr. Abdelhak ABABOU et Mr. Khalid JAKNI pour tout le savoir qu'ils nous ont transmis et pour tous les précieux conseils et aides qu'ils nous ont fournis durant la période du stage.

Sans oublier tout le personnel de la ligne, y compris les chefs d'équipes, les opérateurs et les surveillants.

Nous tenons à remercier également les membres du jury Mr. Said HAOUACHE et Mr. Driss TAHRI qui ont bien voulu nous faire l'honneur de lire et donner leurs avis sur ce travail.

Que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail, trouvent l'expression de nos sincères remerciements.

# Sommaire

<b><u>Remerciement</u></b> .....	2
<b><u>Introduction</u></b> .....	4
<b><u>Chapitre I : Contexte générale du projet</u></b> .....	5
I. Présentation de l'entreprise.....	6
II. Processus de fabrication de la levure.....	9
III. Présentation du sujet.....	17
<b><u>Chapitre II: Généralités sur le bilan thermique</u></b> .....	18
I. Généralités sur le bilan thermique.....	19
II. Généralités sur les échangeurs à plaque.....	21
<b><u>Chapitre III : Elaboration du bilan thermique</u></b> .....	24
I. Bilan thermique de l'échangeur à plaque GEA (ligne 1).....	25
II. Bilan thermique de l'échangeur à plaque GEA (ligne 2).....	31
III. Bilan thermique de l'échangeur à l'état idéal.....	35
<b><u>Chapitre IV : Dimensionnement de l'échangeur</u></b> .....	37
I. Dimensionnement de l'échangeur GEA (ligne 1).....	38
II. Dimensionnement de l'échangeur GEA (ligne 2).....	39
<b><u>Chapitre V : Le Ratio de transformation</u></b> .....	40
<b><u>Conclusion</u></b> .....	44
<b><u>Références bibliographiques</u></b> .....	45

# Introduction

Après avoir prodigué de nombreuses connaissances théoriques et pratiques, la formation à la FST intègre un stage pour que l'étudiant mette en pratique ses connaissances, se rende compte de l'efficacité de son savoir faire et ait une idée sur le monde du travail pour pouvoir s'intégrer dans la vie active et s'engager à prendre des responsabilités.

Dans cet objectif, nous avons effectué un stage à LESAFFRE de Fès. Durant cette période, notre travail a porté sur l'élaboration du bilan énergétique au niveau de la séparation puis sur l'évaluation de performance des échangeurs thermiques et le calcul du ratio de transformation.

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

Dans la première partie, nous allons faire une présentation générale de la société d'accueil, du procédé de fabrication et de notre sujet.

La seconde partie est consacrée à la définition du bilan thermique et la présentation de ses différents types, ainsi que la description de l'échangeur à plaque, sa structure, son principe et mode de fonctionnement et son encrassement.

La troisième partie fait l'objet d'établir le bilan thermique des échangeurs dans les deux lignes.

La quatrième partie va servir au dimensionnement des échangeurs afin d'améliorer leurs efficacités thermique.

Enfin, dans la dernière partie, on calcule le ratio de transformation pour déterminer les causes de pertes.

## Chapitre I : Contexte générale du projet

*Cette partie est une présentation générale du projet. Elle commence par la présentation de l'entreprise, le processus de fabrication de la levure ainsi que la présentation du sujet.*

- I. Présentation de l'entreprise.
- II. Processus de fabrication de la levure.
- III. Présentation du sujet.

## I. Présentation de l'entreprise :

### I.1. Présentation du groupe LESAFFRE

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. 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.

### I.2. 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.

**1993-1998**: Associations et acquisitions en Australie, Chili et Europe de l'Est.

**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.

**2006** : Joint-venture avec Donta, leader chinois dans le domaine des extraits de levure. Construction d'une nouvelle levurière haute technologie à Orizaba au Mexique.

**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,...)

**2008** : LESAFFRE, partenaire de Futurol, projet R&D de bioéthanol de deuxième génération.

**2009** : Acquisition de la société allemande Asmussen GmbH et CokG.

**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.

### **I.3. Les 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.

### **I.4. Gamme de produits**

LESAFFRE Maroc est spécialisée dans la fabrication de la levure fraîche (levure pressée) conditionnée en pain de 500g sous le nom de « Jaouda » et dans la production de 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 (Rafiaa) ou 500g (Nevada).

- La SPH : levure sèche active ou à réhydratation, emballée sous air dans des sachets de 50g et 500g (Jaouda).

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

## I.5. Moyens de production

L'usine est constituée de : 3 clarificateurs, 3 filtres rotatifs, 3 lignes d'emballage, 5 séparateurs, 2 séchoirs, 3 chaudières, plus d'une centaine de pompes volumétriques et centrifuges, une Chambre froide de 450 tonnes, 8 cuves de stockage de crème, 6 tanks de mélasse, 5 fermenteurs F4 ; F5 ; F6 ; F7 ; F8.

## I.6. LESAFFRE en quelques chiffres

- Un groupe créé en 1853 et détenu par la famille Lesaffre.
- 1<sup>er</sup> fabricant mondial de levure.
- Environ 1,3 milliards d'euros de chiffre d'affaires en 2010.
- 7000 collaborateurs.
- 35 sites de production.

## I.7. Stratégie du groupe

Afin d'être le leader mondial sur le marché de la levure de panification et des extraits de levure et de comprendre les attentes de ses clients et de répondre aux contraintes culturelles du pays de chacune de ses implantations, l'entreprise adopte une stratégie s'articulant autour des points suivants :

- Fournir des produits de qualité.
- Adapter une politique environnementale volontariste.
- Réaliser des Innovations techniques.
- Maîtriser le savoir-faire.
- Avoir une capacité à proposer des solutions sur mesure.
- Appliquer une politique salariale attractive.
- Anticiper les besoins.



## I.8. Organigramme de l'entreprise

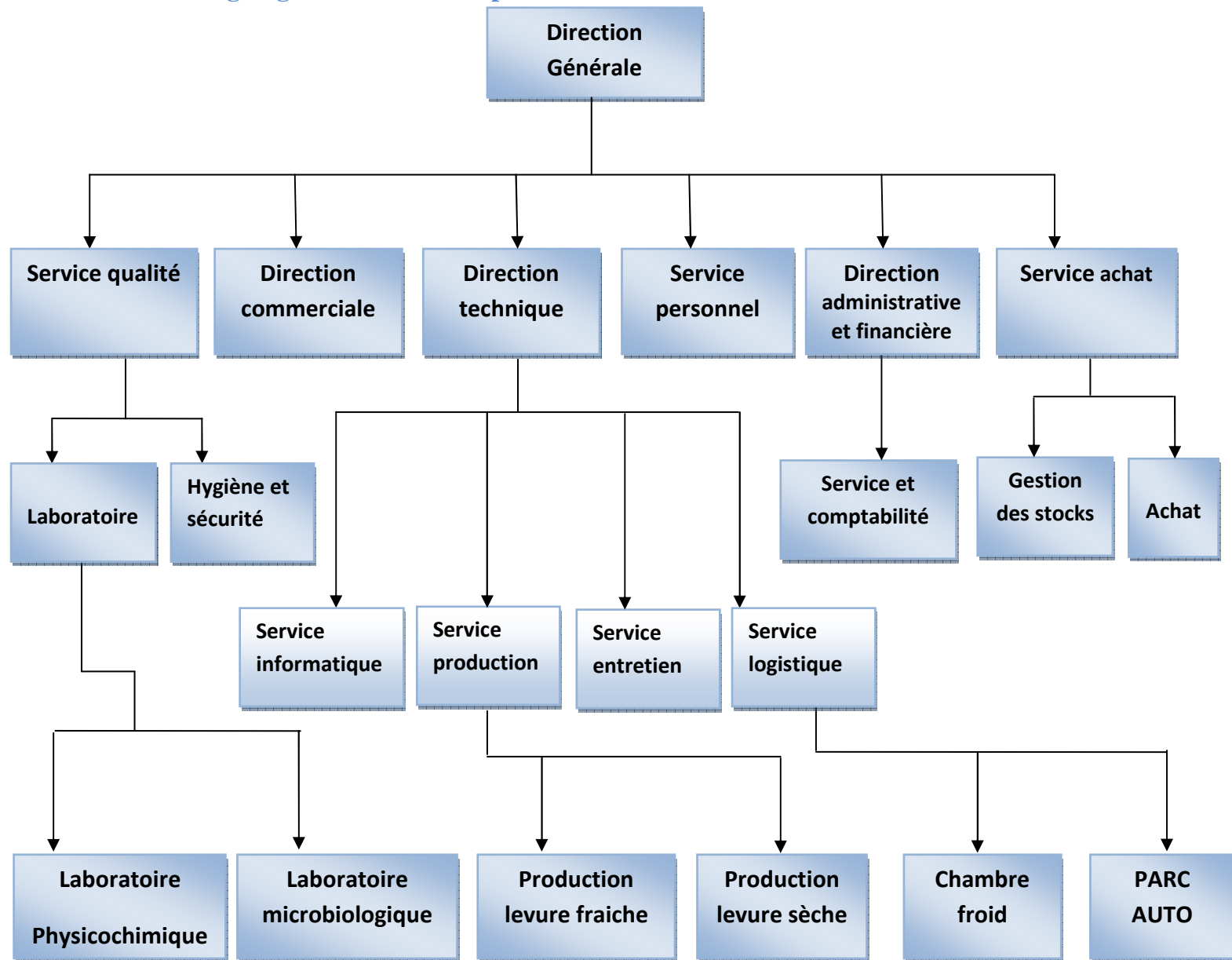


Figure 1 : Organigramme de la société LESAFFRE FES [1]

## II. Processus de fabrication de la levure

### II.1. La levure qu'est-ce que c'est ?

La levure est un champignon microscopique, unicellulaire de forme ovoïde ou sphérique. La grande particularité de la levure est qu'il s'agit d'un organisme vivant !

