



Année Universitaire : 2014-2015

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

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques**

Evaluation et Optimisation des Pertes de la Levure Sèche

Présenté par:

JAOUADI Imane

Encadré par:

- Professeur MELIANI Abdeslam FST Fès

Soutenu Le 25 Juin 2015 devant le jury composé de:

- Mr. CHTIOUI Hicham, professeur FST -FES**
- Mr. ZAITAN Hicham, professeur FST -FES**
- Mr. MELIANI Abdeslam, professeur FST -FES**

Stage effectué à : « Lesaffre-Maroc »



Dédicace

Je dédie cet effort à :

À mes très chers parents

En reconnaissance de tant de sacrifices consentis pour moi. En témoignage de tant de soins et d'amour déployés pour mon éducation, mon instruction et mon bien-être.

À mes très chères sœurs

Votre soutien moral émerveillé par votre grande affection m'est d'un précieux atout dont je ne peux me passer.

À et mes cher(e)s ami(e)s

En témoignage de ma reconnaissance pour vos conseils, soutiens permanent ainsi que pour votre assistance. Je vous saurais gré de votre gentillesse et bienveillance.

** Avec ma grande considération **

Remerciement

*Mes remerciements vont également à **MR. S. Firdaoussi**, responsable de l'atelier de séchage dans LESAFFRE Maroc, pour son accueil chaleureux, ses conseils judicieux et son support permanent pour effectuer mon stage dans une prestigieuse unité industrielle.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude à **Mr.A. Oulmeki** responsable du Master Sciences et Techniques, filière Génie des procédés à la faculté des sciences et techniques de Fès, pour son enseignement enrichissant et laborieux.*

*Je tiens à remercier énormément le Professeur **Mr Abdeslam Meliani** à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès d'avoir consacré du temps à l'encadrement et à l'enrichissement de ce travail ainsi pour son aide, ses conseils pertinents, sa confiance et ses remarquables qualités humaines et professionnelles.*

*Je remercie également le professeur **Mr. Zaitan Hicham** ainsi que le professeur **Mr. Chtioui Hicham** d'avoir accepté de juger ce travail et qui me font l'honneur d'être membre du jury.*

Je remercie également tous mes enseignants à la FST de Fès, ainsi que tout le personnel de LESAFFRE Maroc, pour leur bonne humeur et aide continu.

Sommaire

Introduction générale	1
Présentation générale de la société	3
Chapitre I : Généralités sur la levure de panification et son procédé de fabrication	4
I. Généralités sur la levure de boulanger.....	5
II. Procédé de production de la levure.....	7
1) Préparation des éléments nécessaires à la fermentation.....	7
2) Echelle laboratoire	10
3) Echelle industrielle	10
Chapitre II : Les procédés de séchage de la levure boulangère.....	14
I. Intérêt de séchage des levures.....	15
1) Définition de l'opération de séchage	15
2) Etude des courbes de séchage	16
3) Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage.....	18
II. Les types de séchage pour la production de la levure sèche	19
1) Techniques anciennes de séchage	19
2) Techniques actuelles de séchage	19
3) Principe de fonctionnement d'un sécheur en lit fluidisé	20
4) Le procédé de séchage de la levure de boulanger au sein de l'entreprise	21
Chapitre III : Evaluation et optimisation des pertes de levure sèche au cours du séchage	26
I. Evaluation des pertes de levure au niveau des deux sécheurs Glatt et T10.....	27
1) Calcul des pertes de levure sèche au niveau des deux sécheurs.....	28
II. Méthodes d'optimisation des pertes de levure sèche observées	35
1) Etablissement d'un diagramme d'Ishikawa- Diagramme causes et effet.....	36
2) Etablissement d'un plan de criblage des facteurs	37
Conclusion Générale	42
Références webographiques.....	43

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : structure d'une cellule de levure.....	5
<u>Figure 2</u> : Schéma général de la station de traitement de la mélasse.....	9
<u>Figure 3</u> : Chaîne de production de la levure boulangère.....	13
<u>Figure 4</u> : Courbes de séchage caractéristiques, pour un séchage par un gaz dont les caractéristiques sont maintenues constantes.....	16
<u>Figure 5</u> : Tambour sécheur rotatif.....	19
<u>Figure 6</u> : Sécheur en lit fluidisé.....	20
<u>Figure 7</u> : Filtre à tambour rotatif.....	22
<u>Figure 8</u> : Courbe de la variation de la Température de l'air de séchage en fonction du temps.....	24
<u>Figure 9</u> : Courbe de la variation du débit de l'air de séchage en fonction du temps.....	24
<u>Figure 10</u> : Courbe de la variation du % de matière sèche de la levure en fonction du temps.....	25
<u>Figure 11</u> : Courbe de la variation de la température du produit en fonction du temps.....	25
<u>Figure 12</u> : Schéma illustrant des points de pertes de levure sèche dans un sécheur Glatt.....	28
<u>Figure 13</u> : schéma illustrant les points de pertes de levure sèche dans un sécheur T10.....	29
<u>Figure 14</u> : Diagramme D'Ishikawa de l'étude.....	38
<u>Figure 15</u> : Plan d'expérimentation de l'étude.....	39
<u>Figure 16</u> : Etude graphique des effets.....	40

Liste des tableaux

- Tableau 1** : Variation de la température de l'air de séchage, du débit de séchage, du % de matière sèche, et de la température du produit en fonction du temps.....23
- Tableau 2** : Les quantités de levure perdues au niveau du sécheur Glatt...30
- Tableau 3** : Les quantités de levure perdues au niveau du sécheur T10.....30
- Tableau 4** : Les masses en (Kg), de chacune des crèmes de levure destinées au séchage.....31
- Tableau 5** : Domaine expérimentale des facteurs (criblage).....37
- Tableau 6** : le plan d'action de l'étude.....41

Introduction générale

Le pain que nous consommons aujourd'hui est le résultat d'une évolution vieille d'au moins cinq mille ans, cet héritage ancestral est le fruit de la découverte d'un processus alors inexpliqué pouvant faire lever la pâte.

Plusieurs civilisations, les Egyptiens, les Hébreux, les Grecs... fabriquèrent des produits alimentaires fermentés comme le pain, le vin, la bière, qui étaient obtenus par des processus empiriques inexpliqués.

Ce n'est qu'au XIX^e siècle que les progrès de la science révélèrent les secrets du pouvoir de la levure. C'est le chimiste français Louis Pasteur qui, entre 1857 et 1863, prouva que la fermentation était provoquée par des micro-organismes vivants. Ces contaminants naturels des grains et des fruits ont été identifiés comme étant des champignons microscopiques, appelés **Saccharomyces cerevisiae**.

Les unités industrielles de production de la levure boulangère sont l'une des entreprises agroalimentaires qui recherchent toujours plus de souplesse sur les lignes d'approvisionnement, afin d'avoir un produit fini de bonne qualité répondant aux besoins du consommateur.

Les critères d'une bonne levure se basent sur sa couleur, son odeur, sa stabilité, sa consistance, sa régularité et sa force fermentaire, ces caractères qui peuvent être influencés par plusieurs paramètres.

L'entreprise « LESAFFRE-maroc » spécialisée dans la production de la levure boulangère dispose de deux ateliers de production de la levure : atelier désigné à la production de la levure fraîche, et un autre pour la production de la levure sèche, mais comme tout procédé industriel, la production de la levure est sujette à des pertes au niveau de certaines étapes de sa fabrication, notre étude consiste à évaluer et s'attaquer aux pertes de levure sèche au cours du procédé de séchage, la chasse à ces pertes vise à les convertir en gains, c'est à dire les gaspillages en économies, elle débute par une indispensable phase de mesure et d'analyse, durant laquelle, on compare le fonctionnement réel du système de production par rapport à une situation de référence dans laquelle il fonctionnerait de manière optimale.

Au terme de cette étude, on a réparti ce travail en trois grands chapitres :

Premier chapitre : Consacrée à un rappel bibliographique sur la levure et ses différentes étapes de production.

Deuxième chapitre : Consacrée à un rappel bibliographique sur les différents types des procédés de séchage de la levure de panification.

Troisième chapitre : Traite la partie expérimentale qui consiste à évaluer les quantités de levure sèche perdues durant le séchage, et l'établissement d'un plan de criblage des facteurs ayant un impact sur notre étude.

Présentation de la société « LESAFFRE-maroc »

En 1993, la société SODERS a été majoritairement détenue par le groupe français LESAFFRE et porte aujourd'hui comme nouvelle appellation « LESAFFRE Maroc » présentant l'une des principales filiales du groupe mondiale spécialiste en matière de production de levure boulangère 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 et des améliorants de panification : les marques Jaouda comme levure fraîche, et 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 Ibis bleu et Magimix comme des améliorants de panification. Sa large gamme de produits a fait aujourd'hui de LESAFFREMaroc le leader avec excellence sur le marché professionnel.

