

Année Universitaire : 2017-2018

**Master Sciences et Techniques : CMBA
Chimie des Molécules Bio Actives**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Suivi des pertes d'azote et de phosphore, de la fermentation de la
levure jusqu'à sa séparation.**

Présenté par :

Abla SAKOUT

Encadré par :

Pr. Elhadi LAMCHARFI (FST FES)

Mr. Ali Bennani (LES AFFRE-MAROC)

Soutenu Le 13 juin 2018 devant le jury composé de :

Pr.E. LAMCHARFI (FST FES)

Pr.N. K. IDRISI (FST FES)

Pr. A. BOUAYAD (FST FES)

Stage effectué à LES AFFRE-MAROC



REMERCIEMENT

Au terme de ce travail, je saisi cette occasion pour exprimer mes vifs remerciements à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements aux membres de jury. Qui m'ont honoré en acceptant de juger ce modeste travail. Veuillez accepter mon sincère respect et ma profonde reconnaissance.

Je tiens à remercier tout particulièrement l'ensemble du personnel de LESAFFRE-MAROC pour m'avoir accueilli et accepté parmi eux.

Je tiens également à remercier infiniment mon tuteur de stage, Mr **Elhadi LAMCHARFI** Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de FES (FSTF), qui m'a encadré avec patience durant la réalisation de ce travail, pour son aide précieuse et ses conseils qui m'ont été donnés tout au long du Projet de Fin d'Etudes.

Mr **Ali BENNANI**, responsable du service laboratoire à LESAFFRE MAROC pour son accueil, son encadrement, et sa disponibilité.

Je remercie très spécialement Mr **Abdalali BOUQUADIDA**, responsable physico-chimique à LESAFFRE-MAROC qui m'a supporté dès le premier jour de mon stage avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Je témoigne ma reconnaissance à Messieurs, Mohammed et Wahib pour leur conseil, leur aimable accueil et leur soutien permanent.

J'ai beaucoup apprécié travailler dans le laboratoire de LESAFFRE-MAROC, encadré par des personnes très compétentes. Leur transmission de savoir fut très bénéfique pour moi et je tenais à les remercier vivement.

Je profite aussi de ce mémoire pour exprimer mes plus vifs remerciements envers tous les professeurs qui m'ont apporté du soutien durant mes études et tout le corps enseignant de la Filière Master «Chimie des Molécules Bio Actives» et envers tous mes amis qui ont été toujours près de moi avec leurs encouragements, critiques et conseils.

Je tiens à associer à ces remerciements ma mère, mon père, ma sœur et mon frère pour leur aide inestimable.

Enfin, je dédie ce travail à ma famille et plus particulièrement ma mère **Mouniya HAMMOUCH**, qui m'a toujours encouragé et soutenu durant mon parcours universitaire.

Liste des figures

<i>Figure 1</i> : Schéma d'une cellule de <i>saccharomyces cerevisiae</i>	3
<i>Figure 2</i> : Schéma simplifié du métabolisme central carboné sur glucose chez <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	5
<i>Figure 3</i> : La chaine de production de la levure à LESAFFRE MAROC.....	6
<i>Figure 4</i> : Etapes de la méthode de Kjeldahl.....	10
<i>Figure 5</i> : apparition d'une mousse noire.....	11
<i>Figure 6</i> : fin de la réaction de minéralisation.....	11
<i>Figure 7</i> : Dosage en retour.....	12
<i>Figure 8</i> : Catalyseur de Kjeldahl.....	15
<i>Figure 9</i> : observation d'un complexe coloré en bleu.....	16

Liste des histogrammes

<i>Histogramme 1</i> : % d'Azote dans le M.DL de fermenteur 4.....	34
<i>Histogramme 2</i> : % P_2O_5 dans le M.DL de fermenteur 4.....	34
<i>Histogramme 3</i> : pertes d'Azote dans la 1ère séparation de fermenteur 5.....	35
<i>Histogramme 4</i> : pertes d'Azote dans la 2ème séparation de fermenteur 5.....	35
<i>Histogramme 5</i> : pertes de P_2O_5 dans la 1ère séparation de fermenteur 5.....	36
<i>Histogramme 6</i> : pertes de P_2O_5 dans la 2ème séparation de fermenteur 5.....	36
<i>Histogramme 7</i> : pertes d'Azote dans la 1ère séparation de fermenteur 6.....	37
<i>Histogramme 8</i> : pertes d'Azote dans la 2ème séparation de fermenteur 6.....	37
<i>Histogramme 9</i> : pertes de P_2O_5 dans la 1ère séparation de fermenteur 6.....	37
<i>Histogramme 10</i> : pertes de P_2O_5 dans la 2ème séparation de fermenteur 6.....	37
<i>Histogramme 11</i> : pertes d'Azote dans la 1ère séparation de fermenteur 7.....	38
<i>Histogramme 12</i> : pertes d'Azote dans la 2ème séparation de fermenteur 7.....	38
<i>Histogramme 13</i> : pertes de P_2O_5 dans la 1ère séparation de fermenteur 7.....	39
<i>Histogramme 14</i> : pertes de P_2O_5 dans la 2ème séparation de fermenteur 7.....	39
<i>Histogramme 15</i> : pertes d'Azote dans la 1ère séparation de fermenteur 8.....	40
<i>Histogramme 16</i> : pertes d'Azote dans la 2ème séparation de fermenteur 8.....	40
<i>Histogramme 17</i> : pertes de P_2O_5 dans la 1ère séparation de fermenteur 8.....	40
<i>Histogramme 18</i> : pertes de P_2O_5 dans la 2ème séparation de fermenteur 8.....	40

Liste des Abréviations

Abs : Absorbance

F : Fermenteur

HST : Histogramme

L.M : Levure mère

MAP : Monoammonium Phosphate

MD : Mélasse diluée

MDC : Mélasse diluée et clarifiée

MDCS : Mélasse diluée, clarifiée et stérilisée

M.DL : Moût délevuré

M.L : Moût levuure

MS : Matière sèche

S : Saccharomyces

Liste des tableaux

Tableau 1 : %N ₂ de M.DL de fermenteur 4.....	18
Tableau 2 : Masse d'azote total dans le fermenteur 4.....	18
Tableau 3 : %P ₂ O ₅ de M.DL de fermenteur 4.....	20
Tableau 4 : Masse De P ₂ O ₅ total du fermenteur 4.....	20
Tableau 5 : %N ₂ de M.DL de fermenteur 5	22
Tableau 6 : Masse d'azote total du fermenteur 5.....	22
Tableau 7 : %P ₂ O ₅ de M.DL de fermenteur 5.....	24
Tableau 8 : Masse De P ₂ O ₅ total du fermenteur 5.....	25
Tableau 9 : %N ₂ de M.DL de fermenteur 6.....	26
Tableau 10 : Masse d'azote total du fermenteur 6.....	26
Tableau 11 : %P ₂ O ₅ de M.DL de fermenteur 6.....	27
Tableau 12 : Masse De P ₂ O ₅ total du fermenteur 6.....	28
Tableau 13 : %N ₂ de M.DL de fermenteur 7.....	29
Tableau 14 : Masse d'azote total du fermenteur 7.....	29
Tableau 15 : %P ₂ O ₅ de M.DL de fermenteur 7.....	30
Tableau 16 : Masse De P ₂ O ₅ total du fermenteur 7	31
Tableau 17 : %N ₂ de M.DL de fermenteur 8.....	32
Tableau 18 : Masse d'azote total du fermenteur 8.....	32
Tableau 19 : %P ₂ O ₅ de M.DL de fermenteur 8.....	33
Tableau 20 : Masse De P ₂ O ₅ total du fermenteur 8.....	33
Tableau 21 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 4.....	42
Tableau 22 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 5.....	43
Tableau 23 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 6.....	44
Tableau 25 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 7.....	44
Tableau 26 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 8.....	45

Sommaire

Introduction.....	1
I. Présentation de LESAFFRE	2
II. Historique de la société Lesaffre-Maroc	2
III. Généralités sur la levure.....	3
IV. Métabolisme des levures : respiration et fermentation.....	3
1) La respiration.....	3
2) La fermentation alcoolique.....	5
V. Chaîne de fabrication.....	6
1) Préparation de la mélasse.....	6
2) Fermenteur de 800 L.....	7
3) Pré-fermentation.....	8
4) Fermentation.....	8
5) Séparation.....	8
6) Stockage de la crème.....	8
7) Filtration.....	8
8) Séchage.....	9
9) Emballage.....	9
10) Conservation.....	9
I. Détermination de l'azote par la méthode de Kjeldahl.....	10
1) Digestion.....	11
2) Distillation.....	12
3) Titration.....	13
A. Schéma de processus.....	14
B. Calculs.....	16
II. Détermination de taux de phosphore.....	16
1) Mode opératoire.....	16
2) Calculs.....	17
III. Résultats et interprétations.....	17
1) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 4.....	17
2) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 4.....	20
3) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 5.....	21
4) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 5.....	24
5) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 6.....	26
6) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 6... ..	27
7) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 7.....	28
8) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 7.....	30
9) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 8.....	31
10) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 8.....	33
IV. Interprétation des résultats.....	34
1) Fermenteur 4.....	34

2) Fermenteur 5.....	35
3) Fermenteur 6.....	36
4) Fermenteur 7.....	38
5) Fermenteur 8.....	39
A. Contrôle de pH et de conductivité.....	41
1) Fermenteur 4.....	42
2) Fermenteur 5.....	42
3) Fermenteur 6.....	43
4) Fermenteur 7.....	44
5) Fermenteur 8.....	45
V. Comparaison des pertes d'azote et de phosphore des cinq fermenteurs...	46
Conclusion générale.....	47

Introduction

De nos jours, la levure est utilisée comme usine cellulaire pour la production de molécules d'intérêt pharmaceutique et médical, elle est utilisée pour la production de vaccins, de probiotiques ou de protéines comme l'insuline. Elle joue également un rôle clé dans l'industrie chimique pour la synthèse de produits de commodité comme l'acide lactique pour la production des plastiques et dans le domaine des énergies renouvelables et des biocarburants (bioéthanol).

La levure *Saccharomyces cerevisiae* occupe une place privilégiée dans les activités industrielles. Elle joue un rôle très important dans l'industrie agroalimentaire comme agent de fermentation et pour l'élaboration de produits dérivés.

Pour produire la levure commerciale, le milieu de culture doit apporter tous les éléments nécessaires à la croissance et aux besoins énergétiques de la levure. On cite par exemple l'azote, le phosphore, les vitamines, les oligo-éléments et l'eau.

Par ailleurs, lors de la fermentation, la levure ne fixe pas tous ces éléments nutritifs à cause de plusieurs facteurs.

Le travail présenté dans ce rapport a pour finalité de faire une estimation préliminaire des pertes en azote et en phosphore de cinq fermenteurs, tout en comparant le taux d'azote et de phosphore alimenté et rejeté vers les égouts.

Pour cela, nous avons utilisé la méthode de Kjeldahl afin de déterminer la teneur en azote dans les échantillons préparés.

Ensuite, nous avons mesuré l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible afin de déterminer la quantité du phosphore sous forme de P_2O_5 dans le moût délevuré.

Pour savoir à quelle limite le moût délevuré rejeté vers les égouts peut influencer la qualité des rejets industriels, nous avons contrôlé son pH et sa conductivité quotidiennement durant de cette étude.

I. Présentation de LESAFFRE :

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

1863 : Acquisition du premier moulin à Marcq-en-Barœul. C'est à partir de ce site que se développera la Société Industrielle Lesaffre qui se révélera progressivement comme l'élément moteur et le support de l'essor industriel et commercial de la branche levure du Groupe.

1871 : Le baron autrichien Max de Springer, propriétaire à Maisons-Alfort 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. Ces derniers, à cette époque, utilisaient leurs propres levains, accompagnés parfois de levure résiduaire de brasserie.

1873 : Lesaffre & Bonduelle développent la fabrication de levure fraîche à Marcq-en-Barœul, à la place de l'ancien moulin.

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

1901 : Les familles Lesaffre et Bonduelle décident de poursuivre séparément leurs activités. L'entreprise est partagée en 3 branches : Bonduelle, Lesaffre & Cie (alcool et levure) et Lesaffre Frères (sucrierie et distillerie). [1]

II. Historique de la société LESAFFRE-Maroc :

En 1993, la société SODERS a été majoritairement détenue par le groupe Français LESAFFRE et portant aujourd'hui comme nouvelle appellation « LESAFFRE Maroc », elle présente la première entreprise privatisée du Maroc bénéficiant de l'expérience et de l'expertise du leader mondial dans la fabrication de la levure de panification.

LESAFFRE Maroc fabrique et commercialise de la levure : les marques, **Jaouda** comme levure fraîche, **Rafiaa** et **Nevada** comme levure sèche, ajoutant à cela un type spécial destiné et fabriqué pour saturer les besoins des forces armées royales (FAR) en levure, ainsi que des améliorants de panification : les marques **Ibis bleu** et **Magimix**.

III. Généralités sur la levure

La levure boulangère ou levure de bière (*Saccharomyces Cerevisiae*) est un champignon unicellulaire et eucaryote qui possède la faculté de transformer le sucre en alcool et de faire monter la pâte en transformant le glucose en éthanol et dioxyde de carbone (CO_2). Sa taille ne dépasse pas les 6 à 8 μm . Ces micro-organismes se multiplient par bourgeonnement ou par division.

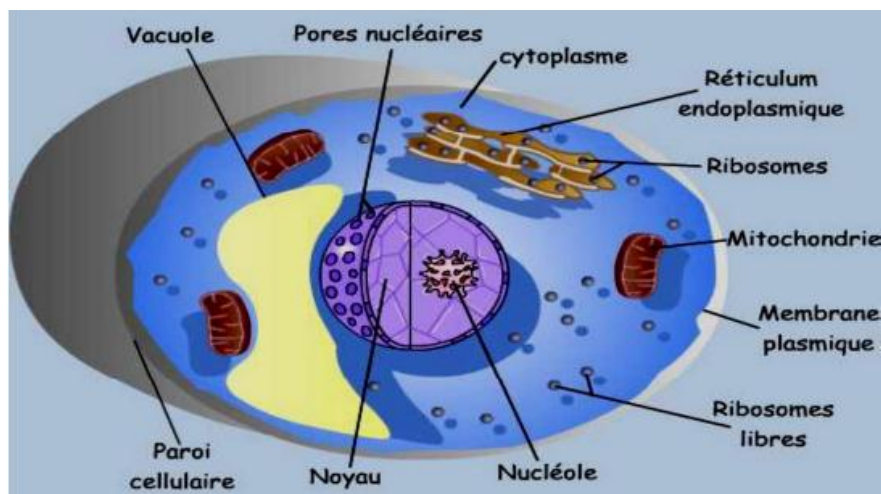


Figure 1 : Schéma d'une cellule de *saccharomyces cerevisiae*

La levure est capable de :

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

IV. Métabolisme des levures : respiration et fermentation

Les levures sont des organismes hétérotrophes, ce qui signifie qu'ils prélèvent des constituants organiques dans leur environnement afin de se développer.

Pour produire de l'énergie, les levures utilisent deux processus différents : la respiration et la fermentation alcoolique.

1) La respiration

Les levures utilisent la respiration en milieu aérobie (présence de dioxygène). Ce métabolisme sert à produire des molécules d'ATP (adénosine tri-phosphate), source d'énergie de la cellule.

La respiration cellulaire se déroule en 3 grandes étapes : la glycolyse, le cycle de Krebs et la chaîne de transport des électrons, liée à la phosphorylation oxydative.