Tout comme celles de l'homme, les cellules de levures sont vivantes et naturelles. Elles ont besoin d'air pour se multiplier, mais l'absence d'air n'est pas non plus sans conséquence sur son développement.

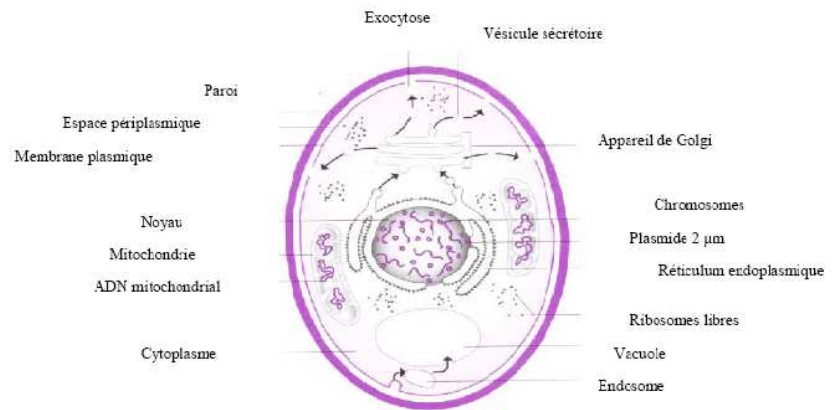
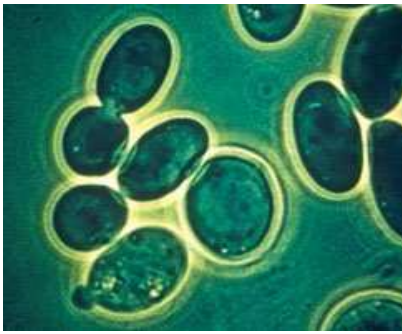


Figure 2 : La composition d'une cellule de levure [1]

Cette paroi se compose :

- d'une couche externe de Mann protéines, associés à des glucanes.
- d'une couche interne de glucanes associés à de la chitine.
- d'une membrane cytoplasmique riche en complexes protéiques.

Les levures sont des organismes eucaryotes. Le noyau des cellules contient 16 chromosomes linéaires.

## II.2. Le développement de la levure

### Sans air :

En anaérobiose (absence d'air), le sucre est en grande partie transformé en alcool au détriment de l'énergie libérée. C'est le cas de la panification. La levure ne trouve plus d'oxygène. Le sucre fourni par la farine est transformé en alcool (évoqué à la cuisson) et en gaz carbonique, témoins du processus métabolique de la fermentation. (Fermentation alcoolique : Type de métabolisme permettant à la cellule d'acquieser de l'énergie par transformation du glucose en éthanol et dioxyde de carbone).

Chez le boulanger, la levée de la pâte résulte de cette production de gaz carbonique. Là encore, de l'énergie est libérée, mais en faible quantité suffisamment pour vivre mais pas pour se multiplier.

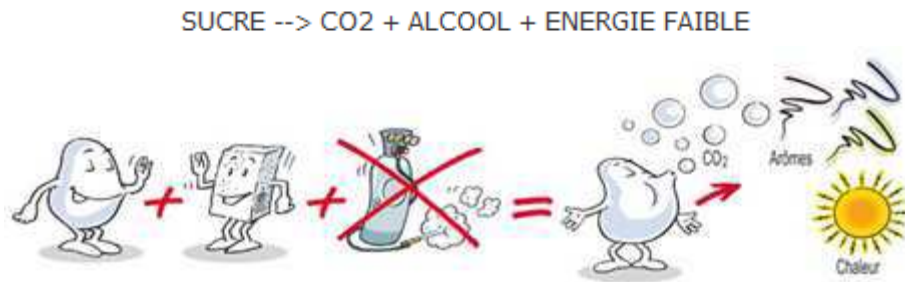


Figure 3 : développement de la levure sans air [2]

**Avec air :**

En aérobiose (en présence d'air), les levures respirent et se multiplient abondamment, sans formation d'alcool. Le sucre dont elles se nourrissent est transformé en gaz carbonique et en eau. Ce phénomène s'accompagne d'une libération importante d'énergie qui leur permet de croître et de se multiplier par bourgeonnement. Lorsque les deux cellules ont la même grosseur, elles se séparent et le bourgeonnement des cellules se poursuit. Ce processus métabolique est celui de la respiration. Il est exploité par les levureries pour multiplier les cellules.



Figure 4 : développement de la levure avec air [2]

**II.3. La 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...).

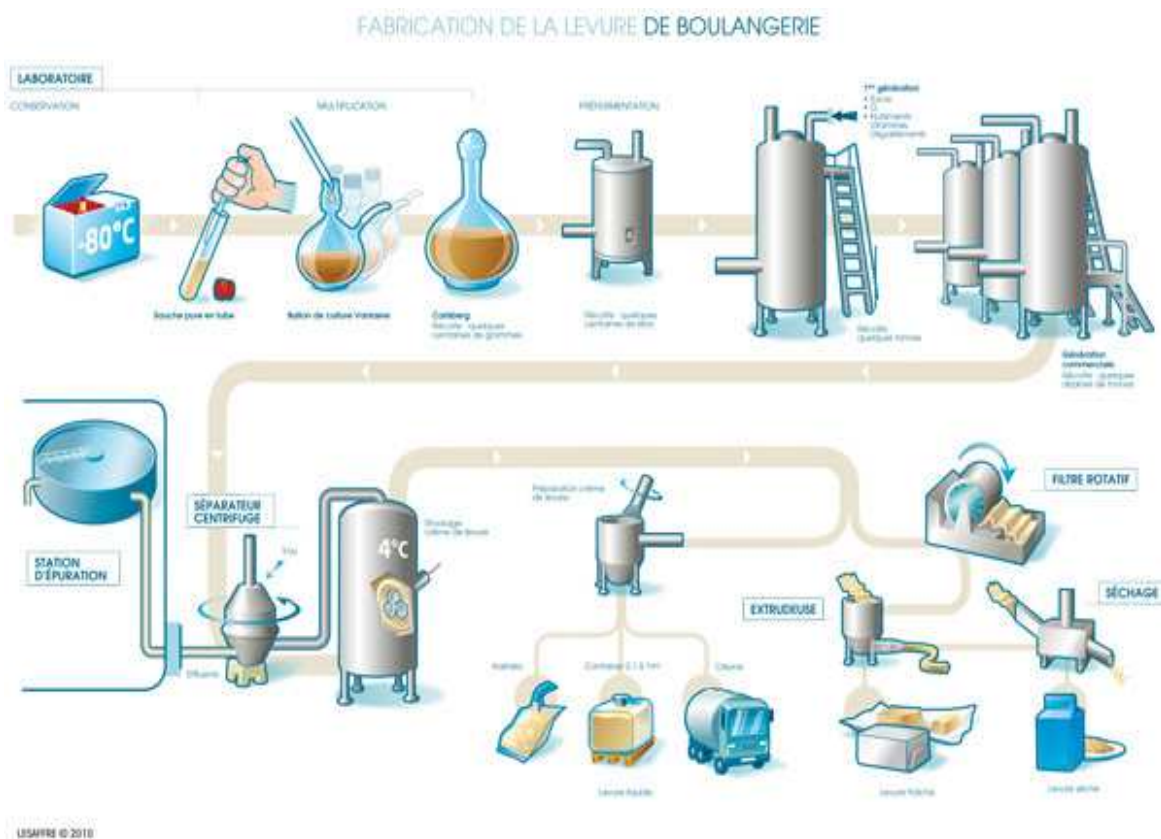


Figure 5 : schéma du processus de fabrication de la levure [1]

