



Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Introduction générale

Première partie : Présentation de LESAFFRE MAROC

I. LE GROUPE LESAFFRE	2
II. LESAFFRE-MAROC.....	3
III. PRODUITS ET MARQUES DE REFERENCE	3
IV. ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE.....	4

Deuxième partie : Procédé de fabrication de la levure

INTRODUCTION

I. LA LEVURE	5
II. LA LEVURE SACCHAROMYCES CEREVISIAE	7
1. Principales caractéristiques	7
2. Composition chimique	7
3. Métabolisme	8
III. LA CHAINE DE PRODUCTION	8
1. Préparation de la mélasse et des sels nutritifs	9
2. Fermentation.....	13
a. Echelle laboratoire.....	13
b. Echelle industriel	13
3. Filtration sous vide	15
4. Conditionnement de la levure	15

CONCLUSION



Troisième partie : La partie pratique

INTRODUCTION

I. OPTIMISATION DU CLARIFICATEUR DE LA MELASSE	19
1. le clarificateur de la mélasse	19
2. Suivi de la clarification de mélasse en fonction du temps	21
3. Evaluation des pertes en sucres dans les boues de débouillage	29
II. BILAN THERMIQUE DE LA STATION DE TRAITEMENT DE LA MELASSE.....	35
1. La Dilution	35
2. Stockage de la MDC	37
3. Stérilisateur et échangeur de chaleur a plaques.....	38

CONCLUSION

Conclusion générale

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

RESUME

MOTS CLES

INTRODUCTION GENERALE





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

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

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

Ce mémoire est constitué de trois parties :

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

- L'évaluation du rendement du clarificateur, et proposition d'amélioration.
- Détermination des pertes de sucre dans l'opération de clarification.
- Evaluation des pertes énergétiques en établissant des bilans thermique sur chaque étape de traitement de la mélasse.

Première partie

Présentation de la société
Présentation de la société
LESAFFRE MAROC



USINE DE FES



I. Le groupe LESAFFRE :

Le groupe agroalimentaire LESAFFRE est le leader mondial dans le domaine de la levure de panification. Fort de ses connaissances approfondies de la levure et de ses compétences pointues en biotechnologies, Lesaffre intervient également dans les domaines de la nutrition santé humaine et animale. Symbole de proximité et de fidélité, l'hirondelle est l'emblème fédérateur du groupe Lesaffre à travers le monde.

L'histoire raconte qu'en 1853 deux frères Louis Lesaffre-Roussel et Louis Bonduelle-Dalle créent une distillerie d'alcool de grains et de genièvre à Marquette-lez-Lille. Un premier moulin est acquis en 1863 à Marcq-en-Baroeul. Mais l'industrie de la levure démarre réellement en Autriche en 1867 avec le procédé Mautner. Ce procédé empirique consistait à préparer un moût de grains, de telle sorte que le dégagement gazeux entraînait la levure à la surface où elle était recueillie. Lorsqu'en 1871 le baron autrichien Max de Springer, propriétaire à Maisons-Alfort près de Paris d'une très belle distillerie, rapporte de chez Mautner, à Vienne, l'idée d'extraire la levure des moûts de fermentation des grains et de la vendre aux boulangers ; Lesaffre & Bonduelle décident à leur tour en 1873 de développer la fabrication de levure fraîche à Marcq-en-Baroeul, à la place de l'ancien moulin. Mais contre toute attente en **1901** Les familles LESAFFRE et Bonduelle décident de poursuivre séparément leurs activités. L'entreprise est partagée en 3 branches : Lesaffre & Cie (alcool et levure) et Lesaffre Frères (sucrierie et distillerie). Bonduelle est aujourd'hui un acteur reconnu sur le marché du légume. Mais en 1910 L'usine de Marcq-en-Baroeul subit un grand incendie qui la détruit totalement, elle est reconstruite. 1923 avec la crise de l'alcool de grains, l'Etat français décide brutalement d'abaisser le prix, rendant sa production économiquement impossible. Une nouvelle matière première pour la levure sera trouvée, la mélasse, moyennant quelques aménagements techniques. De **1939-1945** Lors de la seconde guerre mondiale, Lesaffre met au point des produits à base de levure destinés à atténuer la pénurie alimentaire : production de la première levure sèche active. L'envolée vers l'international aura lieu entre 1963 et 2000 dont une implantation au Maroc. *(3)



II. LESAFFRE-MAROC :

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

Son siège est situé au quartier industriel SIDI BRAHIM Fès. Elle produit environ 30.000 tonnes de levures par an avec un effectif de 200 personnes et un capital de 30.800.000 DH, elle est subdivisée en un site de production à Fès et un BANKING CENTER à Casablanca.

Ce dernier site constitue une vitrine des produits Lesaffre où les boulangers peuvent suivre des formations et des démonstrations applicables à leur métier. *(3)

III. Produits et marques de référence :

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

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

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

Les améliorants de panification sont quant à eux commercialisés sous les marques **Ibis bleu** et **Magimix**. Tout ceci est produit, conditionné, stocké, contrôlé et distribué par une organisation d'entreprise bien ficelée. *(2)

IV. Organigramme de l'entreprise :

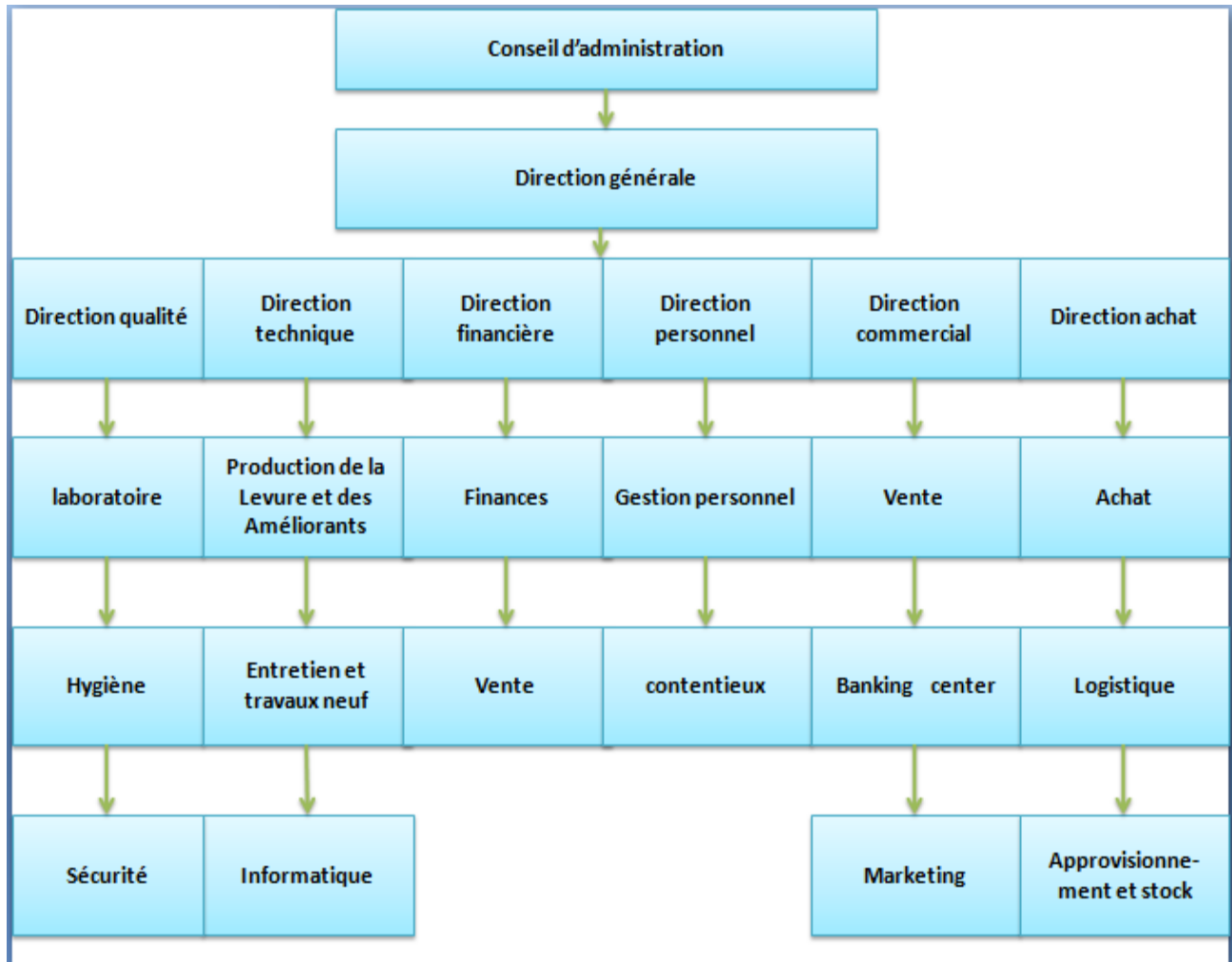


Figure.1. Organigramme de l'entreprise Lesaffre-Maroc

Deuxième partie

Procédé de Fabrication de la Levure LESAFFRE MAROC



USINE DE FES

Introduction

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

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

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

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

I. La levure :

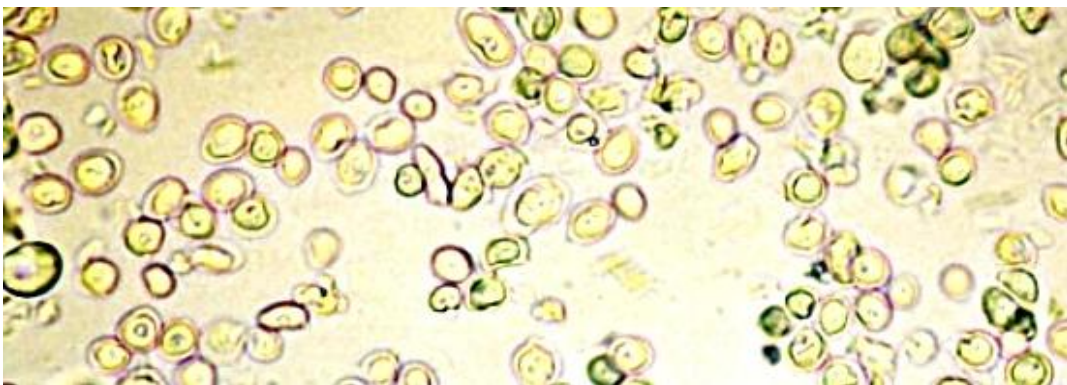


Figure.2. Les cellules de la levure *Saccharomyces cerevisiae*

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. *(4)

Un organisme vivant :

Sous son aspect inerte, ce bloc de levure est constitué d'une multitude d'organismes vivants, appelés scientifiquement « **micro-organismes** ». La cellule de levure a la forme d'un œuf et n'est visible qu'au microscope. En effet, sa taille ne dépasse pas les 6 à 8 millièmes de millimètres, à peine plus grand qu'une tête d'épingle ! A noter qu'un cube de 1 cm de côté pèse environ 1g et renferme, à lui seul 10 milliards de cellules vivantes de levure.