L'équation bilan de la respiration cellulaire est :



La glycolyse :

La glycolyse est un ensemble de dix réactions biochimiques, catalysées par dix enzymes différentes, qui se déroulent dans le cytosol de la cellule. Lors de la glycolyse, il y a dégradation d'une molécule de glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) en 2 molécules de pyruvate ($\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$) :



- ✓ Ces réactions produisent des molécules d'ATP ainsi que des transporteurs d'électrons (NADH).

Le cycle de Krebs :

Le cycle de Krebs est un cycle de sept réactions biochimiques catalysées par sept enzymes différentes. Il se déroule dans la matrice mitochondriale, c'est à dire l'intérieur des mitochondries. Après l'étape de la glycolyse, le pyruvate qui a été formé se transforme en acétyl-Coenzyme A, par décarboxylation (perte d'un atome de carbone). Cet acétyl-CoA va entrer dans le cycle de Krebs, où le processus de décarboxylation va se poursuivre. L'acétyl-CoA est alors dégradé en CO_2 .

Cette étape produit des molécules d'ATP et des transporteurs d'électrons (NADH et FADH_2), mais en contrepartie, elle produit aussi du CO_2 (déchet).

La chaîne de transport des électrons et la phosphorylation oxydative :

Cette étape se déroule dans la membrane interne des mitochondries. Les transporteurs d'électrons (NADH et FADH_2) produits lors des étapes précédentes viennent céder leurs électrons et protons à travers une chaîne de molécules appelée chaîne respiratoire. Au bout de cette chaîne, les molécules de dioxygène viennent capter les électrons et les protons, ce qui forme de l'eau



Cette réaction est accompagnée par la production d'ATP par une enzyme, l'ATP synthase.

En conclusion, pour une mole de glucose dégradée, la respiration cellulaire produit 36 mole d'ATP.

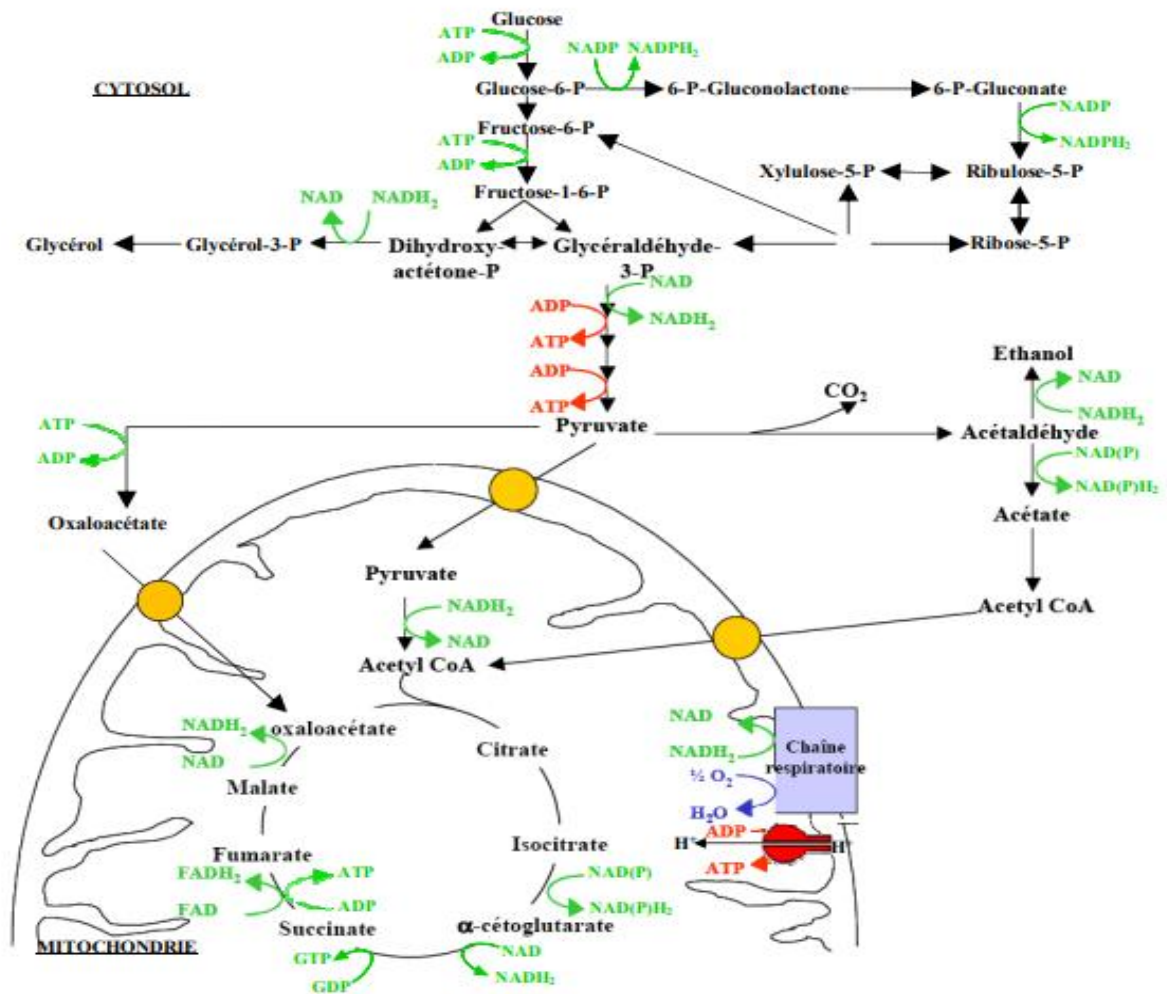


Figure 2 : Schéma simplifié du métabolisme central carboné sur glucose chez *Saccharomyces cerevisiae* [2]

2) La fermentation alcoolique

Lorsque le milieu est dépourvu de dioxygène, les levures utilisent la fermentation alcoolique. La première étape de la fermentation alcoolique est la même que celle de la respiration : c'est la glycolyse. La molécule de glucose est donc dégradée en 2 molécules de pyruvate, mais cette fois-ci, les molécules de pyruvate restent dans le cytosol, où elles vont être partiellement dégradées en alcool (éthanol) et en CO₂. [3]

L'équation bilan de la fermentation est :



V. Chaîne de fabrication :

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.

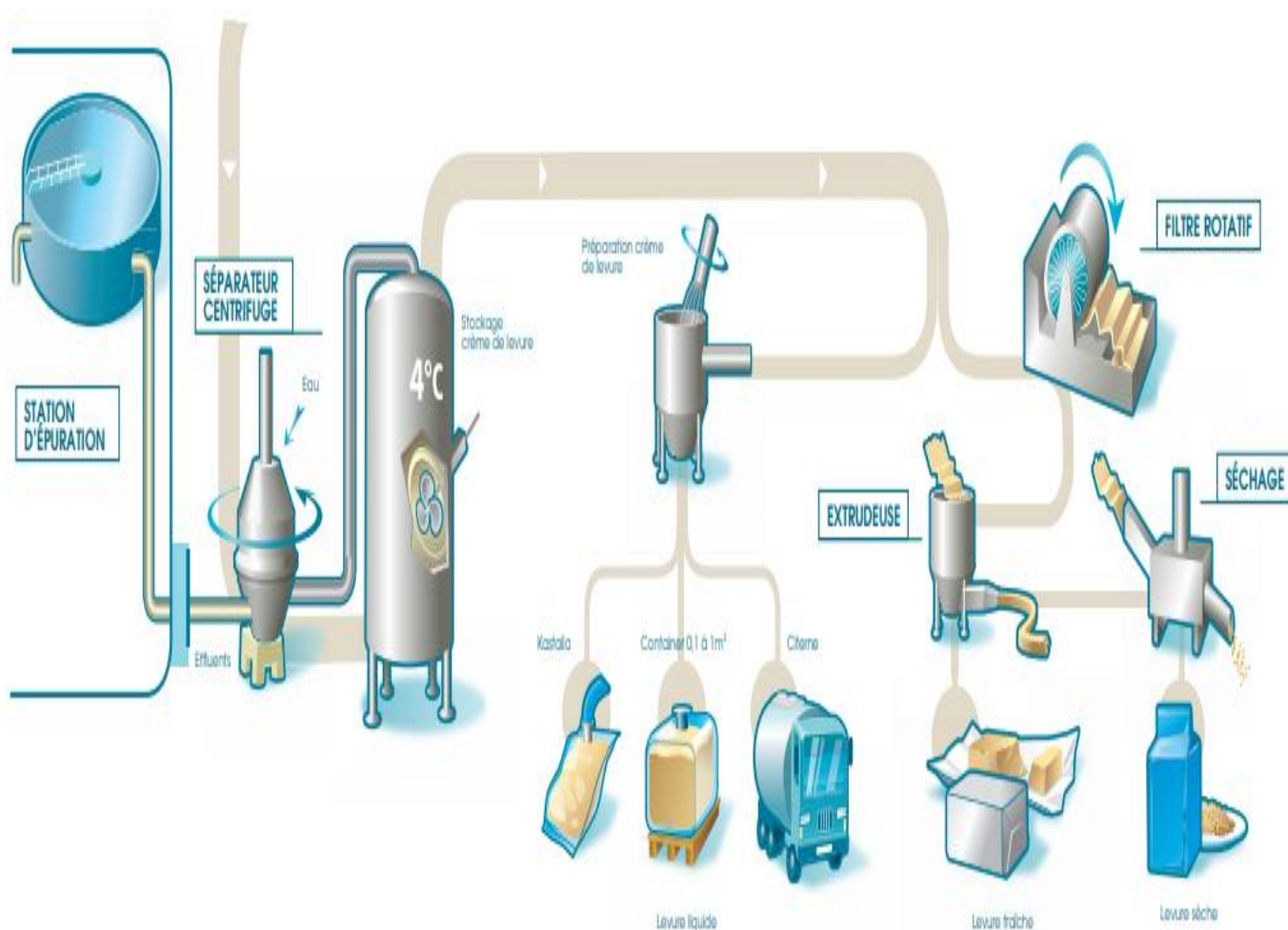


Figure 3 : La chaîne de production de la levure à LESAFFRE-MAROC

1) Préparation de la mélasse

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

➤ Dilution de la mélasse

La mélasse brute de la canne et de la betterave provient des tanks de stockage, se mélangent dans une cuve de dilution (MD) avec de l'eau et de la vapeur. La mélasse brute à diluer contient environ 80% de betterave et 20% de canne, quand à la dilution est d'environ 50%. La température dans la cuve de MD est de 70°C grâce à l'eau chaude ajoutée (66°C) et la vapeur injectée (3,5 bar) ce qui favorise la diminution de la viscosité de la mélasse.

➤ Clarification

La mélasse diluée passe dans un clarificateur où elle est centrifugée. Cette étape consiste à éliminer les colloïdes et les boues, pour éviter le colmatage des échangeurs utilisés pendant la stérilisation.

➤ Stérilisation

La mélasse diluée et clarifiée (MDC) est stérilisée par injection de vapeur. La stérilisation est effectuée au moyen d'appareils à pression de vapeur d'eau appelés stérilisateur. L'action conjuguée de la vapeur d'eau et de la température (température $>120^{\circ}\text{C}$) provoque la dénaturation des protéines des micro-organismes et la mort de ces derniers. Cette technique consiste à un contact direct de la vapeur d'eau et la matière à stériliser pendant un moment déterminé et une pression convenable.

La température de stérilisation est de 120°C à 130°C pendant 2 à 3min selon le débit de la mélasse. Ensuite, elle passe dans un échangeur à plaque de «MDC » à «MDCS» afin d'être refroidie.

➤ Stockage de la MDCS

Après la stérilisation, la mélasse est stockée à 90°C dans deux cuves MDCS.

➤ Refroidissement

Avant d'être introduite dans les fermenteurs, la MDCS passe dans des refroidisseurs à contrecourant, qui sont des échangeurs à plaques mélasse/eau froide, la mélasse se refroidit et l'eau se réchauffe ainsi.

➤ 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 sontensemencées dans des tubes dans un milieu nutritifs spécifique à la croissance des levures 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 le contenu des tubes est transvasé dans un petit ballon appelé «Van Lear » dont le milieu nutritif très riche laissera possible une première multiplication des cellules, puis, le contenu du «Van Lear » est versé dans un ballon plus grand appelé «Carlsberg» où elles se multiplient à nouveau.

2) Fermenteur de 800 L

Le contenu de Calsberg est versé dans un fermenteur de 800 litres, dans lequel la levure commence pour la première fois à s'adapter à la mélasse comme milieu nutritif.

3) Pré-fermentation

Le contenu de la 800 L est versé dans un pré-fermenteur et on lui ajoute les ingrédients avec des quantités précises : Eau ; Mélasse stérile ; Sels minéraux ; éléments de traces (oligo-éléments et vitamines)

4) Fermentation

À la fin de la pré-fermentation, on obtient un mout qui servira à ensemer le fermenteur avec un milieu nutritif bien spécifique, après 14 à 16 heures de fermentation, on obtient la levure mère, qui subira une séparation puis un stockage à une température de +4°C.

La levure mère obtenue servira encore à la fermentation, par un ensemencement partiel pour donner naissance à la levure commerciale.

5) Séparation

La séparation se fait en deux étapes de fermentation : après l'obtention de la levure mère et la levure commerciale. Le mout obtenu à la sortie des fermenteurs contient les cellules de levures et une solution liquide qui présente les restes du milieu nutritif.

Pour éliminer ces déchets on utilise un séparateur qui fonctionne par centrifugation, on obtient ainsi un liquide dense (crème) et un liquide léger, il s'agit du **mout délevuré**.

Remarque :

- On va se focaliser sur l'étape de séparation pour traiter notre sujet de stage.
- La crème qui sort de chaque ligne de séparation est refroidit dans un échangeur de chaleur avant son stockage dans les cuves de garde.

6) Stockage de la crème

La crème obtenue après séparation est acidifiée par l'acide sulfurique à pH = 2 dans le but d'éviter la contamination est ensuite stockée à 4°C pour ralentir le métabolisme cellulaire.

7) Filtration

Consiste à éliminer l'eau présente dans la levure pour la préserver dans une éventuelle contamination puisque l'eau favorisera le développement de microorganismes indésirables.

La crème arrive au niveau d'un filtre rotatif qui contient une couche filtrante d'amidon qui permettra la rétention des cellules de levures et éliminer l'eau excédante. La crème ainsi formée est récupérée sous forme de levure râpée.

8) Séchage

- ✓ Levure sèche active ou SPH

Sous forme de petites graines sphériques, sa durée de séchage est d'environ 4heures pour une quantité de 400 à 500 kilogrammes, elle s'effectue à 45°C. Elle est séchée d'une manière à obtenir 93 à 94% de matière sèche. Ce type de levure sèche nécessite une phase de réhydratation avant son utilisation. Elle est emballée sous air.

- ✓ Levure sèche instantanée ou SPI

Sous forme de bâtonnets, elle a une durée de séchage réduite qui est de 20 minutes environ pour une quantité de 1000 Kg ; elle est caractérisée par une force fermentaire supérieure à celle de la SPH. Elle est séchée de manière à obtenir 95 à 96% de matière sèche. Ce type de levure sèche ne nécessite aucune phase de réhydratation avant son utilisation. Elle est sous vide ou sous azote.

9) Emballage

- ✓ Emballage de la levure fraîche

S'effectue par à une machine spéciale constituée d'une boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Une fois le gâteau de la levure fraîche passe par cette machine, on obtient un produit fini sous forme de paquets d'un poids net de 500 g qui est mis en cartonne disposé sur des palettes de façon espacée afin de permettre une meilleure circulation de l'air froid.

- ✓ Emballage de la levure sèche

Après séchage, la levure passe par un appareillage de conditionnement spécifique qui aspire l'air (oxygène) des paquets pour une longue conservation.

10) Conservation

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

L'objectif de ce travail a pour finalité de faire une estimation préliminaire des pertes en azote et en phosphore de cinq fermenteurs, tout en comparant le taux d'azote et de phosphore alimenté et rejeté vers les égouts.