Bénéficiant de l'expertise et du savoir-faire du groupe LESAFFRE, la société possède un laboratoire d'analyse qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et bactériologiques. La qualité des levures est ainsi sans cesse évaluée afin d'optimiser leurs performances : force fermentative, pureté, stabilité et résistance par rapport au contexte climatique et il a reçu 2 trophées :

- le trophée du prestige arabe en 1984 à Barcelone.
- le trophée international de la qualité en 1985 à Madrid.

Par ailleurs, le service qualité de la Société assure un suivi des produits en faisant réaliser quotidiennement des contrôles depuis la réception des matières premières jusqu'à la livraison aux clients, il valide à chaque étape de fabrication la conformité des produits à un cahier de charge très strict.

Chapitre I :

Généralités sur la levure de panification et son procédé de fabrication

I. Généralités sur la levure boulangère :

La levure est un micro-organisme unicellulaire vivant de forme ovoïde ou sphérique et d'environ une centième de millimètre qui est donc invisible à l'œil nu. Tout comme celles de l'homme, les cellules de levures sont vivantes et naturelles et ont besoin d'air pour se multiplier, mais l'absence d'air n'est pas non plus sans conséquence sur son développement [1].

Les levures sont capables de [2] :

- 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 les synthèses dont elles ont besoin pour leur croissance.

Il existe plusieurs espèces de levures, la plus connue s'appelle « *Saccharomyces cerevisiae* » toutefois, il existe beaucoup d'autres genres de levures.

Étymologiquement « saccharo » vient de sucre, « Myces » de champignon et « cerevisiae » signifie « brasserie » en latin.

Saccharomyces cerevisiae, est l'espèce de levures à laquelle appartient entre autres la levure de boulangerie, est l'un des organismes modèles les plus utilisés dans les laboratoires universitaires de recherche pour des études biochimiques, physiologiques et génétiques car c'est l'eucaryote le plus simple.

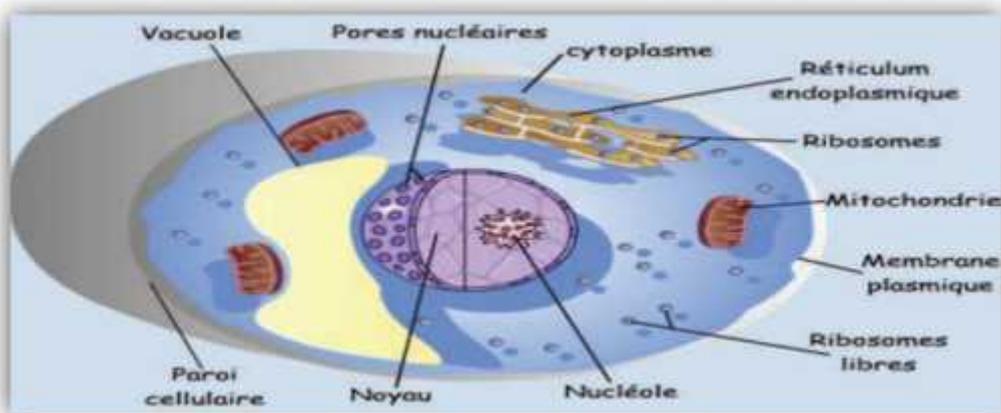


Figure1: structure d'une cellule de levure

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

En anaérobiose : (Voie fermentaire) les enzymes de levures fermentent le sucre en dégageant de l'alcool éthylique et du gaz carbonique, c'est la fermentation panaière. Le gaz carbonique provoque la levée de la pâte tandis que les métabolites secondaires contribuent à la création du goût et de l'arôme du pain.



En aérobiose : (Voie respiratoire) la dégradation du glucose se fait par l'intermédiaire de réactions enzymatiques spécifiques. L'énergie produite assure le maintien de la vie de la cellule mais permet également d'effectuer de nombreuses synthèses cellulaires pour la croissance et la multiplication.



En raison de son meilleur rendement énergétique, la voie respiratoire est utilisée préférentiellement par la levure. Cependant, si la concentration en sucre du milieu augmente au delà de 100 mg.l^{-1} , il y a inhibition de la respiration par la fermentation et production d'alcool malgré la disponibilité d'oxygène, ce qui a donné naissance au procédé d'alimentation continue pour la production industrielle de levures.

II. Le procédé de fabrication de la levure.

La production de levures de boulangerie commerciale s'effectue à partir de souches de levures qui vont subir une série de cultures dans des volumes de plus en plus grands. Les premières étapes de la culture sont réalisées au laboratoire dans des conditions de stérilité strictes, elles sont réalisées en ballons agités, dans un milieu nutritif riche composé de saccharose et d'extrait de levures, lorsque la quantité de levures est suffisante, elle servira à ensemercer un premier fermenteur de faible contenance et facilement stérilisable, cette étape, appelée culture pure, peut être renouvelée afin d'augmenter progressivement la quantité de cellules de levures, la suspension obtenue sert à ensemercer un premier fermenteur industriel, la fermentation industrielle commence, le milieu nutritif change, le saccharose et l'extrait de levures sont remplacés par la mélasse de sucrerie ou de betterave qui présente l'avantage d'être bon marché et d'être constituée des éléments essentiels à la fermentation de la levure.

1) Préparation des éléments nutritifs nécessaires à la fermentation :

a) Préparation de la mélasse

La mélasse est la matière première essentielle pour la production de la levure, c'est un sous-produit des sucreries.

Cette mélasse est livrée par des camions puis stockée dans de grands tanks à température ambiante, et subit trois étapes de préparation avant d'être utilisée :

★ La dilution

On commence par introduire la mélasse brute (22% mélasse de la canne à sucre, 78% mélasse de la betterave) dans une cuve dont la capacité est de 15 m^3 , ce mélange est ensuite deux fois dilué par de l'eau chaude (environ 70°C)

★ La clarification

La mélasse diluée passe ensuite dans un clarificateur ou elle est centrifugée. Cette étape consiste à éliminer les colloïdes et les boues, ce qui permet d'éviter le colmatage des échangeurs utilisés lors de la stérilisation de la mélasse.

A la fin, la mélasse diluée et clarifiée est stockée dans des cuves MDC à une température de 70°C .

★ La stérilisation

La mélasse diluée et clarifiée (MDC) est stérilisée par injection de la vapeur, l'action conjuguée de la vapeur et de la température ($T^{\circ} > 120^{\circ}\text{C}$) provoque la dénaturation des protéines des micro-organismes et par conséquent la mort de ces derniers.

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

Cette technique consiste à un contact direct de la vapeur d'eau et la matière à stériliser pendant 2 à 3 minutes à une température allant de 120°C à 130°C .

