

Liste des abréviations

MD : mélasse diluée

MDC : mélasse diluée clarifiée

MDCS : mélasse diluée clarifiée stérilisée

Liste des figures

Figure 1: Organigramme de l'entreprise Lesaffre-Maroc	7
Figure 2: Schéma d'une cellule de levure de boulangerie	10
Figure 3 : Mélasse Brute.....	11
Figure 4:dilution de la mélasse brute.....	14
Figure 5 : stérilisation de la mélasse.	15
Figure 6 : refroidissement de la mélasse.	16
Figure 7 : Station de traitement de la mélasse	17
Figure 8 : Filtre rotatif	20
Figure 9 : Etapes de production de la levure	22
Figure 10 : clarificateur.....	25
Figure 11 : clarificateur tubulaire.....	26
Figure 12 : Clarificateur à chambres	26
Figure 13 : Clarificateur à assiettes	27
Figure 14 : boues de la mélasse en fonction de la durée de centrifugation.....	29
Figure 15 : : Rendement du clarificateur en fonction de la durée de la centrifugation	31
Figure 16 : Débit massique d'entrée et de sortie du clarificateur	32
Figure 17 : Structure chimique de saccharose	35
Figure 18 : Débit d'entrée et de sortie de la cuve MD.....	39
Figure 19 : : Débit d'entrée et de sortie de la cuve de stockage de MDC.....	41
Figure 20 : Débit d'entrée et de sortie du stérilisateur.....	42
Figure 21 : Températures d'entrée et de sortie de l'échangeur	42
Figure 22 : Températures d'entrée et de sortie du refroidisseur	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition chimique de la mélasse (betterave et canne).....	13
Tableau 2 : Fiche technique du clarificateur	27
Tableau 3 : Taux des boues sédimentées en fonction de la durée de centrifugation :	29
Tableau 4 : Pourcentage des boues dans les échantillons prélevés	30
Tableau 5 : Rendement du clarificateur pour chaque échantillon	31
Tableau 6 : Centrifugation des échantillons issus de la chambre à boues	33
Tableau 7 : Pourcentage des sucres dans les boues	37

Table des matières

Introduction.....	3
Partie bibliographique.....	4
I- Présentation de la société.....	5
1) Historique du groupe.....	5
2) Lesaffre-Maroc.....	5
3) Gamme de produit de Lesaffre-Maroc.....	6
4) Organigramme de l'entreprise.....	7
II- généralités sur la fermentation et la levure	8
1) Fermentation.....	8
2) Levure	8
3) Levure de boulangerie.....	8
III- Procédé de fabrication.....	9
1) Préparation de la mélasse.....	9
2) Etapes de production de la levure.....	16
Partie pratique	21
Introduction	22
I- optimisation du rendement du clarificateur	23
1) Principe de fonctionnement.....	23
2) Types des clarificateurs.....	24
3) Calcul du rendement du clarificateur da la mélasse	26
4) Estimation du nouveau temps de débouillage	30
5) Amélioration par rapport à l'eau de nettoyage.....	32
6) Amélioration par rapport aux pertes de sucre.....	32
II- Bilan thermique de la station de traitement de la mélasse	37
1) Dilution de la mélasse	37
2) Clarification de la mélasse diluée.....	39

3) Stérilisateur et échangeur de chaleur	40
4) Evaluation total des pertes en terme de FUEL.....	43
Conclusion.....	44
Références bibliographiques et webographiques.....	45

Introduction

La qualité en production n'a d'exigence première que la maîtrise des facteurs de production. Pour cela une amélioration et évaluation continue de ces facteurs est recommandée afin de maintenir et d'augmenter la productivité, rechercher le gain maximale, conquérir de nouveaux parts de marché et garantir aux consommateurs un produit à la portée de leur bourse (pas plus qu'en 2008 la hausse des prix et la non maîtrise des facteurs de production ont fait baisser la production des entreprises agroalimentaires de 2,1% en moyenne annuelle par rapport à celle de 2007) [1]. Face à ces défis incontournables, les industries levurières doivent donc s'adapter aux exigences de sécurité alimentaire et environnementales.

Encore est-elle un des plus importants produits issus de la biotechnologie en termes de quantité (plus de 2,5 millions de tonnes annuelles) et par sa fonction(les qualités des pains levés à la levure sont reconnues à travers le monde dépassant les frontières nationales et culturelles.) [2].

Toutefois cette importance ne saurait éclipser celle de la clarification de la mélasse, étape déterminante lors de la production industrielle, du maintien d'une bonne productivité. Fort de cette importance et dans ce contexte ambivalent, le thème «suivi et optimisation du rendement de la station de traitement de la mélasse» nous a été proposé par la société, afin d'affiner nos connaissances théoriques, d'acquérir un esprit de collaboration et communication et le plus important d'optimiser énergétiquement le rendement de chaque étape de traitement de la mélasse et évaluer le pourcentage de sucre des boues rejetées pendant la clarification.

Le présent travail est subdivisé en deux parties :

La première partie est consacrée à une brève présentation de la société, ensuite des rappels bibliographiques sur la levure de panification (*Saccharomyce cerevisiae*) et son processus de fermentation adopté par la société LESSAFRE. Le procédé de traitement de la mélasse, matière première de la fermentation a été bien documenté.

La seconde partie est réservée à l'expérimentation et s'articule autour de 3 axes principaux :

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



Partie bibliographique

I-Présentation de la société :

1) Historique du groupe :

En 1853 deux frères Louis Lesaffre-Roussel et Louis Bonduelle-Dalle créent une distillerie d'alcool de grains et de genièvre à Marquette-lez-Lille. Un premier moulin est acquis en 1863 à Marcq-en-Barœul. Mais l'industrie de la levure démarre réellement en Autriche en 1867 avec le procédé Mautner. Ce procédé empirique consistait à préparer un moût de grains, de telle sorte que le dégagement gazeux entraînait la levure à la surface où elle était recueillie. Lorsqu'en 1871, le baron autrichien Max de Springer, propriétaire à Maisons-Alfort près de Paris d'une très belle distillerie, rapporte de chez Mautner, à Vienne, l'idée d'extraire la levure des moûts de fermentation des grains et de la vendre aux boulangers ; Lesaffre & Bonduelle décident à leur tour en 1873, de développer la fabrication de levure fraîche à Marcq-en-Barœul, à la place de l'ancien moulin. Mais contre toute attente en 1901, les familles Lesaffre et Bonduelle décident de poursuivre séparément leurs activités. L'entreprise est partagée en 3 branches :

- Lesaffre & Cie (alcool et levure)
- Lesaffre Frères (sucrierie et distillerie).
- Bonduelle est aujourd'hui un acteur reconnu sur le marché des légumes.

En 1910, l'usine de Marcq-en-Barœul subit un grand incendie qui la détruit totalement, elle a été reconstruite. En 1923 avec la crise de l'alcool de grains, l'état français décide brutalement d'abaisser les prix, rendant sa production économiquement impossible. Une nouvelle matière première sera trouvée, la mélasse. De 1939 à 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 a eu lieu entre 1963 et 2000 dont une implantation au Maroc.

2) LESAFFRE-Maroc :

En 1993, la société SODERS 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 sur une superficie de 2 hectares. 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) Gamme de produits de LESAFFRE Maroc :

Les produits commercialisés par LESAFFRE MAROC sont : la levure et les améliorants de panification.

La levure de panification :

➤ La levure fraîche : "levure pressée" conditionnée en pain de 500g sous la dénomination de « Jaouda ».

➤ La levure sèche : conditionnée en sachets, on distingue deux types :

•SPI: levure sèche instantanée sous forme de petits bâtons fissurés emballées sous vide ou sous azote dans des sachets de 500g, 125g et 10g (Rafiaa), ou 500g(Nevada).

•SPH: levure sèche active ou à réhydratation sous forme de granules ou de sphérules, emballées sous air dans des sachets de 50g et 500g (Jaouda) ; ainsi qu'un type spécial fabriqué pour saturer les besoins des forces armées royales (FAR) en levure conditionnée en boîte de 500g.

➤ Les améliorants de panification :

Les marques Ibis bleu et Magimix apportent au consommateur le pain qu'il apprécie que ce soit en termes de volume, de texture, couleur de mie, d'aspect, de couleur de croûte, de conservation et bien sûr de goût.

Tout ceci est produit, conditionné, stocké, contrôlé et distribué par une organisation d'entreprise bien ficelée.