Pour cela, nous avons utilisé la méthode de Kjeldahl afin de déterminer la teneur en azote dans les échantillons préparés.

Ensuite, nous avons mesuré l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre afin de déterminer la quantité du phosphore sous forme de P_2O_5 dans le moût délevuré.

Pour savoir à quelle limite le moût délevuré rejeté vers les égouts peut influencer la qualité des rejets industrielles, nous avons contrôlé son pH et sa conductivité quotidiennement tout au long de cette étude expérimentale.

Afin d'atteindre l'objectif de ce travail, nous avons suivi la démarche suivante :

- 1- Récupération des échantillons de moût délevuré des cinq fermenteurs de la salle de production.
- 2- Faire des dilutions de moût délevuré pour savoir le taux d' N_2 et de P_2O_5
- 3- Mesurer le pH et la conductivité
- 4- Interprétations des résultats.

I. Détermination de l'azote par la méthode de Kjeldahl

La méthode de Kjeldahl est utilisée pour déterminer la teneur en azote dans les échantillons inorganiques.

C'est une méthode officielle et elle est décrite dans différentes normes telles que AOAC, USEPA, ISO, DIN, pharmacopées et différentes directives européennes. [4]

La procédure de Kjeldahl comporte trois étapes majeures :

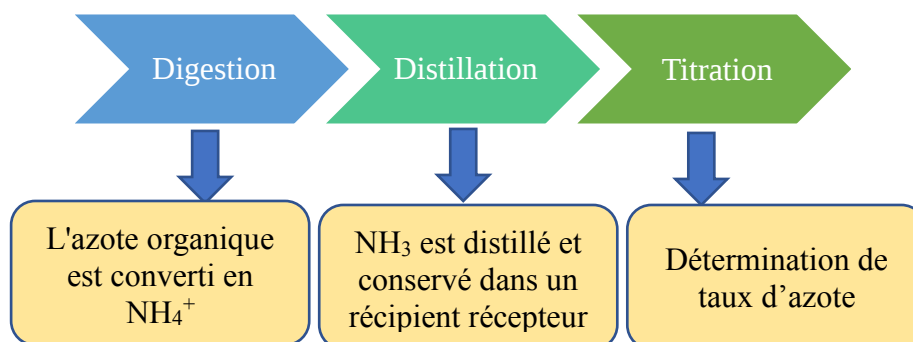


Figure 4 : Etapes de la méthode de Kjeldahl

1) Digestion :

✓ Mode opératoire

Dans la salle de production, on trouve deux séparateurs successifs pour fermenteurs 5,6,7,8. Le 1^{er} séparateur est sans eau de lavage alors que dans le 2^{ème} nous avons besoin de l'eau de lavage pour obtenir un produit pur et clair qui va être stocké dans des cuves avec refroidissement de 3°C pour arrêter la multiplication de la levure et pour assurer une bonne conservation.

Alors que le fermenteur 4 subit une seule séparation par un seul clarificateur.

- Le moût delevuré obtenu lors de la 1^{ère} séparation est récupéré. On prélève 50 ml et on le dilue dans une fiole de 100ml.

Puis, on prélève 10ml de la solution fille et on la met dans les flacons de digestion avec ajout de 5ml d'acide sulfurique 98% et le un quart de comprimé de catalyseur (1,25g).

- Le moût delevuré obtenu lors de la 2^{ème} séparation est récupéré. On prélève directement 10ml et on le met dans les flacons de digestion.

Le but de la digestion est de casser toutes les liaisons peptidiques des protéines à l'aide de H₂SO₄ 98% et convertir tout l'azote organiquement lié en ions ammonium (NH₄⁺).

Dans ce processus, la matière organique carbonise tout élément de transformation de l'échantillon en une mousse noire.



Figure 5 : apparition d'une mousse noire

Pendant la digestion, la mousse se décompose et finalement un liquide clair indique l'achèvement de la réaction chimique.

L'échantillon

Catalyseur Kjeldahl



La digestion est terminée lorsque l'échantillon sera totalement transparent avec une couleur légèrement bleue en raison du Cu du catalyseur de Kjeldahl.

La réaction se déroule pendant une heure.

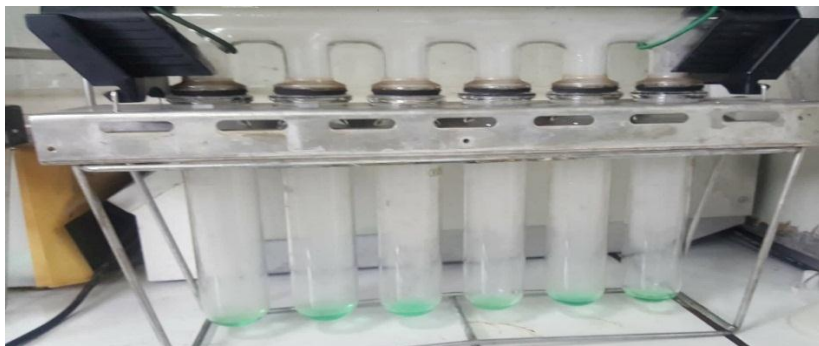


Figure 6 : fin de la réaction de minéralisation

Une fois la digestion est terminée, on laisse refroidir l'échantillon à la température ambiante, puis on le dilue avec de l'eau et on le transfère à l'unité de distillation

2) Distillation

Au cours de l'étape de distillation, l'hydroxyde de sodium (NaOH) 30%, transforme les ions ammonium (NH_4^+) en ammoniac (NH_3). L'ammoniac évaporé (NH_3) est condensé à l'aide de courant d'eau froide.

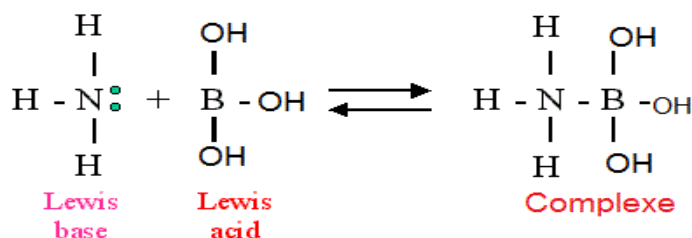


Puis NH_3 est piégé par 20 ml d'acide borique [$\text{B}(\text{OH})_3$] à 2% de concentration, et formant un complexe.

NH_3 est une base de Lewis susceptible de céder un doublet d'électrons.

[$\text{B}(\text{OH})_3$] est un acide de Lewis susceptible d'accepter un doublet d'électrons.

[$\text{B}(\text{OH})_3$] va accepter une paire d'électrons de N pour former un complexe par liaison dative.



L'étape de distillation peut prendre environ 5 minutes.

3) Titration

Le complexe formé est dosé par H_2SO_4 (0,05N). Avec le volume de H_2SO_4 équivalent, nous pouvons calculer le nombre de moles d'atomes d'azote dans le moût délevuré.



Ce dosage s'appelle dosage en retour

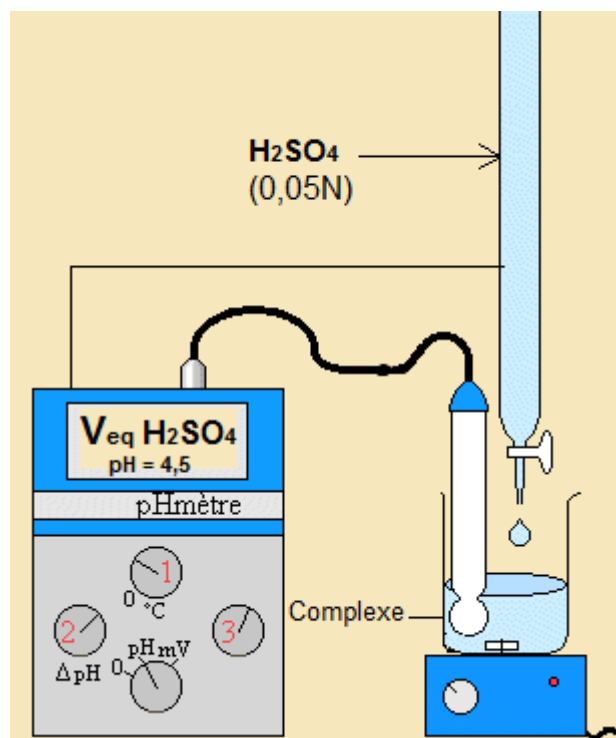
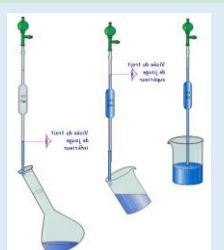


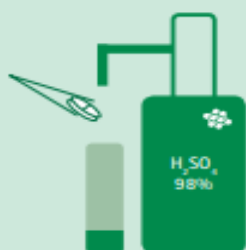
Figure 7 : Titreur automatique

A. Schéma de processus

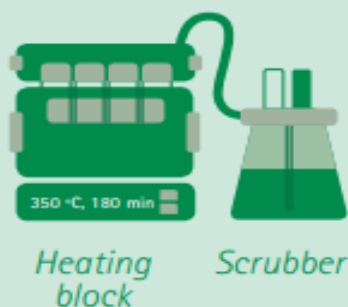
1. DIGESTION



- Dans une fiole de 100 ml, on introduit 50 ml de MDL puis on complète avec l'eau distillée.
- Prélever 10ml de la solution fille et la verser dans un flacon de digestion



- Ajouter le un quart de comprimé de Kjeldahl (1,25 g)
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique à 98%.



- Amener le tube à l'unité de digestion et dans un bloc chauffant.
- Chauffer le mélange (350 - 380 °C) jusqu'à ce que des vapeurs blanches soient visibles.
- Les vapeurs d'eau et d'acide sulfurique sont barbotées dans un récipient.
- La digestion est terminée lorsque l'échantillon sera totalement transparent avec une couleur légèrement bleue en raison du Cu du catalyseur.
- Laisser refroidir l'échantillon à température ambiante et prudemment.
- Ensuite, la moitié de contenu du tube est transféré à l'unité de distillation pour effectuer le dosage d'azote.

2. DISTILLATION

2

20 ml d'hydroxyde de sodium à 30% est ajoutée à l'échantillon pour neutraliser le pH et convertir NH_4^+ en NH_3

3

Un courant de vapeur d'eau est barboté dans l'échantillon pour entraîner le NH_3 formé.

1

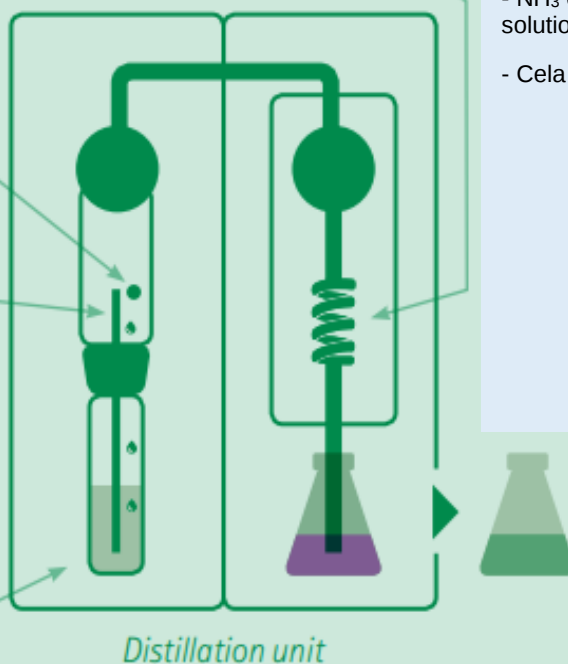
Échantillon déjà digéré avec de l'acide sulfurique 98%

4

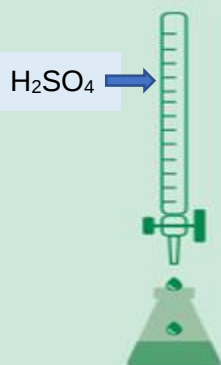
NH_3 est condensé.

5

- NH_3 est capturé dans 20 ml de solution d'acide borique à 2%
- Cela peut prendre environ 5 minutes.



3. TITRATION



- Titrer avec H_2SO_4

- Avec le volume et la concentration de H_2SO_4 nécessaires, nous pouvons calculer le nombre de moles d'atomes d'azote dans l'échantillon.



Figure 8 : Catalyseur de Kjeldahl

B. Calculs

Le taux d'azote de mout délevuré (dilué) de la première séparation est calculé selon la formule suivante :

$$\%N = \frac{(V(H_2SO_4) - v(blanc)) * 0.07}{PE} * \frac{100}{50} * \frac{100}{10}$$

Avec : V (H₂SO₄) : volume de titration de l'échantillon.

V(blanc)= 0,017 : volume de titration de l'eau distillée utilisée dans l'étape de distillation.

100/50 et 100/10 : facteurs de la dilution

PE : pried'essai.

Le taux d'azote de mout délevuré de la deuxième séparation est calculé par la relation suivante :

$$\%N = \frac{(V(H_2SO_4) - v(blanc)) * 0.07}{PE} * \frac{100}{10}$$

II. Détermination de taux de phosphore :

1) Mode opératoire :

Après l'étape de minéralisation, on met 10 ml de la solution obtenue dans une fiole de 50ml puis on ajoute :

4 ml d'héptamolibdate d'ammonium

4ml de bisulfate d'ammonium

4ml de Metol : (4-methymino)phenolsulfate

Puis, on complète jusqu'à le trait de jauge par l'eau distillée. On observe une couleur bleue qui montre la présence d'un complexe phosphomolibdate d'ammonium, qu'on va laisser reposer une demi-heure.



Figure 9 : *observation d'un complexe coloré en bleu.*

Enfin, on effectue la lecture de longueur de l'absorbance à une longueur d'onde de 660nm.

2) Calculs :

La teneur en phosphore de la première séparation est donnée par la relation suivante :

$$\%P_2O_5 = \frac{A * K * 0.5}{PE} * 2$$

La teneur en phosphore de la deuxième séparation est donnée par la relation suivante :

$$\%P_2O_5 = \frac{A * K * 0.5}{PE}$$

Avec : A : absorbance

K : constante d'appareil

PE : prise d'essai.

III. Résultats et interprétations

1) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 4 :

Le fermenteur 4 est spécifique pour la production de la levure mère LM. La séparation de cette dernière se fait par un seul clarificateur.

Après l'étape de séparation, la levure mère est ensemencée dans les autres citernes de fermenteurs (5,6,7 et 8) en ajoutant d'autres éléments nutritifs pour produire la levure fille, comme la mélasse, l'urée, sulfate d'ammonium, l'engrais MAP. Cette fermentation s'appelle : fermentation commerciale.

Le tableau ci-dessous montre les résultats d' N_2 obtenus pour le fermenteur 4.

Tableau1 : %N₂ de M.DL de fermenteur 4.

DATE	Fermenteur 4	
	V _{eq}	%N ₂
17-mars	10,03	0,28036
18-mars	11,6	0,32432
19-mars	10,5	0,29352
20-mars	11,82	0,33048
21-mars	10,44	0,29184
22-mars	11,78	0,32936
23-mars	11,64	0,32544
24-mars	12,47	0,34868
25-mars	11,73	0,32796
26-mars	11,68	0,32656

✓ **Calcul de la moyenne des pertes d'azote par jour pendant 10 jours :**

Moyenne de %N₂ = 0,318 %

Le milieu de culture doit apporter tous les éléments nécessaires à la croissance et aux besoins énergétiques de la levure, on cite par exemple l'azote. Pour cela nous avons calculé la masse de l'azote total injecté dans la citerne de fermenteur4.

Tableau2 : Masse d'azote total dans le fermenteur 4.