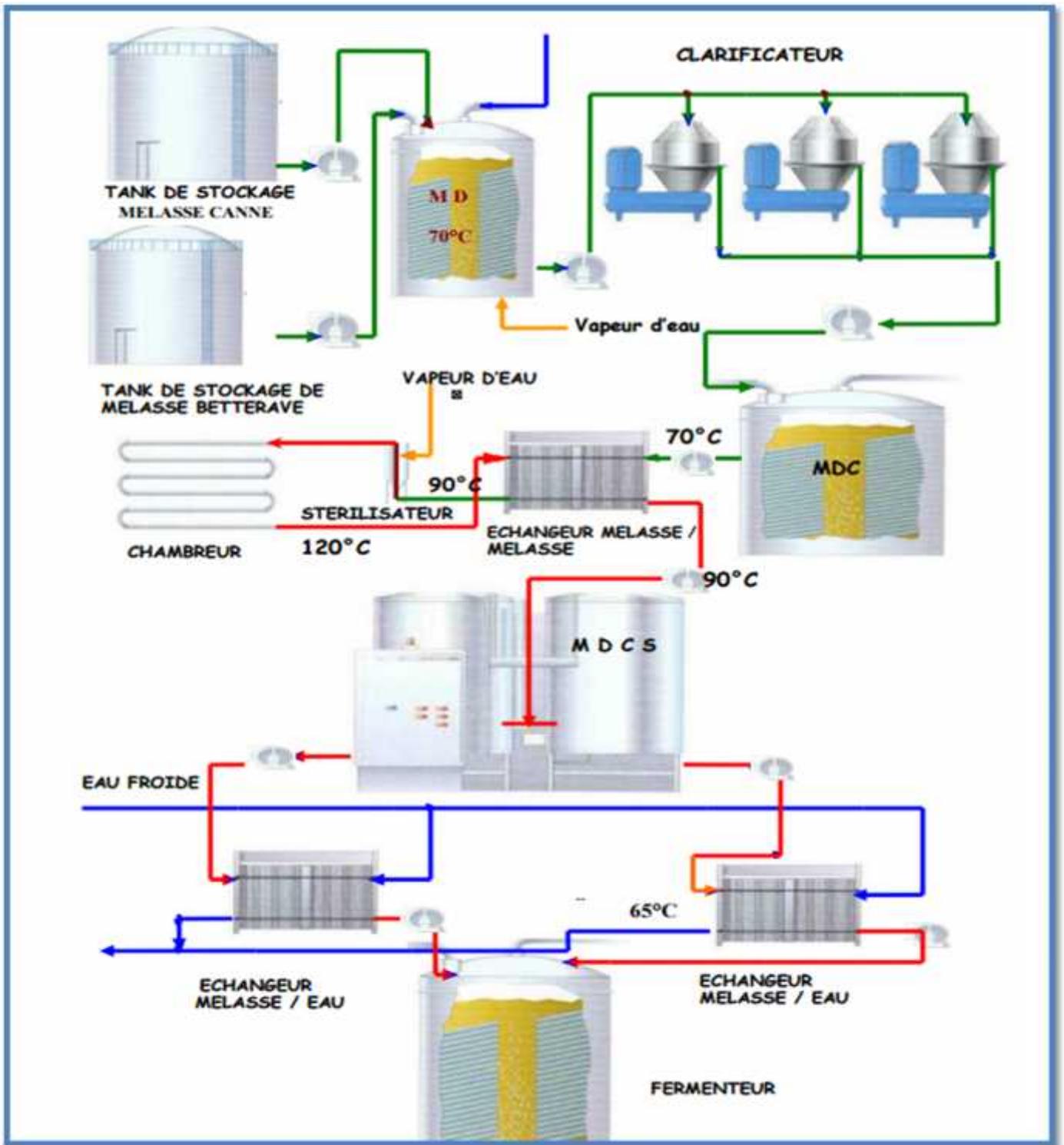


Figure 2 : Schéma général de la station de traitement de la mélasse

b) Préparation des sels nutritifs :

L'urée, le sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate sont des éléments essentiels à la multiplication de la levure, du fait qu'ils présentent pour les levures des sources d'azote et du phosphate et leurs préparations comprend seulement une dilution jusqu'à l'obtention de la concentration désirée.

Après leur préparation, chaque élément sera stocké dans une cuve, dans l'attente de sa consommation lors de la phase de fermentation.

2) Echelle laboratoire :

La base de tous les produits dérivés de la levure « Lesaffre » est la culture d'une souche pure de *Saccharomyces cerevisiae* non génétiquement modifiée.

A partir de cette souche pure reçue du laboratoire central, la levure est d'abordensemencée en tubes et ballons pour constituer l'inoculum contenant un milieu nutritif riche en saccharose pour favoriser la première multiplication et donc l'obtention de plusieurs cellules, après 24h les levures obtenues sont inoculées dans une autre verrerie nommée Carlsberg à une température de 28°C et on laisse 24h sous agitation pour assurer l'aération de la levure.

La quantité de levure obtenue est donc suffisante pour êtreensemencée à l'échelle semi industriel qui se déroule dans une cuve de 800 Litres mais en ajoutant cette fois-ci la mélasse et les sels nutritifs présentés par l'urée, le sulfate d'ammonium, et le mono ammonium phosphatent ainsi qu'une quantité d'air (O_2).

3) Echelle industriel

★ La pré-fermentation

L'opération de multiplication de la levure se poursuit dans un pré-fermenteur d'une capacité de 12000 Litres bien stérile. Avant le refoulement du volume de 800 Litres, le milieu doit contenir un volume suffisant d'eau, du chlorure de magnésium, l'eau de javel pour la désinfection, l'acide sulfurique afin d'ajuster le pH du milieu.

La mélasse, sulfate d'ammonium et le mono ammonium phosphate ainsi que l'air sont ajoutés graduellement au cours de la pré-fermentation selon les besoins de la levure.

★ La fermentation de la levure mère

Après la pré-fermentation vient la fermentation de la levure mère dans des cuves de capacité plus importante, dont l'alimentation en mélasse et ingrédients nécessaires à la croissance dure 17 heures et on obtient une grande population de levure sous forme liquide qu'on appelle « Le mout »

★ La séparation de la levure mère

La nutrition de la levure mère s'arrête dès que la fermentation touche sa fin, le moût levuré est donc envoyé vers un séparateur centrifuge afin de séparer la phase solide représentée par une crème de levure de la phase liquide représentée par le moût délevuré. La crème obtenue est dirigée vers des cuves de stockage à une température de 4°C.

★ Séparation de la levure commerciale

La crème déjà séparée constitue le pied d'ensemencement pour la fermentation commerciale. Cette station comporte deux lignes de séparation en parallèles, et au niveau de chaque ligne se trouvent deux séparateurs montés en série, le premier sépare le moût délevuré de la crème et le deuxième séparateur fini le travail en mélangeant la crème avec l'eau pour éliminer le maximum du mout délevuré et éclaircir sa couleur. La crème commerciale ainsi obtenue est stockée dans des cuves de garde à une température de 4°C.

★ Conditionnement

- **Levure fraîche**

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

Le boudin de levure pressée est découpé en bloc de 500g, qu'on enveloppe individuellement dans un papier paraffiné, après mise en carton, la levure est conservée en chambre froide afin d'être réfrigérée à cœur avant son expédition.

- **Levure sèche**

Pour la levure sèche, le gâteau provenant de la filtration sous vide est mélangé avec une quantité d'émulsifiant qui sert à conserver le produit plus longtemps et donne aussi la couleur blanche caractéristique de la levure.

Le gâteau obtenu est transformé en vermicelle à l'aide d'une grille de porosité connue, ensuite 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.

On distingue deux types de levure sèche :

La levure sèche active ou SPH :

Sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ trois heures pour une quantité de 400kg à 500kg.

La levure sèche instantanée ou SPI :

Sous forme des bâtonnets, elle a une durée de séchage réduite, durant 20min environ pour une quantité de 1000 Kg. Elle est caractérisée par une force fermentaire supérieure à celle de la SPH.

La figure 3 ci-dessous, résume le procédé de fabrication de la levure boulangère :

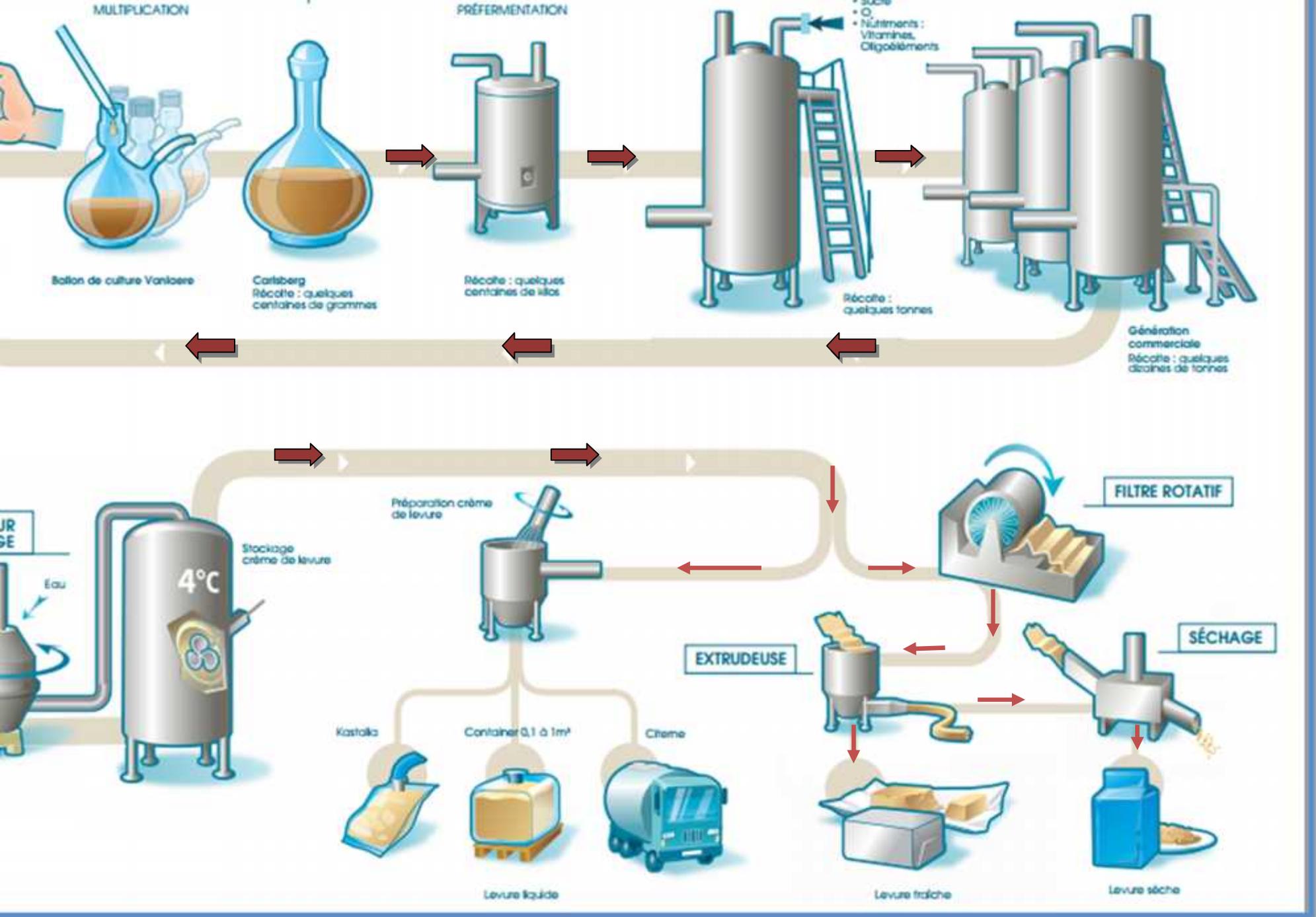


Figure 3 : Chaîne de production de la levure boulangère

Chapitre II

Les procédés de séchage de la levure

I- Intérêt du séchage des levures

La levure sèche est une préparation de levures vivantes qui a été séchée précautionneusement de manière à se trouver sous une forme dormante. La levure quitte cette forme dormante et redevient vivante lorsqu'elle est réhydratée soit en solution aqueuse avant utilisation, soit directement au sein de la pâte lors de la fabrication du pain.