4) Organigramme de l'entreprise :

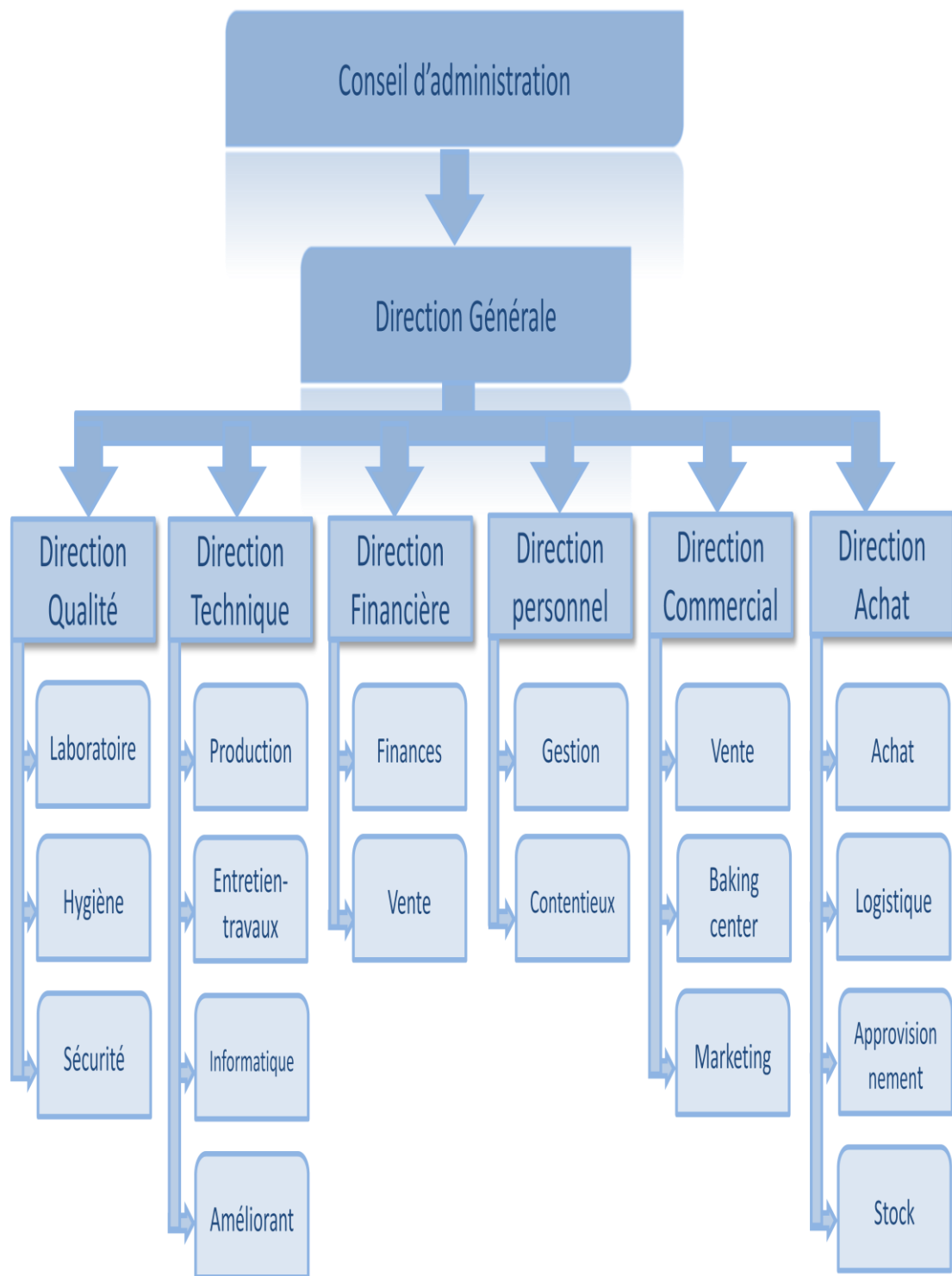


Figure 1 : Organigramme de l'entreprise Lesaffre-Maroc



II-Généralités sur la fermentation et la levure :

1) Fermentation :

La fermentation est une réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone (souvent du glucose) en une autre forme d'énergie directement utilisable par la cellule en absence de dioxygène (milieu anaérobie). Comme le disait Louis Pasteur, « la fermentation, c'est la vie sans l'air. »

2) Levure :

Les levures, champignons microscopiques unicellulaires et eucaryotes, sont utilisées dans la fabrication du vin, du pain et de la bière. Elles sont aussi utilisées comme aliments pour le bétail en raison de leur richesse en protéines et en vitamines B.

Elles sont capable de :

- Dégrader les aliments qui se trouvent dans leur milieu de culture grâce à une gamme très étendue d'enzyme d'hydrolyse telle que des lipases, protéases, saccharases, et lactases.
- Effectuer presque toutes les synthèses dont elles ont besoin pour leur croissance.

3) Levure de boulangerie

a. Définition :

La levure de boulangerie est un champignon microscopique, unicellulaire de forme ovoïde ou sphérique. Elle appartient à la classe des Ascomycètes (présence de sacs renferment 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).

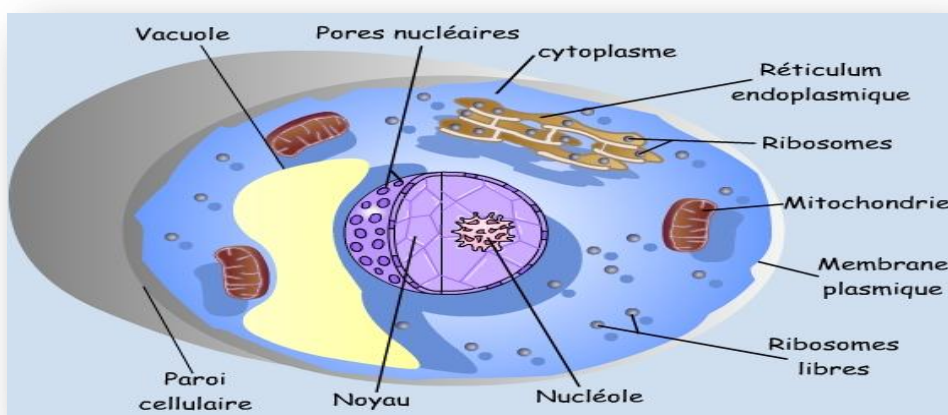


Figure 2 : Schéma d'une cellule de levure de boulangerie

b. Métabolisme:

La levure de boulangerie appartient à un groupe relativement mineur de levures : les levures aérobies facultatives et fermentaires : capables d'utiliser le sucre en présence ou en absence d'oxygène.

⇒ **En aérobiose** (en présence d'oxygène)

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.

Ce processus métabolique est exploité par les levureries (dans les fermenteurs industriels) pour multiplier les cellules.

SUCRE + OXYGENE ⇒ CO₂ + EAU + ENERGIE IMPORTANTE

⇒ **En anaérobiose**(absence d'oxygène) :

La levure ne trouve plus d'oxygène. Le sucre fourni par la farine est transformé en alcool (évaporeré à la cuisson) et en gaz carbonique, témoins du processus métabolique de la fermentation, ainsi qu'une quantité faible d'énergie pour que la levure puisse vivre mais pas pour se multiplier.

SUCRE ⇒ CO₂ + ALCOOL+ ENERGIE FAIBLE

III-Procédé de fabrication :

1. Préparation de la mélasse :

La mélasse est un sirop très épais et très visqueux constituant le résidu du raffinage du sucre extrait de la canne à sucre et de la betterave à sucre, moins calorique que le saccharose (280 kcal pour 100g). La mélasse contient de la vitamine B et quelques minéraux (calcium, potassium, fer, cuivre,...), ce qui n'est pas le cas du sucre blanc cristallisé. Il s'agit d'une matière qui contient environ la moitié de son poids en saccharose, celui-ci étant toutefois non cristallisable en raison des impuretés qu'il contient.

Il faut distinguer la mélasse de la canne à sucre, qui donne une forte appétence due à l'odeur et contient généralement plus de sucre que la mélasse de betterave (53 à 54%). La mélasse de betterave est légèrement moins riche en sucre.



Figure 3 : Mélasse Brute

Le tableau suivant montre la composition chimique de la mélasse et la différence entre la mélasse de canne et de betterave:

Tableau 1 : Composition chimique de la mélasse (betterave et canne)

Composition type de mélasses(en % massique des Matières sèche totale)		
matière première	Mélasse de betterave	Mélasse de canne
sucres totaux	66,5	78,6
Saccharose	63,5	45,5
Raffinose	1,5	5,5
Sucre inverti	0	22,1
Autres	1,5	5,5
Composés organiques totaux	23	15,2
Aminoacides	3	0
Bêtime	5,5	0
Autres formes d'Azote	0	3,1
Acides organiques	5,5	7
Pectines, etc.	5	2,7
Composés minéraux totaux	10,5	11,7
K ₂ O	6	5,3
Na ₂ O	0,2	0,1
CaO	0,2	0,2
MgO	0,2	1
Al ₂ O ₃ , FeO ₃	0,1	0
SiO ₂	0,1	0
Cl	1,7	1,1

Le service de préparation de la mélasse respecte des étapes nécessaires pour réussir un bon traitement à savoir :

- Réduire la viscosité de la mélasse par dilution et chauffage.
- Eliminer les fibres et les colloïdes par clarification.
- Eliminer les formes végétatives des contaminants microbiens par stérilisation.
- Refroidissement de la mélasse clarifiée et stérilisée à travers des échangeurs avec l'eau chaude.

La préparation de la mélasse se fait selon les étapes suivantes :

a. Dilution

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

Pour effectuer cette tâche, on introduit dans une cuve de capacité 15 m³ la mélasse brute (22% en volume de mélasse du canne à sucre, 78% mélasse de la betterave) qui provient de deux grandes cuves de stockage avec un pourcentage de 52% en volume ; ainsi que l'eau chaude avec un pourcentage de 48%, et par le bas de la cuve, on injecte de la vapeur dans le but de réussir l'opération.