Fermenteur 4					
Temps de séparation	Eléments nutritifs	% d'N ₂ dans les éléments nutritifs	Volume(L)	Quantité d'N ₂ (Kg)	Masse N ₂ totale (kg)
1h20min	Mélasse	1,5%	18570	139,27	486,53
	Urée	8,74%	3400	297,16	
	Sulfate d'ammonium	3,56%	750	26,7	
	MAP	1,3%	1800	23,4	

Remarque :

La mélasse contient 1,5% d'azote sachant que dans le procédé industriel on utilise une mélasse diluée une seule fois par le même volume, car la mélasse pure peut subir une combustion (dûe à la haute température de procédé). Pour cela, nous avons divisé la valeur d'azote obtenue par 2.

➤ **Calculs de la masse d'azote rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 4 :**

On sait que dans 200g de moût levuré (ML), on a 170g de gâteau de la levure.

Donc dans 1000g de M.L on a : 850g de gâteau

D'où 1000g ML – 850g gâteau = **150g M.DL**

Donc dans 1Kg de ML, il y a 150 g de M.DL

N.B : Le débit est constant pour tous les fermenteurs.

50000 L/h est le débit d'entrée dans le séparateur de fermenteur 4 qui fonctionne pendant 1h 20min.

Le volume total de M.L est : $V = D \times t$

Avec : $D = 50000 \text{ L/h}$; $t = 1\text{h}20\text{min}$

$$V(\text{ML}) = \frac{50000}{60} \times (60 + 20)$$

Donc $V(\text{M.L}) = 66666,7 \text{ L}$

Donc la masse de M.L totale est : $m(\text{M.L}) = \rho \times V$

Avec $\rho = 1,03 \text{ g/cm}^3$ et $V = 66666,7 \text{ L}$

$D'o\grave{u} \quad m(\text{M.L}) = 68666,7 \text{ kg}$

On sait que 1kg M.L donne $150 \times 10^{-3} \text{ kg MDL}$

On peut conclure que dans **68666,7 kg** de M.L on a **10300 kg de M.DL**

$$\text{Donc } V(\text{M.DL}) = \frac{m(\text{M.DL})}{\rho(\text{M.DL})}$$

Avec $\rho(\text{M.DL}) = 1,012 \text{ Kg/L}$ et $m(\text{M.DL}) = 10300 \text{ kg}$

$D'o\grave{u} \quad V(\text{M.DL}) = 10177,9 \text{ L}$

La moyenne d' N_2 obtenue dans les analyses effectuées est 0,318 % , ce qui correspond à 0,318g dans 100 mL de M.DL

$$\begin{array}{lcl} 3,18 \times 10^{-3} \text{ kg} & \longrightarrow & 1 \text{ L M.DL} \\ m(\text{N}_2 \text{ rejeté}) = 32,4 \text{ Kg} & \longrightarrow & 10177,9 \text{ L} \end{array}$$

$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = \text{Masse d'azote total} - \text{masse d'azote rejeté}$

Avec : Masse d'azote total = 486,53 kg (d'après le tableau précédant)

Et masse d'azote rejeté = 32,4 kg

$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = 454,13 \text{ kg}$

$$\% \text{N}_2 \text{ rejeté} = \frac{\text{la masse d'azote rejeté}}{\text{la masse d'azote total}} \times 100$$

$$\% \text{N}_2 \text{ rejeté} = \frac{32,4}{486,53} \times 100$$

$\% \text{N}_2 \text{ rejeté} = 6,65 \%$

$$\% \text{N}_2 \text{ fixé} = \frac{\text{la masse d'azote fixé}}{\text{la masse d'azote total}}$$

$$\%N_2 \text{ fixé} = \frac{454,13}{486,53} \times 100$$

$$\%N_2 \text{ fixé} = 93,3 \%$$

2) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 4 :

Le phosphore est un élément nutritif essentiel pour la croissance de la levure. Pour cela la société Lesaffre-Maroc utilise l'engrais Monoammonium Phosphate (MAP) comme une source de phosphore. Le tableau ci-dessous illustre les résultats de P_2O_5 obtenus pour le fermenteur 4.

Tableau 3 : $\%P_2O_5$ de M.DL de fermenteur 4.

Fermenteur 4		
DATE	Abs	$\%P_2O_5$
17-mars	0.153	0.0306
18-mars	0.159	0.0318
19-mars	0.178	0.0356
20-mars	0.145	0.029
21-mars	0.152	0.0304
22-mars	0.149	0.0298
23-mars	0.192	0.0384
24-mars	0.171	0.0342
25-mars	0.141	0.0282
26-mars	0.167	0.0334

✓ Calcul de la moyenne des pertes de phosphore par jour pendant 10 jours :

$$\text{Moyenne de } \%P_2O_5 = 0,0321\%$$

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de *S.Cereviceia* et donne la masse de phosphore alimenté dans la citerne de fermenteur 4.

Tableau4 : Masse De P_2O_5 total du fermenteur 4.

	V(MAP) L	$\%$ d' P_2O_5 dans	Masse (P_2O_5) MAP Kg	Masse Totale de P_2O_5 Kg
Fermenteur 4	1800	6,87%	123,66	123,66

➤ Calculs de la masse de P_2O_5 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 4 :

D'après les calculs précédents, on a $V(M.DL) = 10177,9 \text{ L}$

La moyenne de P_2O_5 obtenue dans les analyses effectuées est 0,0321%

Ce qui correspond à 0,0321g de P_2O_5 dans 100 mL de M.DL

$$0,321 \times 10^{-3} \text{ kg} \longrightarrow 1 \text{ L M.DL}$$

$$m(\text{P}_2\text{O}_5 \text{ rejeté}) = 3,27 \text{ Kg} \longrightarrow 10177,9 \text{ L}$$

On constate que dans le volume de moût levuré (66666,7L) de fermenteur 4, il existe 3,27 Kg de phosphore dans le moût délevuré.

$$\text{Masse de P}_2\text{O}_5 \text{ fixé par la levure} = \text{Masse de P}_2\text{O}_5 \text{ total} - \text{masse de P}_2\text{O}_5 \text{ rejeté}$$

Avec : Masse de P_2O_5 total = 123,66 kg (d'après le tableau précédent)

Et la masse de P_2O_5 rejeté = 3,27 kg

$$\text{Masse de P}_2\text{O}_5 \text{ fixé par la levure} = 120,4 \text{ kg}$$

D'où $\% \text{P}_2\text{O}_5 \text{ rejeté} = 3,27\%$ et $\% \text{P}_2\text{O}_5 \text{ fixé} = 97,3 \%$

3) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 5 :

Les fermenteurs 5 est spécifique pour la production de la levure fraîche.

Dans le procédé, on trouve deux séparateurs successifs. Le 1^{er} séparateur est sans eau de lavage alors que dans le 2^{ème} nous avons besoin de l'eau de lavage pour obtenir un produit pur et clair qui va être stocké dans des cuves avec refroidissement de 3°C pour arrêter la multiplication de la levure et pour assurer une bonne conservation.

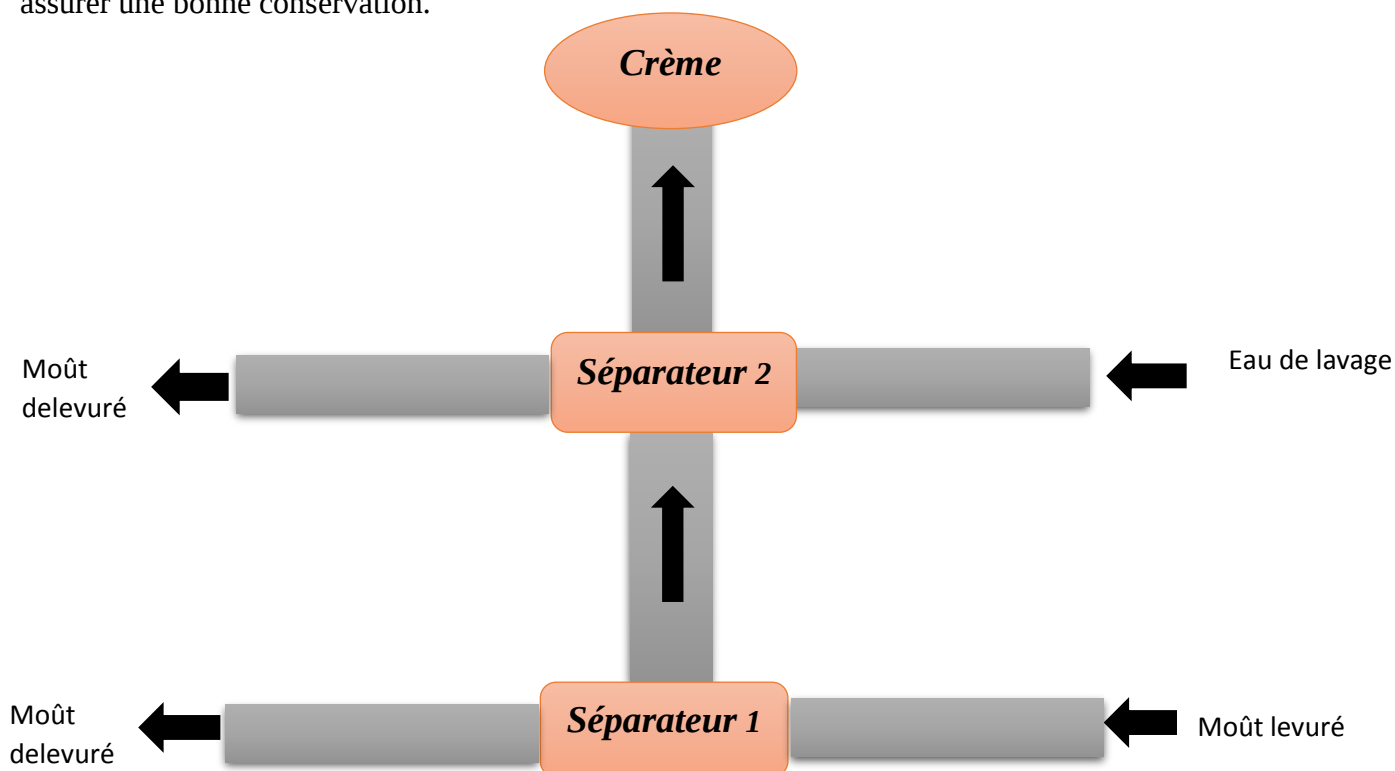


Figure (3) : Représentation schématique de procédé de séparation

➤ **Calculs de la masse d'azote rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 5 :**

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats de %N₂ dans deux séparateurs de fermenteur 5.

D'après les analyses effectuées nous avons constaté que le %N₂ de la 1^{ère} séparation est le double de celui de la 2^{ème} séparation.

Tableau 5 : %N₂ de M.DL de fermenteur 5

Fermenteur 5				
DATE	Séparateur 1		Séparateur 2	
	Veq	%N ₂	Veq	%N ₂
17-mars	5,6	0,15632	5,79	0,080822
18-mars	6,2	0,17312	6,1	0,085162
19-mars	5,83	0,16276	5,83	0,081382
20-mars	6,52	0,18208	6,16	0,086002
21-mars	6,11	0,1706	6,06	0,084602
22-mars	5,76	0,1608	5,82	0,081242
23-mars	6,16	0,172	6,19	0,086422
24-mars	6,07	0,16948	6,23	0,086982
25-mars	5,94	0,16584	6,16	0,086002
26-mars	6,19	0,17284	6,34	0,088522

✓ **Calcul de la moyenne des pertes d'azote par jour pendant 10 jours :**

Moyenne de %N₂ = 0,253 %

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de S.Cereviceia et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 5.

Tableau 6 : Masse d'azote total du fermenteur 5.

Fermenteur 5					
Temps de séparation	Eléments nutritifs	% d'N ₂ dans les éléments nutritifs	Volume(L)	Quantité d'N ₂ (Kg)	Masse N ₂ totale (kg)
1h	Mélasse	1,5%	19150	143,6	340,62
	Urée	8,74%	2010	175,67	
	Sulfate d'ammonium	3,56%	200	7,12	
	MAP	1,3%	1095	14,23	

Le fermenteur 5 est aussi alimenté par **600Kg** de levure mère. Cette dernière est produite dans le fermenteur 4.

La Levure mère est sous forme d'une crème.

➤ **Calcul de %N₂ de LM pour fermenteur 5 :**

On sait que dans 1000mL de LM provenant de F4, il y a 650 g de gâteau.

Et $m(LM) = \rho \times V$ avec $\rho(LM) = 1,03 \text{ g/cm}^3$ et $V(LM) = 1000 \text{ ml}$

Donc $m(LM) = 1030 \times 10^{-3} \text{ Kg}$

On peut dire alors que dans $1030 \times 10^{-3} \text{ Kg}$ de LM, il y a $650 \times 10^{-3} \text{ Kg}$ de gâteau.

Donc pour **600Kg de L.M**, il y a **378,6Kg de gâteau**

On sait que dans 100Kg gâteau, il existe 29 Kg de matière sèche. (La MS est tout ce qui est levure sans eau).

Donc dans **378,6Kg de gâteau** il y a **109,79 Kg de MS**

Et on sait que dans 100 Kg (MS) il y a 8 Kg d' N_2

Donc dans **109,79 Kg de MS** il y a **8,78 Kg d' N_2**

Donc on peut déduire que :

Dans 600 Kg de LM on a 8,78 Kg d' N_2

➤ **Calculs de masse d' N_2 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 5 :**

On sait que dans 250g de moût levuré (ML), on a 170g de gâteau de la levure.

Donc dans 1000g de M.L on a : 680g de gâteau

D'où $1000 \text{ g ML} - 680 \text{ g gâteau} = 320 \text{ g M.DL}$

Donc dans 1Kg de ML, il y a 320g de M.DL

Le volume total de M.L est : $V = D \times t$ Avec : $D = 50000 \text{ L/h}$; $t = 1 \text{ h}$

$$V(ML) = \frac{50000}{60} \times 60$$

Donc $V(M.L) = 50000 \text{ L}$

Donc la masse de M.L totale est : $m(M.L) = \rho \times V$

Avec $\rho = 1,037 \text{ g/cm}^3$ et $V = 50000 \text{ L}$

D'où $m(M.L) = 51850 \text{ kg}$

On sait que 1kg M.L donne $320 \times 10^{-3} \text{ kg MDL}$

On peut conclure que dans **51850 kg** de M.L on a **16592kg de M.DL**

$$\text{Donc } V(M.DL) = \frac{m(M.DL)}{\rho(M.DL)}$$

Avec $\rho(M.DL) = 1,012 \text{ g/cm}^3$ et $m(M.DL) = 16592 \text{ kg}$

D'où $V(M.DL) = 16395,26 \text{ L}$

La moyenne d' N_2 obtenue dans les analyses effectuées est 0,253 %, ce qui correspond à 0,253g dans 100 mL de M.DL

Ce qui est équivalent à 2,53 g dans 1000ml de M.DL

$$2,53 \times 10^{-3} \text{ kg} \longrightarrow 1 \text{ L M.DL}$$

$$m(N_2 \text{ rejeté}) = 41,48 \text{ Kg} \longrightarrow 16395,26 \text{ L M.DL}$$

$$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = \text{Masse d'azote total} - \text{masse d'azote rejeté}$$

Avec : Masse d'azote total = masse d' N_2 des éléments nutritifs + masse d' N_2 de LM

$$\text{Masse d'azote total} = 340,62 + 8,78 = 349,4 \text{ Kg}$$

Et la masse d'azote rejeté = 41,48 Kg

$$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = 307,92 \text{ Kg}$$

D'où

$$\%N_2 \text{ rejeté} = 11,87 \%$$

et

$$\%N_2 \text{ fixé} = 88,12\%$$

4) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 5 :

Le tableau suivant illustre les résultats de P_2O_5 obtenus pour le fermenteur 5

Tableau 7 : % P_2O_5 de M.DL de fermenteur 5.