La levure de boulangerie pressée dont l'humidité est de l'ordre de 70%, ne peut être stockée à température ambiante que quelques heures et entre 3 à 5 semaines dans des conditions de réfrigération entre 2 et 7°C, par contre la levure sèche active peut être conservée au minimum un an et perd moins que 0,3 % d'activité par mois.

Le but de l'opération de séchage des levures est de diminuer leur teneur en eau de manière à :

- permettre leur conservation à long terme, du fait que les levures se conservent pendant de longues périodes sous vide ou sous atmosphère d'azote, sans qu'il soit nécessaire de les réfrigérer.
- permettre leur mise sous une forme attrayante de façon à faciliter le transport, le stockage et la commercialisation des levures.

Quoique le développement des levures de panification sèches et actives date de 1930, il a fallu attendre ces 10 à 20 dernières années pour obtenir un produit de qualité équivalente à celle de la levure pressée [3].

1) Définition de l'opération de séchage

La dessiccation, séchage, déshydratation, des termes qui sont regroupés sous le terme « Élimination d'eau », toutes ces opérations obéissent en effet fondamentalement aux mêmes lois et leurs objectifs sont les mêmes [4].

Le séchage est une opération unitaire ayant pour but d'éliminer par changement d'état (évaporation ou sublimation) un solvant imprégnant un solide ou un liquide, dans le cadre de ce travail, le liquide à éliminer est l'eau.

Le séchage consiste donc à chauffer un produit afin de faire évaporer l'eau qu'il contient ou un autre solvant, on distingue le séchage par ébullition et le séchage par entraînement.

On parle de séchage par ébullition quand le produit atteint la température d'ébullition de l'eau. Mais lors du séchage par entraînement le produit à sécher est mis en contact avec un courant d'air plus ou moins chaud, l'air chaud transmet une part de sa chaleur au produit qui développe une pression partielle en eau à sa surface, supérieure à la pression partielle de l'eau dans l'air

utilisé pour le séchage, cette différence de pression entraîne un transfert de matière de la surface du solide vers l'agent séchant[5].

2) Etude des courbes de séchage

Le séchage peut être suivi graphiquement de différentes façons :

- Evolution du taux d'humidité du produit en fonction du temps.
- Evolution de la vitesse du séchage qui présente la quantité d'eau enlevée par kilogramme de matière sèche et par unité de temps en fonction du taux d'humidité du produit.
- Evolution de la vitesse du séchage en fonction du temps.

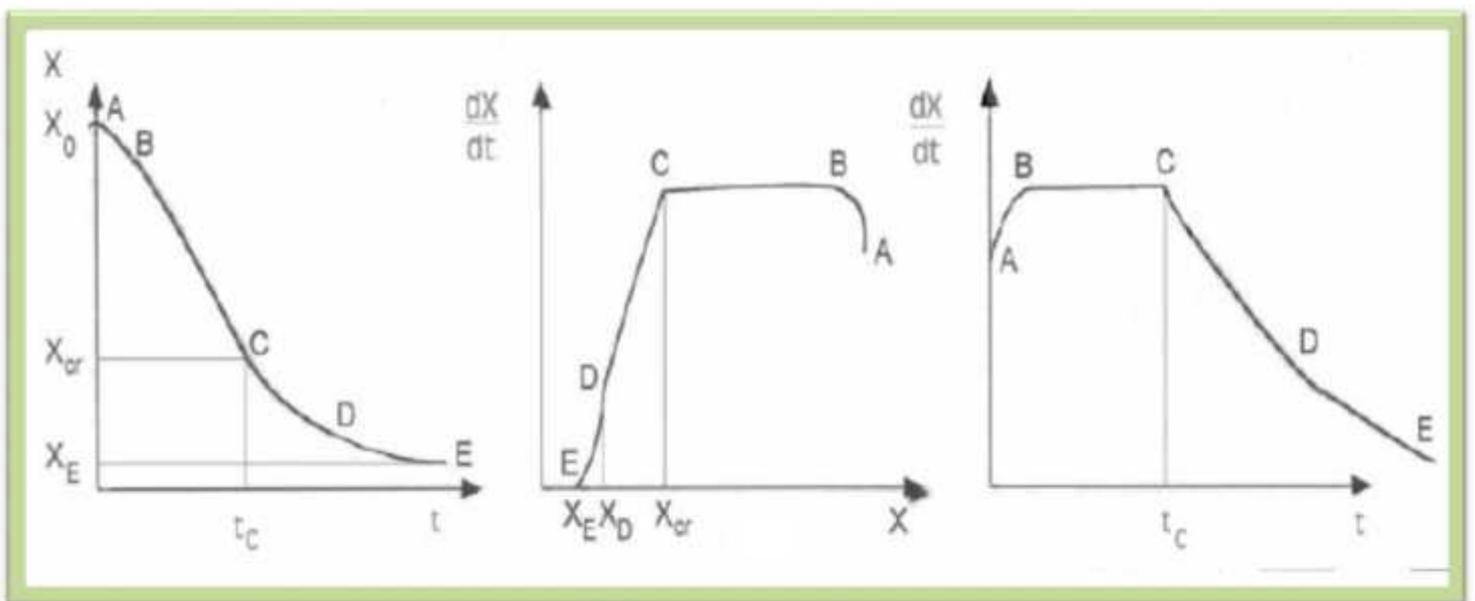


Figure 4 : Courbes de séchage caractéristiques, pour un séchage par un gaz dont les caractéristiques sont maintenues constantes

Les évolutions de la teneur en eau et de la vitesse de séchage d'un solide humide exposé à un flux d'air aux caractéristiques constantes (vitesse, température et humidité), présentent trois parties distinctes montrant chacune une phase différente du processus [5] :

- **phase 1** : phase transitoire, de mise en température du produit à sécher (Figure 3, AB)
- **phase 2** : phase de séchage à vitesse constante (Figure 3, BC)
- **phase 3** : phase de séchage à vitesse décroissante (Figure 3, CE)

a) Phase transitoire :

La phase transitoire de séchage est une phase de mise en régime. Le produit est à une température inférieure à celle de l'air de séchage et la pression de vapeur de l'eau à la surface du produit est faible, le transfert de matière est donc peu important.

La température du solide s'élève ainsi que la pression de vapeur de l'eau en surface, ce qui entraîne un accroissement de la vitesse de séchage. Cette augmentation va se poursuivre jusqu'à ce que le transfert de chaleur de l'air vers le produit compense exactement le transfert d'énergie associé à la migration de la vapeur d'eau de la matière vers l'air [5].

b) Phase de séchage à vitesse constante :

Durant cette phase la surface du solide est saturée en eau. Il s'y forme une couche limite de gaz où la pression de vapeur d'eau est quasi égale à celle de l'eau pure dans les mêmes conditions de température et de pression, la température superficielle du solide reste constante durant toute cette phase et tend vers la température humide du fluide de séchage.

Durant cette phase de séchage, l'humidité moyenne du solide décroît linéairement jusqu'à une humidité du solide appelée « humidité critique X_{cr} ». L'humidité critique X_{cr} dépend de la nature du solide, de sa structure, de sa forme mais aussi de la vitesse de séchage à allure constante, cette humidité critique X_{cr} augmente généralement avec l'épaisseur du matériau et avec la vitesse de séchage [5].

c) Phase de séchage à vitesse décroissante :

A partir de l'humidité critique, d'autres phénomènes vont limiter l'allure de séchage. Le débit de liquide venant de l'intérieur du solide devient insuffisant pour mouiller complètement la surface du matériau, c'est le début de la phase à allure ralentie qui est généralement constituée de deux périodes.

Suivant le type de matériaux séchés, une des deux périodes de séchage à vitesse décroissante peut être prépondérante par rapport à l'autre.

- période à allure décroissante ou période de séchage à partir d'une surface partiellement saturée :

La surface initialement saturée complètement devient de moins en moins alimentée en liquide. Des portions de surface sèche apparaissent dans le film gazeux, réduisant la vitesse de séchage par unité de surface totale.