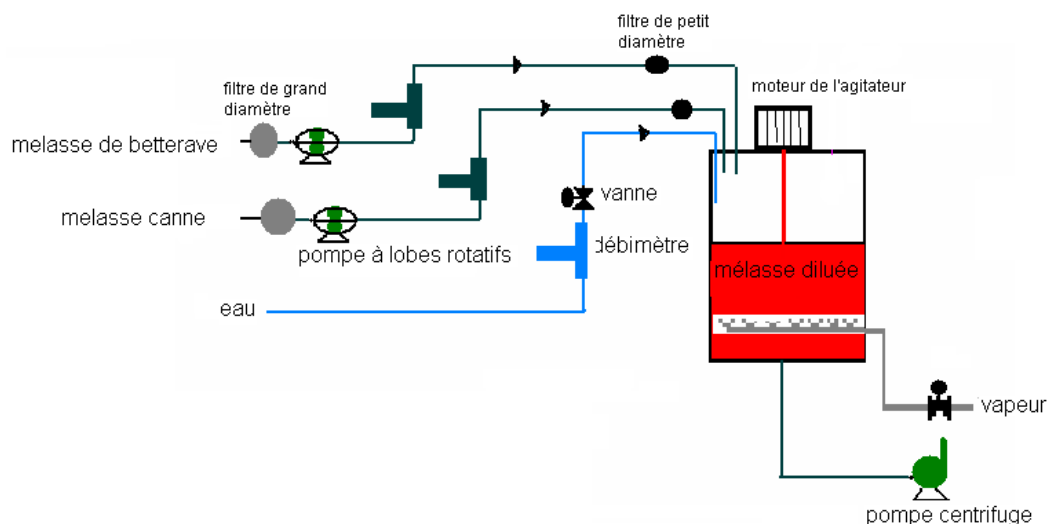


Figure 4 : dilution de la mélasse brute

b. Clarification

La mélasse diluée passe dans des clarificateurs où elle est centrifugée. C'est l'opération qui permet de séparer la mélasse diluée de toutes impuretés comme les colloïdes et les boues, et

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. Elle est effectuée par un filtre à panier qui élimine toutes les grandes particules pour faciliter la clarification. La mélasse sortie des clarificateurs, appelée mélasse diluée clarifiée (MDC), est stockée provisoirement dans une cuve MDC.

c. Stérilisation

La mélasse diluée et clarifiée (MDC) est stérilisée par injection de vapeur. La stérilisation est la destruction des germes (micro-organismes) présents dans un milieu. Dans la stérilisation il y a deux paramètres à contrôler : la température dans le stérilisateur et le temps de contact.

L'action conjuguée de la vapeur et de la température (132°C pour un débit de $16\text{m}^3/\text{h}$) provoque la dénaturation des protéines des micro-organismes et la mort de ces derniers. Cette technique consiste à un contact direct entre la vapeur et la MDC pendant 1 minute 13s. Ensuite, elle passe dans un échangeur à plaque (MDC/MDCS) afin d'être refroidie et préchauffée. La MDCS passe dans un échangeur avec la MDC non stérilisée pour élever sa température de 70 à 80°C . A la sortie de l'échangeur, si la température de MDCS est inférieure à 120°C , une vanne automatique (van 2) s'ouvre pour qu'elle revienne à la cuve de MD.

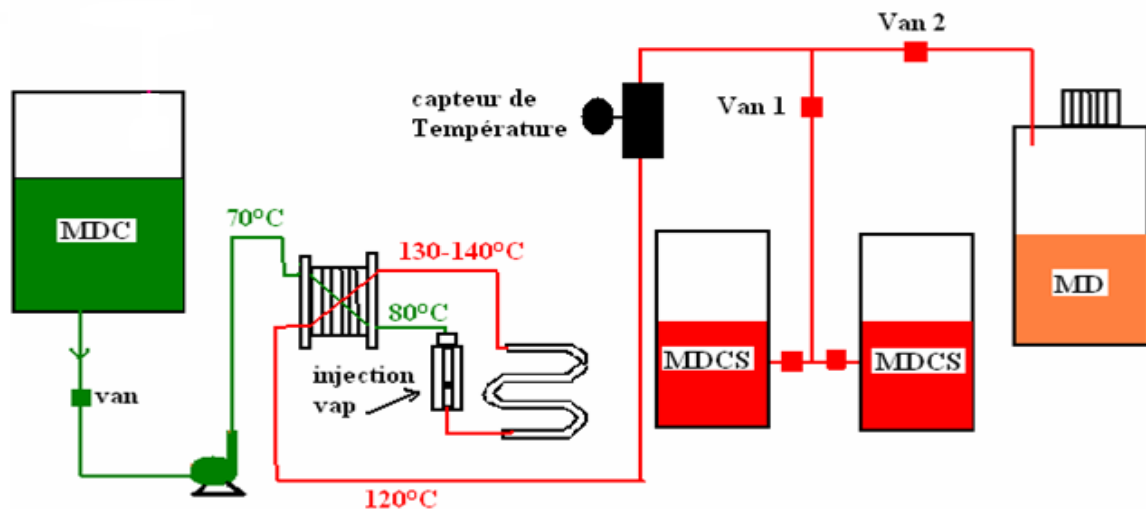


Figure 5 : stérilisation de la mélasse.

d. Refroidissement

Avant d'être utilisée dans la fermentation, la Mélasse Diluée Clarifiée Stérilisée passe dans des refroidisseurs, qui sont des échangeurs à plaques mélasse / eau froide, la mélasse se refroidie pendant que l'eau se réchauffe

Remarque 1:

Le chauffage de l'eau de refroidissement provoque la formation du calcaire et risque de colmater les plaques de l'échangeur, l'utilisation du poly-phosphate à pour but d'empêcher le dépôt du calcaire, donc la décalcification.

Remarque2 :

Procédé de nettoyage de la station de mélasse

✓ Rinçage préliminaire : ou bien de mélassage, il s'agit d'éliminer tous les dépôts de la mélasse tout en utilisant l'eau chaude à 65°C.

✓ Nettoyage par la soude .Sa concentration est fonction de la dureté de l'eau on ajoute avec la soude des additifs (les tensioactifs par exemple et aussi on ajoute des infectants comme l'eau de javel pour le bon contact. Le rôle de la soude est l'élimination de toutes les matières organiques grasses.

- ✓ Récupération de la soude.
- ✓ Rinçage avec l'eau après le nettoyage avec la soude.
- ✓ Vidange.
- ✓ Nettoyage par l'acide nitrique.
- ✓ Récupération de l'acide.
- ✓ Rinçage avec l'eau.
- ✓ Vidange.

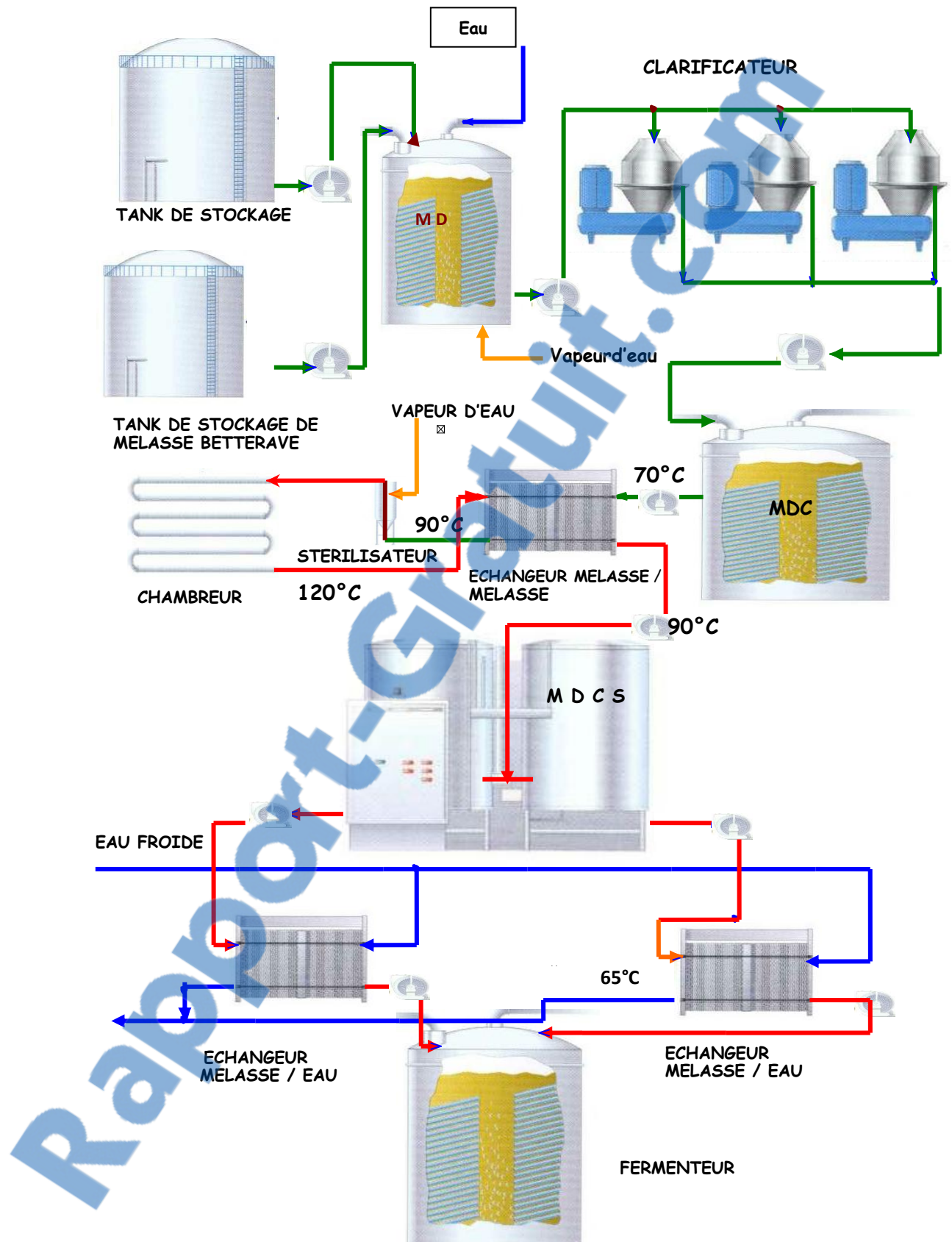


Figure 7 : Station de traitement de la mélasse

Remarque 3 :

La station de traitement de la mélasse comporte une petite unité de préparation des sels nutritifs qui compense le manque de la mélasse en **phosphore** et en **azote**. Donc pour couvrir les besoins de la levure, il est nécessaire d'apporter sous forme de sels nutritifs :

- **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) Etapes de Production de la levure:

a. Ensemencement

Chaque mois la société Lesaffre Maroc reçoit de la France 2 souches de *Saccharomyces cerevisiae*. La première est destinée à la levure fraîche et l'autre à la levure sèche.