Fermenteur 5				
	Séparateur 1		Séparateur 2	
DATE	Abs	% P_2O_5	Abs	% P_2O_5
17-mars	0.053	0.0106	0.051	0.0051
18-mars	0.061	0.0122	0.059	0.0059
19-mars	0.062	0.0124	0.062	0.0062
20-mars	0.06	0.012	0.061	0.0061
21-mars	0.054	0.0108	0.053	0.0053
22-mars	0.059	0.0118	0.053	0.0053
23-mars	0.065	0.013	0.059	0.0059
24-mars	0.049	0.0098	0.056	0.0056
25-mars	0.06	0.012	0.07	0.007
26-mars	0.054	0.0108	0.05	0.005

✓ Calcul de la moyenne des pertes de phosphore par jour pendant 10 jours :

$$\text{Moyenne de \% } P_2O_5 = 0.0173 \%$$

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de *S.Cereviceia* et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 5.

Tableau 8 : Masse De P_2O_5 total du fermenteur 5.

	V(MAP) L	% d' P_2O_5 dans MAP	Masse (P_2O_5) MAP Kg	m(LM) Kg	m(P_2O_5) LM	Masse Totale de P_2O_5 Kg
Fermenteur 5	1095	6,87%	75,23	600	3,62	78,85

➤ **Calcul de % P_2O_5 de LM pour fermenteur 5 :**

On sait que dans 1000mL de LM provenant de F4, il y a 650 g de gâteau.

Et $m(LM) = \rho \times V$ avec $\rho(LM) = 1,03 \text{ g/cm}^3$ et $V(LM) = 1000 \text{ ml}$

Donc $m(LM) = 1030 \times 10^{-3} \text{ Kg}$

On peut dire alors que dans $1030 \times 10^{-3} \text{ Kg}$ de LM, il y a $650 \times 10^{-3} \text{ Kg}$ de gâteau.

Donc pour **600Kg de L.M**, il y a **378,6Kg de gâteau**

On sait que dans 100Kg gâteau, il existe 29 Kg de matière sèche. (La MS est tout ce qui est levure sans eau).

Donc dans **378,6Kg de gâteau** il y a **109,79 Kg de MS**

Et on sait que dans 100 Kg (MS) il y a 3,3 Kg d' P_2O_5

Donc dans **109,79 Kg de MS** il y a **3,62 Kg d' P_2O_5**

Donc on peut déduire que :

Dans 600 Kg de LM on a **3,62 Kg d' P_2O_5**

➤ **Calculs de la masse de P_2O_5 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 5 :**

D'après les calculs précédents, on a $V(M.DL) = 16395,26 \text{ L}$

La moyenne de P_2O_5 obtenue dans les analyses effectuées est 0.01728 %

Ce qui correspond à 0.01728 g de P_2O_5 dans 100 mL de M.DL

$$0,1728 \times 10^{-3} \text{ kg} \longrightarrow 1 \text{ L M.DL}$$

$$m(P_2O_5 \text{ rejeté}) = 2,83 \text{ Kg} \longrightarrow 16395,26 \text{ L}$$

On constate que dans le volume de moût levuré (50000 L) de fermenteur 5, il existe **2,83 Kg** de P_2O_5 dans le moût délevuré.

$$\text{Masse de } P_2O_5 \text{ fixé par la levure} = \text{Masse de } P_2O_5 \text{ total} - \text{masse de } P_2O_5 \text{ rejeté}$$

Avec : Masse de P_2O_5 total = masse de P_2O_5 des éléments nutritifs + masse de P_2O_5 de LM

$$\text{Masse de } P_2O_5 \text{ total} = 78,85 \text{ Kg}$$

$$\text{Et la masse de } P_2O_5 \text{ rejeté} = 2,83 \text{ kg}$$

$$\text{Masse de } P_2O_5 \text{ fixé par la levure} = 76.02 \text{ kg}$$

D'où

$\%P_2O_5$ rejeté = **3,59 %**

et

$\%P_2O_5$ fixé = **97,6 %**

5) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 6 :

On trouve un seul fermenteur spécifique pour la production de la levure sèche c'est le fermenteur 6. Il subit le même procédé de séparation que le fermenteur 5 (2 séparateurs successifs, le premier est sans lavage et le deuxième est avec lavage).

➤ *Calculs de la masse d'azote rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 6 :*

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats de $\%N_2$ dans deux séparateurs de fermenteur 6.

Tableau 9 : $\%N_2$ de M.DL de fermenteur 6

Fermenteur 6				
DATE	Séparateur 1		Séparateur 2	
	Ve _q	$\%N_2$	Ve _q	$\%N_2$
17-mars	7,04	0,19664	6,79	0,094822
18-mars	6,41	0,179	6,33	0,088382
19-mars	7,9	0,22072	7,2	0,100562
20-mars	8,63	0,24116	7,68	0,107282
21-mars	8,78	0,24536	8,26	0,115402
22-mars	9	0,25152	8,39	0,117222
23-mars	8,19	0,22884	8,26	0,115402
24-mars	8,11	0,2266	8,46	0,118202
25-mars	8,63	0,24116	8,29	0,115822
26-mars	8,32	0,23248	8,19	0,114422

✓ Calcul de la moyenne des pertes d'azote par jour pendant 10 jours :

Moyenne de $\%N_2$ = 0,335 %

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de *S.Cereviceia* et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 6.

Tableau 10 : Masse d'azote total du fermenteur 6.

Temps de séparation	Éléments nutritifs	$\% d'N_2$ dans les éléments nutritifs	Volume(L)	Quantité d' N_2 (Kg)	Masse N_2 totale (kg)
1h20min	Mélasse	1,5%	39300	294,75	763,52
	Urée	8,74%	4865	425,2	
	Sulfate d'ammonium	3,56%	400	14,24	
	MAP	1,3%	2056	29,33	

Le fermenteur 6 est aussi alimenté par **800Kg** de levure mère. Cette dernière est produite dans le fermenteur 4.

La Levure mère est sous forme d'une crème.

➤ **Calcul de %N₂ de LM pour fermenteur 6 :**

Nous avons suivi le même procédé de calcul que celui de fermenteur 5 pour calculer le %N₂ de LM de fermenteur 6 (voir pages 22 et 23).

On peut déduire alors que :

Dans 800 Kg de LM on a 11,63 Kg d'N₂

➤ **Calculs de masse d'N₂ rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 6 :**

Masse d'azote fixé par la levure = Masse d'azote total – masse d'azote rejeté

Masse d'azote total = masse d'N₂ des
éléments nutritifs + masse d'N₂ de LM

Masse d'azote total = 763,52 + 11,63 =
775,15 Kg

Masse d'azote rejeté = 73,23 Kg

Masse d'azote fixé par la levure = 701,92 Kg

D'où

%N₂ rejeté = 9,4%

et

%N₂ fixé = 90,6 %

6) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 6 :

Le tableau suivant illustre les résultats de P₂O₅ obtenus pour le fermenteur 6

Tableau 11 : %P₂O₅ de M.DL de fermenteur 6.

Fermenteur 6				
DATE	Séparateur 1		Séparateur 2	
	Abs	% P ₂ O ₅	Abs	% P ₂ O ₅
17-mars	0.103	0.0206	0.093	0.0093
18-mars	0.086	0.0172	0.068	0.0068
19-mars	0.081	0.0162	0.089	0.0089
20-mars	0.085	0.017	0.093	0.0093
21-mars	0.067	0.0134	0.071	0.0071
22-mars	0.088	0.0176	0.071	0.0071
23-mars	0.089	0.0178	0.098	0.0115
24-mars	0.077	0.0154	0.08	0.008
25-mars	0.077	0.0154	0.095	0.0095
26-mars	0.068	0.0136	0.07	0.007

✓ **Calcul de la moyenne des pertes de phosphore par jour pendant 10 jours :**

$$\text{Moyenne de } \% \text{ P}_2\text{O}_5 = 0.0241\%$$

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de *S.Cereviceia* et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 6.

Tableau 12 : Masse De P_2O_5 total du fermenteur 6.

	V(MAP) L	% d' P_2O_5 dans MAP	Masse (P_2O_5) MAP Kg	m(LM) Kg	m(P_2O_5) LM	Masse Totale de P_2O_5 Kg
Fermenteur 6	2256	6,87%	154,99	800	4,83	159,82

➤ **Calcul de % P_2O_5 de LM pour fermenteur 6 :**

Nous avons utilisé le même procédé de calcul que celui de fermenteur 5 pour calculer le % P_2O_5 de LM de fermenteur 6 (voir page 25).

On peut déduire alors que :

Dans 800 Kg de LM on a 4,83 Kg d' P_2O_5

➤ **Calculs de la masse de P_2O_5 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 6 :**

Nous avons suivi la même méthode que celle de fermenteur 5 pour calculer le % P_2O_5 rejeté.

On constate que dans le volume de moût levuré (66666,7 L) de fermenteur 6, il existe 5,27 Kg de P_2O_5 dans le moût délevuré.

$$\text{Masse de } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ fixé par la levure} = \text{Masse de } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ total} - \text{masse de } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ rejeté}$$

Avec : Masse de P_2O_5 total = masse de P_2O_5 des éléments nutritifs + masse de P_2O_5 de LM

Masse de P_2O_5 total = **159,82 Kg**

Et la masse de P_2O_5 rejeté = 5,27 kg

$$\text{Masse de } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ fixé par la levure} = 154,55 \text{ kg}$$

D'où

% P_2O_5 rejeté = **3,30 %**

et

% P_2O_5 fixé = **96,7 %**

7) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 7 :

Le fermenteur 7 est spécifique pour la production de la levure fraîche.

Il subit le même procédé de séparation que le fermenteur 5 (2 séparateurs successifs, le premier est sans lavage et le deuxième est avec lavage).

➤ **Calculs de la masse d'azote rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 7 :**

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats de %N₂ dans deux séparateurs de fermenteur 7.

Tableau 13 : %N₂ de M.DL de fermenteur 7

Fermenteur 7				
DATE	Séparateur 1		Séparateur2	
	Veq	%N₂	Veq	%N₂
17-mars	7,99	0,22324	6,56	0,091602
18-mars	7,97	0,22268	6,62	0,092442
19-mars	6,02	0,16808	6,56	0,091602
20-mars	8,28	0,23136	7,66	0,107002
21-mars	6,87	0,19188	6,86	0,095802
22-mars	7,89	0,22044	7,46	0,104202
23-mars	8,19	0,22884	8,45	0,118062
24-mars	7,62	0,21288	9,3	0,129962
25-mars	7,97	0,22268	7,63	0,106582
26-mars	7,97	0,22268	7,99	0,111622

✓ **Calcul de la moyenne des pertes d'azote par jour pendant 10 jours :**

Moyenne de %N₂ = 0,319 %

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de S.Cereviceia et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 7.

Tableau 14 : Masse d'azote total du fermenteur 7.

Temps de séparation	Eléments nutritifs	% d'N₂ dans les éléments nutritifs	Volume(L)	Quantité d'N₂ (Kg)	Masse N₂ totale (kg)
2h	Mélasse	1,5%	48600	364,5	936,81
	Urée	8,74%	6021	526,23	
	Sulfate d'ammonium	3,56%	300	10,98	
	MAP	1,3%	2700	35,1	

Le fermenteur 7 est aussi alimenté par **1080Kg** de levure mère. Cette dernière est produite dans le fermenteur 4.

➤ **Calcul de %N₂ de LM pour fermenteur 7 :**

Nous avons suivi le même procédé de calcul que celui de fermenteur 5 pour calculer le %N₂ de LM de fermenteur 7 (voir page 22).

On peut déduire alors que :

Dans 1080 Kg de LM on a 15,7 Kg d' N_2

➤ **Calculs de masse d' N_2 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 7 :**

$$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = \text{Masse d'azote total} - \text{masse d'azote rejeté}$$

Masse d'azote total = masse d' N_2 des
éléments nutritifs + masse d' N_2 de LM

Masse d'azote rejeté = 104,6 Kg

Masse d'azote total = $936,81 + 15,7 = 952,5 \text{ Kg}$

$$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = 847,9 \text{ Kg}$$

D'où

$\%N_2$ rejeté = 11%

et

$\%N_2$ fixé = 89 %

8) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 7 :

Le tableau suivant illustre les résultats de P_2O_5 obtenus pour le fermenteur 7

Tableau 15 : $\%P_2O_5$ de M.DL de fermenteur 7.

Fermenteur 7				
	Séparateur 1		Séparateur 2	
DATE	Abs	$\% P_2O_5$	Abs	$\% P_2O_5$
17-mars	0.061	0.0122	0.042	0.0042
18-mars	0.05	0.01	0.056	0.0056
19-mars	0.061	0.0122	0.042	0.0042
20-mars	0.057	0.0114	0.056	0.0056
21-mars	0.049	0.0098	0.05	0.005
22-mars	0.055	0.011	0.049	0.0049
23-mars	0.058	0.0116	0.054	0.0054
24-mars	0.058	0.0116	0.063	0.0063
25-mars	0.065	0.013	0.057	0.0057
26-mars	0.05	0.01	0.061	0.0061

✓ **Calcul de la moyenne des pertes de phosphore par jour pendant 10 jours :**

$$\text{Moyenne de } \% P_2O_5 = 0.01658 \%$$

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de *S.Cereviceia* et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 7.

Tableau 16 : Masse De P_2O_5 total du fermenteur 7.

	V(MAP) L	% d' P_2O_5 dans MAP	Masse (P_2O_5) MAP Kg	m(LM) Kg	m(P_2O_5) LM	Masse Totale de P_2O_5 Kg
Fermenteur 7	2700	6,87%	185,49	1080	6,5	191,99

➤ **Calcul de % P_2O_5 de LM pour fermenteur 7 :**

Nous avons utilisé le même procédé de calcul que celui de fermenteur 5 pour calculer le % P_2O_5 de LM de fermenteur 6 (voir page 25).

On peut déduire alors que :

Dans 1080 Kg de LM on a 6,5 Kg d' P_2O_5

➤ **Calculs de la masse de P_2O_5 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 7 :**

Nous avons utilisé le même procédé de calcul que celui de fermenteur 5 pour calculer la masse de P_2O_5 rejeté de fermenteur 6 (voir page 11).

On constate que dans la masse de P_2O_5 rejeté = **5,43 kg**

$$\text{Masse de } P_2O_5 \text{ fixé par la levure} = \text{Masse de } P_2O_5 \text{ total} - \text{masse de } P_2O_5 \text{ rejeté}$$

Avec : Masse de P_2O_5 total = masse d' N_2 des éléments nutritifs + masse d' N_2 de LM

Masse de P_2O_5 total = **191,99Kg**

Et la masse de P_2O_5 rejeté = **5,43 kg**

$$\text{Masse de } P_2O_5 \text{ fixé par la levure} = 186,56 \text{ kg}$$

D'où **% P_2O_5 rejeté = 2,82 %** et **% P_2O_5 fixé= 97,17 %**

9) Calcul des pertes d'azote pour fermenteur 8 :

Le fermenteur 8 est spécifique pour la production de la levure fraîche.

Il subit le même procédé de séparation que le fermenteur 5 (2 séparateurs successifs, le premier est sans lavage et le deuxième est avec lavage).

➤ **Calculs de la masse d'azote rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 8 :**

Le tableau suivant regroupe les résultats de % N_2 dans deux séparateurs de fermenteur 8.