La vitesse de séchage sur la portion de surface humide reste pratiquement la même que pendant la période à allure constante, mais la surface effectivement mouillée décroît avec l'humidité. Cette période prend fin lorsque la diminution d'humidité du solide atteint X_D

- période à allure décroissante ou période dans laquelle la diffusion interne contrôle la vitesse du procédé :

La seconde période de la troisième phase de séchage débute lorsque toute la surface des matériaux macroporeux est dépourvue de liquide, La température de la surface augmente , l'humidité doit donc être évaporée et la vapeur d'eau doit diffuser dans les pores vers l'extérieur, la vitesse de séchage diminue fortement et est limitée par la diffusion interne de la vapeur, finalement, la vitesse de séchage s'annule lorsque l'humidité d'équilibre X_E est atteinte. Cette humidité résiduelle se trouve confinée dans les plus fins pores du solide ou adsorbée sur la surface interne. La température du matériau est quasi égale à celle de l'agent de séchage [5].

3) Influence des paramètres de l'air sur la cinétique du séchage :

- **Influence de la Température de l'air :** La température de l'air asséchant influe considérablement sur la vitesse de séchage, cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît avec la température de l'air et par conséquent, les vitesses de diffusion de l'eau dans le produit augmente avec la température.
- **Influence de la vitesse de l'air :** La vitesse de l'air agit positivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération.
- **Influence de l'humidité de l'air :** La teneur en eau de l'air, joue un rôle important sur le comportement des cinétiques de séchage sur certains produits, de mêmes que pour la vitesse de l'air cette influence est plus importante au début de séchage et diminue lorsque la température de l'air augmente.

II- Les types de séchage pour la production de la levure sèche.

1) Techniques anciennes de séchage

Anciennement le séchage de la levure pressée contenant environ 70% d'eau se faisait au moyen de sècheurs rotatifs, à bandes ou à plateaux. La durée de séchage nécessaire à l'obtention de levures suffisamment sèches pour permettre leur conservation à long terme était de 4 à 12 heures suivant l'appareillage utilisé. Cette longue exposition à la chaleur diminuait fortement la viabilité des cellules de levures [5].

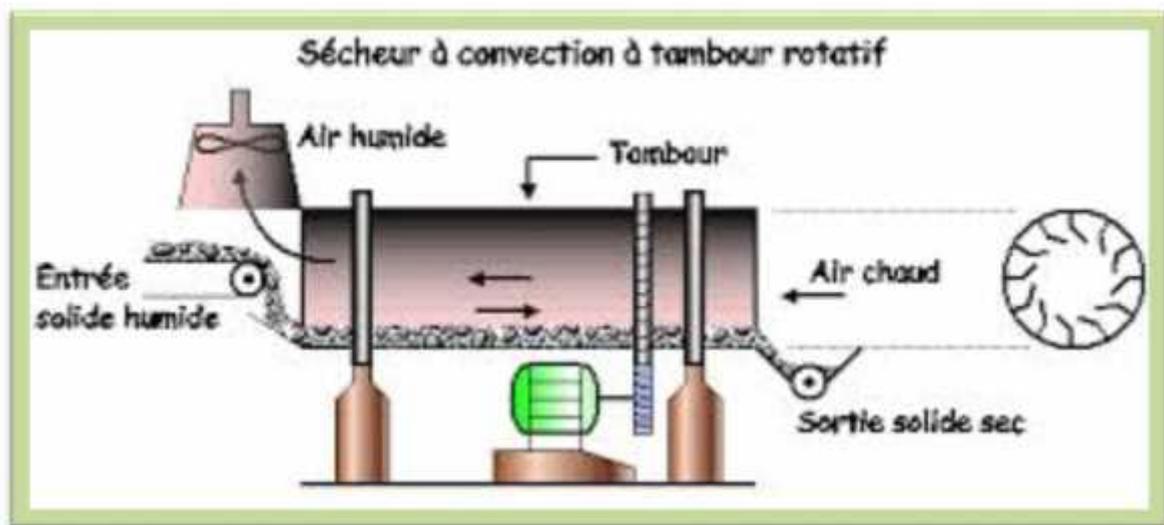


Figure 5 : Tambour sécheur rotatif

2) Techniques actuelles de séchage

Les procédés actuels de déshydratation appliqués aux suspensions ou aux pâtes de levures sont l'atomisation, la vaporisation sur cylindre, la fluidisation et la lyophilisation. La levure sèche active instantanée est obtenue par séchage en lit fluidisé. Cette technique permet d'obtenir de petites particules de composition homogène.

Les différentes techniques de séchage peuvent être combinées, par exemple, la levure peut être pré-séchée par atomisation de manière à augmenter sa matière sèche et ensuite séchée en lit fluidisé, le pré-séchage par atomisation permet de faciliter la fluidisation de la levure [5].

3) Principe de fonctionnement d'un sécheur en lit fluidisé

La fluidisation consiste à donner à un empilement de solides des propriétés similaires à celles d'un liquide par contact avec un courant fluide ascendant, en effet, lorsqu'un fluide traverse une couche de solide avec une vitesse suffisante, le solide est mis en suspension, la couche de particules solides est alors dite fluidisée selon la nature du fluide ascendant [5].

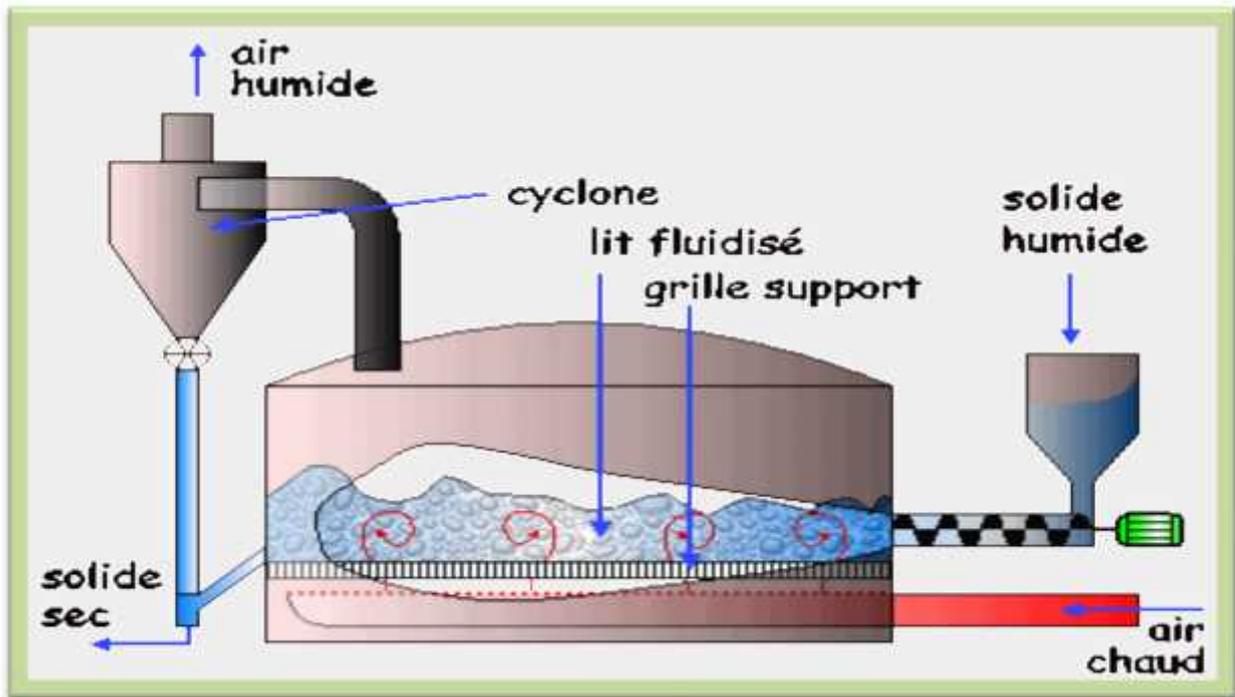


Figure 6 : Sécheur en lit fluidisé

Deux types de fluidisation sont distingués [5] :

- **la fluidisation agrégative** : dont la particularité est la non-uniformité de la porosité du lit. C'est le régime de fonctionnement généralement observé lorsque les masses volumiques des particules et du fluide sont très différentes (fluidisation de particules par un gaz ou dans quelques cas particuliers de fluidisation par un liquide),
- **la fluidisation particulaire** : caractérisée par l'uniformité de la porosité dans tout le lit, généralement observée lorsque des particules solides sont fluidisées par un liquide.

En fluidisation, les échanges sont très intenses et permettent non seulement une efficacité remarquable du séchage, mais encore une utilisation optimale de l'air de séchage se traduisant par une consommation énergétique modeste (entre 4000-6000 Kj/Kg), et les particules solides destinées à être fluidisées doivent répondre à un certain nombre de critères : une taille

comprise entre 20 μm et 10 mm, une distribution granulométrique relativement étroite, une bonne résistance à l'abrasion et une tendance collante faible [5].

Il existe trois grands types de lit fluidisé [6]:

- **Lit fluidisé simple** : l'air assure à la fois la fluidisation, l'apport de chaleur et l'évacuation des vapeurs désorbées.
- **Lit fluidisé vibré** : l'apport de chaleur est encore assuré par l'air, mais la fluidisation se fait cette fois par un procédé mécanique.
- **Lit fluidisé à échangeur interne** : l'air n'assure que la fluidisation et l'évacuation des vapeurs, mais l'apport de chaleur est effectué par un échangeur externe, placé à l'intérieur du lit.