Ces souches sont ensemencées dans des tubes dans un milieu nutritif spécifique à la croissance des levures pour préparer 60 tubes par mois (30 tubes pour chaque souche). Cette étape exige un travail dans des conditions strictement aseptiques pour écarter tout risque de contamination, puis les contenus des tubes sont transvasés dans un petit cône (250ml) appelé « Van Lear » dont le milieu nutritif très riche (sucre, Vitamine, sels), 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. Puis on fait passer le contenu dans une cuve de 800L. Parfois on donne la mélasse comme produit nutritif au lieu du sucre commercial.

➤ **Pré-fermentation**

Après incubation dans la cuve de 800L, le mout obtenu passe à la cuve de la pré-fermentation où on ajoute de la mélasse et les autres éléments comme l'urée qui contient l'azote, le phosphate, le sulfate, le chlorure de magnésium et les vitamines que la levure nécessite pour sa multiplication ainsi que l'acide sulfurique (H_2SO_4) car les levures vivent dans les milieux acides. On contrôle aussi le pH qui doit être entre 3,4 et 4,5 avec l'agitation. Les levures sont aérées grâce à l'oxygène de l'air.

➤ Fermentation

Après la pré-fermentation, la phase de la fermentation se fait dans des grandes cuves. Elle consiste en alimentation continue en mélasse et en autres ingrédients après certain un temps (17 heures), on a une grande population de levure sous forme liquide qu'on appelle le mout. On ajoute aussi une anti-mousse pour éviter les mousses qui se produisent lors de la fermentation.

La fermentation se fait en présence de l'oxygène pour minimiser la formation d'alcool car celui-ci donne une couleur désagréable à la levure et réduit la période de conservation.

b. Séparation

Le mout, qui est un mélange de levure, d'eau et du reste de la mélasse, nécessite une séparation pour obtenir à la fin de l'opération une crème qui contient de la levure pure.

Après, la crème est refroidie à une température de 4°C, placée dans une cuve d'acidification pour lutter contre le développement des bactéries puis séparée dans une cuve qui contient de l'eau et des éléments nutritifs (mélasse, urée, phosphate) et l'oxygène qui provient de l'air. Une deuxième séparation est effectuée par centrifugation, qui permet d'obtenir un liquide dense (crème) et un liquide léger, c'est le moût délevuré qui est rejeté vers les égouts.

La séparation en fin de fermentation a pour objectif:

- ✓ De réduire le volume de la suspension de la levure.
- ✓ D'effectuer le lavage de la crème de la levure.

Il est possible d'optimiser la séparation en agissant sur deux paramètres à savoir la durée de séparation et le débit.

c. Stockage

La crème obtenue après la séparation est acidifiée par l'acide sulfurique à pH = 2 pour éviter la contamination et stockée à 4°C pour ralentir le métabolisme cellulaire. Le système de refroidissement se fait par un échange thermique entre la crème et le liquide de refroidissement : l'eau glucosée.

d. Filtration

Cette étape consiste à éliminer l'eau présente dans la levure pour la préserver d'une éventuelle contamination puisque l'eau facilite l'altération par des microorganismes. La crème arrive au niveau d'un filtre rotatif qui contient une couche filtrante d'amidon qui ne laisse pénétrer que de l'eau et piège la levure grâce à sa petite porosité. A la surface du cylindre du filtre il y a création continue et uniforme du vide nécessaire à l'aspiration de l'eau à travers la couche d'amidon. En traversant la couche filtrante de l'extérieur vers l'intérieur, la levure est fixée à la

surface de la couche et récupérée sous forme de levure râpée. L'eau filtrée est refoulée vers l'extérieur par une pompe d'évacuation.



Figure 8 : Filtre rotatif

e. Séchage

Il existe deux types de levure sèche: SPI et SPH, elles diffèrent par la durée de séchage et par le pourcentage de matière sèche :

➤ **La SPI (levure sèche instantanée)** est caractérisée par des granulés sous formes de bâtonnets, un temps de séchage de 20min (pour une quantité de 1000Kg). Ce type de levure ne nécessite aucune phase de réhydratation avant son utilisation. Elle est emballée sous vide ou sous azote.

➤ **La SPH (levure sèche active)** est sous forme de granulés sphériques, et caractérisé par une durée de séchage de 4h pour une quantité de 400Kg à 500Kg. Le séchage s'effectue à 45°C. Elle est emballée sous air. 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. La levure granulée est récupérée dans des bols pour passer dans des séchoirs qui fonctionnent par l'envoi d'un courant d'air sec et chaud auparavant filtré sur la levure granulée.

f. Emballage et conditionnement :

Il existe 2 types d'emballages selon le type de la levure :

➤ ***LEVURE FRAICHE (ou compressée)***

La levure fraîche est emballée en l'enveloppant dans un papier par une automate programmable. Cette machine appelée découpeuse enveloppeuse boudineuse s'occupe de toutes les étapes de l'emballage. Dès que la levure sort du malaxeur bien homogénéisée et bien pressée elle passe à travers une moule qui lui donne sa forme appropriée jusqu'à une balance qui vérifie le poids de 500g de chaque unité avant d'être posée dans les cartons par les ouvriers. Les paquets passent par un détecteurs de métal (pour s'assurer qu'il n'y a que la levure dans ces cartons) et sont

pesés (pour s'assurer qu'il n'y a ni manque ni excès de morceaux). Enfin de ce parcours les cartons de levure sont envoyés au frigo pour être conservés à 4°C avant la sortie au marché.

➤ **LEVURE SECHE**

Pour la levure sèche, le gâteau provenant de la filtration sous vide est mélangé avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et donne aussi la couleur blanche caractéristique de la levure. Le gâteau obtenu est transformé en vermicelle à l'aide d'une grille de maille connue, ensuite elle est transférée au sécheur par une conduite vibratoire afin d'éliminer le maximum d'eau restant dans la cellule sans l'endommager, tout en augmentant le taux de matière sèche jusqu'à 94% pour la SPH et 95.5% pour la SPI.

✓ **SPI:** levure sèche instantanée sous forme de petits bâtons fissurés emballées sous vide dans des sachets de 125g, 13g (Rafiaa) ou 500g, 25g(Nevada).

✓ **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 (jaouda).

g. Conversation :

La levure fraîche est conservée à 4°C, alors que la levure sèche est conservée à température ambiante.