Tableau 17 : %N₂ de M.DL de fermenteur 8

Fermenteur 8				
DATE	Séparateur 1		Séparateur 2	
	Veq	%N₂	Veq	%N₂
17-mars	6,5	0,18152	6,8	0,094962
18-mars	5,81	0,1622	6,02	0,084042
19-mars	7,91	0,221	6,91	0,096502
20-mars	7,48	0,20896	6,96	0,097202
21-mars	7,67	0,21428	7,17	0,100142
22-mars	7,5	0,20952	7,17	0,100142
23-mars	7,81	0,2182	7,42	0,103642
24-mars	7,77	0,21708	7,41	0,103502
25-mars	7,57	0,21148	7,09	0,099022
26-mars	7,89	0,22044	7,39	0,103222

✓ **Calcul de la moyenne des pertes d'azote par jour pendant 10 jours :**

Moyenne de %N₂ = 0,305%

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de *S.Cereviceia* et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 8.

Tableau 18 : Masse d'azote total du fermenteur 8.

Temps de séparation	Eléments nutritifs	% d'N ₂ dans les éléments nutritifs	Volume(L)	Quantité d'N ₂ (Kg)	Masse N ₂ totale (kg)
2h15min	Mélasse	1,5%	63000	472,5	1143,5
	Urée	8,74%	6829	596,8	
	Sulfate d'ammonium	3,56%	800	28,48	
	MAP	1,3%	3521	45,8	

Le fermenteur 8 est aussi alimenté par **1200 Kg** de levure mère. Cette dernière est produite dans le fermenteur 4.

➤ **Calcul de %N₂ de LM pour fermenteur 8 :**

Nous avons suivi la même méthode que celle de fermenteur 5 et 6 pour calculer le %N₂ de LM.

On peut déduire alors que :

Dans 1200 Kg de LM on a 17,57 Kg d'N₂

➤ **Calculs de masse d' N_2 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 8 :**

$$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = \text{Masse d'azote total} - \text{masse d'azote rejeté}$$

Masse d'azote total = masse d' N_2 des éléments nutritifs + masse d' N_2 de LM

Masse d'azote rejeté = 112,5 Kg

Masse d'azote total = 1143,5 + 17,57 = 1161,07 Kg

$$\text{Masse d'azote fixé par la levure} = 1048,57 \text{ Kg}$$

D'où % N_2 rejeté = 9,69%

et

% N_2 fixé = 90,31 %

10) Calcul des pertes de phosphore pour fermenteur 8 :

Le tableau suivant illustre les résultats de P_2O_5 obtenus pour le fermenteur 8

Tableau 19 : % P_2O_5 de M.DL de fermenteur 8.

Fermenteur 8				
	Séparateur 1		Séparateur 2	
DATE	Abs	% P_2O_5	Abs	% P_2O_5
17-mars	0.079	0.0158	0.072	0.0072
18-mars	0.04	0.008	0.042	0.0042
19-mars	0.079	0.0158	0.078	0.0078
20-mars	0.068	0.0136	0.065	0.0065
21-mars	0.062	0.0124	0.056	0.0056
22-mars	0.069	0.0138	0.089	0.0089
23-mars	0.07	0.014	0.07	0.007
24-mars	0.062	0.0124	0.07	0.007
25-mars	0.073	0.0146	0.06	0.006
26-mars	0.076	0.0152	0.074	0.0074

✓ **Calcul de la moyenne des pertes de phosphore par jour pendant 10 jours :**

$$\text{Moyenne de \% } P_2O_5 = 0.02045\%$$

Le tableau suivant montre les éléments essentiels pour la nutrition de *S.Cerevisiae* et donne la masse d'azote total alimenté dans la citerne de fermenteur 7.

Tableau 20 : Masse De P_2O_5 total du fermenteur 8.

	V(MAP) L	% d'P_2O_5 dans MAP	Masse (P_2O_5) MAP Kg	m(LM) Kg	m(P_2O_5) LM	Masse Totale de P_2O_5 Kg
Fermenteur 8	3521	6,87%	241,9	1200	7,25	249,15

➤ Calcul de % P_2O_5 de LM pour fermenteur 8 :

Nous avons suivi la même méthode que celle de fermenteur 5 pour calculer le % P_2O_5 de LM

On peut déduire alors que :

Dans 1200 Kg de LM on a 7,25Kg d' P_2O_5

➤ Calculs de la masse de P_2O_5 rejeté et fixé par la levure dans le fermenteur 8 :

Nous avons suivi la même méthode que celle de fermenteur 5 pour calculer la masse de P_2O_5 rejeté.

On constate que dans la masse de P_2O_5 rejeté = 7.54 kg

$$\text{Masse de } P_2O_5 \text{ fixé par la levure} = \text{Masse de } P_2O_5 \text{ total} - \text{masse de } P_2O_5 \text{ rejeté}$$

Avec : Masse de P_2O_5 total = masse d' N_2 des éléments nutritifs + masse d' N_2 de LM

Masse de P_2O_5 total = **249,15 Kg**

Et la masse de P_2O_5 rejeté = **7.54 Kg**

$$\text{Masse de } P_2O_5 \text{ fixé par la levure} = 241.61 \text{ kg}$$

D'où

% P_2O_5 rejeté = 3.03 %

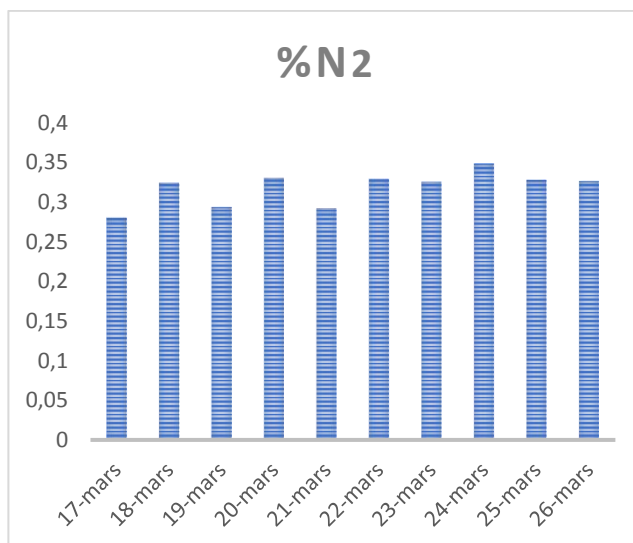
et

% P_2O_5 fixé= 96,97 %

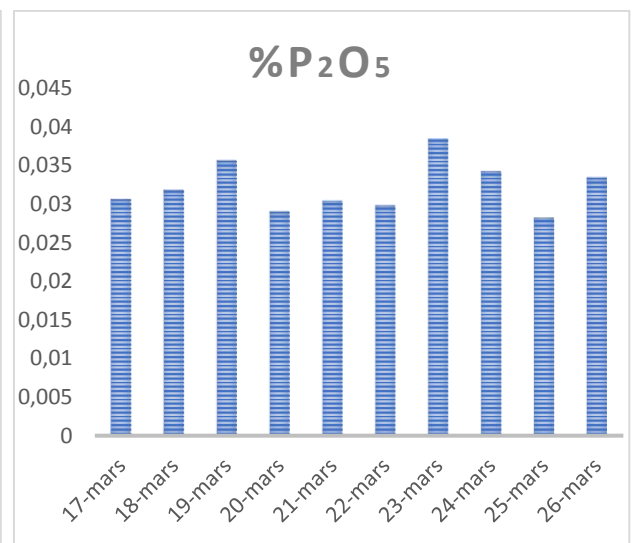
IV. Interprétation des résultats :

1) Fermenteur 4 :

Le fermenteur 4 est spécifique pour la production de levure mère.



HST 1 : % d'Azote dans le M.DL de fermenteur 4



HST 2 : % P_2O_5 dans le M.DL de fermenteur 4

Le % N_2 de M.DL de F4 est compris entre une valeur maximale de 0,348 et une valeur minimale de 0,28.

Le % P_2O_5 de M.DL de F4 est compris entre une valeur maximale de 0,038 et une valeur minimale de 0,029.

D'après les analyses et les calculs effectués précédemment, nous avons obtenu :

% N_2 rejeté = 6,65 %

et

% P_2O_5 rejeté = 2,64 %

Ces résultats seront comparés entre eux pour déterminer le meilleur fermenteur à la page 46.

Si nous comparons les deux histogrammes, nous pouvons dire que le % N_2 et de % P_2O_5 dans le moût delevuré sont presque constants.

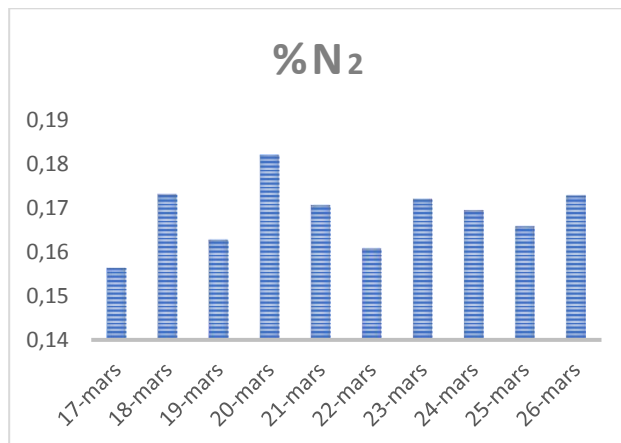
Ce qui nous mène à dire que le fermenteur 4 fonctionne bien et donne un bon rendement car la levure mère produite est la source d'alimentation des autres fermenteurs.

Quand le pourcentage des pertes abaisse, le rendement de croissance des cellules de *S.Cerevisiae* augmente ce qui implique la richesse de L.M en vitamines, en acides aminés, protéines et sels minéraux.

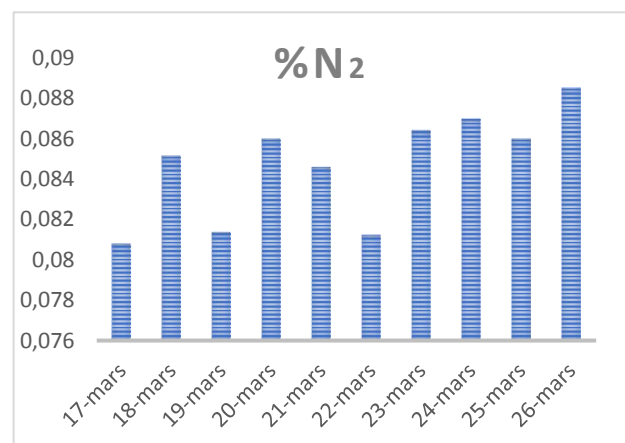
Le fermenteur 4 présente moins de pertes par rapport aux autres fermenteurs car c'est la source d'alimentation des autres fermenteurs et ne subit qu'une seule séparation.

2) Fermenteur 5 :

Le fermenteur 5 est spécifique pour la production de levure fraîche.



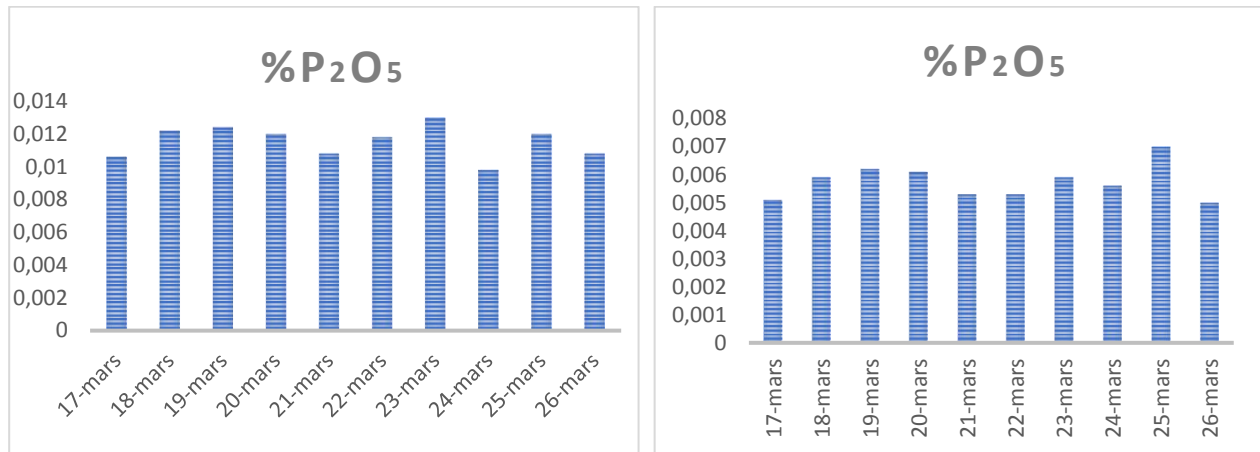
HST 3 : pertes d'Azote dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 5



HST 4 : pertes d'Azote dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 5

Le % N_2 de M.DL de séparateur1 dans le F5 est compris entre une valeur maximale de 0,182 et une valeur minimale de 0,029.

Le % N_2 de M.DL de séparateur 2 de F5 est compris entre une valeur maximale de 0,088 et une valeur minimale de 0,080.



HST 5 : pertes de P_2O_5 dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 5

HST 6 : pertes de P_2O_5 dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 5

Le % P_2O_5 de M.DL de séparateur1 dans le F5 est compris entre une valeur maximale de 0,013 et une valeur minimale de 0,0098.

Le % P_2O_5 de M.DL de séparateur 2 de F5 est compris entre une valeur maximale de 0,007 et une valeur minimale de 0,005.

D'après les analyses et les calculs effectués précédemment, nous avons obtenu :

% N_2 rejeté = 11,87 %

et

% P_2O_5 rejeté = 3,59%

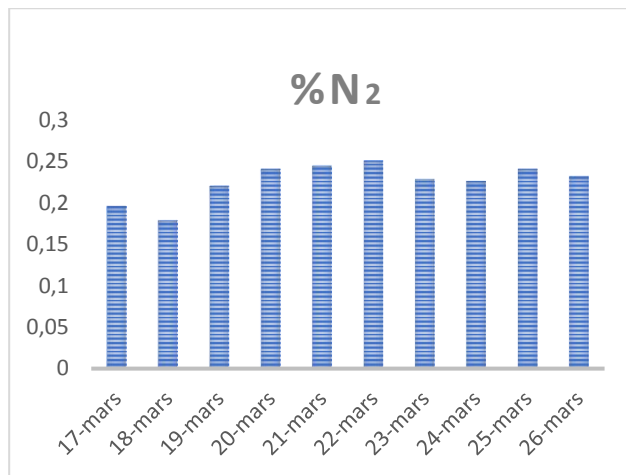
Ces résultats seront comparés entre eux pour déterminer le meilleur fermenteur à la page 46.

D'après les histogrammes, nous pouvons expliquer cette variation par la faible viabilité des cellules de *S.Cerevisiae* qui sont incapables de fermenter et de se multiplier rapidement et efficacement. Ceci entraîne une diminution de la matière sèche de la levure et par conséquent on aura des pertes en Azote et en Phosphore. (La matière sèche : c'est tout ce qui est levure sans l'eau).

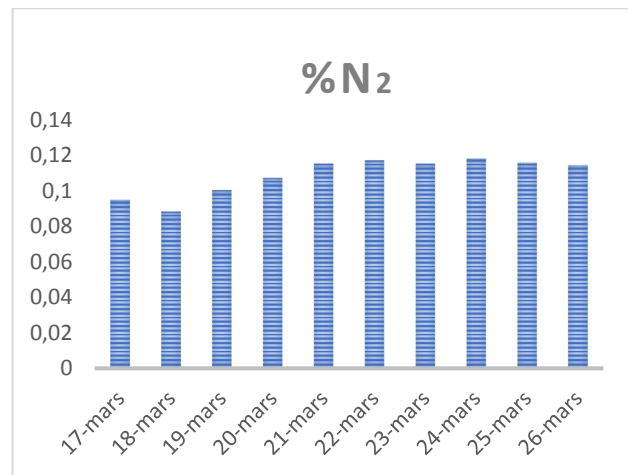
Ce qui veut dire que les cellules fixent mal les éléments nutritifs et une partie de ces éléments se jette vers les égouts.