## II.4. Différentes étapes de production de la levure

### II.4.1. Préparation du milieu de culture

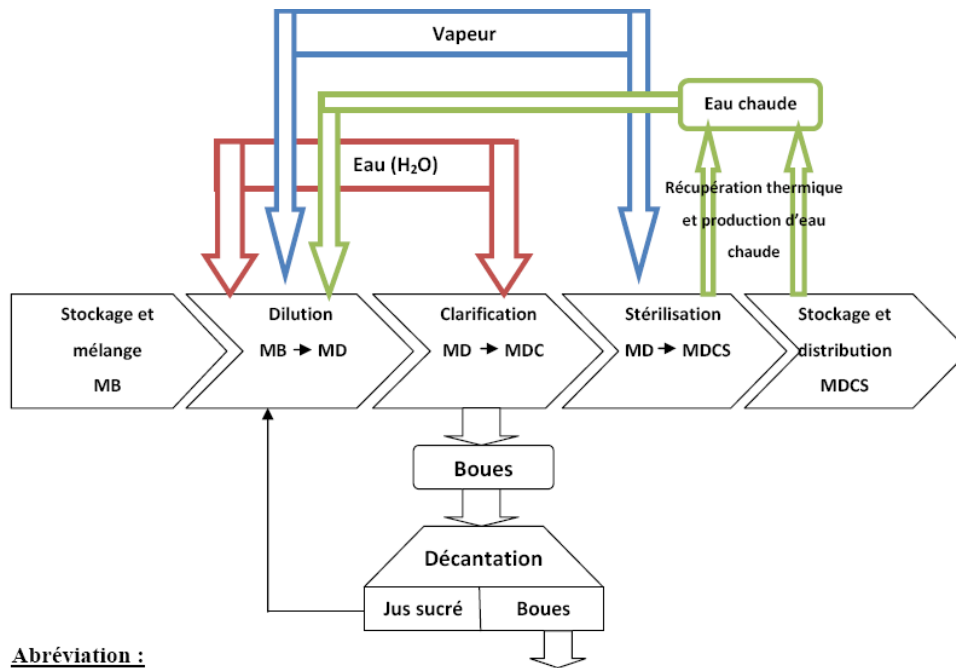
La mélasse, l'urée, le sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate se sont des éléments essentiels dont la levure besoin au cours de sa fermentation.

### II.4.2. Préparation de la mélasse

La mélasse présente pour la levure une source de carbone, sa préparation (75% betterave + 25% canne) consiste à une dilution, décantation, stérilisation et clarification.



Figure 6 : la mélasse



**MB** : mélasse brute.

**MD** : mélasse diluée.

**MDC** : mélasse diluée clarifiée.

**MDCS** : mélasse diluée clarifiée stérilisée.

Figure 7 : schéma de préparation de la mélasse

#### II.4.3. 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 du prix voulu. Après la préparation, chaque élément sera stocké dans une cuve, en attendant sa consommation lors de la phase de fermentation.

À partir d'une souche mère soigneusement sélectionnée, on régénère 20 à 24 capsules, plantées dans un milieu de culture qui contient les éléments nécessaires pour une meilleure croissance de la levure (vitamines, sels nutritifs, mélasse) jusqu'à l'obtention d'un volume de 800 L de culture qui sera utilisé lors de la pré-fermentation.

#### II.4.4. Pré fermentation

Cette opération se poursuit dans un pré-fermenteur bien nettoyé par la soude à une température de 90 °C et rincé à l'eau. Avant le refoulement du volume de 800 L, le milieu doit être préparé par les éléments suivants : la cuve est remplis par le volume d'eau nécessaire

puis, on ajoute le sulfate de magnésium, la vitamine, l'eau de javel pour la stérilisation et l'acide sulfurique pour ajuster le pH.

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

#### II.4.5. Fermentation de la levure mère

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

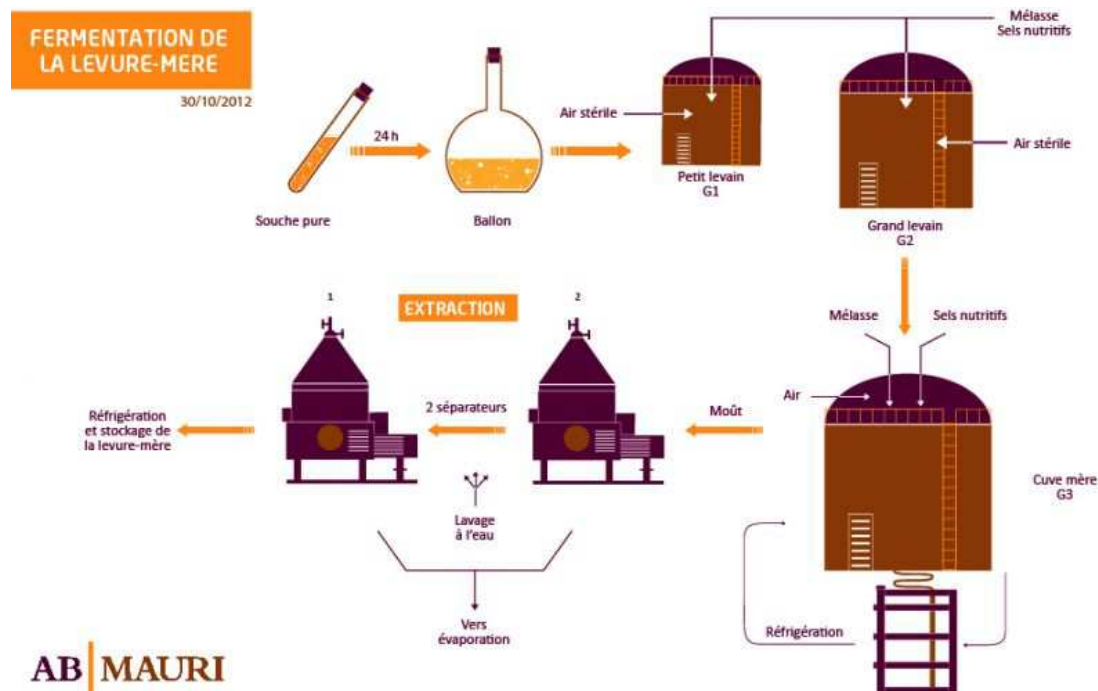


Figure 8 : schéma de fermentation de la levure [1]

#### II.4.6. Séparation de la levure mère

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



Figure 9 : schéma d'un séparateur

**Remarque :**

La crème qui sort de chaque ligne de séparation est refroidit dans un échangeur de chaleur avant son stockage dans les cuves de garde.

**II.4.7. Stockage de la crème**

La crème obtenue après séparation est acidifiée par l'acide sulfurique à PH=2 pour éviter la contamination, puis stockée à 5°C pour ralentir le métabolisme cellulaire.

**II.4.8. Filtration**

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

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

**II.4.9. Séchage**

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

Il existe deux types de la levure sèche :

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





Figure 10 : machine de séchage

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

- ✓ **La première étape** : On néglige la température de la levure et on fixe celle de l'air d'entrée à 65°C dans le but d'éliminer l'eau de surface.
- ✓ **La deuxième étape** : Pour éviter la détérioration des cellules sous l'influence de la chaleur, on diminue la température de l'air en faisant augmenter la température de la levure jusqu'à 45°C.

➤ **La levure sèche instantanée ou S.P.I** : Sous forme de bâtonnet, elle a une durée de séchage réduite, durant 20 minutes environ, pour une quantité de 1000Kg. Elle est caractérisée par une force fermentaire supérieure à celle de la S.P.H ; son séchage se déroule en 3 étapes :

- ✓ **La première étape** : Pour éliminer l'eau externe au maximum, on envoie un courant d'air d'une température de 100°C sur les grains de levure.
- ✓ **La deuxième étape** : On diminue la température de la vapeur par rapport au produit pour éviter la mort des cellules.
- ✓ **La troisième étape** : Pour augmenter la teneur de la matière sèche, on envoie d'une manière continue et rapide des courants d'air sur les grains de la levure.

#### **II.4.10. Emballage**

Cette étape s'effectue par des machines spécialisées :

➤ **Emballage de la levure fraîche** : L'emballeuse est composée de boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Quand la patte de la levure fraîche passe par cette machine, on obtient en sortie un produit sous forme de paquets de poids nette entre 497g et 513g. Puis, ils sont rangés dans des cartons qui sont automatiquement dirigés et déposés sur des palettes puis stockés dans une chambre froide.

➤ **Emballage de la levure sèche** : Pour emballer la levure sèche, elle passe dans un



appareil d'emballage spécifique qui aspire l'air des paquets pour une conservation à longue durée.

### **III. Présentation du sujet**

#### **III.1. Problématique**

De nombreux facteurs influencent la performance et la capacité de l'échangeur, notamment la température de l'eau, le débit des liquides et le nombre de plaques ainsi que leur forme et leur texture. C'est pourquoi il est important d'établir un bilan énergétique en tenant compte de tous les paramètres.