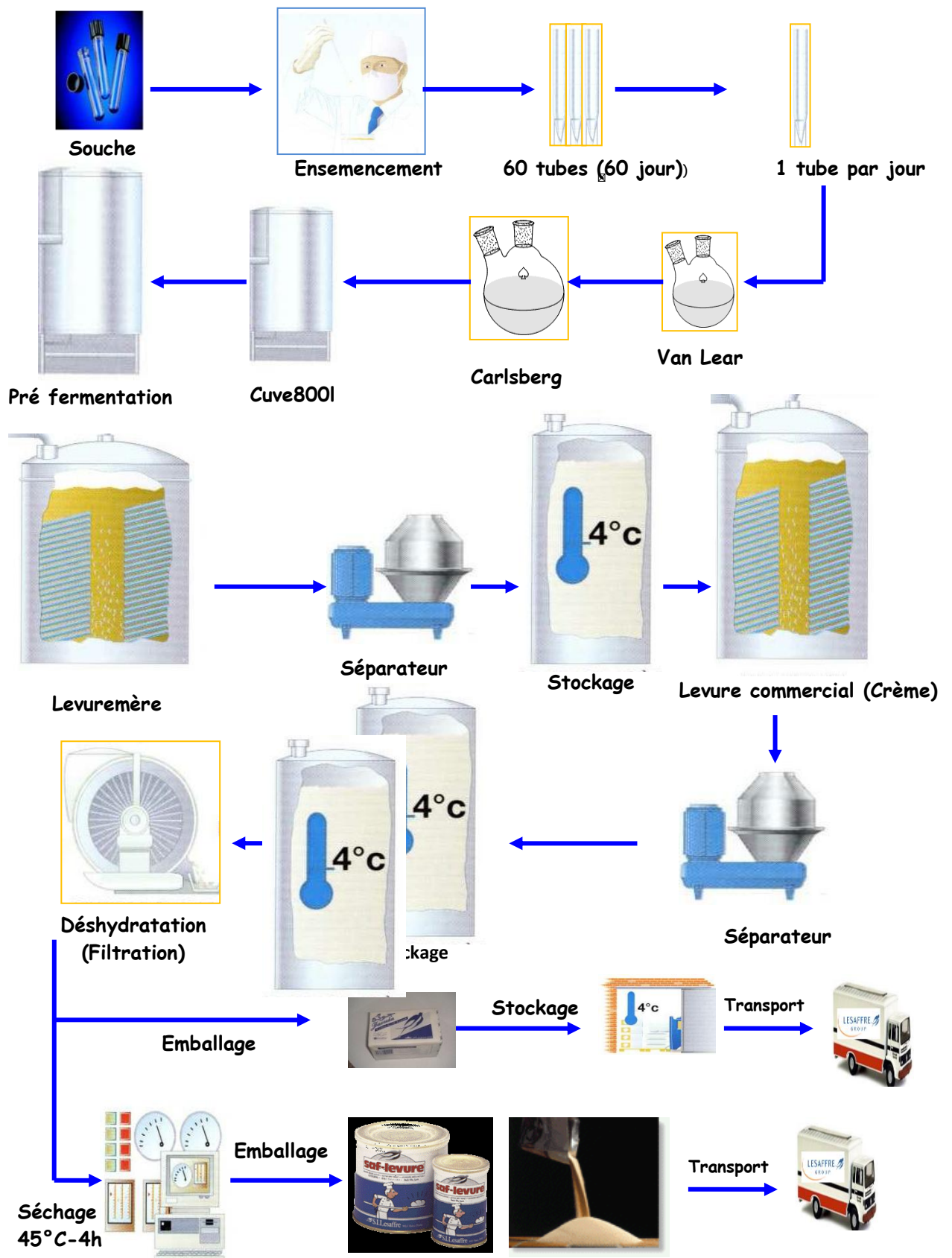


Figure 9 : Etapes de production de la levure



Partie Pratique

INTRODUCTION

La mélasse est le résidu liquide obtenu après extraction du sucre du jus de la canne ou de la betterave, noirâtre et visqueuse, Elle contient encore une quantité de sucre, de la vitamine B₆ 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. D'autres fermentations produisent de l'acétone, du glycérol ou de l'acide citrique.

La mélasse est surtout réputée pour sa richesse en minéraux et oligo-éléments. C'est pourquoi Elle est essentiellement utilisée comme aliment de base pour la culture de levure boulangère.

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

- Dilution et filtration,
- Clarification,
- Stérilisation,
- Stockage,

Ce procédé présente des pertes importantes notamment en terme d'énergie et de matière (sucre, eau...). Notre travail consiste à évaluer le rendement de la station et proposer des solutions pour l'amélioration qualitative et quantitative de la production. Dans cette optique, nous effectuerons des analyses à l'entrée et à la sortie du clarificateur.

I- Optimisation du rendement du clarificateur :

L'étape de la clarification est très importante dans le procédé de fabrication de la levure, puisqu'elle permet d'éliminer toutes les impuretés susceptibles d'affecter les cellules de la levure, qui peuvent avoir des effets négatifs sur quelques étapes de production et surtout sur la qualité du produit fini. Elle permet aussi d'éviter le colmatage de l'échangeur utilisé dans l'étape qui suit qui est la stérilisation.

1) Principe de fonctionnement :

La mélasse est clarifiée par une opération de séparation mécanique, qui se fait par centrifugation. Sous l'effet de la rotation, une accélération due à une force centrifuge est appliquée au contenu. Le corps dense est séparé du corps moins dense. La centrifugation peut être utilisée pour clarifier rapidement la mélasse après filtration. Elle permet l'élimination rapide d'une grande partie des particules et des micro-organismes en suspension, le clarificateur se charge des impuretés qui seront rejetés chaque 10 min sous forme de boues, cette action s'appelle le débouage. Il se fait par une injection d'eau pour vider le clarificateur de toutes les boues.

Remarque: Le temps de débouage est réglé selon la capacité et l'efficacité du clarificateur.



Figure 10 : clarificateur

2) Type des clarificateurs :

a-Clarificateur tubulaire :

Ce clarificateur de faible diamètre, est soumis à une vitesse de rotation élevée. L'axe de rotation est vertical, et le bol est alimenté par le bas. Son principe repose essentiellement sur un effet centrifuge important. Il est utilisé aussi bien pour la séparation que pour la clarification. Ses applications sont limitées aux suspensions à faible concentration. Le Clarificateur doit être démonté pour récupérer les matières solides accumulées à l'intérieur.

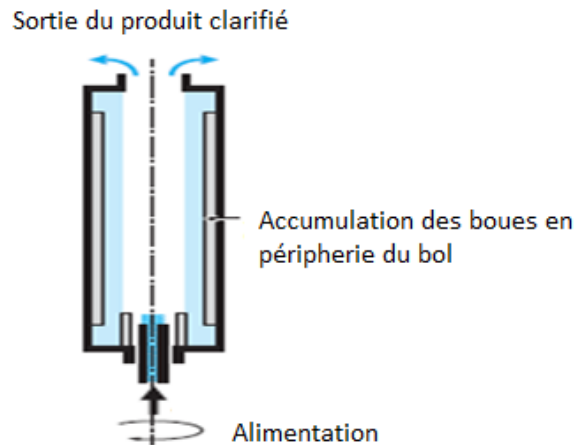


Figure 11: clarificateur tubulaire

b-Clarificateur à chambres :

Ce clarificateur est constitué de chambres concentriques, permettant d'augmenter la surface de clarification. Il tourne à des vitesses de 5 000 à 10 000 tr/min. Il est utilisé essentiellement pour clarifier des suspensions à faible concentration. Le produit est introduit dans le clarificateur et parcourt successivement les différentes chambres. Le liquide clarifié est évacué soit en sortie libre, soit par turbine. Les sédiments, accumulés sur la face intérieure de chaque chambre, sont enlevés manuellement après arrêt du séparateur.

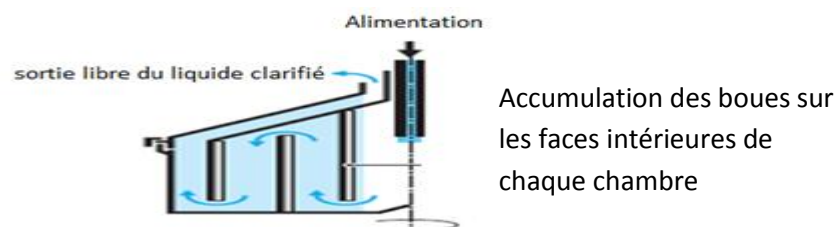


Figure 12: Clarificateur à chambres

c- Clarificateur à assiettes :

Dans ce type de bol, la surface de décantation est augmentée par superposition d'assiettes coniques. Les espaces entre les assiettes sont de 0,3 à 2 mm selon les caractéristiques du produit à traiter. Une particule est considérée comme décantée lorsqu'elle atteint la face inférieure de l'assiette supérieure. L'effet centrifuge varie de 5 000 g à 13 000 g. Le bol tourne sur un axe vertical.

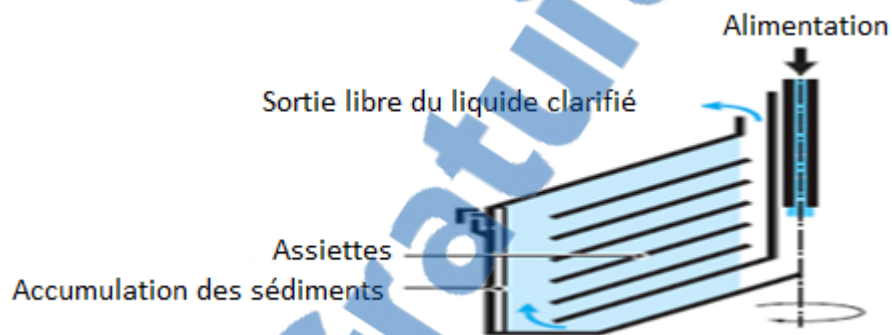


Figure 13: Clarificateur à assiettes

Ce dernier type est celui adopté par la société pour l'opération de clarification :

Tableau 2 : Fiche technique du clarificateur

Nom	Alpha Laval (SBX 517)
Capacité de la chambre à boues	70 L
Durée de clarification (temps de débouillage)	10 min
Durée de l'attente	60 s
Durée de débouillage	10 s
Durée de rinçage	30 s
Durée totale du cycle	11 min 40 s

Notre travail consiste à faire des analyses à l'entrée, et à la sortie du clarificateur pour évaluer le rendement de cette installation.

Afin de réaliser ces analyses, on a procédé à la centrifugation de la mélasse sortie de la cuve MD, et de l'échantillon 2min (C'est-à-dire 2min après le début de la clarification), 4min, 6min, 8min, et 10min afin de déterminer le rendement à chaque instant de la clarification.

3) Calcul du rendement du clarificateur de la mélasse :

Pour calculer le rendement du clarificateur, on a procédé à une détermination du temps de centrifugation optimal afin que la sédimentation des boues soit complète.

- **Mode opératoire :**

- Peser 50g de chaque échantillon prélevé
- Veiller à l'équilibrage statique et dynamique des tubes.
- Choisir la durée de centrifugation : de 5 à 40 min
- Sélectionner la vitesse de centrifugation en 3600 tr/mn
- Presser le bouton de commande de démarrage
- L'arrêt est automatique quand le temps de centrifugation est écoulé
- Déverrouiller après arrêt complet : un dispositif de sécurité empêche l'ouverture du couvercle en cours de centrifugation
- Soulever le capot, sortir les plots contenant les tubes

-Détermination de la durée optimale de centrifugation des échantillons :

Pour déterminer la durée optimale de centrifugation permettant d'avoir un maximum des boues sédimentées, sur plusieurs échantillons prévenant de la MDC, on a effectué au laboratoire une séparation en fonction de la durée de centrifugation.