Si l'on mettait bout à bout toutes les cellules contenues dans un bloc de 1 kilogramme de levure, on obtiendrait une chaîne de 42 000 kilomètres, soit la circonférence de la Terre !



Il existe plusieurs espèces de levure. La plus connue s'appelle **Saccharomyces cerevisiae**. Toutefois, il existe beaucoup d'autres genres de levures. Etymologiquement « saccharo » vient de sucre, « Myces » de champignon et « cerevisiae » signifie « brasserie » en latin. Plus communément, les *saccharomyces cerevisiae* sont appelées « levures de bière » et « levure de boulangerie » mais elles peuvent également prendre le nom de « levure bourgeon », de par leur mode de reproduction. La levure fait souvent penser au monde de la boulangerie. Pourtant, en sélectionnant les souches et en développant des techniques de multiplication, la levure trouve de multiples autres applications et ce dans diverses activités telles que l'agroalimentaire, les arômes, la pharmacie, la santé animale, etc. *(4)

II. La levure *Saccharomyces Cerevisiae* :

1. Principales caractéristiques :

La levure de boulangerie est un champignon unicellulaire, de la classe des Ascomycètes (présence de sacs renfermant des spores), du genre *Saccharomyces* (le nom réfère à son affinité pour le sucre) et de l'espèce *Cerevisiae* (le nom évoquant celui de cervoise, jadis donné à la bière); le nom *Saccharomyces Cerevisiae* a été donné à la levure de bière en 1838 par Meyer. Au microscope optique, elle a une forme ovoïde. Un gramme de levure pressée contient 8 à 10 milliards de cellules. Sur une coupe observée en microscope électronique, on distingue comme le montre la figure ci-dessous :

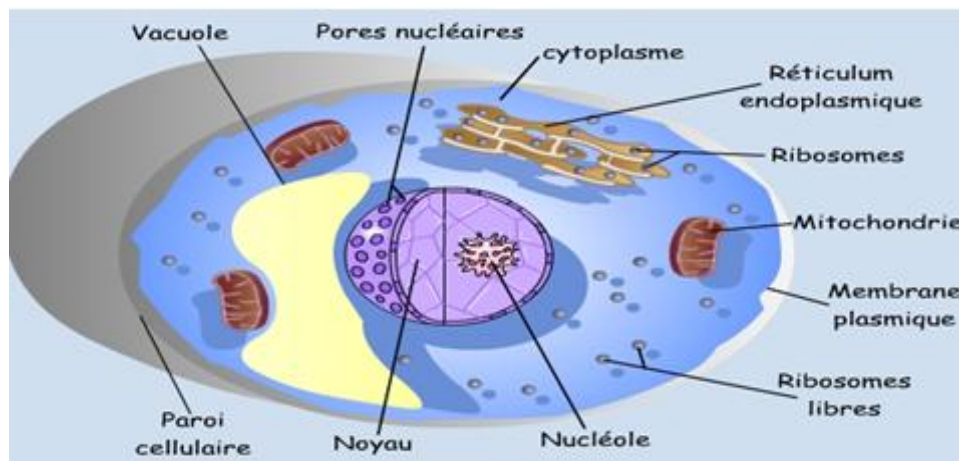


Figure.3. Structure d'une cellule de la levure

Elle est la plus utilisée en industrie et en boulangerie mais il en existe pour des applications boulangères précises. *(4)

2. Composition chimique :

La composition de la levure dépend de ses caractéristiques et de ses conditions de conservation. Les protéines, avec une forte proportion d'enzymes, sont l'image d'une activité métabolique potentiellement importante et d'un pouvoir fermentatif élevé. La paroi cellulaire, d'une épaisseur de 70 +/- 10 nm, représente 15 à 18 % des matières sèches cellulaires. *(4)

Les glucides sont principalement des glycanes et des mannanes constitutifs de la paroi, du glycogène (macromolécule de réserve utilisée en cas de longue carence en éléments nutritifs) et du tréhalose (disaccharide mobilisé préférentiellement en cas de carence courte). Les lipides tels que les lipoprotéines et les phospholipides qui constituent la membrane cytoplasmique sont d'une

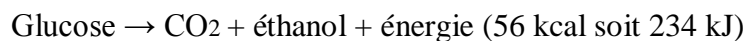


importance capitale dans le maintien de ses propriétés au cours des différents procédés de séchage pour les levures sèches actives. Le phosphore, un des nombreux minéraux, est impliqué dans la constitution des acides nucléiques, des membranes et des molécules à fort potentiel énergétique.

3. Métabolisme :

La levure de boulangerie appartient à un groupe relativement mineur de levures : les levures aérobies facultatives et fermentaires, capables d'utiliser le glucose en présence ou en absence d'oxygène et le fermenter même en présence d'air. La levure tire son énergie du sucre. Mais cette levure peut utiliser d'autres éléments constitués d'atomes de carbone comme l'amidon, le maltose, le saccharose, etc. Lors de l'oxydation du glucose, deux cas de figure peuvent apparaître selon que l'on est en présence ou en absence d'oxygène. Les quantités d'énergie libérées sont alors différentes.

En anaérobiose, le sucre est fermenté. L'oxydation du glucose est incomplète :



Cette voie métabolique, appelée glycolyse, fait intervenir pas moins de 12 enzymes, qui constituent de 30 à 65 % des protéines cytosoliques selon les cas.

On estime que 95 % du glucose est transformé en CO_2 + alcool et que 5 % aboutit à des produits de fermentations secondaires : glycérol, acides organiques, aldéhydes, esters, alcools supérieurs, etc. L'ensemble de ces réactions est la base de la fermentation panair : le gaz carbonique provoque la levée de la pâte tandis que les métabolites secondaires contribuent à la création du goût et de l'arôme du pain.

En aérobiose, l'oxydation du glucose est complète :



Ce phénomène de répression catabolique revêt une grande importance dans la production industrielle de levure et justifie le procédé d'alimentation continue, appelé procédé « fedbatch ».

III. La chaîne de production :

L'objectif des fabricants de levures est de produire un nombre important de levures capable de garder leur aptitude à fermenter pendant 4 semaines au minimum dans des conditions de stockage de 4°C.



Les levures se multiplient par bourgeonnement, en fermentation aérobie avec un temps de dédoublement de 1H 30min dans des conditions de suralimentation avec production d'alcool. Les étapes de fabrication sont :

- La préparation de la mélasse et des sels nutritifs
- Phase de fermentation
- Phase de filtration sous vide
- Phase de conditionnement de la levure *(2)

1. La Préparation du milieu de culture :

La levure est très exigeante sur le milieu de culture dont les éléments essentiels (mélasse, soufre, urée, phosphate...dont les composantes indispensables N, P, C, S) sous des conditions physico-chimiques optimums.:

- Source de carbone : la mélasse après dilution, stérilisation et clarification.
- Source d'azote : l'urée qui est stocké après dilution.
- Source de sulfate : la solution de sulfate d'ammonium.
- Source de phosphore : la solution de phosphate.
- Eau : joue sur les caractères physico-chimiques de la levure.

a. La mélasse :



Figure.4. La mélasse brute

La mélasse est la matière première essentielle pour la production de la levure, c'est un sous-produit des sucreries. La mélasse est livrée par des camions puis stockée dans de grands tanks.

Dilution :

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

Pour effectuer cette tâche, on introduit dans une cuve de capacité de 15 m³ la mélasse brute (22% mélasse de la canne à sucre, 78% mélasse de la betterave) qui provient de deux grands tanks de stockage. La dilution est d'environ 52% de la mélasse brute et 48% de l'eau chaude. La température dans la cuve est de 70°C grâce à l'eau chaude ajoutée (66°C) et la vapeur injectée (3.5bar) ce qui favorise la diminution de la viscosité de la mélasse.

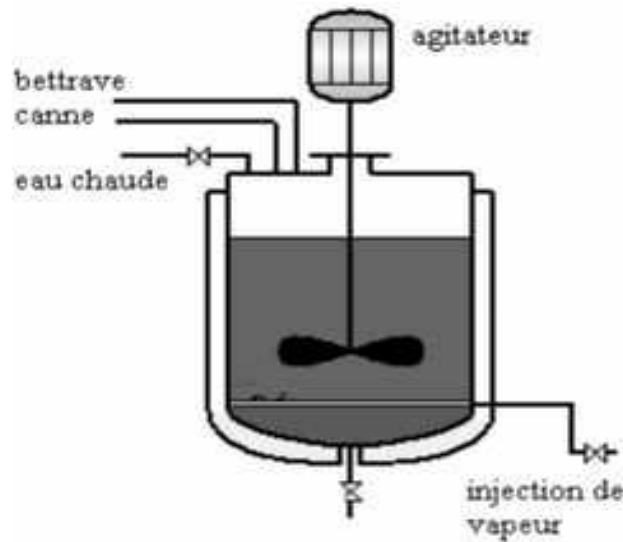


Figure.5. Cuve de dilution de la mélasse brute

Clarification

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

L'étape de clarification est précédée par une étape de filtration qui a le même but et elle est effectuée par un filtre à panier qui élimine toutes les grandes particules pour faciliter la clarification.