4) Le procédé de séchage de la levure de boulangerie au sein de l'entreprise :

Le séchage de la levure consiste à chauffer cette dernière afin de faire évaporer l'eau qu'elle contient, selon le type de levure à produire le procédé de séchage se fait en 3 grandes étapes :

a) Filtration de la crème de levure :

La crème de levure préalablement préparée au niveau des fermenteurs est transférée dans un filtre à vide rotatif pour être étalée sur l'étamine de ce cylindre tournant, sous l'action du vide, la crème de levure traverse le gâteau filtrant (amidon de pomme de terre), et les particules de levures a retenir sont arrêtées à la surface du gâteau en formant une pellicule plus ou moins fine, jusqu'à obtention de la consistance souhaitée de la matière sèche (environ 32%) ,après assèchement celles-ci sont éliminées à l'aide d'un racleur et envoyé vers la trémie du filtre rotatif .



Figure 7 : Filtre à tambour rotatif

b) Malaxage et ajout d'émulsifiant :

La pâte de levure obtenue est transférée vers un mélangeur pour être malaxée avec du mono-stéarate de sorbitane comme émulsifiant dans le but de prolonger sa durée de conservation et favoriser sa forme.

Le mélange passe ensuite dans une grille percée dont le diamètre des pores varie selon le type de levure à produire avant d'être récupérée dans le bol du sécheur.

c) Séchage de la levure :

La levure obtenue est amenée à être séchée et déshydratée selon un procédé très spécifique qui la transforme en granulés : nous parlons ici de levure sèche à un taux d'humidité maximal de 5%.

Les particules de levures à sécher sont réparties sur une sole perforée, où elles sont traversées par de l'air chaud tout en assurant leur séchage ainsi que leur agitation.

Le séchage de la levure à l'intérieur du sécheur s'effectue en 3 étapes [7]:

- **Etape 1** : La vitesse de séchage est constante et l'eau située en surface du solide est évaporé, pour cette phase, seules les conditions externes (surface de contact, température, débit d'air) ont une influence primordiale, le transfert thermique s'effectue donc entre la phase gazeuse (air) et la surface liquide.
- **Etape 2** : On doit diminuer la vitesse ainsi que la Température avec le temps, car la quantité de liquide a diminué à tel point que des zones sèches apparaissent à la surface du solide, comme le transfert thermique a lieu via la surface de contact gaz-liquide et que cette dernière diminue, la vitesse diminue de manière proportionnelle afin d'éviter la détérioration des grains de levure.
- **Etape 3** : La vitesse de séchage diminue encore avec le temps, car la surface du solide est sèche et le liquide doit migrer de l'intérieur du solide jusqu'à sa surface.

Les tableaux et les courbes ci-dessous résument ces différentes phases de séchage, en montrant l'évolution de :

- La température de l'air de séchage en fonction du temps
- Le débit de l'air de séchage en fonction du temps
- La température du produit en fonction du temps
- Le % en matière sèche en fonction du temps

Tableau 1 : Variation de la température de l'air de séchage, du débit de séchage, du % de matière sèche, et de la température du produit en fonction du temps.

Temps	Température air de séchage (°C)	Débit air de séchage (m3/h)	Température du produit (°C)	% de matière sèche
09h47	64	35310	16	33,30
10h00	92	35160	32	45,18
10h05	93	31350	33	60,62
10h05	94	30870	34	78,42
10h08	95	28340	35	81,72
10h09h	95	28030	36	87,56
10h11	98	24100	38	93,84
10h13	91	23990	39	94,11
10h15	89	23060	40	95,14

Ces résultats peuvent être présentés sous formes de courbes, afin de mieux comprendre les différentes évolutions des étapes de séchage :

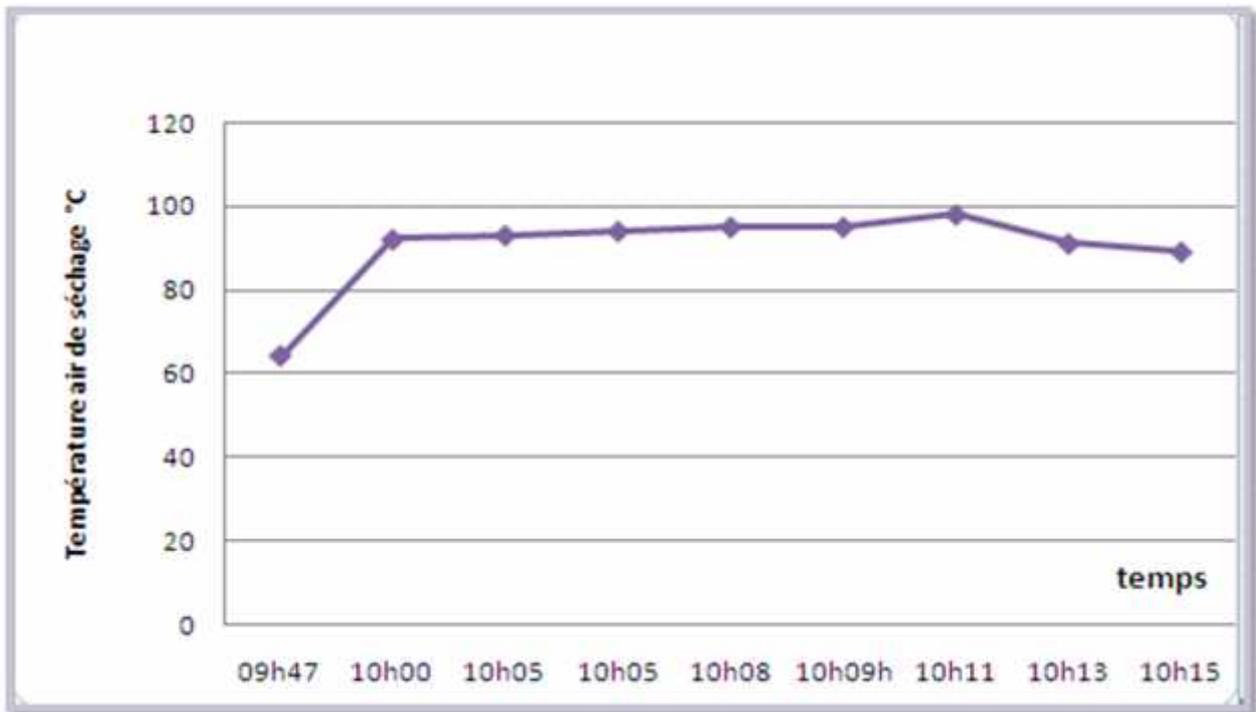


Figure 8 : Courbe de variation de la Température de l'air de séchage en fonction du temps