Tableau 3: Taux des boues sédimentées en fonction de la durée de centrifugation :

Durée de centrifugation (min)	Boues en (%massique)	Moyenne (%massique)	Durée de centrifugation (min)	Boues En (%massique)	Moyenne (%massique)
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	0.470
	0.365			0.470	
	0.364			0.467	
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	

Le graphe suivant représente le % des boues en fonction de la durée de centrifugation :

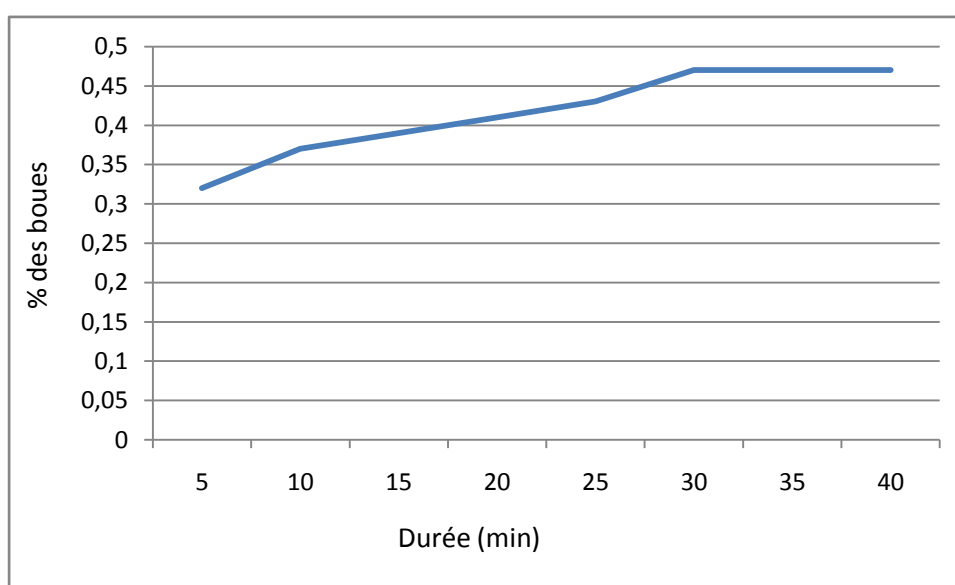


Figure 14 : boues de la mélasse en fonction de la durée de centrifugation

D'après la courbe, on remarque une stabilisation de la quantité des boues après 30 min de centrifugation. Il est donc clair que l'échantillon doit subir une centrifugation de 30 min, pour pouvoir sédimenter la totalité des boues de la mélasse.

-Evaluation du rendement :

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

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

On pèse 50g de chaque échantillon prélevé, puis on lui fait subir une centrifugation de 30 min. 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 4 regroupe les résultats obtenus pour 10 échantillons.

Tableau 4 : Pourcentage des boues dans les échantillons prélevés

	MD(%)	2min(%)	4min(%)	6min(%)	8min(%)	10min(%)
1	1	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4
2	1,5	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
3	1,4	1	1	0,9	0,8	0,8
4	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
5	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
6	0,9	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5
7	0,8	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6
8	1	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7
9	1	0,6	0,5	0,6	0,6	0,9
10	0,8	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4
MOY	1.01	0,63	0,6	0,6	0,6	0,61
Moyenne des moyennes		0,608				

- Calcul du rendement du clarificateur:

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

$$Rdt = 1 - \frac{\text{sortie}}{\text{entrée}} * 100$$

Le tableau ci-dessous regroupe les rendements calculés :

Tableau 5: Rendement du clarificateur pour chaque échantillon

Echantillons	R2(%)	R4(%)	R6(%)	R8(%)	R10(%)
1	40,0	60,0	60,0	50	60,0
2	40,0	46,7	46,7	46,7	46,7
3	28,6	28,6	35,7	42,8	42,9
4	25,0	37,5	37,5	37,5	37,5
5	33,3	33,3	33,3	33,3	44,4
6	44,4	44,4	44,4	33,3	44,4
7	37,5	37,5	25,0	37,5	25,0
8	50,0	40,0	50,0	50	30,0
9	40,0	50,0	40,0	40	10,0
10	37,5	25,0	25,0	25	50,0
Le rendement moyen	38	40,3	39,8	39,6	39,1

La figure 15 représente l'évolution du rendement moyen du clarificateur en fonction de la durée de centrifugation.

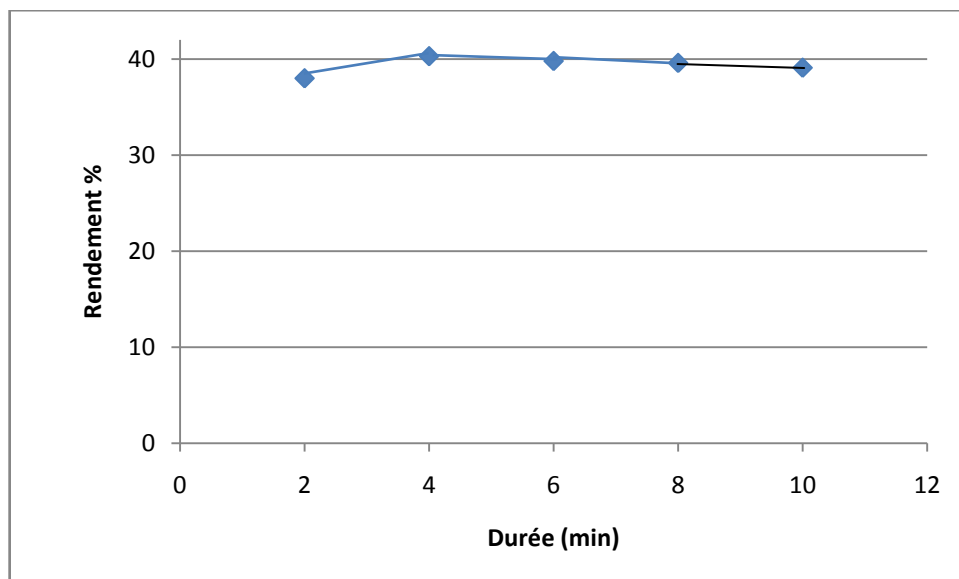


Figure 15 : Rendement du clarificateur en fonction de la durée de la centrifugation

• **Interprétations :**

D'après la courbe ci-dessus on remarque que le rendement du clarificateur reste **stable** pour une durée allant de 2 min jusqu'à 10 min. On peut donc prévoir l'augmentation du temps de débouillage en vue d'économiser en matière d'énergie et en volume d'eau de nettoyage.

4) **Estimation du nouveau temps de débouillage :**

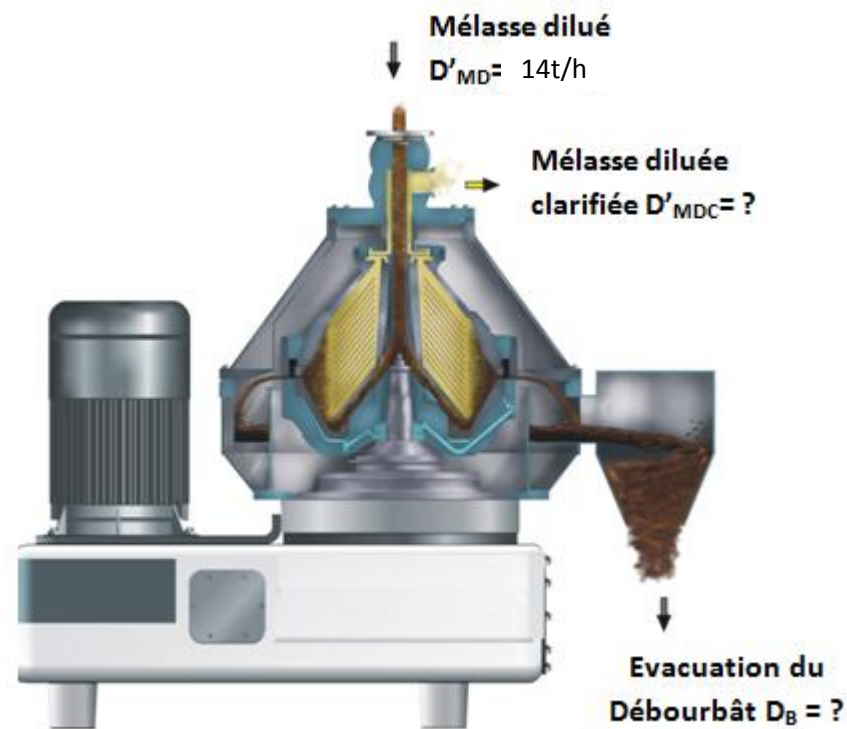


Figure 16 : Débit massique d'entrée et de sortie du clarificateur

Bilan massique au niveau du clarificateur :

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

Bilan/Boues : $D_{MD} X_1 = D_{MDC} X_2 + D_B X_3$

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

$$D_{MDC} = D_{MD} \frac{X_1 - X_3}{X_2 - X_3}$$

Avec X : La fraction des boues.

$$X_1 = 1.01 \quad ; \quad X_2 = 0.608 \quad ;$$

- La fraction des boues dans la chambre à boues $X_3 = ?$:

Pour calculer le pourcentage des boues dans la chambre à boues on procède comme suit :

Echantillonnage : On prélève une quantité de liquide à la sortie de la chambre à boues. On pèse 50g de chaque échantillon prélevé, puis ils subissent une centrifugation de 30min.