Stérilisation de la mélasse :

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

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

Refroidissement :

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

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

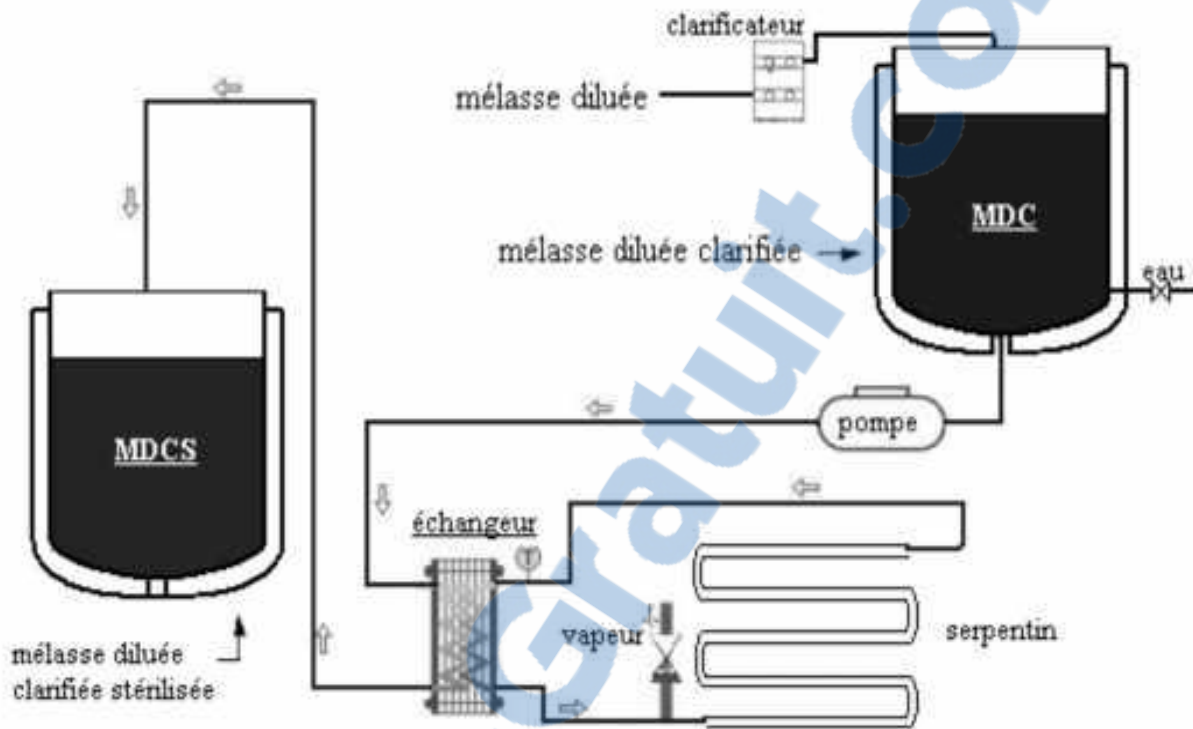


Figure.6. Schéma de clarification et stérilisation de la mélasse

b. Les sels nutritifs:

La mélasse manque de **phosphore** et d'**azote**, donc pour couvrir les besoins de la levure, d'où la nécessité de les apporter sous forme de sels nutritifs qui comprennent :

- **L'urée et les sulfates d'ammonium** : sont une source d'azote nécessaire pour la production des enzymes et des protéines cellulaires.
- **Les phosphates** : sont une source de phosphore qui peut également apporter de l'azote (phosphate d'ammonium). Le phosphore est nécessaire pour la production d'énergie et la phosphorylation membranaire.

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

2. Fermentation :

a. Echelle laboratoire :

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

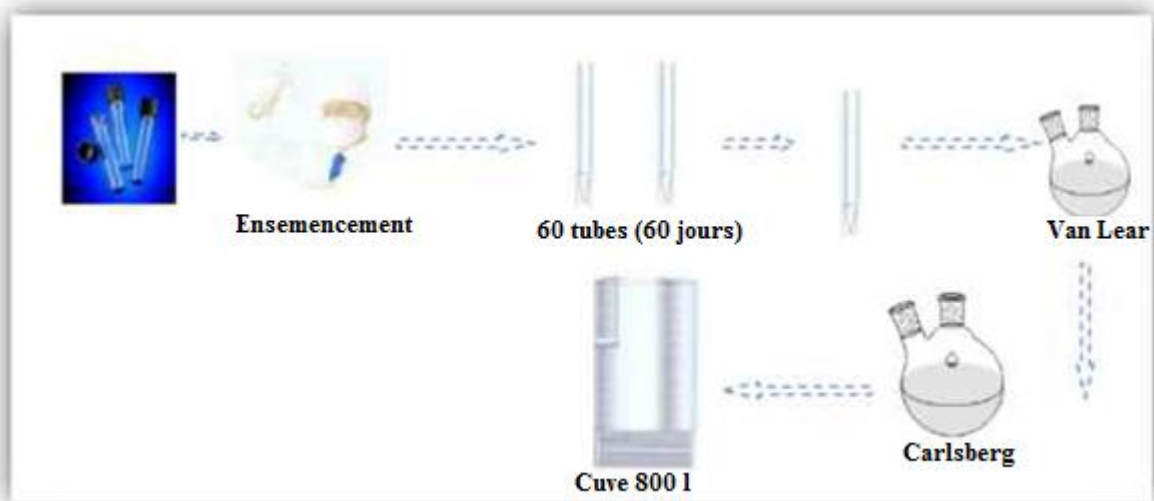


Figure .7. Les étapes de cultures pures de la souche avant préfermentation

b. Echelle industriel :

✚ Pré-fermentation :

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



La mélasse, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate sont ajoutés graduellement au cours du 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.

Fermentation de la levure mère :

Après la préfermentation on passe à la fermentation de la levure mère qui se fait dans des grandes cuves. Dans cette étape l'alimentation en mélasse et les autres ingrédients est continue après un temps de 17h, on aura une grande population de levure sous forme liquide qu'on appelle le moût

On ajoute aussi une anti-mousse pour éviter les mousses qui se produisent lors de la fermentation.

Les facteurs qui influencent la levure sont la température, le pH et le taux d'alcool. La Température est contrôlée à l'aide d'un régulateur lié à un échangeur de chaleur qui refroidit le moût pour ne tue pas la levure.

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.

Fermentation de la levure commerciale :

La crème déjà séparée constitue le pied d'ensemencement pour la fermentation commerciale. Cette étape de fermentation se déroule dans des fermenteurs de capacité plus grande, elle permet d'obtenir le produit fini, son principe est le même que celui de la fermentation de la levure mère. Après 17 h de fermentation, le contenu est refoulé vers la station de séparation.

Séparation de la levure commerciale :

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

3. Filtration sous vide :

La filtration de la crème se fait sur tambour rotatif sous vide illustré par la figure suivante.



Figure.8. Filtre à tambour rotatif sous vide

Principe de fonctionnement du filtre de séparation de la levure :

Le tambour est un cylindre horizontal (80 cm de diamètre) perforé servant de support. Il est revêtu d'une pré-couche d'amidon (toile filtrante) qui ne laisse passer que l'eau sans la suspension solide. Pendant la rotation lente du tambour (3 tr/min) les cellules sont immergées à tour de rôle dans l'auge contenant la crème et le NaCl. Sous l'action du vide, l'eau traverse la pré-couche et la levure se dépose sur celle-ci sous forme de gâteau (secteur de filtration). Un lavage est fait sur le gâteau obtenu par un liquide approprié toujours sous vide (secteur de lavage) afin d'éliminer le NaCl puis un essorage entraînant une grande partie de l'eau. Une fois devant le couteau racleur, le vide cesse, l'air comprimé est envoyé à contre-courant par la valve de distribution facilitant le décrochage du gâteau.

Après raclage, le gâteau est malaxé, boudiné et extrudé à travers des filières téflonées de sections carrées, puis divisé en pains pour la levure fraîche ou séché sur lit fluidisé pour la levure sèche.

4. Conditionnement de la levure :

• Levure fraîche :

Le conditionnement de la levure fraîche 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, qu'on enveloppe individuellement dans un papier paraffiné de cellophane assurant sa bonne conservation. Après mise en carton, la levure est conservée en chambre froide afin d'être réfrigérée à cœur avant son expédition.

• Levure sèche :



Figure.9. Aspect de la levure sèche

La production de ce type suit les mêmes étapes que la levure fraîche sauf qu'après la filtration sous vide la pâte est mélangée avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et donne aussi la couleur blanche caractéristique de la levure.

Le gâteau obtenu est transformé en vermicelle à l'aide d'une grille de porosité connue, ensuite elle est transférée au sécheur à lit fluidisé à l'air chaud par une conduite vibratoire afin d'éliminer le maximum d'eau restant dans la cellule sans l'endommager, tout en augmentant le taux de matière sèche jusqu'à 94% pour la SPH et 95.5% pour la SPI, La levure sèche obtenue est ensuite tamisée puis stockée dans des silos. *(3)

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

SPH : levure sèche active ou à réhydratation sous forme de granules ou de sphérules, emballées sous air dans des sachets de 50g, 100g et 500g.



Conclusion

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

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

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

La mélasse, diluée et clarifiée (MDC), est stérilisé sous un barème de stérilisation de 120°C pour détruire toute la flore microbienne y compris les spores ce qui permet d'obtenir une mélasse diluée clarifiée stérilisée (MDCS). Cette dernière est refroidie par un échangeur à plaques mélasse-eau pour baisser la température à 34-46°C, température adéquate pour la fermentation de la levure.

Dans la partie pratique nous décrirons le suivi et l'optimisation du rendement de la station de traitement de mélasse « calcul du rendement du clarificateur et un bilan thermique, pour évaluer les pertes thermique (énergie) ainsi que ceux de la matière lors de la purification de la mélasse ».

La partie pratique

Suivi et Optimisation du Rendement de la Station de Traitement de la Mélasse





Introduction

La mélasse est le résidu liquide après extraction du sucre du jus de la canne, elle est encore très sucrée, noirâtre et visqueuse. Elle contient encore une faible quantité de sucre, de la vitamine et des minéraux (calcium, magnésium, potassium et fer). Elle peut faire l'objet de plusieurs utilisations industrielles.