#### **III.2. Cahier de charge**

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

- Etablir un bilan thermique de l'échangeur GEA (ligne 1).
- Etablir un bilan thermique de l'échangeur GEA (ligne 2).
- Etablir un bilan thermique de l'échangeur dans l'état idéal.
- Déterminer les données nécessaires (les débits, les températures, GPL...).
- Définir les outils théoriques pour améliorer l'efficacité de l'échangeur (dimensionnement).
- Calculer le ratio de transformation et déterminer les causes de pertes.

## **Chapitre 2 : Généralités sur le bilan thermique et l'échangeur à plaques**

*Dans cette partie on va définir le bilan thermique et décrire la structure de l'échangeur à plaque, son mode et principe de fonctionnement et enfin l'encrassement.*

- I. Généralité sur le bilan thermique**
- II. Généralité sur les échangeurs à plaques**

## I. Généralité sur le bilan thermique

### I.1. Définition

Le bilan thermique est un bilan des quantités de chaleur entrant et sortant dans une installation industrielle en tenant compte des transformations et changements d'état de la matière.

C'est une opération très technique qui ne peut être effectuée que sur une installation fonctionnant en régime stable. Elle comprend un grand nombre de mesures (débits, températures, analyses des matières, gaz, et combustibles) sur une période continue, pour obtenir des résultats fiables.

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

### I.2. Présentation des différents types de bilans

#### I.2.1. Hypothèses sur les échanges d'énergie [2]

Dans les opérations unitaires du génie chimique toutes les formes d'énergie mises en jeu sont généralement négligeables devant l'énergie thermique (l'énergie de compression des gaz est une exception). Par conséquent les bilans énergétiques se réduisent à des bilans thermiques. La réalisation de bilan permet d'effectuer des calculs de puissance thermique à fournir à une installation ou à évacuer d'une installation ainsi que des déterminations de pertes thermiques.

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

Les processus thermiques en jeu sont de 3 principaux types qu'il convient d'identifier pour chaque opération unitaire :

- ✓ échauffement, refroidissement ou changement d'état des corps présents dans un appareil ou le traversant. Ces processus se déroulent par échange entre deux corps séparés ou en contact.

- ✓ 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.

### I.2.2. Bilan thermique simple

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

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

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

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

$$\Phi = Q \cdot l_C (T_e) + Q \cdot C_p \cdot (T_s - T_e) \text{ et } \Phi' = Q' \cdot C_p' \cdot (T_s' - T_e')$$

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

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

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

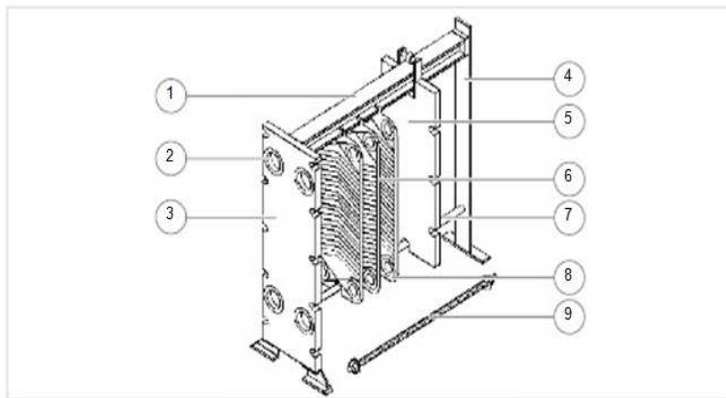
## II. Généralité sur les échangeurs à plaques

### II.1. Définition de l'échangeur à plaques

L'échangeur à plaques est un appareil qui permet un transfert de chaleur entre deux liquides ayant des températures différentes et ce, sans contact direct entre les liquides. Ce sont des plaques d'acier inoxydable qui assurent le passage de la chaleur d'un liquide à l'autre.

### II.2. Structure de l'échangeur à plaques

Le schéma ci-dessous présente la structure de base d'un échangeur de chaleur à plaques. La réalisation finale est spécifique à chaque application :



N°	Pièce
1	Poutre de support
2	Connexions
3	Plaque fixe
4	Colonne de support
5	Plaque mobile
6	Plaques de l'échangeur
7	Barre de guidage inférieure
8	Joints
9	Tirant

Figure 11 : schéma de la structure d'un échangeur à plaque [3]

### II.3. Principe de fonctionnement

L'échangeur de chaleur à plaques comprend des plaques profilées et empilées présentant des orifices de passage et formant un paquet de fentes d'écoulement. Les canaux (créés par l'empilement des plaques) sont parcourus, à raison d'un sur deux, par les deux fluides participant à l'échange de chaleur.

Les canaux sont formés entre les plaques et les passages de coins sont disposés de façon que les deux milieux circulent par des canaux alternatifs. La chaleur est transférée à travers la plaque entre les canaux et le flux à contre-courant est créé pour assurer une plus grande efficacité.

L'ondulation des plaques fournit le passage entre elles, supportent chaque plaque contre adjacente, et augmente la turbulence, donnant lieu à un transfert de chaleur plus efficace.

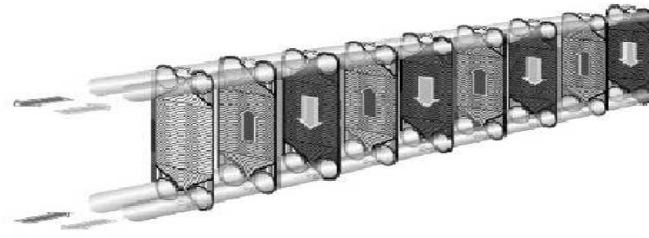


Figure 12 : schéma d'un échangeur à plaque

#### II.4. Modes de fonctionnement des échangeurs

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

- circulation à contre-courant (ou méthodique) : les deux fluides sont disposés parallèlement et vont dans deux sens opposés.

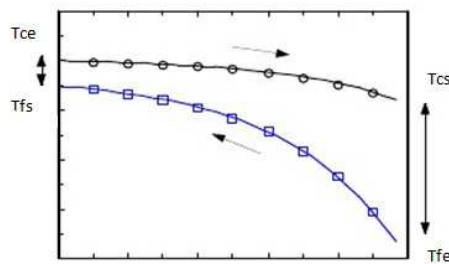


Figure 13: l'évolution de la température dans une circulation à contre-courant

- circulation à courants parallèles ou co-courant (ou anti-méthodique) : les fluides 1 (froid) et 2 (chaud) entrent d'un même côté de l'appareil, circulent en parallèle, et sortent à l'autre extrémité.

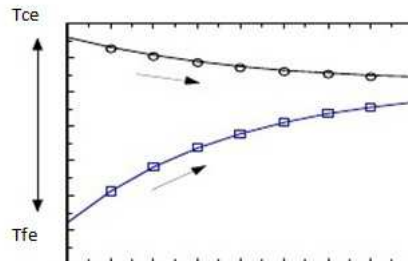


Figure 14: l'évolution de la température dans une circulation à co-courant

## II.5. Encrassement d'un échangeur

Les dépôts sont fréquents sur les parois des échangeurs:

- ✓ Boues : causées par des suspensions insolubles circulant à faible vitesse. Si les particules des suspensions sont indésirables, il faut filtrer avant l'entrée dans l'échangeur.
- ✓ Rouille : causée par la corrosion. L'utilisation d'acier inoxydable permet d'y remédier.
- ✓ Tartre : dépôt dur et compact causé par la précipitation de sels à solubilité inverse (sulfate de calcium, carbonate de sodium...) sur des surfaces chaudes. On évite donc de faire circuler l'eau à des températures supérieures à 40 °C et on augmente la vitesse de circulation. Le traitement de l'eau sur des résines échangeuses d'ions par déminéralisation est également possible

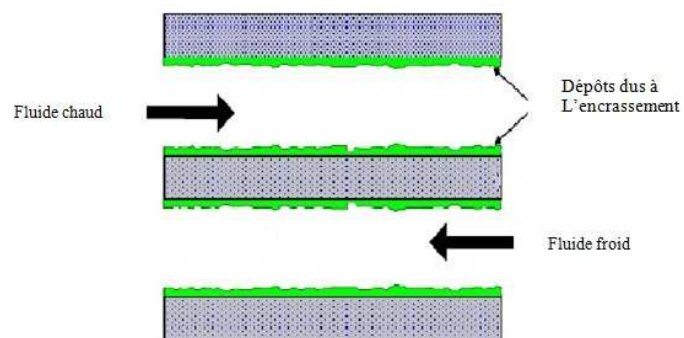


Figure 15 : schéma d'encrassement d'un échangeur [4, 5, 6]