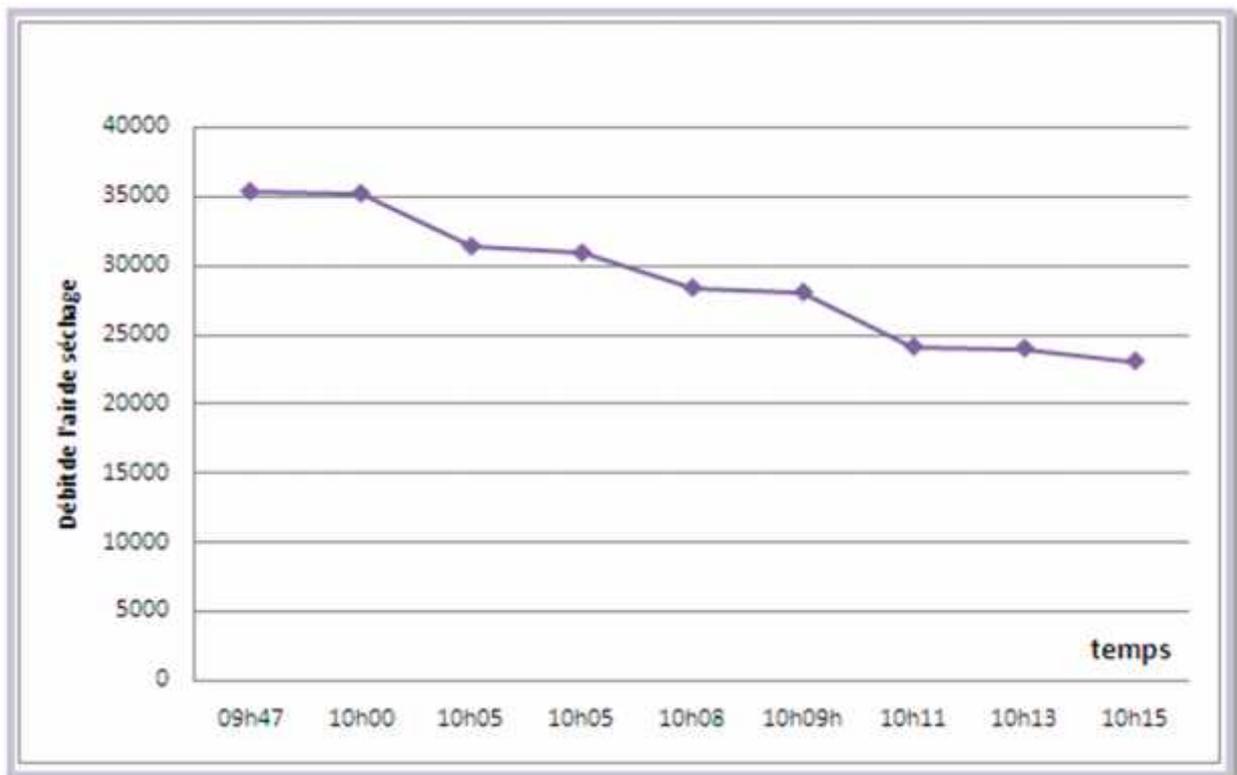


Figure 9 : Courbe de variation du débit de l'air de séchage en fonction du temps

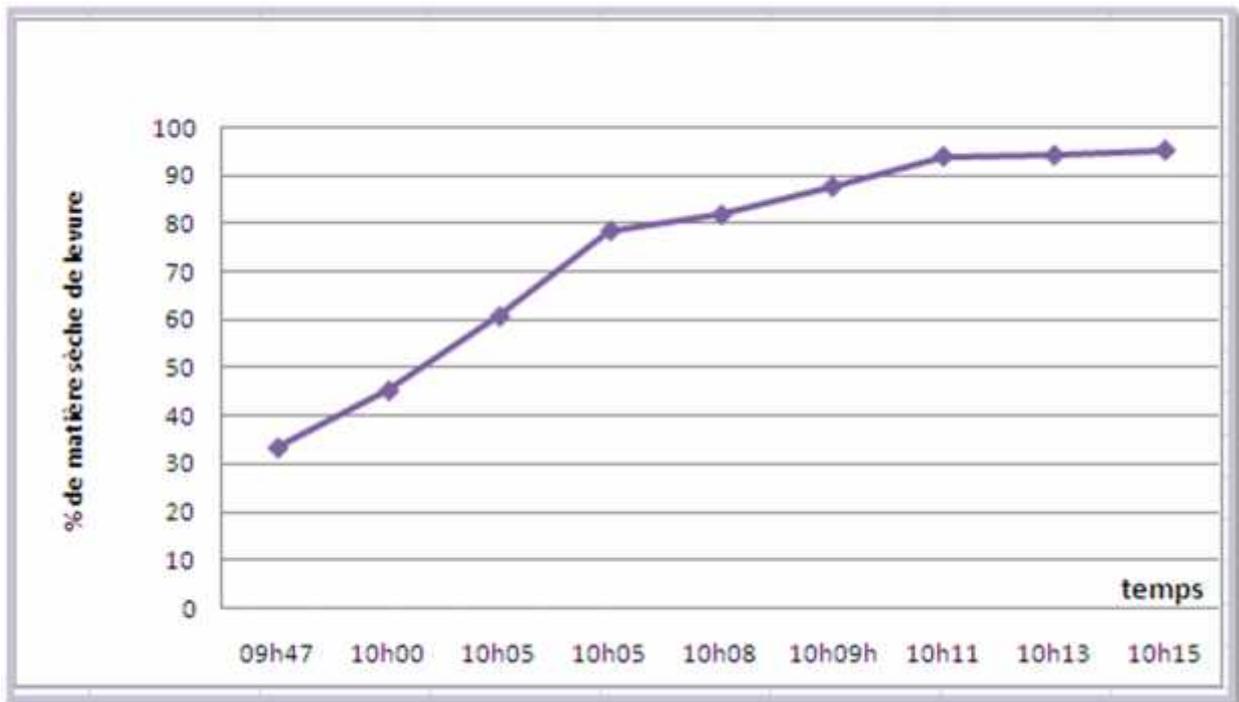


Figure 10 : Courbe de la variation du % de matière sèche de la levure en fonction du temps

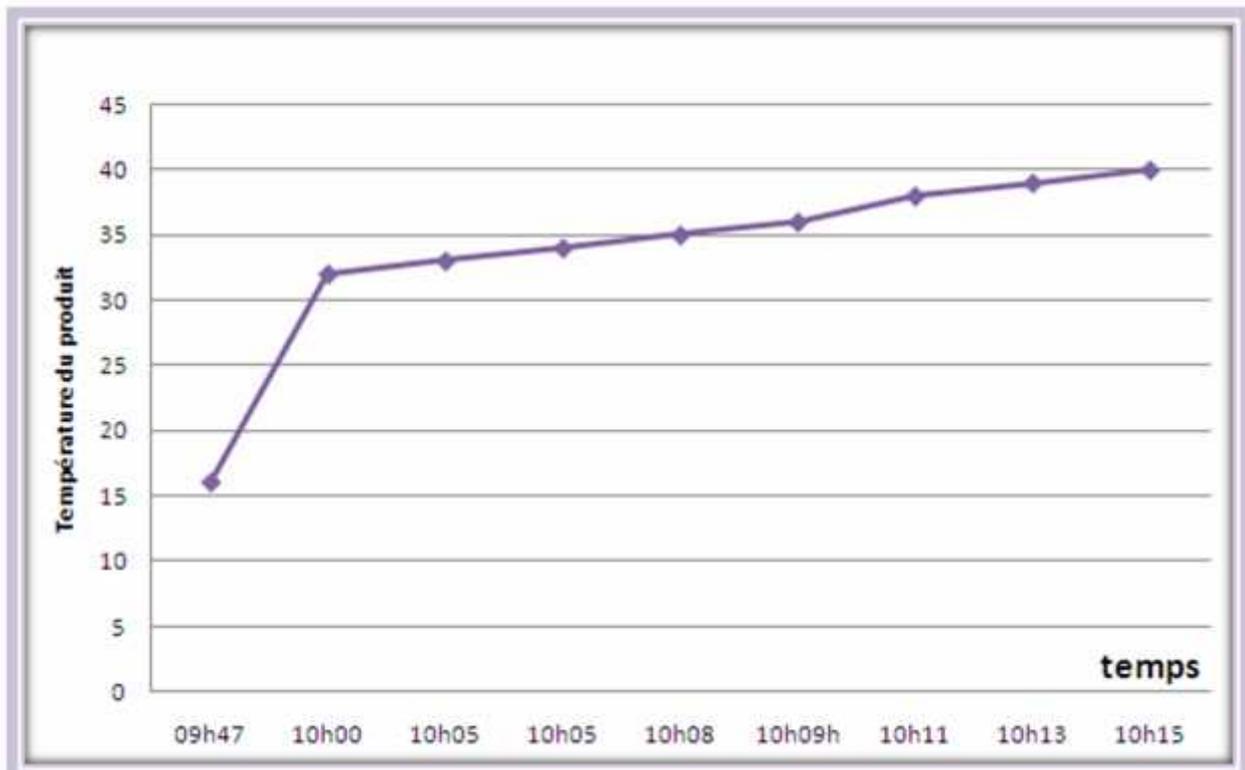


Figure 11 : Courbe de la variation de la température du produit en fonction du temps

Chapitre III

Evaluation et optimisation des pertes de levure au cours du séchage

I- Evaluation des pertes de levure au niveau des sécheurs glatt et T10

Les pertes se définissent par un excédent de dépenses engagées par rapports aux revenus générés, les pertes sont assimilables à des dépenses inutiles (des gaspillages) qui affectent la performance des équipements eux-mêmes, mais également celle de la main d'œuvre, des matières et énergies utilisées, Les praticiens ont dénombré 16 causes de pertes, regroupées en trois familles [8]:

- **Huit pertes liées à l'équipement :**

1. Pertes dues aux pannes,
2. Pertes dues aux réglages,
3. Pertes dues au changement d'outils
4. Pertes dues au démarrage,
5. Pertes dues aux micro-arrêts et à la marche à vide,
6. Pertes dues à la sous vitesse,
7. Pertes dues aux défauts et aux retouches,
8. Pertes dues aux arrêts programmés et à la fermeture de l'atelier

- **Cinq pertes liées à la main d'œuvre :**

1. Pertes dues au management,
2. pertes dues à la rapidité de l'exécution,
3. pertes dues à l'organisation de la ligne,
4. pertes dues à la logistique,
5. pertes dues aux mesures et aux réglages