Tableau 6: Centrifugation des échantillons issus de la chambre à boues

Echanti llons	1	2	3	4	5	6	7	8	MOYENNE
% de boues	17	16,4	20	12,8	16,4	10,2	19,3	12	15.5

Donc $X_3 = 0,155$

Avec $D_{MD} = 14 \text{ m}^3/\text{h}$

D'après la formule : $D_{MDC} = D_{MD} \frac{X_1 - X_3}{X_2 - X_3}$

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

On a : $D_{MD} = D_{MDC} + D_B$

Donc : $D_B = 14 - 13,62 = 0,38 \text{ t/h}$

Avec $\rho_B = 1.23 \text{ kg/l}$ alors le débit volumique du débourbât est :

$$D_B = 0,31 \text{ m}^3/\text{h}$$

On a :



Donc le volume rejeté à chaque débourbage est le suivant : $V_b = 51 \text{ L}$

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 débourbage à :

On a :



Donc $t_{\text{optimal}} = 13 \text{ min } 43 \text{ s}$

On estimera alors que 13min 43s est le temps de débouillage optimal pour la clarification, et on comparera les résultats trouvés avec les résultats actuels.

5) Amélioration par rapport à l'eau de nettoyage

A chaque débouillage on utilise une quantité d'eau importante d'un débit de $8\text{ m}^3/\text{h}$.

Le volume d'eau pour chaque débouillage est de :

$$\begin{array}{ccc} 8\text{ m}^3 & \xrightarrow{\hspace{2cm}} & 1\text{h} = 3600\text{ s} \\ V_{\text{Rinçage}} & \xrightarrow{\hspace{2cm}} & 30\text{ s} \end{array}$$

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

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, le clarificateur fonctionne 16h par jour, alors le nombre de débouillage par jour est $N_1 = 82,28$ dé/jour.

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

$$V_1 = 5,43\text{ m}^3$$

Pour le nouveau temps de débouillage de 13min 43s, le cycle de clarification va durer 15min 23s, donc le nombre de débouillage par heure deviendra 4, le clarificateur fonctionne 16h par jour, alors le nouveau nombre de débouillage par jour est $N_2 = 62,4$ dé/jour.

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

$$V_2 = 4,11\text{ m}^3$$

On constate donc clairement une diminution significative du volume de l'eau de rinçage de l'ordre de $V = 1,31\text{ m}^3/\text{jour}$

6) Amélioration par rapport aux pertes de sucre :

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. Ainsi la mélasse 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

Principe :

C'est un diholoside qui à la formule chimique $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 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. L'emploi de saccharose comme substrat de fermentation est déjà ancien.

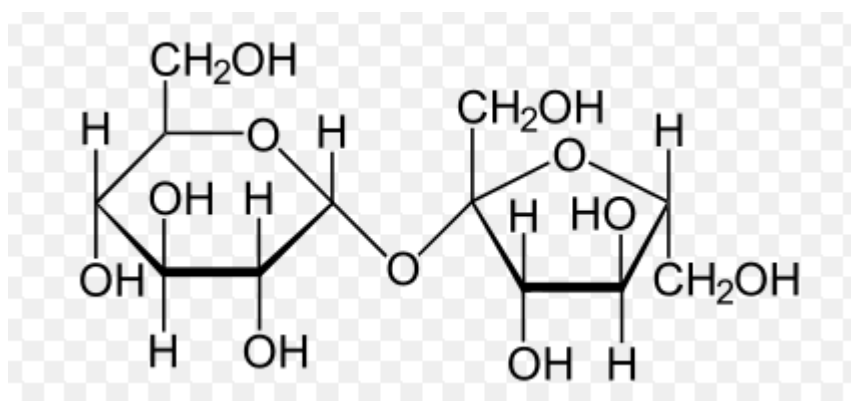


Figure 17: Structure chimique de saccharose

Mode opératoire :

Dans une fiole jaugée de 200ml on introduit environ 20g de l'échantillon du débourbage, 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 :

$$\text{Taux du saccharose (\%)} = \alpha_1 \cdot 1,1 \cdot 0,77 / \text{PE}$$

Avec :

α_1 : l'angle de rotation

1,1 : facteur de dilution

0.77: constante de l'appareil

PE : prise d'essai

b-dosage des sucres réducteurs libres :

Principe:

Les sucres réducteurs sont des sucres simples réactifs donneurs d'électrons dans une réaction d'oxydoréduction.

Mode opératoire :

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

Après refroidissement, on ajoute 5ml d'acide acétique (5N) et 20ml d'une solution d'iode (N/30) en agitant. Ensuite, on 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.

Calcul du taux des sucres réducteurs :

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

$$\text{Taux des sucres réducteurs (\%)} = (V_{\text{(blanc)}} - V_{\text{(échantillon)}}) * 1.03 / \text{PE (g)}$$

Avec:

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

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

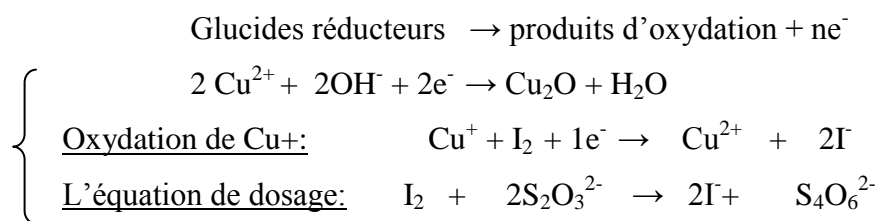
Remarque :

▪ L'acétate de plomb est utilisé pour éliminer tout ce qui est non sucres comme les protéines et les vitamines.

▪ L'acide acétique est utilisé dans le but de neutraliser la solution.

▪ Mécanisme de la réaction :

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



La quantité d'iode qui a oxydé les ions Cu^+ en Cu^{2+} représente la quantité des sucres réducteurs présente dans la prise d'essai de la mélasse.

Résultats :

Tableau 7: Pourcentage des sucres dans les boues

% Massique des Sucres Totaux dans la Chambre de Débourbage			
Echantillons		Saccharose (%)	Sucre Réducteur(%)
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

La masse volumique du débourbât = 1.23 kg /l

Les pertes en saccharose :

Puisque on rejette à chaque débourbage 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 sucres réducteurs :

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

Au total : $m_T = m_{\text{sucres réducteurs}} + m_{\text{saccharose}} = 12,3$ kg

Les pertes journalières en sucre :

$m_J = N_1 * m_T = 82,28 * 12.3 = 1012$ Kg/jour

Proposition d'amélioration:

On constate clairement que la quantité de sucre rejetée par jour est très importante, 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 :

- **Installation des décanteurs :**

C'est le procédé le plus simple à utiliser pour la séparation des matières solides contenues dans les rejets de débouillage du clarificateur.

En principe, les boues contiennent une quantité moins importante voire négligeable comparativement à celle disponible dans le surnageant, c'est pour cette raison que nous avons eu l'idée de le récupérer en adoptant des décanteurs, notre objectif sera donc d'exploiter ces décanteurs afin de récupérer le sucre situé au niveau du surnageant.

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

Dans cette partie on va essayer d'évaluer les pertes d'énergie au niveau de chaque étape depuis la MD jusqu'à MDCS.

1) Dilution de la mélasse :



Figure 18 : Débit d'entrée et de sortie de la cuve MD

Pour déterminer le débit massique de la vapeur, un bilan massique s'avère nécessaire :

BILAN MASSIQUE:

$$(\dot{D}_C + \dot{D}_B) + \dot{D}_2 + \dot{D}_3 = \dot{D}_{MD} + \dot{D}_{ACC}$$

$$\dot{D}_3 = 14 + 3.23 - 8.3 - (2.1 + 6.2)$$

$$\dot{D}_3 = 0.63 \text{ t/h}$$

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

Données :

Chaleurs spécifiques: $C_p \text{ eau} = 4,180 \text{ kJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

C_p mélasse est variable puisqu'elle dépend de la quantité de matière : plus la quantité de matière est importante plus la capacité thermique est grande.

Mais nous considérons dans cette étude que la variation entre ces capacités calorifiques est négligeable et on prend $C_p = 3,223 \text{ kJ} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$



Chaleur latente de condensation de la vapeur :

$$L_c (165^\circ\text{C}) = -2056,5 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Le flux reçu par la mélasse est:

$$\Phi_M = \dot{D}_1 \times C_p \text{ mélasse} \times \Delta T$$

$$\Phi_M = 8.3 \times 1000 \times 3.223 \times (70 - 25) / 3600$$

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

Le flux reçu par l'eau chaude est :

$$\Phi_2 = \dot{D}_2 \times C_p \text{ eau} \times \Delta T$$

$$\Phi_2 = 8.3 \times 1000 \times 4.180 \times (70 - 65) / 3600$$

$$\Phi_2 = \mathbf{48.2Kw}$$

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

$$\Phi_3 = \dot{D}_3 \times L_c + \dot{D}_3 \times C_p \text{ eau} \times \Delta T$$

$$\Phi_3 = 0.63 \times 1000 (-2056.5 + 4.18 \times (70 - 165)) / 3600$$

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

Donc le flux des pertes est :

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

$$\Phi_{\text{perte1}} = \mathbf{-46.8Kw}$$

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

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

Interprétation des résultats :

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

2) Clarification de la mélasse diluée :

Au niveau de la cuve de stockage de MDC:

D'après les calculs de la première partie on a :

Le débit de la sortie du clarificateur = le débit d'entrée de la cuve MDC :

$$\mathbf{D_{MDC} = 13.62 \text{ t/h}}$$



Figure 19 : Débit d'entrée et de sortie de la cuve de stockage de MDC

Le débit de la sortie est contrôlé par une électrovanne qui assure un débit convenable à l'entrée de l'échangeur : $D_{SMDC} = 12.2 \text{ t/h}$

3) Stérilisateur et Echangeur de chaleur :

Mélasse diluée clarifiée

$D_{ES} = 12.2 \text{ t/h}$ $T_{MDC} = 90^\circ\text{C}$

Injection de vapeur

$D_V = ??$ $T_V = 165^\circ\text{C}$



Mélasse diluée clarifiée stérilisée

$D_{SS} = 13.1 \text{ t/h}$ $T_V = 128^\circ\text{C}$

Figure 20 : Débit d'entrée et de sortie du stérilisateur

Bilan de matière :