3) Fermenteur 6 :

Le fermenteur 6 est spécifique pour la production de levure sèche.



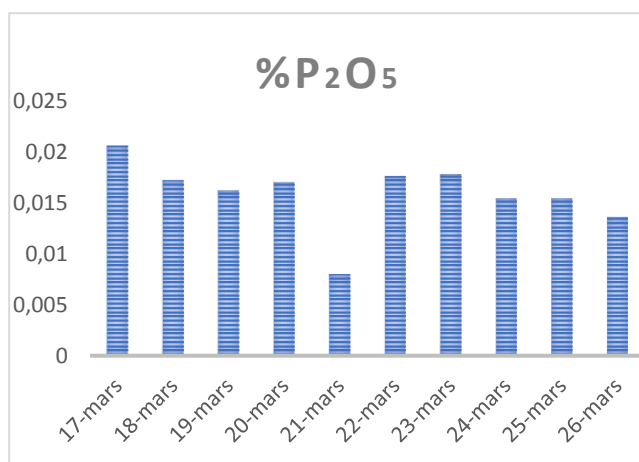
HST 7 : pertes d'Azote dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 6



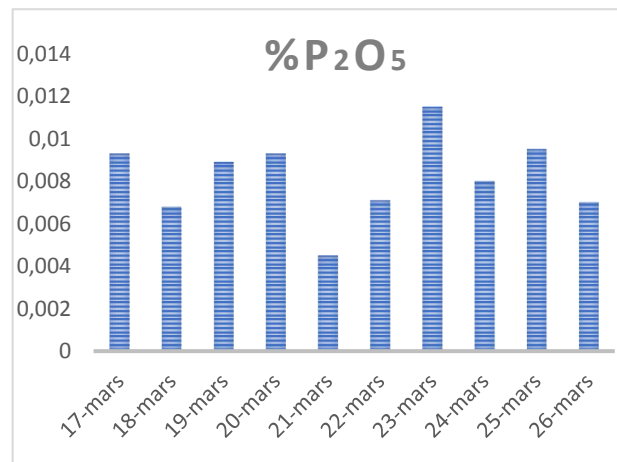
HST 8 : pertes d'Azote dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 6

Le % N₂ de M.DL de séparateur1 dans le F6 est compris entre une valeur maximale de 0,251 et une valeur minimale de 0,179.

Le % N₂ de M.DL de séparateur 2 de F6 est compris entre une valeur maximale de 0,118 et une valeur minimale de 0,088.



HST 9 : pertes de P₂O₅ dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 6



HST 10 : pertes de P₂O₅ dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 6

Le % P₂O₅ de M.DL de séparateur1 dans le F6 est compris entre une valeur maximale de 0,0206 et une valeur minimale de 0,008.

Le % P₂O₅ de M.DL de séparateur 2 de F6 est compris entre une valeur maximale de 0,0115 et une valeur minimale de 0,0045.

D'après les analyses et les calculs effectués précédemment, nous avons trouvé :

%N₂ rejeté = 9,4 %

Et

%P₂O₅ rejeté = 3,3 %

Ces résultats seront comparés entre eux pour déterminer le meilleur fermenteur à la page 46.

La comparaison des deux histogrammes de %N₂, montre que le pourcentage d'azote dans le moût delevuré est presque constant.

Cela veut dire que le fermenteur 6 assure des conditions favorables pour la fixation de l'azote dans les cellules de *S. Cerevisiae* et le taux de pertes en Azote est stable.

Par ailleurs, les pertes de P₂O₅ sont instables, ceci peut être expliquer par la variation des conditions nécessaires pour fixer le phosphore dans les cellules de *S. Cerevisiae* ; ou ceci est dû à la mauvaise qualité de l'engrais Monoammunium Phosphate (MAP) introduit dans le fermenteur 6.

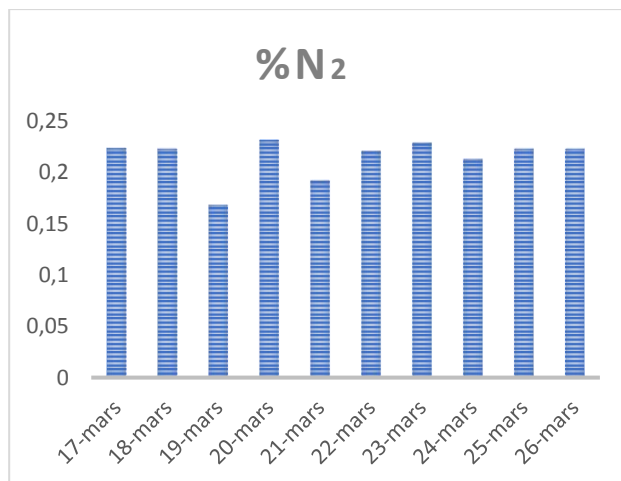
Ces conditions peuvent être : le climat, augmentation brusque de la température des machines industrielles ce qui entraine l'augmentation brusque de température de fermenteur 6.

D'autre part, il est possible de distinguer la présence des cellules viables, endommagées au niveau de leur membrane ; ou bien mortes qui ne fixent pas le P₂O₅. (cellules viables ce sont des cellules qui peuvent vivre). [5]

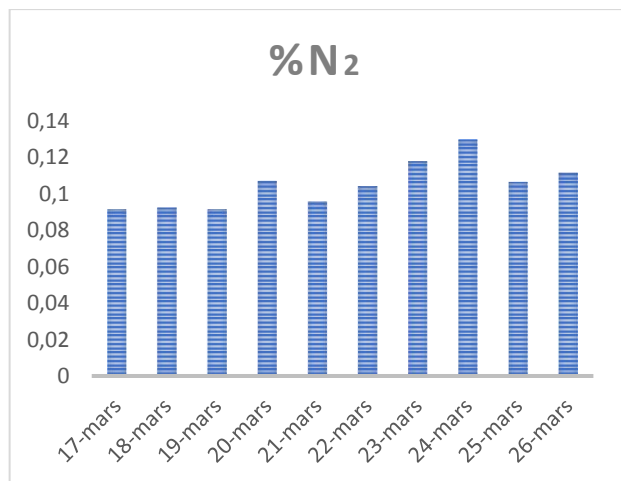
En effet, La membrane plasmique a un rôle de barrière et permet des échanges entre le cytoplasme et le milieu extérieur.

4) Fermenteur 7 :

Le fermenteur 7 est spécifique pour la production de levure fraîche.



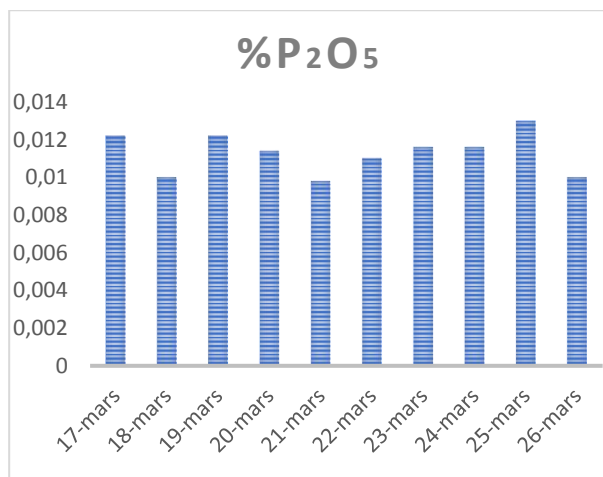
HST 11 : pertes d'Azote dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 7



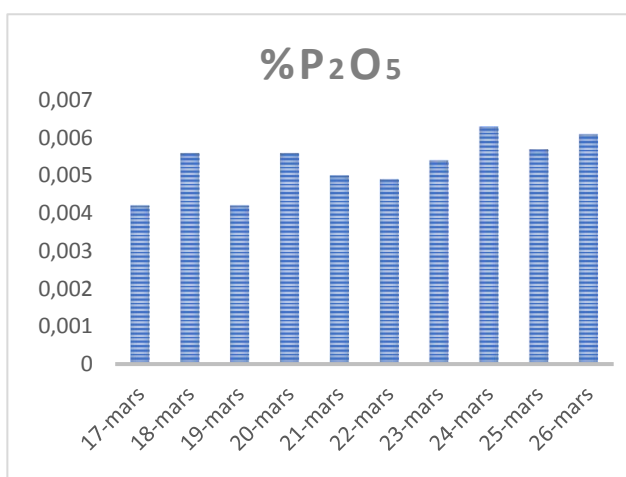
HST 12 : pertes d'Azote dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 7

Le % N₂ de M.DL de séparateur1 dans le F7 est compris entre une valeur maximale de 0,231 et une valeur minimale de 0,168.

Le % N₂ de M.DL de séparateur 2 de F7 est compris entre une valeur maximale de 0,129 et une valeur minimale de 0,091.



HST 13 : pertes de P₂O₅ dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 7



HST 14 : pertes de P₂O₅ dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 7

Le % P₂O₅ de M.DL de séparateur1 dans le F7 est compris entre une valeur maximale de 0,013 et une valeur minimale de 0,01.

Le % P₂O₅ de M.DL de séparateur 2 de F7 est compris entre une valeur maximale de 0,006 et une valeur minimale de 0,004.

D'après les analyses et les calculs effectués précédemment, nous avons obtenu :

%N₂ rejeté = 11 %

et

%P₂O₅ rejeté = 2,82 %

Ces résultats seront comparés entre eux pour déterminer le meilleur fermenteur à la page 46.

D'après les histogrammes ci-dessus, on remarque que les pertes d'azote et de phosphore varient d'un jour à l'autre.

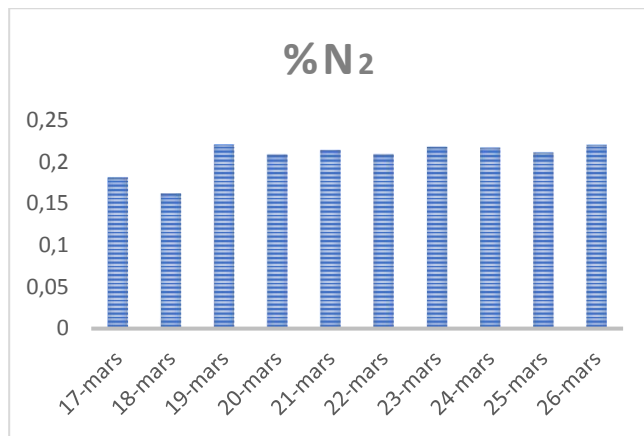
Ceci est dû à la variation de la quantité de mélasse qui alimente le F7 d'un jour à l'autre.

Bien évidemment, la levure se nourrit essentiellement de sucre. Si la concentration de glucose qui existe dans la mélasse est inférieure à 150mg/L, la levure *S.Cerevisiae* présente un métabolisme oxydatif. Ce dernier est caractérisé par l'absence de formations de co-produits. [6]

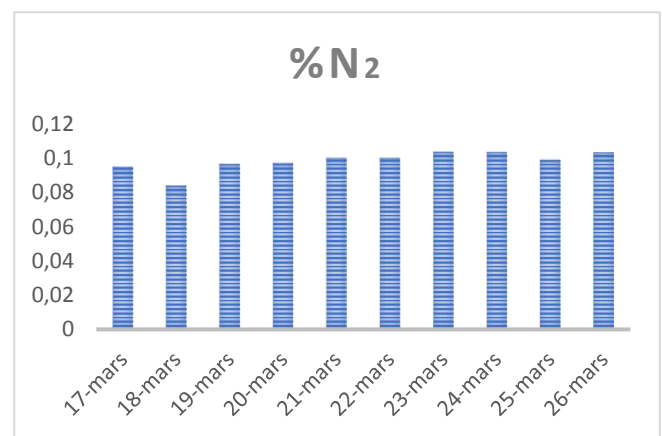
Au-delà de cette concentration, il y a production d'éthanol et le métabolisme devient oxydo-réductif c'est-à-dire respiro-fermentaire, qui est caractérisé par la production d'éthanol en présence d'oxygène et par conséquent des co-produits de fermentation sont exercés (éthanol, glycérol, acétate...).[6]

5) Fermenteur 8 :

Le fermenteur 8 est spécifique pour la production de la levure fraîche.



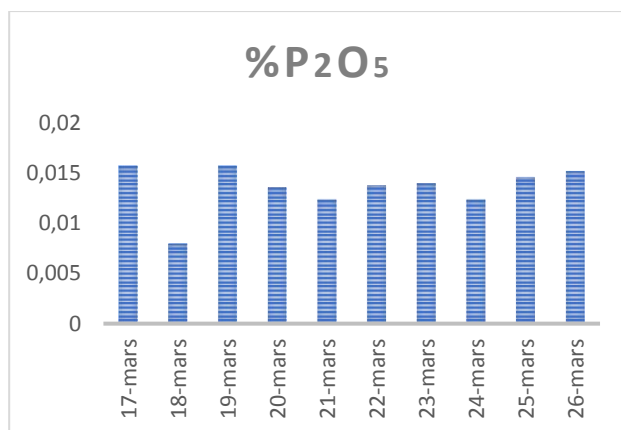
HST 15 : pertes d'Azote dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 8



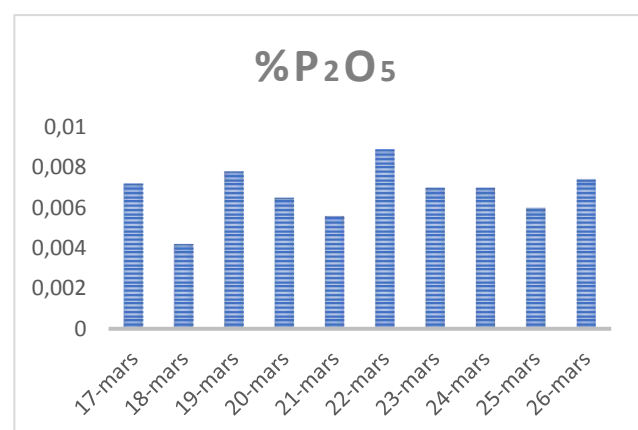
HST 16 : pertes d'Azote dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 8

Le % N₂ de M.DL de séparateur1 dans le F8 est compris entre une valeur maximale de 0,221 et une valeur minimale de 0,162.

Le % N₂ de M.DL de séparateur 2 de F8 est compris entre une valeur maximale de 0,103 et une valeur minimale de 0,084.



HST 17 : pertes de P₂O₅ dans la 1^{ère} séparation de fermenteur 8



HST 18 : pertes de P₂O₅ dans la 2^{ème} séparation de fermenteur 8

Le % P₂O₅ de M.DL de séparateur1 dans le F8 est compris entre une valeur maximale de 0,0158 et une valeur minimale de 0,008.

Le % P₂O₅ de M.DL de séparateur 2 de F8 est compris entre une valeur maximale de 0,0089 et une valeur minimale de 0,0042.

D'après les analyses et les calculs effectués précédemment, nous avons obtenu :

%N₂ rejeté = 9,69 %

et

%P₂O₅ rejeté = 3,03 %

Ces résultats seront comparés entre eux pour déterminer le meilleur fermenteur à la page 46.

D'après les deux histogrammes de %N₂, on remarque que le taux d'azote dans le moût delevuré est presque constant.

Ce qui nous mène à dire que le fermenteurs 8 présente des conditions favorables pour la fixation de l'azote dans les cellules de *S. Cerevisiae* et le taux de pertes en Azote est stable.

Par ailleurs, les partes de P_2O_5 ont instables, ceci peut être expliquer par la variation des conditions nécessaires pour fixer le phosphore dans les cellules de *S. Cerevisiae* ; ou bien ceci est dû à la mauvaise qualité de l'engrais Monoammunium Phosphate (MAP) introduit dans le fermenteur 8.