La mélasse peut également être fermentée et distillée pour la production d'éthanol à des fins pharmaceutiques, ou pour la production de biocarburant. D'autres fermentations produisent de l'acétone, du glycérol ou de l'acide citrique.

La mélasse peut également servir d'engrais, notamment comme amendement dans les champs de canne à sucre.

Avant l'utilisation de la mélasse comme un élément principal de nutrition et comme un aliment de base pour la culture de levure de boulanger, elle subit un traitement qui passe par plusieurs étapes :

- La dilution et la filtration
- La clarification
- La stérilisation
- *Objectif du travail*

La consommation énorme en terme d'énergie et de matière (sucre, eau...) au niveau de la station de traitement de mélasse est un problème chez les industries de levure, notre travail consiste à calculer le rendement du clarificateur dans un intervalle de temps, Déterminer les pertes de sucre dans l'opération de clarification, évaluer les pertes en terme d'énergie au niveau de la dilution, la stérilisation et proposer des solutions d'amélioration qualitative et quantitative de la production.

Le souci de la société est de réduire la quantité d'énergie utilisée dans l'unité de traitement de mélasse.



I. Optimisation du clarificateur de la mélasse :

L'évaluation du rendement du clarificateur de la mélasse sera effectuée par des analyses sur l'entrée et sur la sortie du clarificateur.

Pour réaliser ce projet, on a procédé à la centrifugation des échantillons de la mélasse sortie de la cuve MD et de l'échantillon 2min (C'est-à-dire 2min après l'entrée de la mélasse dans le clarificateur), 4min, 6min, 8min, et 10min pour objectif de déterminer le rendement de la clarification à chaque instant.

1. Le clarificateur de la mélasse :

Le produit à séparer est introduit dans le bol via un tube d'alimentation fixe débouchant dans un distributeur. La séparation s'effectue entre les assiettes. Le flux entrant est divisé en de nombreuses couches minces créées par l'empilement d'assiettes, ce qui permet ainsi de réaliser une grande surface de séparation.

À la sortie de la pile d'assiettes, le liquide clarifié est repris par une turbine centripète pour être évacué.

Les solides séparés sont accumulés dans une chambre à boues et évacués à intervalles réguliers (chaque 10 min).

a. Principes de fonctionnement du clarificateur de la mélasse :

La séparation s'effectue à l'intérieur d'un bol en rotation. La mélasse est introduit dans le bol en rotation de la centrifugeuse par le haut via un tube d'alimentation fixe (1) et il traverse le distributeur (2) à travers des orifices puis, pénètre dans la pile d'assiettes (3). Ensuite elle est introduite dans l'espace entre les assiettes par des canaux montants. Le distributeur est spécialement conçu pour assurer une accélération en douceur de la partie liquide du produit. La séparation liquide-solides s'effectue entre les disques. La phase liquide se déplace vers le centre du bol puis elle est envoyée vers la chambre d'évacuation, d'où elle est pompée hors du rotor par une turbine centripète intégrée (4). Les solides sont collectés à la périphérie du bol, d'où ils sont chassés par intermittence dans le collecteur de solides. Les solides sont chassés par un système hydraulique qui, à intervalles prédéfinis, force le fond mobile du bol (5) à descendre, ouvrant ainsi à la périphérie du bol (6) les sorties pour les solides.

Toutes les fonctionnalités et tous les composants de centrifugeuses sont surveillés et gérés par un automate, L'armoire de commande comprend:

- Minuterie automatique pour évacuation des solides.
- Evacuation des solides contrôlée par turbidimètre.
- Protections moteur, contrôle de la montée en vitesse par un variateur de fréquence et de tous les composants de la centrifugeuse à assiettes.*(6)

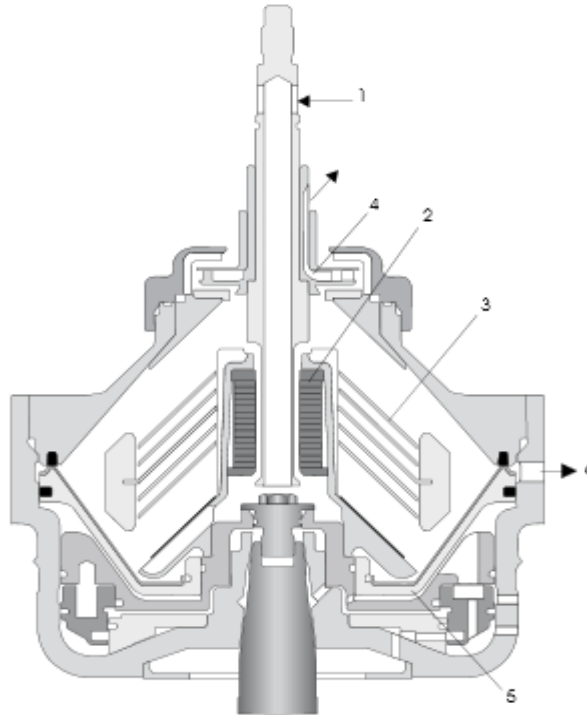


Figure.10. Schéma d'un bol type pour clarificateur à éjection de matières solides

- **Nettoyage en place :** Les clarificateurs sont conçus en fonction d'une exigence hygiénique. Ils sont intégrés dans un ensemble de nettoyage en place automatisé.



Figure.11. un clarificateur a assiettes

b. Données techniques :

Le clarificateur adopté par la société pour l'opération de clarification se caractérise par :

Tableau.1. Fiche technique du clarificateur de la mélasse

Le clarificateur SBX 517	Caractéristiques
Volume (litre)	30
Chambre des solides (litre)	70
Le débit de mélasse (m³/h)	14 m³/h
La durée de clarification	10 min
Le débit d'eau de rinçage (m³/h)	8 m³/h
La durée de rinçage	30s
La durée de débouillage	10s
L'attente	1min
La durée journalière de fonctionnement (Heure)	16h
Le temps entre 2 clarifications	11min40s

2. Suivi de la clarification de mélasse en fonction du temps :

La centrifugation est une technique permettant de séparer les composés d'un mélange en fonction de leur densité en les soumettant à une force centrifuge.

Le mélange à séparer peut être constitué soit de deux phases liquides, soit de particules solides en suspension dans un fluide. L'appareil utilisé est une machine tournante à grande vitesse appelée centrifugeuse. Cette technique fait partie des opérations unitaires en génie des procédés.



Figure.12. Centrifugeuse

a. Mode opératoire :

Pour calculer le rendement du clarificateur on va choisir un temps de centrifugation optimal afin que la sédimentation des boues soit complète.

-Détermination de la durée optimale de centrifugation des échantillons :

Pour déterminer la durée optimale de centrifugation permettant d'avoir un maximum de boues sédimentées, sur plusieurs échantillons prévenant de la MDC, on a effectué une séparation en fonction de la durée de centrifugation, le tableau 2 regroupe les résultats trouvés.

Tableau.2. Taux des boues sédimentées en fonction de la durée de centrifugation

La durée de centrifugation (min)	Les boues en (%)	La moyenne (%)	La durée de centrifugation (min)	Les boues en (%)	La moyenne (%)
5	0.316	0.318	25	0.430	0.434
	0.320			0.433	
	0.319			0.441	
10	0.369	0.366	30	0.475	0.476
	0.365			0.477	
	0.364			0.476	
15	0.390	0.390	35	0.476	0.478
	0.395			0.478	
	0.387			0.479	
20	0.411	0.410	40	0.480	0.479
	0.400			0.480	
	0.420			0.478	

Les résultats du tableau sont présentés dans le graphe ci-dessous :

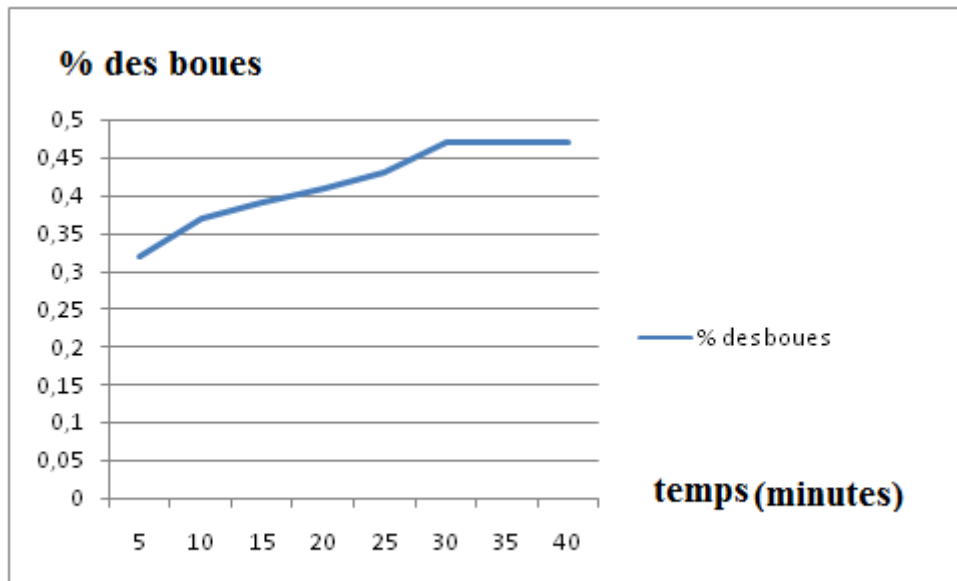


Figure.13. le taux des boues dans la mélasse en fonction de la durée de centrifugation

D'après la courbe ci-dessus on remarque une stabilisation de la quantité des boues après 30 min de centrifugation.

L'échantillon doit subir une centrifugation de 30min, pour pouvoir sédimenter la totalité des boues de la mélasse une prolongation de 30min de la durée de centrifugation paraît efficace.

-Evaluation du rendement

Pour calculer le pourcentage des boues dans la mélasse on procède comme suite :

Echantillonnage : On prélève une quantité de la mélasse diluée à l'entrée du clarificateur, on récupère ensuite à la sortie la même quantité de la mélasse diluée clarifiée chaque 2min, c'est un échantillonnage aléatoire.

On pèse 50g de chaque échantillon prélevé qui subit une centrifugation de 30min.