## **Chapitre 3 : Elaboration du bilan thermique**

*Cette partie établie le bilan thermique des deux échangeurs GEA (ligne 1) et GEA (ligne 2) au niveau de séparation de la levure.*

- I. Bilan thermique de l'échangeur à plaque GEA (ligne 1)**
- II. Bilan thermique de l'échangeur à plaque GEA (ligne 2)**
- III. Bilan thermique de l'échangeur à l'état idéal**



## I. Le Bilan thermique de l'échangeur à plaque GEA (ligne 1)

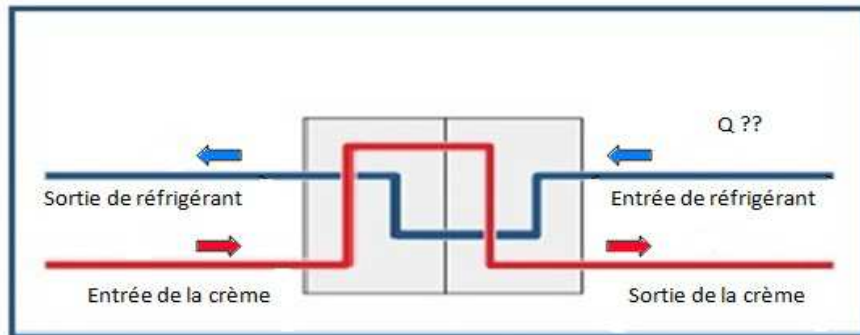


Figure 16: schéma descriptif de l'entrée et la sortie des deux liquides dans l'échangeur GEA-1

### 1.1. Détermination du débit de l'eau glycolé Q

Soit  $\phi_c$  : Flux de chaleur perdu par le fluide chaud (Crème)

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

Et  $\phi'$  : Flux de chaleur gagné par le fluide froid (l'eau glycolé)

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

On néglige les pertes thermiques :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad \phi_c &= \phi' \\ m \times C_p \times (T_e - T_s) &= m' \times C_p' \times (T_s' - T_e') \\ \Rightarrow \quad m' &= \frac{m \times C_p \times (T_e - T_s)}{|C_p' \times (T_s' - T_e')|} \end{aligned}$$

On a :  $m = \rho \cdot q = 1040 \text{ kg/m}^3 \times 13 \text{ m}^3 / \text{h}$ ,  $m = 13520 \text{ kg/h}$  ( $m$  : débit massique de la crème)

$$C_p = 0,85 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{c} \quad ; \quad C_p' = 0,93 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{c}$$

$$T_e = 26,7^\circ\text{c} \quad \quad \quad T_s = 5,08^\circ\text{c}$$

$$T_e' = 0,21^\circ\text{c} \quad \quad \quad T_s' = 3,91^\circ\text{c}$$

$$\text{Donc :} \quad m' = \frac{13520 \times 0,85 \times (26,7 - 5,08)}{|0,93 \times (3,91 - 0,21)|} = 72204,9 \text{ kg/h}$$

$$Q' = \frac{m'}{\rho} = 70,17 \text{ m}^3 / \text{h}$$

## I.2. Puissance d'échangeur

$$\text{On a } P_{(éch)} [kw] = C_p \times \frac{m}{\text{durée.cycle}} \times (T_s - T_e) \quad [4]$$

Avec :

$$C_p = 0,85 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{c} = 3553 \text{ J/kg.}^\circ\text{c}$$

$$m_{(crème)} ?$$

$$\text{On a } \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V_{cuve}$$

$$\text{Avec : } V_{cuve} = V_{cylindre} + 1200l = \pi \cdot r^2 \cdot h + 1200l = \pi \times \left(\frac{3,54}{2}\right)^2 \times 9 + 1200l$$

$$1200 \text{ L} = 1,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Donc } V_{(cuve)} = 89,78 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \boxed{m_{(crème)} = 93371,2 \text{ kg}}$$

$$T_e = 26,7^\circ\text{c}$$

$$T_s = 5,08^\circ\text{c}$$

$$\text{Durée. cycle} = 2\text{h} = 2 \times 3600 = 7200 \text{ s}$$

Application numérique :

$$\Rightarrow P_{(éch)} = \frac{3,553 [kj / kg.^\circ\text{c}] \times 93371,2 [kg] \times 21,62 [^\circ\text{c}]}{7200 [s]}$$

$$\Rightarrow \boxed{P_{(éch)} = 996,165 \text{ kw}}$$

Commentaire : Pour refroidir la crème de  $26,7^\circ\text{c}$  à  $5,08^\circ\text{c}$ , il faut donc une puissance de  $996,165 \text{ [KW]}$

## I.3. Calcul des flux

Flux cédé  $\phi_c$  : flux de chaleur perdu par le fluide chaud (crème)

$$\begin{aligned} \phi_c &= m \times C_p \times \Delta T = m \times C_p \times (T_e - T_s) \\ &= 13520 \times 0,85 \times 4,18 \times (26,7 - 5,08) \\ &= 1038 \text{ KW} \end{aligned}$$

Flux reçu  $\phi'$  : flux de chaleur gagné par le fluide froid (l'eau glycol)

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

$$= 72204,9 \times 0,93 \times 4,18 * (3,91 - 0,21)$$

$$= 1038 \text{ KW}$$

$$\Longrightarrow \eta = \frac{\phi'}{\phi} = 100\% \quad (\text{Car on a négligé les pertes thermiques})$$

#### I.4. Méthode de différences de températures logarithmiques moyennes (DTLM)

Les débits des fluides chauds et froids et leurs températures sont connus à l'entrée et à la sortie.

L'objectif consiste alors à déterminer :

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

Le flux de chaleur à travers une paroi de surface élémentaire  $dS$  est :

$$d\Phi = k \times (T_e - T_f) \times ds$$

Le flux de chaleur cédé par le fluide chaud est :

$$d\Phi_c = m_c \times C_p \times dT_c$$

Le flux de chaleur gagné par le fluide froid est :

$$d\Phi' = m' \times C'_p \times dT_f$$

Avec :

$K$  : coefficient d'échange thermique  $W/^\circ C.m^2$ .

$C_p$  : la chaleur spécifique en  $Kcal/Kg.^\circ C$ .

$T_e$  : la température d'entrée de la crème en  $^\circ C$ .

$T_s$  : la température de sortie de la crème en  $^\circ C$ .

$m$  : le débit massique de la crème en  $Kg/h$ .

$m'$  : le débit massique de l'eau glycolé en  $Kg/h$ .

Si on suppose que le flux de chaleur cédé par le flux chaud (crème) sera entièrement gagné par le flux froid (l'eau glycolé).

On peut écrire :  $d\Phi' = d\Phi_c$

Et donc le bilan total s'écrit :

$$\Phi = \Phi' = \Phi_c$$

Avec :

$$\Phi' = m' \times C'_p \times (T'_s - T'_e) \quad (1) \quad \text{Et} \quad \Phi_c = m \times C_p \times (T_s - T_e) \quad (2)$$

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

$$dT_c - dT_f = d(T_c - T_f) = -\left(\frac{1}{m_c \times C_p} + \frac{1}{m' \times C'_p}\right) \times d\Phi$$

$$= -\left(\frac{1}{m_c \times c_p} + \frac{1}{m' \times c'_p}\right) \times k \times (T_e - T_f) \times ds$$

En intégrant cette équation on trouve :

$$\log\left(\frac{T_s - T'_e}{T_e - T'_s}\right) = \frac{[(T_s - T'_e) - (T_e - T'_s)]}{\Phi} \times K \times S$$

Donc on définit comme suit :

$$\Delta T_{lm} = \frac{[\Delta T_2 - \Delta T_1]}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad [5, 6, 7]$$

Pour l'écoulement à contre-courant :

$$\Delta T_2 = T_s - T'_e \quad \text{Et} \quad \Delta T_1 = T_e - T'_s$$

Application :

$$\Delta T_{lm} = \frac{[\Delta T_2 - \Delta T_1]}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

Avec :

$$\Delta T_2 = T_s - T'_e \quad \Delta T_1 = T_e - T'_s$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{[(5,08 - 0,21) - (26,7 - 3,91)]}{\ln\left(\frac{5,08 - 0,21}{26,7 - 3,91}\right)}$$

$$= 11.61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 1.5. Le coefficient d'échange

$$K = \frac{\Phi}{S_{echange} \times \Delta T_{lm}}$$

Avec :

$\Phi_{echange}$  : le flux d'échange en W.

$S_{echange}$  : la surface d'échange en m<sup>2</sup>.

$\Delta T_{lm}$  en °C.

$K$  : coefficient d'échange en  $w/m^2 \cdot ^\circ c$   $\implies K_{(constructeur)} = 978,53 w/m^2 \cdot ^\circ c$

On peut déduire la surface d'échange :  $S_{\text{échange}} = \frac{\phi_{\text{échange}}}{K \times \Delta T_{lm}} = 91,42 \text{ m}^2$

Le coefficient d'échange sert à :

- montrer l'état physique de l'échangeur (encrassement).
- indiquer la facilité avec laquelle l'énergie thermique passe au travers de la surface d'échange (la qualité d'échange).