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

$$D_{EEMDC} = D_{SEMDC} = 12.2 \text{ t/h}$$

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

$$D_{SS} = 13.1 \text{ t/h (lecture sur débitmètre)}$$

$$D_V = D_{SS} - D_{ES}$$

$$D_V = 13.1 - 12.2$$

$$D_V = 0.9 \text{ t/h}$$

Bilan thermique :

a. Echangeur mélasse/mélasse :

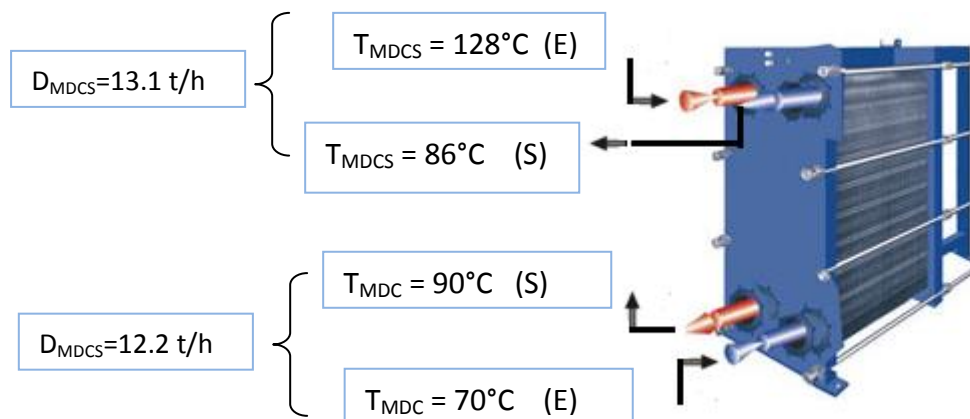


Figure 21 : Températures d'entrée et de sortie de l'échangeur

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

Le flux fourni par la mélasse diluée clarifiée stérilisée est :

$$\Phi_{\text{MDCS}} = D_{\text{MDCS}} \times C_p_{\text{mélasse}} \times \Delta T$$

$$\Phi_{\text{MDCS}} = 13.1 \times 1000 \times 3.223 \times (86 - 128) / 3600$$

$$\Phi_{\text{MDCS}} = -492.6 \text{ KW}$$

Le flux reçu par la mélasse diluée clarifiée est :

$$\Phi_{\text{MDC}} = D_{\text{MDC}} \times C_p_{\text{mélasse}} \times \Delta T$$

$$\Phi_{\text{MDC}} = 12.2 \times 1000 \times 3.223 \times (90 - 70) / 3600$$

$$\Phi_{\text{MDC}} = 218.4 \text{ KW}$$

Alors :

$$\Phi_{\text{perte2}} = -274.1 \text{ Kw}$$

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

b. Stérilisation :

Bilan thermique:

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

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

$$\Phi_v = D_v \times L_c + D_v \times C_p_{\text{eau}} \times \Delta T$$

$$\Phi_v = 0.9 \times 1000 / 3600 (-2056.5 + 4.18 (128 - 165))$$

$$\Phi_v = -552.8 \text{ KW}$$

Le flux reçu par la mélasse diluée clarifiée :

$$\Phi_{\text{MDC}} = D_{\text{MDC}} \times C_p_{\text{mélasse}} \times \Delta T$$

$$\Phi_{\text{MDC}} = 12.2 \times 1000 \times 3.223 \times (128 - 90) / 3600$$

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

Alors :

$$\Phi_{\text{perte3}} = -137.8 \text{ KW}$$

Pour stériliser la mélasse diluée clarifiée la société *LESAFFRE MAROC* dépense une énergie de 552.8kw. Lors de cette étape il y a 25% des pertes.

Interprétation des résultats:

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.

c. Echangeur eau/mélasse (refroidisseur):

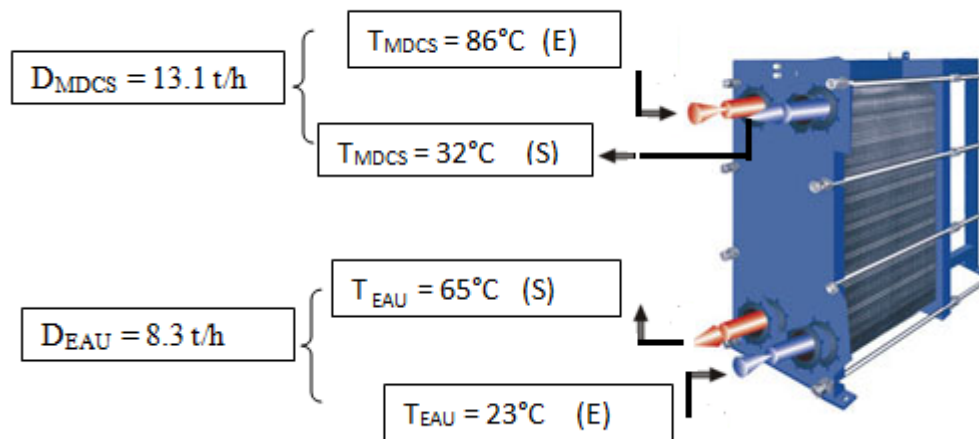


Figure 22 : Températures d'entrée et de sortie du refroidisseur

Le débit de la mélasse entrant est celui de la sortie de l'échangeur mélasse/mélasse.

Le débit de l'eau de refroidissement utilisé dans le refroidisseur, est réutilisé dans la phase de dilution.

$$D_{EAU} = 8.3 \text{ t/h}$$

$$D_{MDCS} = 13.1 \text{ t/h}$$

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

Le flux fourni par la mélasse diluée clarifiée stérilisée :

$$\Phi_{MDCS} = D_{MDCS} \times C_p_{\text{mélasse}} \times \Delta T$$

$$\Phi_{MDCS} = 13.1 \times 1000 \times 3.223 \times (32 - 86)/3600$$

$$\Phi_{MDCS} = -633.3 \text{ KW}$$

Le flux reçu par l'eau :

$$\Phi_{eau} = D_{eau} \times C_p_{\text{eau}} \times \Delta T$$

$$\Phi_{eau} = 8.3 \times 1000 \times 4.18 \times (65 - 25)/3600$$

$$\Phi_{eau} = 385.5 \text{ KW}$$

Alors :

$$\Phi_{perte4} = -247.8 \text{ KW}$$

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:

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

4) Evaluation total des pertes en terme de FUEL :

La société *LESAFFRE-MAROC* utilise, pour la production de la vapeur, à partir de ses chaudières, le fuel 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 brulant.

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

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

$$\begin{aligned} Q_{\text{fioul/s}} &= \sum \Phi_{\text{pertes}} / \text{PCI} \\ &= 0,016 \text{ Kg/s} \end{aligned}$$

Les pertes en fioul par heure :

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

D'autre part, un kilogramme du fuel coute 3,7 DH soit une somme de **214.6 DH/h.**

Conclusion

Au terme de cette étude, 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 montré 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 effectuées sur les échantillons du déboubât en se basant sur les méthodes chimiques et polarométriques, confirment que le taux des sucres rejetés est très important ce qui nous a poussé à proposer des solutions de réutilisation de ses rejets.

Ensuite, nous avons établi un bilan thermique sur toute l'installation de traitement de la mélasse ce qui nous a permis d'évaluer les pertes énergétiques qui atteignent 706 KJ/s, défaut de transfert de chaleur par conduction par les parois, d'où la nécessité d'utiliser des isolants.

Enfin, un bilan économique a été établi afin de calculer le montant gaspillé dans l'étape de préparation de la mélasse.

Références bibliographiques et webographiques

- [1] Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche française, enjeux et défis des industries agroalimentaires, 2010.
- [2] Annie LOIEZ, production de la levure de panification par biotechnologie, les essentiels, www.techniques-ingenieurs.fr, 10 mars 2003.
- [3] www.Lesaffre.com
- [4] www.lesaffre.com/fr/le-groupe/lesaffre-dans-le-monde.html
- [5] www.toutsurlalevure.fr
- [6] <http://www.technologies-propres.com/pdf/ultrafiltration-cas-etudes.pdf>
- [7] <http://local.alfalaval.com/fr-fr/technologiescles/separation/separateurs/clara/Documents/Clara20>



2013/2014

Master Sciences et Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom: ZAITAR Sabah

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

Résumé

Ce projet de fin d'études effectué du 1^{er} février au 31 Mai 2014 a été motivé par le besoin d'approfondir mes connaissances dans le domaine de la levurière, lequel séculaire certes mais en perpétuel évolution avec les procédés. Ceci s'est tenue dans l'entreprise LESSAFRE MAROC numéro 1 mondial de production de levure de boulangerie et d'améliorant de panification.

Profitons de leur expertise et dans un souci d'augmentation de la productivité, j'ai soumis le sujet intitulé : Suivi et optimisation du rendement de la station de traitement de la mélasse au service production. Pendant toute la période de stage le travail a été séquencé en une : Evaluation du rendement du clarificateur, détermination des pertes de sucres dans l'opération de clarification et enfin une évaluation des pertes énergétique. Pour cela il a fallu, effectuer une centrifugation des échantillons du clarificateur, réaliser des analyses chimiques des rejets du débourbât, et enfin établir des bilans massiques et énergétiques de la station de traitement de la mélasse.

Mots clés: Rendement ; débourbât ; mélasse ; clarificateur ; bilans massiques et énergétiques.