Après centrifugation, on élimine le surnageant, on essuie les contours des tubes, on les sèche et on mesure la quantité de boues déposées au fond des tubes à essai à l'aide d'une balance.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus :

Tableau.3. Le taux des boues dans la mélasse issue du clarificateur

Echantillons	MD(%) Entrée	2 min(%)	4 min(%)	6 min(%)	8 min(%)	10 min(%)
1	0,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
2	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3	1,4	0,8	1	0,8	0,8	0,8
4	1,2	0,8	0,8	1	1	1
5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4
6	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4
7	0,8	0,5	0,4	0,6	0,4	0,6
8	1	0,5	0,6	0,4	0,4	0,6
9	1	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8
10	0,8	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4
La moyenne	1,01	0,6	0,6	0,61	0,61	0,62
La moyenne des moyennes	1,01	0,60				

a. Calcul du rendement du clarificateur:

Afin d'évaluer le rendement du clarificateur, on utilise la relation suivante :

$$Rdt = \left(1 - \frac{\% \text{ des boues dans la MDC}}{\% \text{ des boues dans la MD}}\right) * 100$$

Le tableau ci-dessous regroupe les rendements calculés :

Tableau.4. Le rendement du clarificateur en fonction du temps

Rendements (%)					
Echantillons	2 min	4 min	6 min	8 min	10 min
1	33	47	56	56	56
2	47	29	47	47	47
3	43	33	43	43	43
4	33	25	17	17	17
5	25	43	25	25	50
6	43	50	29	29	43
7	38	40	25	50	25
8	50	50	60	60	40
9	40	38	40	40	20
10	50	41	50	25	50
Le Rendement moyen	41	39	40	40	39

Les résultats obtenus sont présentés par la Figure 14.

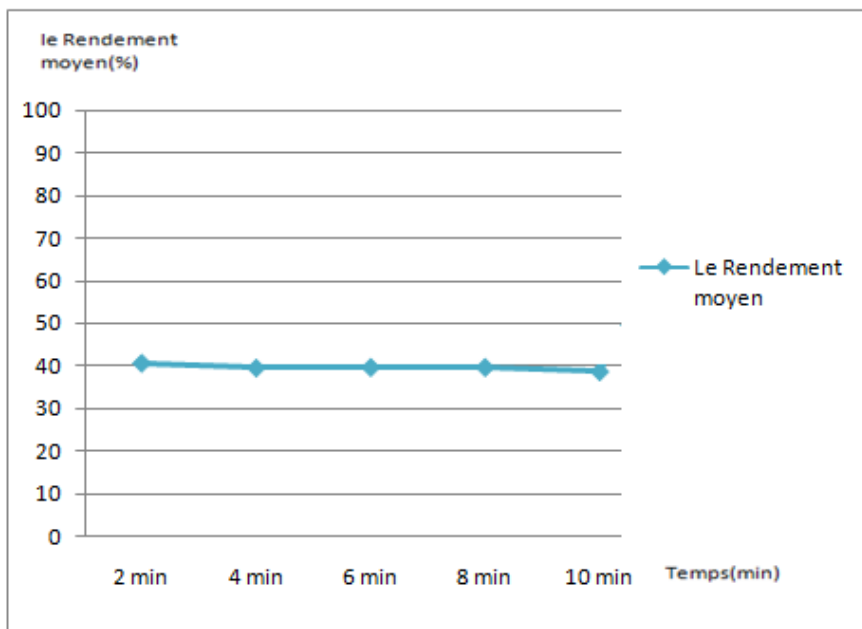


Figure.14. Evolution du rendement du clarificateur de la mélasse en fonction du temps

On remarque d'après le graphe ci-dessus que le rendement reste approximativement stable pendant la période de la clarification.

Puisque le rendement reste stable jusqu'à 10 minute c'est-à-dire que la chambre à boues n'est pas encore remplie donc il est judicieux d'augmenter le temps de clarification pour l'économie en matière d'énergie et en volume de l'eau de nettoyage.

a. Bilan de matière :

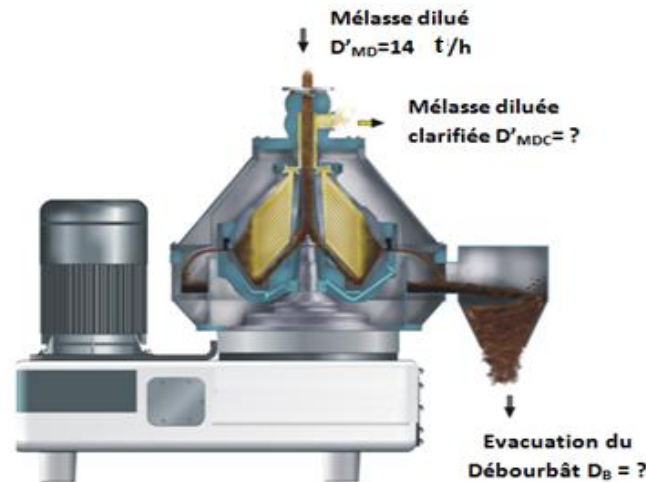


Figure.15. Les entrées et les sorties du clarificateur de la mélasse

Bilan de matière global : $D_{MD} = D_{MDC} + D_B$

B.M / X_{Boue} : $D_{MD} * X_1 = D_{MDC} * X_2 + D_B * X_3$

$D_{MD} * (X_1 - X_3) = D_{MDC} * (X_2 - X_3)$

$D_{MDC} = D_{MD} * \left(\frac{X_1 - X_3}{X_2 - X_3} \right)$ avec :

$D_{MD} = 14 \text{ t/h}$: Débit de la mélasse diluée.

$D_{MDC} = ?$: Débit de la mélasse diluée clarifiée.

$D_B = ?$: Débit des boues

$X_1 = 1,01 \cdot 10^{-2}$
 $X_2 = 6,08 \cdot 10^{-3}$ } X_1 et X_2 sont respectivement les fractions massiques des boues entrée et sortie du clarificateur mentionnés dans le tableau 3.

$X_3 = ?$: La fraction des boues dans la chambre des solides.

Pour calculer le pourcentage des boues dans la chambre de déboursage on procède comme suite :

Echantillonnage : On prélève une quantité de liquide à la sortie de la chambre à boues.

On pèse 50g de chaque échantillon prélevé qui subit une centrifugation de 30min.

Après centrifugation, on élimine le surnageant (la mélasse diluée), on essuie les contours des tubes, on les sèche et on mesure la quantité des boues déposés au fond des tubes à essai à l'aide d'une balance.

Tableau.5. Le pourcentage des boues dans la chambre de débouillage

Echantillons	1	2	3	4	5	6	7	MOY
% des boues	17	16,4	16	12,8	16,4	10,2	19,3	15,4

Donc $X_3 = 0,154$

D'après le tableau ci-dessus on remarque que le pourcentage de la mélasse diluée rejetée est très élevé, en moyen il peut atteindre **85%**.

D'où : $D_{MDC} = D_{MD} * \left(\frac{X_1 - X_3}{X_2 - X_3} \right) = 13,619 \text{ t/h}$

On déduit le débit de boues rejetées après un cycle de clarification :

$$D_B = D_{MD} - D_{MDC} = 14 - 13,619 = 0,380 \text{ t/h} = 380 \text{ Kg/h}$$

Sachant que la masse volumique du débouillage = 1.23 kg /l.

$$D_B = \frac{380}{1,23} = 310 \text{ l/h}$$

Donc :

$$\begin{array}{l} 310 \text{ litre} \quad \longrightarrow \quad 1\text{h}=3600 \text{ s} \\ V_{\text{boues/débourage}} \quad \longrightarrow \quad 10\text{min}=600\text{s} \end{array}$$

Alors que le volume rejeté chaque débouillage est le suivant :

$$V_{\text{(boues/débourage)}} = 51,6 \text{ litre/débourage}$$

Puisque la chambre à boues a une capacité maximale de 70 l et le rendement du clarificateur reste stable durant les premières 10 min, on peut alors augmenter le temps de débouillage à :

$$\begin{array}{l} V_{\text{(boues/débourage)}} = 51,6 \text{ litre} \quad \longrightarrow \quad 10\text{min}=600\text{s} \\ V_{\text{(boues/débourage)Max}} = 70 \text{ litre} \quad \longrightarrow \quad t_{\text{débouillage optimal}} \end{array}$$

$$t_{\text{débouillage optimal}} = 13\text{min } 30\text{s}$$

b. Optimisation de la clarification par rapport à l'eau de nettoyage :

Pendant chaque débouillage, on rince le clarificateur par l'eau qui circule dans le sens de la clarification avec une pression importante. Ceci permet de créer des turbulences pour que les particules déposées sur les parois soient libérées et rejetées.

Au cours de ce rinçage on utilisera toujours le même débit.

Le débit de lavage peut atteindre $8\text{m}^3/\text{h}$ et la durée de nettoyage est de 30 s donc :

$$\begin{array}{ccc} 8 \text{ m}^3 & \longrightarrow & 3600 \text{ s} \\ V_{\text{Rinçage}} & \longrightarrow & 30 \text{ s} \end{array}$$

$$V_{\text{Rinçage}} = 0,066\text{m}^3$$

Alors

Pour un temps de débouillage de 10 min, le cycle de clarification dure 11min 40s, donc le nombre de débouillage par heure est d'environ 5, sachant que La durée journalière de fonctionnement est de 16 heures, alors le nombre de débouillage par jour est $N_1= 82,28$ dé/jour.

Le volume journalier : $V_{\text{journalier Rinçage}} = N_1 * V_{\text{Rinçage}}$

$$V_{\text{journalier Rinçage}} = 5,43\text{m}^3$$

Après l'augmentation du temps de clarification jusqu'à 13 min 30s, le temps entre deux période de séparation devient 15min10s, donc le nombre de débouillage par heure deviendra 4, le clarificateur fonctionne 16h par jour, alors le nouveau nombre de débouillage par jour est $N_2= 63,3$ dé/jour.