### II.5.1. Suivi du coefficient d'échange d'échangeur de type GEA ligne 1

Calculons d'abord la surface d'échange dans l'état idéal

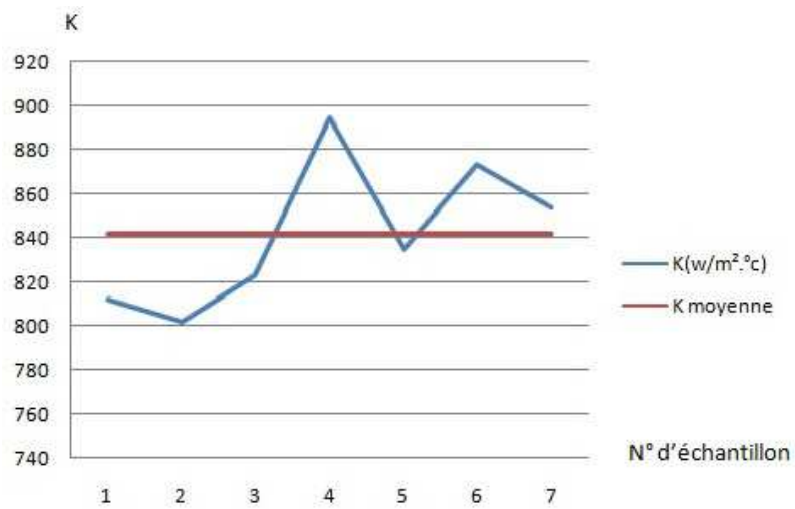
$$S_{\text{échange}} = \frac{\phi_{\text{échange}}}{K \times \Delta T_{lm}} = 108,63 \text{ m}^2$$

Le tableau ci-dessous donne le coefficient d'échange :

Date	K (W/m <sup>2</sup> . °c)
21/05/2013	812,77
22/05/2013	802,27
23/05/2013	823,05
24/05/2013	894,54
27/05/2013	835,08
28/05/2013	873,4
29/05/2013	853,58

Tableau 1: suivi du coefficient d'échange K de GEA (ligne 1)

Dans le tableau précédent et le tableau suivant, nous remarquons l'absence de quelques jours, ceci est dû aux jours de weekends.



**Figure 17:** évolution du coefficient d'échange K de l'échangeur de type GEA (ligne 1)

**Commentaire :**

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.

## II. La Bilan thermique de l'échangeur à plaque GEA (ligne 2)

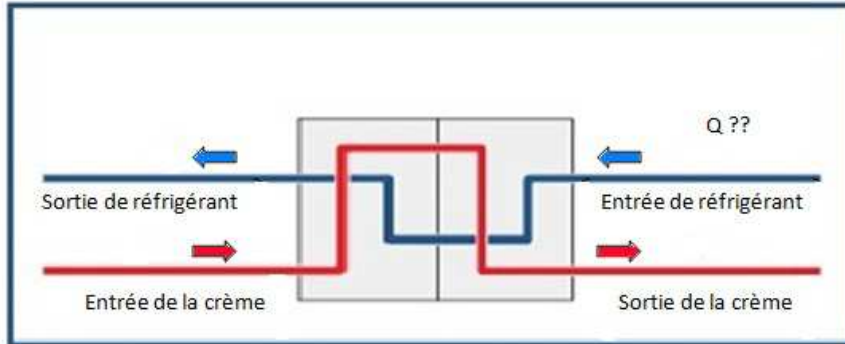


Figure 18: schéma descriptif de l'entrée et la sortie des deux liquides dans l'échangeur GEA-2

### II.1. Détermination du débit de l'eau glycolé Q'

$\phi_c$  : flux de chaleur cédé par le fluide chaud (crème)

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

$\phi'$  : Flux de chaleur gagné par le fluide froid (l'eau glycol)

$$\phi' = m' \times C'_p \times \Delta T = m' \times C'_p \times (T'_s - T'_e)$$

On néglige les pertes thermiques :

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

$$m \times C_p \times (T_e - T_s) = m' \times C'_p \times (T'_s - T'_e)$$

$$\Rightarrow m' = \frac{m \times C_p \times (T_e - T_s)}{|C'_p \times (T'_s - T'_e)|}$$

On a :  $m = \rho \cdot q = 1040 \text{ kg/m}^3 \times 13 \text{ m}^3 / \text{h}$

$m = 13520 \text{ kg/h}$  ( $m$  : débit massique de la crème)

$C_p = 0,85 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{c}$  ;  $C'_p = 0,93 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{c}$

$T_e = 27,3^\circ\text{c}$  ;  $T_s = 4,76^\circ\text{c}$

$T'_e = 0,62^\circ\text{c}$  ;  $T'_s = 2,87^\circ\text{c}$

Donc : 
$$m' = \frac{13520 \times 0,85 \times (27,3 - 4,76)}{|0,93 \times (2,87 - 0,62)|} = 123789,5 \text{ kg/h}$$

$$\Rightarrow Q' = \frac{m'}{\rho} = 120,3 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Avec  $\rho = 1029 \text{ m}^3 / \text{kg}$ .

## II.2. Puissance d'échangeur

$$\text{On a } P_{(\text{éch})} [\text{kw}] = C_p \times \frac{m}{\text{durée.cycle}} \times (T_e - T_s)$$

Avec :

$$C_p = 0,85 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{c} = 3553 \text{ J/kg.}^\circ\text{c}$$

$m_{(\text{crème})}$  ?

$$\text{On a } \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho \cdot V_{\text{cuve}}$$

$$\text{Avec : } V_{\text{cuve}} = V_{\text{cylindre}} + 1200\text{l} = \pi \cdot r^2 \cdot h + 1200\text{l} = \pi \times \left(\frac{3,54}{2}\right)^2 \times 9 + 1200\text{l}$$

$$1200 \text{ L} = 1,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Donc } V_{(\text{cuve})} = 89,78 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow m_{(\text{crème})} = 93371,2 \text{ kg}$$

$$T_e = 27,3^\circ\text{c}$$

$$T_s = 4,76^\circ\text{c}$$

$$\text{Durée. cycle} = 2\text{h} = 2 \times 3600 = 7200 \text{ s}$$

### Application numérique :

$$\Rightarrow P_{(\text{éch})} = \frac{3,553 [\text{kJ} / \text{kg.}^\circ\text{c}] \times 93371,2 [\text{kg}] \times 22,54 [^\circ\text{c}]}{7200 [\text{s}]}$$

$$\Rightarrow = 1038,5 \text{ KW}$$

**Commentaire :** Pour refroidir la crème de  $27,3^\circ\text{c}$  à  $4,76^\circ\text{c}$ , il faut donc une puissance de  $1038,5 \text{ [KW]}$ .

## II.3. Calcul des flux

**Flux cédé**  $\phi_c$  : flux de chaleur cédé par le fluide chaud (crème)

$$\begin{aligned} \phi_c &= m \times C_p \times \Delta T = m \times C_p \times (T_e - T_s) \\ &= 13520 \times 0,85 \times 4,18 \times (27,3 - 4,76) \\ &= 1082,74 \text{ KW} \end{aligned}$$

**Flux reçu**  $\phi'$  : flux de chaleur gagné par le fluide froid (l'eau glycol)



$$\begin{aligned}\phi' &= m' \times C_p' \times \Delta T = m' \times C_p' \times (T_s' - T_e') \\ &= 123789,5 \times 0,93 \times 4,18 \times (4,76 - 0,62) \\ &= 1992,24 \text{ KW}\end{aligned}$$

$$\Longrightarrow \eta = \frac{\phi'}{\phi} = 100\% \quad (\text{Car on a n\u00e9glig\u00e9 les pertes thermiques})$$

#### II.4. M\u00e9thode de diff\u00e9rences de temp\u00e9rature logarithmique moyennes (DTlm)

$$\Delta T_{lm} = \frac{[\Delta T_2 - \Delta T_1]}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

Avec :

$$\begin{aligned}\Delta T_2 &= T_s' - T_e' & \Delta T_1 &= T_e - T_s' \\ \Delta T_{lm} &= \frac{[(4,76 - 0,62) - (27,3 - 2,87)]}{\ln\left(\frac{4,76 - 0,62}{27,3 - 2,87}\right)}\end{aligned}$$

$$\Delta T_{lm} = 11,43 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### II.5. Le coefficient d'\u00e9change

$$K = \frac{\Phi}{S_{\text{echange}} \times \Delta T_{lm}}$$

Avec :

$\Phi_{\text{echange}}$  : le flux d'\u00e9change en W.