La biomasse est composée principalement d'eau et des éléments (carbone, hydrogène, oxygène, azote) Le milieu de culture doit apporter tous les éléments nécessaires à la croissance et aux besoins énergétiques de la levure.

Les besoins nutritionnels de la levure sont :

- **l'eau** : Constituant essentiel des organismes vivants. Les levures fraîches sont constituées de 75% d'eau et 25% de matière sèche.
- **une source de carbone** : Le carbone représente environ 50% du poids sec de la levure. Les glucides simples (monosaccharides, disaccharides et trisaccharides) sont fermentescibles par les levures.
- **de l'oxygène** en aérobie (ou des lipides en anaérobie).
- **une source d'azote** : Les levures contiennent 10% environ d'azote, entrant dans la composition des acides aminés, des acides nucléiques et de certaines vitamines. Il est apporté par le milieu de culture sous la forme de sels d'ammonium (phosphate, sulfate, chlorure et nitrate).
- **des vitamines** : Ce sont des régulateurs et des cofacteurs importants des voies métaboliques. Elles agissent généralement comme co-enzymes ou précurseurs d'enzymes. *Saccharomyces cerevisiae* est auxotrophe pour les vitamines suivantes qui seront ajoutées au milieu de culture : acide pantothénique, acide nicotinique, pyridoxine, myo-inositol, thiamine et biotine.
- **des oligo-éléments (ions inorganiques)** : les oligo-éléments sont nécessaires à une croissance et une fermentation optimale. Il est possible de distinguer les macro-éléments : K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cl^- dont la concentration nécessaire varie entre 0,1 et 1 mM.
- **les micro-éléments** : Co^{2+} , B^{2+} , Cd^{2+} , Cr^+ , Cu^{2+} , I^- , Mo^+ , Ni^{2+} pour lesquels une concentration de 0,1 à 100 μM est suffisante. [7]

A. Contrôle de pH et de conductivité :

Le traitement des eaux usées est aujourd'hui une préoccupation majeure des industriels qui sont soumis à une réglementation de plus en plus exigeante. Mais de part la composition des rejets et des propriétés chimiques des molécules qui les composent, il n'est pas toujours facile de les traiter.

De plus très souvent des sous-produits apparaissent qui sont parfois plus toxiques que la molécule mère et qui sont difficile à éliminer. C'est le cas par exemple des trihalométhanés (THM).

Le pH nous permet de mesurer l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. Lorsqu'on mesure le pH d'une solution, on détermine la concentration en ions H^+ . Plus une solution est acide, plus elle contient des ions H^+ . En ce qui concerne les solutions basiques, plus elle sera basique, plus elle aura une forte concentration en ions OH^- . [8]

Donc, lorsque le pH d'une solution se situe vers les extrémités de l'échelle de pH (soit très acide ou très basique), il y a beaucoup d'électrolytes présents dans la solution. Alors, la solution aura une forte conductibilité [10]

La Conductivité, C'est la capacité d'une solution de transmettre une charge électrique. La conductivité est déterminée par le nombre d'ions dans la solution. Plus la concentration d'ions est élevée, plus le degré de conductivité est élevé.

Le fait de mesurer la conductibilité électrique, permet de savoir s'il y a des électrolytes dans la solution. Les **électrolytes** sont des composés chimiques qui lorsqu'ils sont en solution, laissent passer le courant électrique. [9]

1) Fermenteur 4 :

Le tableau ci-dessous montre le pH et la conductivité de M.DL de fermenteur 4.

Tableau 21: pH et conductivité de M.DL de fermenteur 4

Fermenteur 4		
Date	pH	Conductivité
17-mars	5,78	20,46
18-mars	5,89	20,1
19-mars	5,6	20,2
20-mars	5,73	20,63
21-mars	5,67	20,6
22-mars	5,65	19,09
23-mars	5,74	20,2
24-mars	5,85	20,6
25-mars	5,89	20,1
26-mars	6,1	19,72

✓ Calcul de la moyenne par jour pendant 10 jours :

Moyenne pH (M.DL) = 5,79 ; Moyenne conductivité (M.DL) = 20,17 μ S/cm

On remarque que le moût delevuré de fermenteur 4 présente un pH acide.

2) Fermenteur 5 :

Le tableau ci-après montre le pH et la conductivité de M.DL de fermenteur 5.

Tableau 22 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 5

Fermenteur 5				
DATE	Séparateur 1		Séparateur2	
	pH	Conductivité	pH	Conductivité
17-mars	6,64	19,39	6,5	11,55
18-mars	6,83	19,3	6,72	11,2
19-mars	6,78	19,22	6,9	11
20-mars	6,82	19,35	6,9	11,61
21-mars	7,13	19,36	6,86	11,73
22-mars	6,65	19,22	6,9	11,22
23-mars	6,63	18,96	6,89	10,87
24-mars	6,57	19,14	6,82	11,23
25-mars	6,7	18,86	6,91	11,49
26-mars	6,78	18,91	6,95	11,53

✓ Calcul de la moyenne par jour pendant 10 jours :

Pour séparateur 1 :

Moyenne pH (M.DL) = 6,75

Moyenne conductivité (M.DL) = 19,17 μ S/cm

Pour séparateur 2 :

Moyenne pH (M.DL) = 6,83

Moyenne conductivité (M.DL) = 11,34 μ S/cm

On remarque que le pH de M.DL ,des deux séparateurs de F5, est acide.

Alors que la conductivité du 2^{ème} séparateur qui subit un lavage est plus petite que celle du séparateur1 ; car l'eau de lavage est traitée et stérilisée dans des stations de traitement des eaux à Lesaffre-Maroc afin d'éviter le colmatage des circuits et ne pas faire varier la conductivité et le pH.

3) Fermenteur 6 :

Le tableau ci-après montre le pH et la conductivité de M.DL de fermenteur 6.

Tableau 23 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 6

Fermenteur 6				
DATE	Séparateur 1		Séparateur2	
	pH	Conductivité	pH	Conductivité
17-mars	6,88	24,1	6,28	12,4
18-mars	7,16	24,3	7,02	12
19-mars	7,02	24	6,65	12,3
20-mars	7,19	24,2	6,77	12,84
21-mars	6,83	24	6,41	13,93
22-mars	6,77	24,9	6,32	13,87
23-mars	7,03	24,2	6,36	14
24-mars	6,86	24,3	6,77	11,19
25-mars	7,12	24,6	6,99	13,7
26-mars	6,76	24,5	6,1	12,4

✓ **Calcul de la moyenne par jour pendant 10 jours :**

Pour séparateur 1 :

Moyenne pH (M.DL) = 6,96

Moyenne conductivité (M.DL) = 24,31 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Pour séparateur 2 :

Moyenne pH (M.DL) = 6,57

Moyenne conductivité (M.DL) = 12,86 $\mu\text{S}/\text{cm}$

On remarque que le pH de M.DL des deux séparateurs de F6 est acide.

Alors que la conductivité du 2^{ème} séparateur qui subit un lavage est plus petite que celle du séparateur1.

4) Fermenteur 7 :

Le tableau suivant montre le pH et la conductivité de M.DL de fermenteur7.

Tableau 24 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 7

Fermenteur 7				
DATE	Séparateur 1		Séparateur2	
	pH	Conductivité	pH	Conductivité
17-mars	7,86	22	7,21	12,3
18-mars	7,84	22,1	7	10,68
19-mars	6,93	22,2	6,4	11,5
20-mars	7,97	24	7,17	12,9
21-mars	7,67	22	7,17	12,9
22-mars	6,85	22,4	6,83	12,47
23-mars	7,04	23	7,14	13,66
24-mars	7,24	22,1	7,39	15,48
25-mars	6,99	22	7,15	12,39
26-mars	6,84	22,1	7	10,68

✓ **Calcul de la moyenne par jour pendant 10 jours :**

Pour séparateur 1 :

Moyenne pH (M.DL) = 7,32

Moyenne conductivité (M.DL) = 22,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Pour séparateur 2 :

Moyenne pH (M.DL) = 7,05

Moyenne conductivité (M.DL) = 12,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$

On remarque que le pH de M.DL des deux séparateurs de F7 est neutre.

Alors que la conductivité du 2^{ème} séparateur qui subit un lavage est plus petite que celle du séparateur1.

5) Fermenteur 8 :

Le tableau ci-après montre le pH et la conductivité de M.DL de fermenteur 8.

Tableau 25 : pH et conductivité de M.DL de fermenteur 8

Fermenteur 8				
DATE	Séparateur 1		Séparateur2	
	pH	Conductivité	pH	Conductivité
17-mars	6,7	23,2	6,34	12,6
18-mars	6,4	23	6,01	12,67
19-mars	6,9	23,1	6,97	12,69
20-mars	6,8	23,1	6,77	12,72
21-mars	6,7	23,3	6,3	12,77
22-mars	6,73	23,1	6,47	12,8
23-mars	6,56	23	6,39	12,69
24-mars	6,51	23	6,33	12,73
25-mars	6,45	23	6,42	12,74
26-mars	6,77	23,2	6,65	12,83

✓ Calcul de la moyenne par jour pendant 10 jours :

Pour séparateur 1 :

Moyenne pH (M.DL) = 6,652

Moyenne conductivité (M.DL) = 23,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Pour séparateur 2 :

Moyenne pH (M.DL) = 6,465

Moyenne conductivité (M.DL) = 12,724 $\mu\text{S}/\text{cm}$

On remarque que le pH de M.DL des deux séparateurs de F8 est acide.

Alors que la conductivité du 2^{ème} séparateur qui subit un lavage est plus petite que celle du séparateur1.

D'après les valeurs limites générales de rejets applicables aux déversements des eaux usées (ministère de l'énergie, des mines et de l'eau et l'environnement) :

Le pH doit être compris entre 5,5-9,5 et la conductivité électrique ne doit pas dépasser 2700($\mu\text{S}/\text{cm}$).

On peut conclure alors que les rejets de M.DL des cinq fermenteurs sont dans les normes marocaines.

[11]

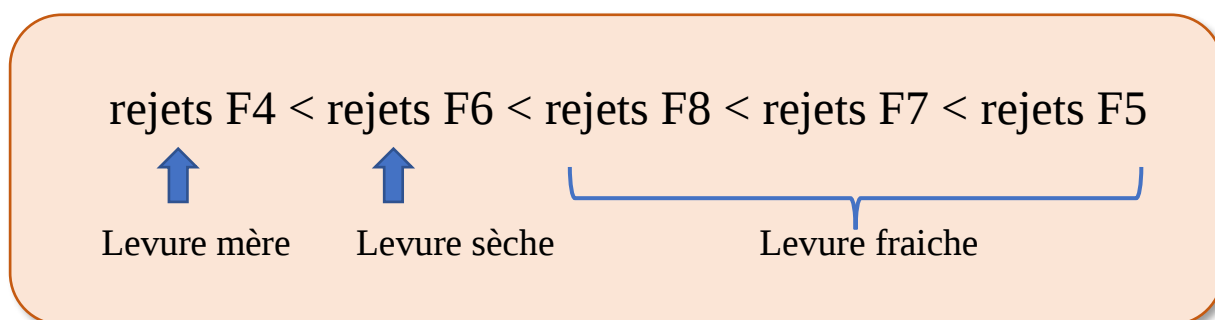
V. Comparaison des pertes d'azote et de phosphore des cinq fermenteurs :

D'après les analyses et les calculs effectués précédemment, on peut conclure que :

Le fermenteur 4 donne un bon rendement et moins de rejets, car il produit la levure mère qui est la source d'alimentation des autres fermenteurs.

Le fermenteur 6 présente moins de rejets que le F8, F7 et F5.

Le F8 est plus rentable que le F7, alors que ce dernier présente moins de rejets par rapport au F5.



On a remarqué que le fermenteur 4 présente moins de pertes d'azote et de phosphore, car la levure subit une seule séparation. Contrairement aux quatre autres fermenteurs où on effectue deux séparations.

Les fermenteurs F6, F8, F7 et F5, présentent des pertes croissantes respectivement. Cette différence de pertes reste à déterminer sachant que ces quatre fermenteurs fonctionnent de la même façon.

CONCLUSION GENERALE

La société LESAFFRE-MAROC possède cinq fermenteurs pour la fabrication de la levure. Cette dernière a besoin des éléments nutritifs, tel que l'azote et le phosphore pour qu'elle puisse fermenter et se multiplier rapidement et efficacement.

L'objectif de ce travail est l'estimation préliminaire des pertes en azote et en phosphore de cinq fermenteurs, tout en comparant le taux d'azote et de phosphore alimenté et rejeté dans les égouts.

Après avoir établie une partie bibliographique sur le sujet :

- ✓ La méthode de Kjeldahl a été utilisée pour déterminer la teneur en azote dans les échantillons préparés.
- ✓ L'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible a servi pour déterminer la quantité du phosphore sous forme de P_2O_5 dans le moût délevuré.
- ✓ Le contrôle du pH et la conductivité quotidiennement du moût délevuré rejeté dans les égouts, a permis de connaître son influence sur la qualité des rejets industrielles.

A partir de cette étude, nous étions en mesure d'expliquer les causes des pertes des fermenteurs et nous avons trouvé que :

- ✓ Il existe des cellules *S. Cerevisiae* endommagées au niveau de leur membrane ; ou bien mortes qui fixent mal les éléments nutritifs et par conséquent, une partie de ces éléments se jette vers les égouts.
- ✓ Il y a quelques fermenteurs qui n'assurent pas les conditions nécessaires pour que la levure puisse fermenter et se multiplier rapidement et efficacement.
- ✓ La levure se nourrit essentiellement de sucre. Si la concentration de glucose qui existe dans la mélasse est inférieure à 150mg/L, la levure *S.Cerevisiae* présente un métabolisme oxydatif. Ce dernier est caractérisé par l'absence de formations de co-produits.
- ✓ Au-delà de cette concentration, il y a production d'éthanol et le métabolisme devient oxydo-réductif, c'est-à-dire respiro-fermentaire, qui est caractérisé par la production d'éthanol en présence d'oxygène et par conséquent, des co-produits de fermentation sont exercés (éthanol, glycérol, acétate...).

En fin, ce moût délevuré peut être traité et utilisé comme engrais, car il contient l'azote et le phosphore qui sont des éléments fertilisants pour le sol.

D'ailleurs, il existe dans le sol des bactéries comme *Azotobacter* et *Rhizobium* qui ont des enzymes incroyablement performantes, qui font un processus de transformer l'azote de moût délevuré en forme ammonium et par conséquent les plantes puisent l'azote.

Références

- [1] www.lesaffre.com
- [2] **Feria Gervasio 2008**
- [3] <https://www.abmauri.fr/metabolisme-de-la-levure-et-utilisation-des-sucre.html>
- [4] **Nitrogen Determination by Kjeldahl Method**
https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173_EN.pdf
- [5] **Gregori et al. 2001**
file:///C:/Users/I5%20vPro/Downloads/73338_HUSSENET_2017_archivage.pdf
- [6] **Confederation of European Yeast Producers, 2013**
- [7] **Rose and Harrison 1971; Russell 2003**
- [8]
http://www.unigraphinternational.com/DATA/SOUTIENCAT/65~v~ph_and_conductivity_fr.PDF
- [9] <http://www.alloprof.qc.ca/BV/Pages/s1029.aspx>
- [10]
<http://www.alloprof.qc.ca/forums/lists/discussions%20de%20la%20communaute/flat.aspx?rootfolder=/forums/lists/discussions+de+la+communaute/lien+ph+et+conductibilit%C3%A9&folderctid=0x0120020097eac619d55c1d45b894a038c7e5f211>
- [11] <http://www.water.gov.ma/wp-content/uploads/2016/01/4.3.3.Valeurs-Limites-de-Rejet.pdf>