Le volume journalier : $V_{\text{journalier Rinçage}} = N_2 * V_{\text{Rinçage}}$

$$V_{\text{journalier Rinçage}} = 4,17 \text{ m}^3$$

Donc on constate clairement une diminution significative du volume de l'eau de rinçage du clarificateur de l'ordre de : $V = 1,26 \text{ m}^3/\text{jour}$, c'est-à-dire une économie de 23% de l'eau.

3. Evaluation des pertes en sucres dans les boues de débouillage :

Pour chaque débouillage, une quantité importante de mélasse est rejetée dans les égouts. On a effectué des analyses sur des échantillons de débouillage pour évaluer la quantité de sucre rejetée.

Le débouillage contient deux types de sucre : des sucres non-réducteurs (saccharose) et des sucres réducteurs, on va titrer chaque type en se basant sur les modes opératoires suivants :

a. Détermination du taux du saccharose dans les boues de débouillage :

Le saccharose c'est un diholoside qui à la formule chimique $C_{12}H_{22}O_{11}$ formé par une molécule de glucose et une molécule de fructose, c'est le sucre de table extrait de la betterave sucrière et de la canne à sucre.

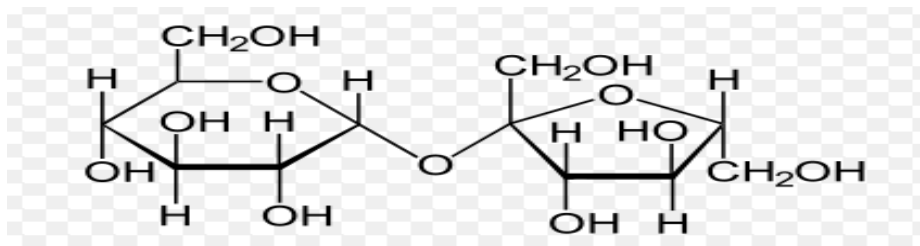


Figure.16. Structure chimique de saccharose

Mode opératoire :

Dans une fiole jaugée de 200ml on introduit environ 20g de l'échantillon du débouillage, On ajoute 20ml d'acétate de plomb basique en agitant, puis on complète à 200 ml avec l'eau distillée, On filtre notre solution à l'aide d'un papier filtre et on récupère le filtrat.

Calcul du taux du saccharose :

A l'aide d'un Polarimètre on mesure la polarisation c'est-à-dire l'angle de rotation α_1 . Le taux du saccharose est calculé par l'équation suivante :

$$\text{Taux du saccharose en \%} = \alpha_1 \cdot 1,1 \cdot 0,77 / P_e$$

Avec : α_1 : l'angle de rotation

1,1 : facteur de dilution

0.77: constante de l'appareil

P_e : prise d'essai



b. Dosage des Sucres réducteurs :

- **Mode opératoire :**

On prélève 10ml de filtrat, on y ajoute 10ml de double tartrate de sodium et 10ml de Sulfate de cuivre en agitant puis On porte le mélange à ébullition pendant 10 minutes à 100 °C.

Après 10 minutes de refroidissement de la solution, on ajoute 5ml d'acide acétique (5N) et 20ml d'une solution d'iode (N/30) en agitant ensuite, en titre notre solution par les thiosulfates de sodium (N/30) en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré.

Le virage est indiqué par le changement de la coloration verte à la coloration bleue.

Remarque :

-on effectue aussi un dosage du blanc.

-la prise d'essai du filtrat est en fonction de la concentration des sucres réducteurs dans la mélasse.

- **Calcul du taux des sucres réducteurs :**

Le taux des sucres réducteurs est calculé par la formule suivante :

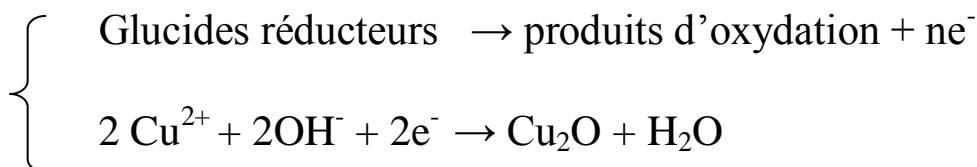
$$\text{Taux des sucres réducteurs (\%)} = (V_{(\text{blanc})} - V_{(\text{échantillon})}) * 0.1 / \text{Prise d'essai (g)}$$

Avec: $V_{(\text{blanc})}$: volume des thiosulfates de sodium versé lors du dosage du blanc.

$V_{(\text{échantillon})}$: volume des thiosulfates de sodium versé lors du dosage de l'échantillon.

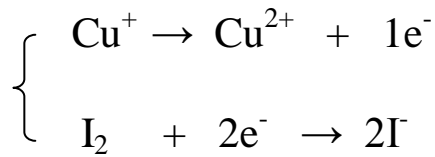
- **Les réactions chimiques :**

Les ions Cu^{2+} présents dans la liqueur de Fehling (double tartrate+sulfate de cuivre) sont réduits par les sucres réducteurs en ions Cu^+ , puis on a formation de Cu_2O , ensuite les ions Cu^+ sont oxydés par l'iode en Cu^{2+} , enfin l'excès d'iode est dosé par les thiosulfates de sodium.





Oxydation de Cu⁺:



L'équation de dosage: $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$

La quantité d'iode qui a oxydé les ions Cu⁺ en Cu²⁺ représente la quantité des sucres réducteurs présente dans la prise d'essai de la mélasse.

Remarque :

- L'acétate de plomb est utilisé pour éliminer tout ce qui est non sucres comme les protéines les vitamines.
- L'acide acétique est utilisé dans le but de neutraliser la solution.

c. Résultats et interprétation :

Le tableau suivant présente le taux de sucre rejeté lors de la clarification de la mélasse.

Tableau.6. Le taux des sucres dans les boues de débouillage

% Massique des Sucres			
Totaux dans la Chambre de Débouillage			
Echantillons	La période	Saccharose (%)	Sucre Réducteurs(%)
1	22-avril	15,61	0,4
2	23-avril	16,65	0,6
3	24-avril	14,31	0,6
4	25-avril	19,26	0,68
5	26-avril	16,4	0,76
6	27-avril	18	1
7	28-avril	22,38	0,9
8	29-avril	13,27	0,45
9	02-mai	17,44	0,53
10	03-mai	14,57	0,41
11	04-mai	19	0,9
12	05-mai	17,7	0,45
Moyenne		19,05	0,64

Le dosage des sucres dans les boues de débouillage de la mélasse clarifiée a montré un taux égal à **19%** en saccharose et **0,64%** en sucre réducteurs, pour évaluer les pertes journaliers en sucres présents dans la chambre à boues, on procède comme suite.

D'après les résultats précédents :

- Le volume des boues rejetées après chaque débouillage :

$$V_{\text{(boues/débouillage)}} = 51,6 \text{ litre/débouillage}$$

- Le nombre de débouillage a lieu durant un jour :

Pour un temps de débouillage de 10 min, le cycle de clarification dure 11min 40s, donc le nombre de débouillage par heure est d'environ 5,14. Le clarificateur fonctionne 16h par jour, alors le nombre de débouillage par jour est $N_1 = 82,28$ dé/jour.

La masse volumique du débouillage = 1.23 kg /l

✚ Les pertes en saccharose :

Puisque on rejette à chaque débouillage un volume de $V_b = 51$ litres, soit une masse de $m_b = 62.7$ kg, la masse du saccharose rejetée égale à $0,19 * 62.7 = 11.9$ kg.

✚ Les pertes en sucre réducteurs :

Puisque on rejette à chaque débouillage un volume de $V_b = 51$ litres, soit une masse des boues est de $m_b = 62.7$ kg, la masse du sucre réducteur rejetée égale à $0,0064 * 62.7 = 0.4$ kg.

En total :

$$m_T = m_{\text{sucre réducteurs}} + m_{\text{saccharose}} = 12,3 \text{ kg}$$

✚ Les pertes journalières en sucre :

$$m_J = N_1 * m_T = 82,28 * 12.3 = 1012 \text{ Kg/jour}$$

1012 kg de sucres totaux perdus chaque jour est une quantité qui n'est pas à négliger et un traitement de ces boues sera très apprécié, il permettra de minimiser les pertes, d'où la nécessité d'installer une station de recyclage capable de récupérer un taux important de sucre pour l'utiliser dans d'autre industrie des produits dérivés, par exemple :



•**La décantation des boues de débouillage :**

Les analyses chimiques et polarimétrique effectuées au sein du laboratoire de la société LESAFFRE ont montrés que les échantillons prélevés auprès des égouts sont riches en matière de sucre.

La proposition d'une installation de décantation pour récupérer les sucres rejetés a été bien accueillie pour un futur projet.

En principe, La décantation est une opération unitaire, parmi les techniques de séparation liquide-solide basées sur le phénomène de sédimentation sous l'action de la pesanteur, Elle est continue quand on extrait en permanence les matières qui se sont déposées (boues) et que l'on recueille simultanément et séparément la mélasse diluée clarifiée (surnageant ou liquide clair) riche en sucre.

Le procédé mis en œuvre vise à obtenir un liquide clair (mélasse diluée clarifiée) et de le rajouté dans la cuve MDC et par la suite le stérilisé.

Remarque : le liquide extrait est plus concentré en sucre que les boues décantées car l'utilisation de l'eau chaude « 70°C » dans l'opération de dilution permet de solubiliser les sucres.

II. Bilan thermique de la station de traitement de la mélasse :

La détermination et l'amélioration du rendement de la production de la levure exigent de minimiser les pertes en énergies et en matière au sein de la station de traitement de la mélasse.

Dans cette partie nous allons déterminer le bilan thermique des différentes étapes de préparation de la mélasse, depuis La dilution, passant par la clarification, la stérilisation et les échangeurs mélasse/mélasse et eau/mélasse.

Ce type de bilan détermine principalement, le flux thermique fourni par la source chaude et celui reçu par la source froide pour déterminer les pertes et les gains et de proposer des solutions d'amélioration.