$S_{\text{echange}}$  : la surface d'\u00e9change en m<sup>2</sup>.

$\Delta T_{lm}$  : en  $^\circ\text{C}$ .

$$K : \text{coefficient d'\u00e9change en } w/m^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad \Longrightarrow \quad K_{(\text{constructeur})} = 978,53 w/m^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{On peut d\u00e9duire la surface d'\u00e9change : } S_{\text{echange}} = \frac{\phi_{\text{echange}}}{K \times \Delta T_{lm}} = 92,81 \text{ m}^2$$

##### II.5.1. Suivi du coefficient d'\u00e9change d'\u00e9changeur de type GEA ligne 2 :

Calculons d'abord la surface d'\u00e9change dans l'\u00e9tat id\u00e9al :

$$S_{\text{echange}} = \frac{\phi_{\text{echange}}}{K \times \Delta T_{lm}} = 108,63 \text{ m}^2$$

Le tableau ci-dessous donne le coefficient d'échange :

Date	K (W/m <sup>2</sup> . °c)
21/05/2013	861,16
22/05/2013	726,83
23/05/2013	931,37
24/05/2013	870,31
27/05/2013	835,08
28/05/2013	846,90
29/05/2013	826,02

Tableau 2: suivi du coefficient d'échange K de GEA (ligne 2)

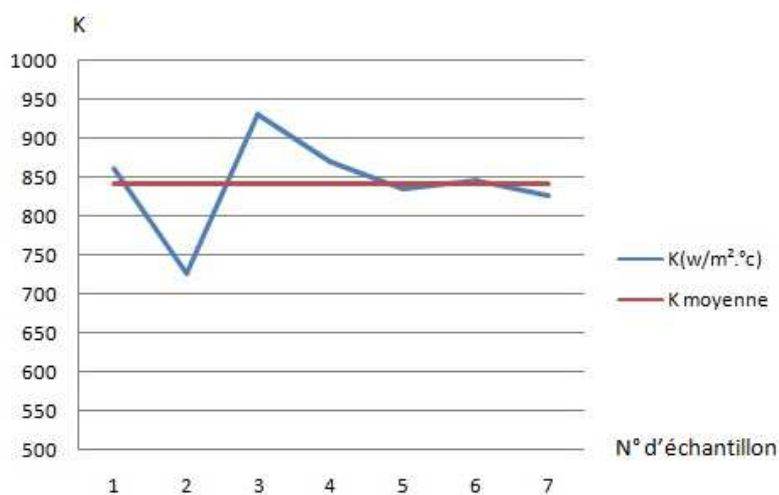


Figure 19: évolution du coefficient d'échange K de l'échangeur de type GEA (ligne 2)

**Commentaire :**

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.

### III. Bilan thermique de l'échangeur à l'état idéal

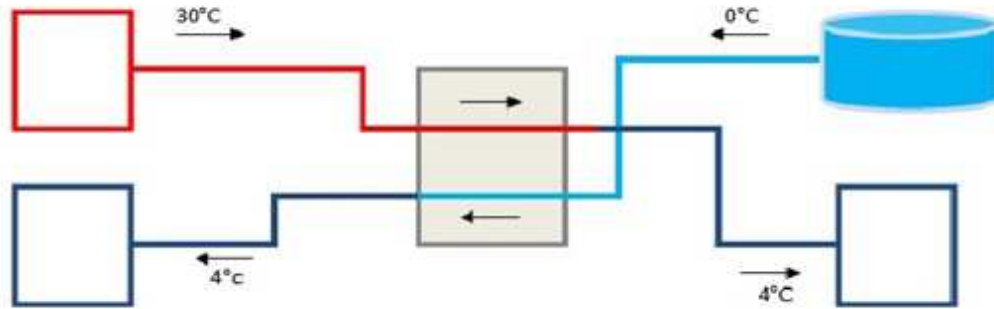


Figure 20: schéma d'entrée et de sortie des deux liquides

Dans l'état idéal, la crème entre dans l'échangeur à une température de 30°C et si l'eau froide est à 0°C, alors la température de la crème descendra à 4°C, tandis que la température de l'eau montera à 4°C.

Donc, on calcul dans ces conditions les flux (cédé et reçu) ainsi que le rendement :

#### III.1. Calcul des flux

$$T_{e(\text{crème})} = 30^{\circ}\text{C} \quad T_{s(\text{crème})} = 4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e(\text{l'eau gly})} = 0^{\circ}\text{C} \quad T_{s(\text{l'eau gly})} = 4^{\circ}\text{C}$$

**Le flux cédé  $\phi_c'$**  : flux de chaleur cédé par le fluide chaud (crème)

$$\phi_c' = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 13520 \times 0,85 \times 4,18 \times (30 - 4)$$

$\phi_c' = 1248,95 \text{ KW}$

**Le flux reçu  $\phi''$**  : flux de chaleur gagné par le fluide froid (l'eau glycolé)

$$\phi'' = m' \times C_p' \times \Delta T'$$

$$= 72204,9 \times 0,93 \times 4,18 \times (4 - 0)$$

$\phi'' = 1122,76 \text{ KW}$

#### III.2. Calcul des pertes

$$\phi_{\text{pertes}} = \phi_c' - \phi''$$

$$= 1248,95 - 1122,76$$

$\phi_{\text{pertes}} = 126,2 \text{ KW}$

#### III.3. Le rendement

$$\eta = \frac{\phi''}{\phi_c'} = 90\%$$

### III.4. Méthode de différences de températures logarithmiques moyennes (DTLM)

$$\Delta T_{lm} = \frac{[\Delta T_2 - \Delta T_1]}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\Delta T_2 = T'_s - T'_e \quad \text{et} \quad \Delta T_1 = T_e - T'_s$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{[(4 - 0) - (30 - 4)]}{\ln\left(\frac{4 - 0}{30 - 4}\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = 11.75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### III.5. La surface d'échange

$$K = \frac{\Phi}{S_{\text{échange}} \times \Delta T_{lm}}$$

Avec :

$\Phi_{\text{échange}}$  : le flux d'échange (en W).

$S_{\text{échange}}$  : la surface d'échange (en m<sup>2</sup>).

$\Delta T_{lm}$  : (en °C).

K : coefficient d'échange (en  $w/m^2 \cdot ^\circ c$ )  $\implies K_{(\text{constructeur})} = 978,53 w/m^2 \cdot ^\circ c$

On peut déduire la surface d'échange :  $S_{\text{échange}} = \frac{\phi_{\text{échange}}}{K \times \Delta T_{lm}} = 108,63 \text{ m}^2$

### III.6. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons déterminé les différents facteurs qui influencent sur la performance et la capacité des échangeurs GEA ligne 1 et GEA ligne 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 pertes dues aux encrassements déposées sur les surfaces d'échanges.
- Pertes des parois.
- Les puissances des échangeurs.

## Chapitre 4 :Dimensionnement de l'échangeur

*Cette partie décrit les solutions qui vont améliorer l'efficacité thermique des échangeurs de chaleur GEA (ligne 1) et GEA (ligne 2).*

- I. Dimensionnement de l'échangeur GEA (ligne 1)
- II. Dimensionnement de l'échangeur GEA (ligne 2)

## I. Dimensionnement de l'échangeur GEA (ligne 1)

Le projet consiste à augmenter la surface d'échange, afin de diminuer la température de sortie de la crème de 5°C à 3°C.

### Méthodologie de calcul :

La quantité de chaleur échangée dans un échangeur est donnée par la relation suivante :

$$\phi = m \times C_p \times (T_e - T_s'') = 1138,46 \text{ KW}$$

La nouvelle surface d'échange est donc

$$S' = \frac{m \times C_p \times (T_e - T_s'')}{K \times \Delta T'_{lm}}$$

$S'$  : La nouvelle surface totale d'échange

$m$  : Débit massique de la crème (en °C)

$C_p$  : La chaleur spécifique (en kcal/kg.°C) (crème)

$T_e$  : La température de l'entrée de la crème (en °C)

$T_s''$  : La nouvelle température de la crème à la sortie (en °C)

$K$  : Le coefficient de transfert de chaleur = 978,53 w/m<sup>2</sup>.°C

$\Delta T'_{lm}$  : La nouvelle moyenne logarithmique des différences de températures des deux fluides

On a :

$$\Delta T'_{lm} = \frac{[\Delta T_2 - \Delta T_1]}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$\text{Avec} \quad \Delta T_2 = T_s'' - T'_e \quad \Delta T_1 = T_e - T'_s$$

$$\Delta T'_{lm} = \frac{[(3 - 0,21) - (26,7 - 3,91)]}{\ln\left(\frac{3 - 0,21}{26,7 - 3,91}\right)} = 9,54^\circ\text{C}$$

$$\text{Donc : } S' = 121,95 \text{ m}^2$$

On déduit le nombre  $N''$  de plaques a ajouté

$$N'' = N' - N$$

$$N'' = (S'/S) - N$$

Avec :

$$S: \text{ la surface d'une seule plaque est } 1,11 \text{ m}^2. \left( S_{\text{plaque}} = \frac{S_{\text{échange}}}{N} = \frac{91,42}{82} = 1,11 \text{ m}^2 \right)$$

$N$  : le nombre de plaque actuelle est de 82 plaques.