1. La Dilution :

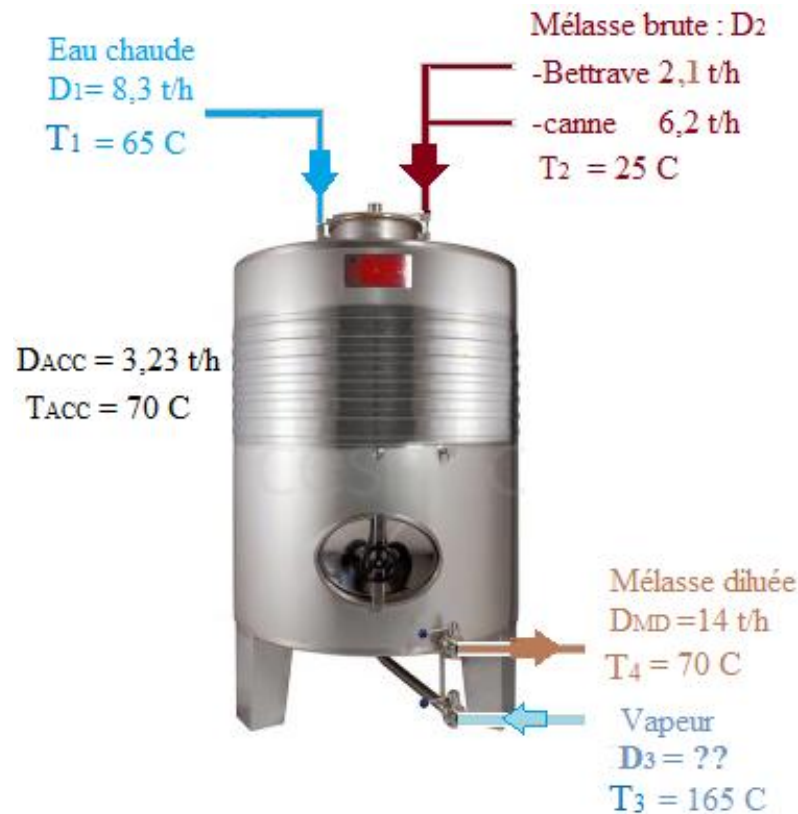


Figure.17.Schéma représentant le stockage de la mélasse diluée

a. Bilan de matière:

$$D_1 + D_2 + D_3 = D_{MD} + D_{ACC}$$



Avec :

$D_1 = 8,3 \text{ t/h}$: débit Massique de l'eau chaude.

$D_2 = 8,3 \text{ t/h}$: débit Massique de la mélasse.

$D_3 = ?$: Débit Massique de la vapeur.

$D_{MD} = 14 \text{ t/h}$: débit Massique de la mélasse diluée.

$D_{ACC} = 3,23 \text{ t/h}$: débit Massique d'accumulation.

Nous trouvons :

$$D_3 = D_{MD} + D_{ACC} - D_1 - D_2$$

$$D_3 = 14 + 3,23 - 8,3 - (2,1 + 6,2)$$

$$D_3 = 0.63 \text{ t/h}$$

b. Bilan thermique :

$$\Phi_1 + \Phi_M + \Phi_3 + \Phi_{MD} + \Phi_{ACC} = \Phi_{\text{perte}}$$

Avec : $\Phi = D * C_p * \Delta T$

Chaleurs spécifiques : $C_{p \text{ eau}} = 4,180 \text{ kJ/kg.k}$

$$C_{p \text{ mélasse}} = 3,223 \text{ kJ.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Chaleur latente de condensation de la vapeur : $L_{c(165^\circ\text{c})} = -2056,5 \text{ kJ /kg}$

Chaleurs spécifiques : $C_{p \text{ vapeur}} = 4,185 \text{ kJ/kg.k}$

Le flux reçu par la mélasse est:

$$\Phi_M = D_2 \times C_{p \text{ mélasse}} \times \Delta T = D_1 \times C_{p \text{ mélasse}} \times (T_1 - A_{\text{ambiante}}) = (8,3 * 1000 / 3600) * 3,223 * 45$$

$$\Phi_M = 334.4 \text{ Kw}$$

-Le flux reçu par l'eau chaude est :



$$\Phi_1 = D_1 \times C_{p \text{ eau}} \times \Delta T = D_2 \times C_{p \text{ eau}} \times (T_1 - T_{\text{Ambiante}}) = (8,3 * 1000/3600) * 4,180 * 5$$

$$\Phi_1 = 48.2 \text{ Kw}$$

La vapeur subit un changement d'état (condensation) son flux de chaleur s'écrit sous la forme :

$$\Phi_3 = D_3 \times L_c + D_3 \times C_{p \text{ eau}} \times \Delta T = (0,63 * 1000/3600) * (-2056,5 + 4,180 * (70 - 165))$$

$$\Phi_3 = -429.4 \text{ Kw}$$

Les pertes en terme d'énergie :

$$\Phi_{\text{perte}} = \Phi_M + \Phi_2 + \Phi_3 = -46.8 \text{ Kw}$$

-La dilution de la mélasse demande une énergie de 429.4kw.

-A cette étape de traitement il y a 11% des pertes.

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

2. STOCKAGE DE LA MDC :

D'après les calculs de la première partie on a le débit de la sortie du clarificateur égal l'entrée de la cuve mélasse diluée clarifiée :

$$D_{\text{EMDC}} = 13,62 \text{ t/h}$$



Figure.18. La cuve de la mélasse diluée clarifiée

Le débit de la sortie est contrôlé par une électrovanne qui assure un débit convenable à l'échangeur :

$$D_{SMDC} = 12,2 \text{ t/h}$$

3. Stérilisateur et échangeur de chaleur à plaques :

a. Bilan de matière :

Dans l'échangeur de mélasse/mélasse, les débits de la mélasse diluée clarifiée à l'entrée et la sortie sont égaux.

$$D_{SE} = D_{EE} = 12,2 \text{ t/h}$$

D'autre part le débit de la sortie de l'échangeur est égal au débit de l'entrée stérilisateur.

$$D_{SS} = D_{SE} + D_V$$
$$D_V = 13,1 - 12,2 = 0,9 \text{ t/h}$$

b. Bilan thermique :

✚ Echangeur de chaleur mélasse/ mélasse :

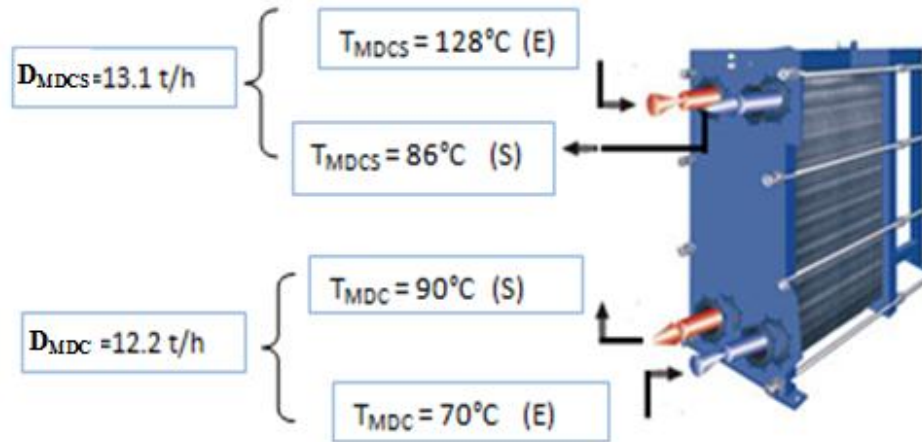


Figure.19. Echangeur de chaleur mélasse/mélasse

$$\Phi_{MDCS} + \Phi_{MDC} = \Phi_{perte}$$

-le flux fourni par la mélasse diluée clarifiée stérilisée est :

$$\begin{aligned}\Phi_{MDCS} &= D_{MDCS} \times C_p \text{ mélasse} \times \Delta T \\ &= 13,1 * 3,223 * 1000 * (86 - 128) / 3600\end{aligned}$$

$$\Phi_{MDCS} = -492,6 \text{ Kw}$$

-Le flux reçu par la mélasse diluée clarifiée est :

$$\begin{aligned}\Phi_{MDC} &= D_{MDC} \times C_p \text{ mélasse} \times \Delta T \\ &= 12,2 * 3,223 * 1000 * (90 - 70) / 3600\end{aligned}$$

$$\Phi_{MDC} = 218,4 \text{ Kw}$$

Alors :

$$\Phi_{perte} = -274,1 \text{ Kw}$$

-Malgré son faible rendement (44%), l'échangeur à plaque permet de récupérer une énergie de 218,4 Kw.

✚ Stérilisateur serpentin de la MDC :

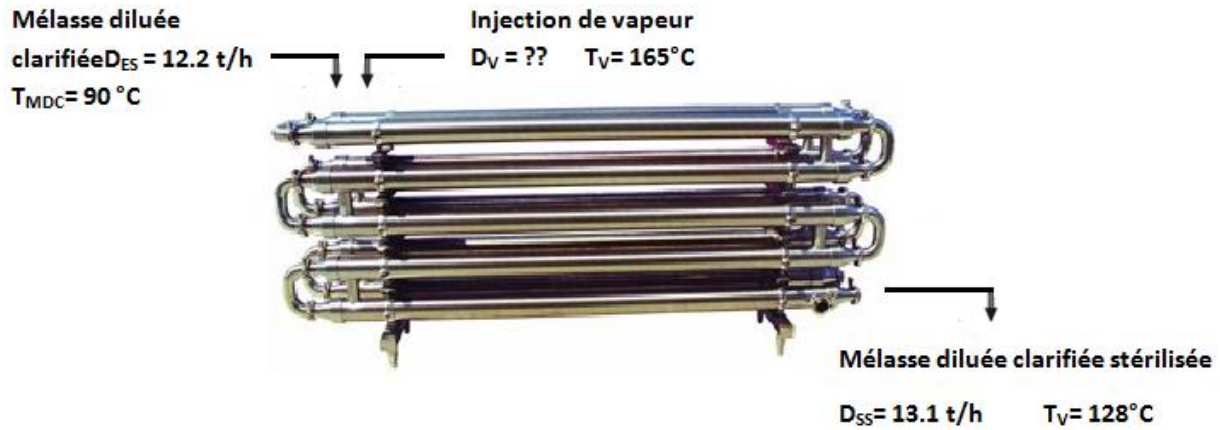


Figure.20. Stérilisateur de la mélasse MDC

Bilan thermique :

$$\Phi_v + \Phi_{MDC} = \Phi_{perte}$$

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

$$\begin{aligned} \Phi_v &= D_v \times L_c + D_v \times C_{p \text{ eau}} \times \Delta T \\ &= 0,9 \times 1000 \times (-2056,5 + 4,18 \times (128 - 165)) / 3600 \end{aligned}$$

$$\Phi_v = -552,8 \text{ Kw}$$

Le flux reçu par la mélasse diluée clarifiée :

$$\begin{aligned} \Phi_{MDC} &= D_{MDC} \times C_{p \text{ mélasse}} \times \Delta T \\ &= 12,2 \times 1000 \times 3,223 \times (128 - 90) / 3600 \end{aligned}$$

$$\Phi_{MDC} = 415 \text{ Kw}$$

Alors :

$$\Phi_{perte} = -137,8 \text{ Kw}$$

-pour stériliser la mélasse diluée clarifiée la société *LESAFFRE MAROC* dépense une énergie de 552,8 kw.

-lors de cette étape il y a 25 % des pertes.

Le pourcentage des pertes montre que le stérilisateur n'est pas suffisamment isolé, c'est-à-dire qu'il y a un transfert de chaleur vers l'extérieur par conduction.

Echangeur eau/mélasse (refroidisseur) : *(4)

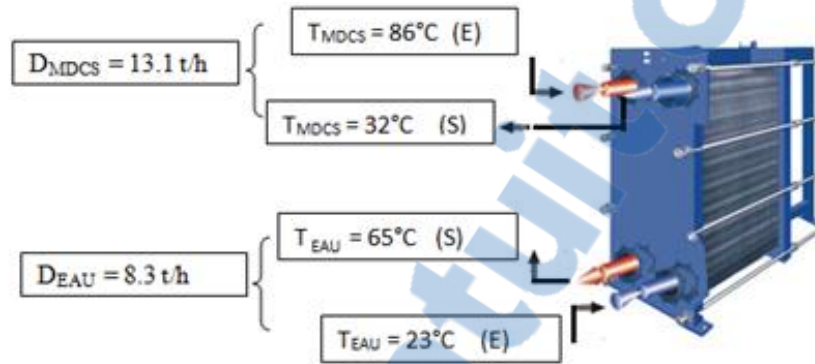


Figure.21.Echangeur de chaleur (refroidisseur) eau/mélasse

Le débit de la mélasse entrant égal au débit à la sortie de l'échangeur mélasse/mélasse.

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

Donc : $D_{EAU} = 8,3 \text{ t/h}$ et $\dot{D}_{MDCS} = 13,1 \text{ t/h}$

Le bilan s'écrit :

$$\Phi_{MDCS} + \Phi_{eau} = \Phi_{perte}$$

Le flux fourni par la mélasse diluée clarifiée stérilisée :

$$\begin{aligned} \Phi_{MDCS} &= D_{MDCS} \times C_p \text{ mélasse} \times \Delta T \\ &= 13,1 * 1000 * 3,223 * (32 - 86) / 3600 \end{aligned}$$

$$\Phi_{MDCS} = -633,3 \text{ Kw}$$

Le flux reçu par l'eau :

$$\begin{aligned} \Phi_{EAU} &= D_{EAU} \times C_p \text{ eau} \times \Delta T \\ &= 8,3 * 1000 * 4,18 * (65 - 25) / 3600 \end{aligned}$$

$$\Phi_{EAU} = 385,5 \text{ Kw}$$

$$\Phi_{perte} = -247,8 \text{ Kw}$$



-le refroidisseur à son tour récupère 61% de l'énergie fournie, soit 385.5 Kw.

Evaluation total des pertes sur toute la station de traitement de la mélasse:

$$\sum \Phi_{\text{pertes}} = 706.5 \text{ KW}$$

Bilan économique :

La société *LESAFFRE-MAROC* utilise, pour la production de la vapeur, à partir de ses chaudières, le fioul lourd qui a un pouvoir calorifique inférieur (PCI) d'environ 12Kwh/kg.

C'est-à-dire qu'un kilogramme de fioul apporte environ 43200Kj d'énergie en brûlant.

La somme des pertes au niveau de la station de traitement de la mélasse peut atteindre :

$$\sum \Phi_{\text{pertes}} = 706.5 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{fioul/s}} = \sum \Phi_{\text{pertes}} / \text{PCI}$$

$$Q_{\text{fioul/s}} = 0,0163 \text{ Kg/s}$$

Les pertes en fioul par heure :

$$Q_{\text{fioul/h}} = 58,8 \text{ kg/h}$$

Les Pertes en dirhams :

D'après les résultats obtenus notamment les pertes au niveau de la dilution, la stérilisation, l'échangeur mélasse/mélasse, et l'échangeur mélasse/eau on peut déduire ainsi le coût des pertes en convertissant la quantité du fioul gaspillée en DHs.

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

Donc Le Coût Des Pertes / h de Traitement de la mélasse :

$$\text{Les Pertes} = 58,8 * 3,7 = 217,5 \text{ DH/h}$$

Parmi les propositions pour améliorer le rendement des échangeurs : *(5)

- une bonne clarification de mélasse pour éviter l'encrassement des plaques de l'échangeur de chaleur.

-un adoucissement d'eau avant utilisation.



- les opérations de nettoyage est nécessaires doivent également de plus en plus longue et fréquents avec l'utilisation d'acides.
- l'augmentation de surface d'échange par l'ajout des plaques.
- Renforcer l'isolation du stérilisateur par des isolants efficace.
- optimisation des débits.
- Rendre l'écoulement turbulent est la meilleure manière d'augmenter les transferts de chaleur entre un fluide et une paroi.

Cependant ces solutions ne pourront être concrétisées qu'après une étude permettant d'élaborer une courbe de rapport entre les gains énergétiques attendus, et les investissements nécessaires à leurs réalisations.

Conclusion

Au terme de cette partie, il est très important de signaler les points suivants :

Nous avons étudié les pertes de matière (l'eau, sucre..) et Les pertes d'énergie ou bien les pertes thermiques au niveau de la station du traitement de la mélasse.

En Commenant par le Suivi des pertes de matières au niveau du clarificateur :

- les essais effectués ont montrés une stabilisation du rendement pendant la durée de la clarification, ce qui nous a amenés à augmenter le temps de clarification afin d'atteindre une économie de 23% d'eau de rinçage.
- Les analyses chimiques et polarimétriques, effectuées sur les échantillons du déboubât, montent que le taux des sucres rejetés est très important. La proposition d'une installation spécifique pour le traitement de ses rejets a été bien accueillie pour une future étude.

Ensuite, l'établissement d'un bilan thermique, sur toute l'installation de traitement de la mélasse, a permis d'évaluer les pertes énergétiques qui atteignent 706 KJ/s, causé par le mauvais transfert de chaleur par les parois, d'où la nécessité d'utiliser des isolants.

Enfin, un bilan économique a été établi pour chiffrer le montant de cette énergie perdu dans l'étape de traitement de la mélasse.

CONCLUSION GENERALE





LESAFFRE MAROC appartient à un marché en pleine croissance. Pour satisfaire ces clients exigeants et nombreux, la société doit mettre en œuvre de nouvelles stratégies allant dans le sens de leurs attentes en termes de qualité et de quantité.

Dans ce sens, une bonne maîtrise du processus de fermentation de la levure s'avère être déterminante pour limiter les pertes, en termes de matière (sucre, l'eau...) pendant la clarification de la mélasse, et les pertes en énergie dans toute la station de traitement.

Au cours de ce stage, les études menées en termes d'énergie de toute la station de traitement de la mélasse et de matière ont été effectuées pour optimiser le rendement.

Les prélèvements de la mélasse du clarificateur ont montrés que la clarification est stable au cours du temps. L'augmentation du temps de clarification a permis d'économiser 23% d'eau de rinçage.

Des analyses des échantillons du déboubât ont montrés des pertes de l'ordre de 20% en sucre qui passe avec la boue. Pour économiser cette perte, l'idée de l'installation d'une station spécifique de traitement du déboubât est prometteuse.

L'établissement d'un bilan thermique, sur toute l'installation de traitement de la mélasse, a permis d'évaluer les pertes énergétiques qui atteignent 706 KJ/s, causé par le mauvais transfert de chaleur par les parois, d'où la nécessité d'utiliser des isolants.



Références webographiques :

^{1*} La fiche technique du clarificateur

^{2*} www.Lesaffre.com

^{3*} www.lesaffre.com/fr/le-groupe/lesaffre-dans-le-monde.html

^{4*} www.toutsurlalevure.fr

^{5*} <http://www.technologies-propres.com/pdf/ultrafiltration-cas-etudes.pdf>

^{6*} <http://local.alfalaval.com/fr-fr/technologiescles/separation/separateurs/clara/Documents/Clara20>



Année Universitaire : 2013-2014

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

Nom et prénom : Youssef YAGGOUR

**Titre : Suivi et optimisation du rendement de
la station de traitement de la mélasse**

Résumé :

Dans ce rapport nous avons présenté les différentes étapes suivies pour optimiser le rendement de la station de traitement de la mélasse qui constitue une étape primordiale pour le procédé de fermentation de la levure.

Les essais effectués sur des échantillons prélevés du clarificateur ont montrés une stabilisation du rendement pendant la durée de la clarification, ce qui nous a amenés à augmenter le temps de clarification afin d'atteindre une économie de 23% d'eau de rinçage.

Les analyses chimiques et polarimétriques, effectuées sur les échantillons du déboubât, montrent que le taux des sucres rejetés est très important. La proposition d'une installation spécifique pour le traitement de ses rejets a été bien accueillie pour une future étude.

L'établissement d'un bilan thermique, sur toute l'installation de traitement de la mélasse, a permis d'évaluer les pertes énergétiques qui atteignent 706 KJ/s, causé par le mauvais transfert de chaleur par les parois, d'où la nécessité d'utiliser des isolants.

Mots clés :

Clarificateur à assiettes - Centrifugeuse – Mélasse - Déboubât - Sucre - Saccharose.

Echangeur à plaques - Stérilisateur - Fioul lourd.