$N'$  : le nouveau nombre de plaques  $N' = S'/S \Rightarrow N' = 110$  plaques

$N''$  : le nombre de plaques a ajouté  $N'' = N' - N$   $N'' = 28$  plaques

Donc pour atteindre la température  $3^\circ\text{C}$  à la sortie de crème il faut ajouter 28 plaques.

## II. Dimensionnement de l'échangeur GEA (ligne 2)

$$\Delta T'_{lm} = \frac{[\Delta T_2 - \Delta T_1]}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

Avec  $\Delta T_2 = T_s'' - T'_e$   $\Delta T_1 = T_e - T'_s$

$$\Delta T'_{lm} = \frac{[(3 - 0,62) - (27,3 - 2,87)]}{\ln\left(\frac{3 - 0,62}{27,3 - 2,87}\right)} = 9,47^\circ\text{C}$$

Le nouveau flux cédé

$$\begin{aligned}\phi_c &= m \times C_p \times \Delta T = m \times C_p \times (T_e - T_s) \\ &= 13520 \times 0,85 \times 4,18 \times (27,3 - 3) \\ &= 1167,26 \text{ KW}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow S'_{\text{échange}} = 125,96 \text{ m}^2$$

On déduit le nombre  $N''$  de plaques a ajouté

$$N'' = N' - N$$

$$N'' = (S'/S) - N$$

Avec :

S: la surface d'une seule plaque est  $1,13 \text{ m}^2$ .  $\left( S_{\text{plaque}} = \frac{S_{\text{échange}}}{N} = \frac{92,81}{82} = 1,13 \text{ m}^2 \right)$

N : le nombre de plaque actuelle est de 82 plaques.

$N'$  : le nouveau nombre de plaques  $N' = S'/S \Rightarrow N' = 112$  plaques

$N''$  : le nombre de plaques a ajouté  $N'' = N' - N$

$N'' = 30$  plaques

Donc pour atteindre la température  $3^\circ\text{C}$  à la sortie de crème il faut ajouter 30 plaques.

## **Chapitre 5 : Le ratio de transformation**

*Ce chapitre consiste à suivre des lots de levure en commençant par la cuve de stockage jusqu'à l'emballage, en calculant la quantité de la crème dans la cuve et la comparer avec celle de l'emballage afin de connaître s'il y a des pertes dans ce cycle ou non.*

### **I. Ratio de transformation**



## I. Ratio de transformation

### I.1. Définitions

**Ratio de transformation** : est la mesure du rapport entre la quantité de la crème stockée dans la cuve industrielle et la quantité totale de levure obtenue à l'emballage afin d'évaluer les pertes.

**GPL** : Sert à transformer un volume de liquide à un solide, c'est-à-dire se débarrasser de l'eau pour déterminer son poids. Cette transformation se fait par un appareil qui fait la filtration du liquide.

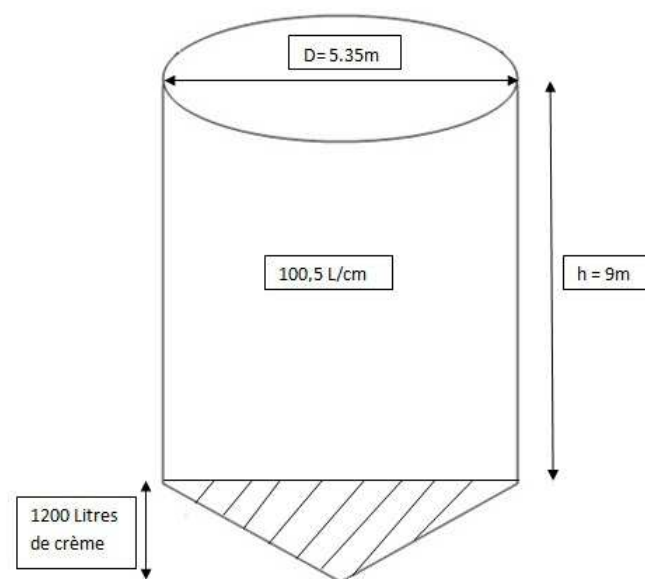


Figure 21: cuve de stockage de la crème

### I.2. Calcul du ratio de transformation

Pour le lot 513 stocké dans la cuve VS 10 :

1<sup>ere</sup> étape :

Détermination du GPL :

On a pris 250g de crème (cuve de stockage)

250g  $\longrightarrow$  GPL = 590,8 g/l obtenu par un appareil

2<sup>eme</sup> étape :

Après la séparation de la crème et le stockage dans la cuve VS 10, on a trouvé que la hauteur manométrique de la crème  $h = 3,48$  m.

La relation qui transforme la hauteur à un poids :

$$M = \left[ \left( \frac{h}{d} \times \frac{100,5}{10^{-2}} + 1200l \right) \times d \right] \times GPL$$

Avec :  $M = 21392,22 \text{ Kg}$

h : La hauteur de la crème stockée

d : La densité de la crème séparée (d=1,07)

**3<sup>ème</sup> étape :**

Suivi à l'emballage on a obtenu 22 palettes.

1 (palette) → 900 kg

22(palettes) → 19800 kg

⇒  $M' = 19800 \text{ kg}$

Le ratio de transformation est :

$$\text{Ratio} = \frac{M}{M'} = \frac{21392,22}{19800}$$

⇒ Ratio = 1,08

Le tableau ci-dessous donne le ratio de transformation des différents lots :

Cuve	N° lot	Hauteur (m)	M(Kg)	M' (kg)	GPL	Ratio
VS 10	507	7,53	45175,81	42300 (47 palettes)	0,587	1,07
VS 11	508	5,73	34144,9	32400 (36 palettes)	0,58	1,06
VS 10	513	3,48	21392,22	19800 (22 palettes)	0,59	1,08

Tableau 3: calcul du ratio de transformation

**Commentaire :**

- Dans le lot N°507 on a trouvé un ratio de 1,07, c'est-à-dire pour 1,07 Kg de crème (la cuve de stockage) donne 1 Kg de la levure à l'emballage (produit fini).

Il y a 0,07 Kg de pertes au niveau d'emballage dans chaque 1 Kg de la crème séparée.

- Dans le lot N°508 on a trouvé un ratio de 1,06, c'est-à-dire pour 1,06 Kg de crème (la cuve de stockage) donne 1 Kg de la levure à l'emballage (produit fini).

Il y a 0,07 Kg de pertes au niveau d'emballage dans chaque 1 Kg de la crème séparée.

- Dans le lot N°512 on a trouvé un ratio de 1,08, c'est-à-dire pour 1,08 Kg de crème (la cuve de stockage) donne 1 Kg de la levure à l'emballage (produit fini).

Il y a 0,08 Kg de pertes au niveau d'emballage dans chaque 1 Kg de la crème séparée.

### **I.3. Cause des pertes**

Les pertes sont dues aux :

- mesures et réglages,
- Démarrage des machines,
- Au niveau d'emballage (des casses),
- Main d'œuvre,
- Passage de la levure entre la cuve de stockage et l'emballage (la filtration).

## Conclusion

Sur la base de l'ensemble des résultats obtenus de cette analyse, une liste de recommandations a été établie pour atteindre les objectifs de cette étude notamment l'amélioration de l'efficacité des échangeurs, et aussi la détermination des pertes au niveau d'emballage (calcul du ratio de transformation).

En effet, on a présenté les solutions ci-dessous à opter pour atteindre les objectifs cités en cahier de charge :

- L'augmentation du débit de l'eau glycolée.
- Améliorer la surface d'échange pour les échangeurs des deux lignes en ajoutant des plaques.
- Nettoyage régulier des échangeurs.
- Respecter le plan de maintenance préventive pour les équipements.

Enfin, on espère que nos propositions concernant l'amélioration de la consommation de l'énergie, soient bénéfiques pour assurer une bonne rentabilité des équipements énergétiques.

## **Référence bibliographiques :**

[4] : André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, Jacques HUETZ, Christophe MARVILLET, Pierre MERCIER, Roland VIDIL, « Description des échangeurs », technique de l'ingénieur [B 2 341].

[5] : Philippe LAPLAIGE, Jean LEMALE, « Énergie géothermique », technique de l'ingénieur [BE 8 590].

[6] : VITHERM sas, « Échangeur de chaleur à plaques jointées», VT-MAN 1003 France (2005).

[7] : B.Bourret, « Les échangeurs de chaleur » INSA Toulouse