- **Trois pertes liées aux matières, à l'outillage et à l'équipement :**

1. Pertes dues à l'énergie.
2. pertes dues à l'outillage.
3. pertes dues au rendement de la matière.

1) Calcul des pertes de levure sèche au niveau des deux sécheurs

a) Points de pertes au niveau des deux sécheurs

- Pour le sécheur Glatt

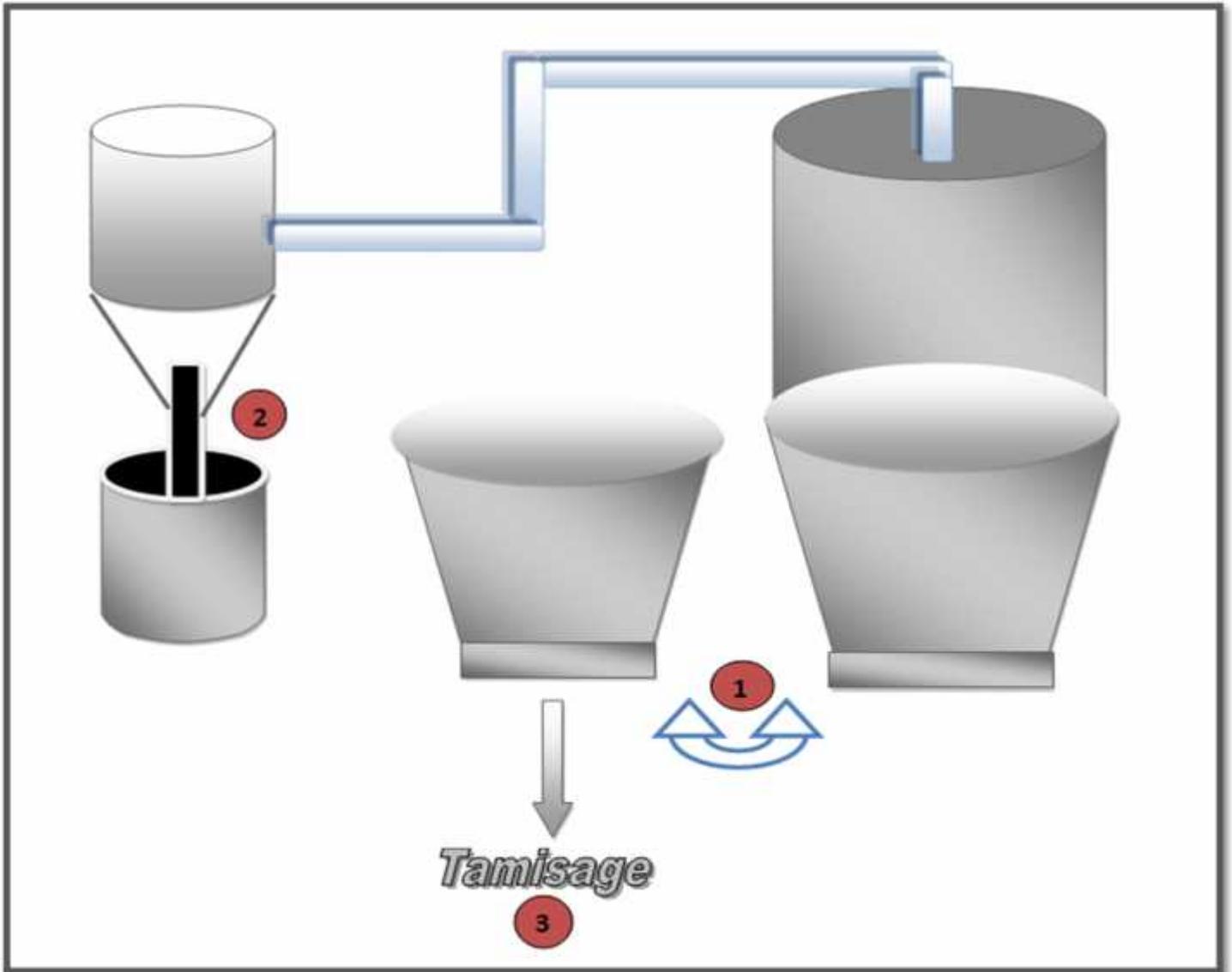


Figure 12 : Schéma illustrant des points de pertes de levure sèche dans un sécheur Glatt

- 1 Pertes de levure au cours du changement des bols
- 2 Pertes de levure au niveau de la dépoussiéreuse
- 3 Pertes de levure au niveau du tamisage

- Pour le sécheur T10

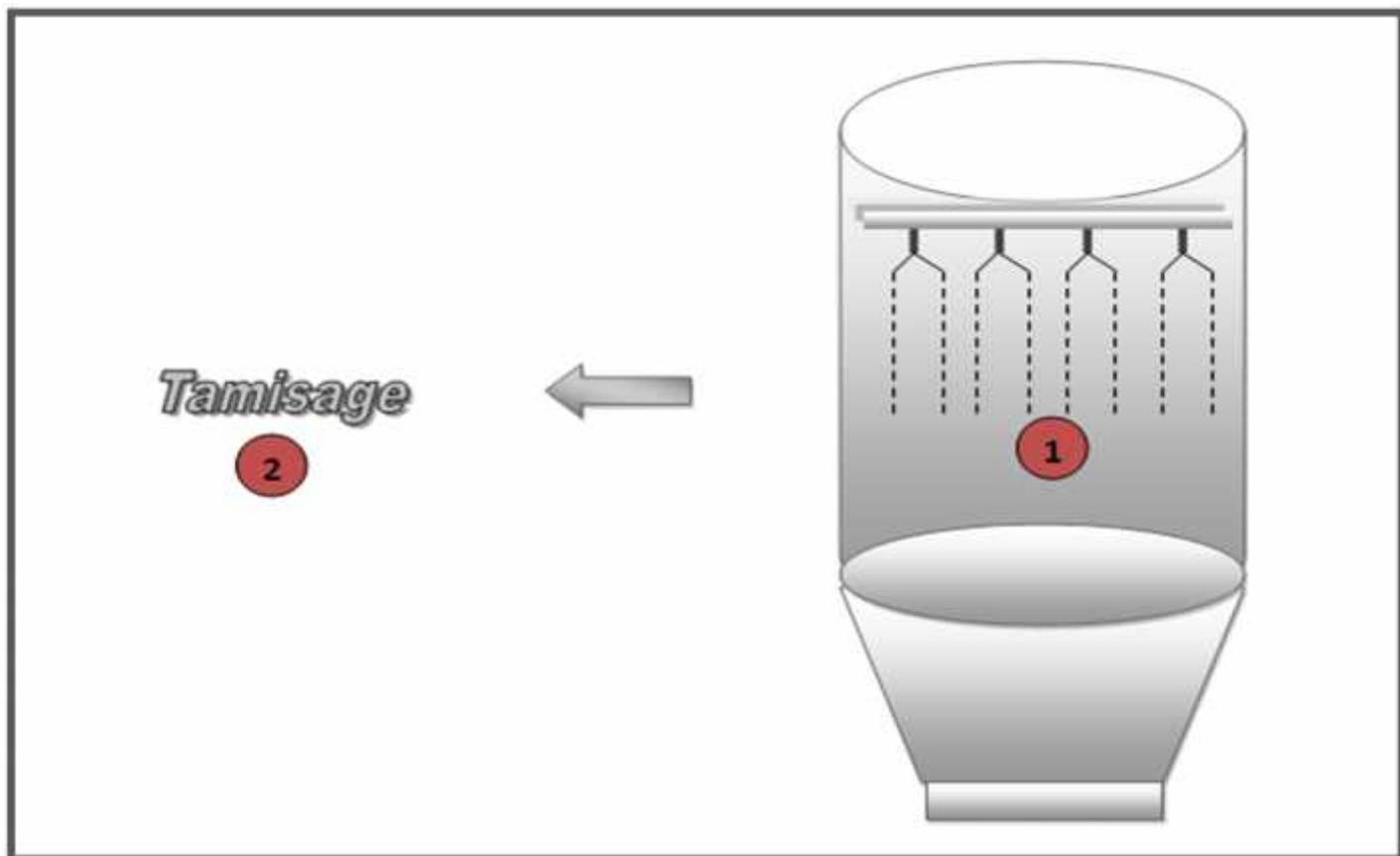


Figure 13 : schéma illustrant les points de pertes de levure sèche dans un sécheur T10

- 1** Pertes de levure au cours du secouage des filtres à poches du sécheur
- 2** Pertes de levure au cours du tamisage

b) Détermination des quantités de levure perdues au cours du séchage

- Pour le sécheur de type Glatt

Tableau 2 : Les quantités de levure perdues au niveau du sécheur Glatt

	Numéro de crème	Nombre de charges	Pertes en Kg			Date
			Pivotage	Dépoussiéreuse	Tamissage	
GLATT	198	23	15,12	137,65	9,12	25/02/2015
	202	19	6,78	120	6	26/02/2015
	210	29	18	160	10	28/02/2015
	217	21	15	125	8	01/03/2015
	220	17	11	120	10	03/03/2015
	223	20	10,27	106	5,24	04/03/2015
	223	30	18,89	161	11	05/03/2015
	227	32	20,01	134	8,47	09/03/2015

- Pour le sécheur de type T10

Tableau 3 : Les quantités de levure perdues au niveau du sécheur T10

	Numéro de crème	Nombre de charges	Pertes en Kg		Date
			Secouage des filtres	Tamissage	
T10	198	12	68,01	4,01	25/02/2015
	202	23	114,10	7,91	26/02/2015
	210	10	50,2	4,68	28/02/2015
	217	17	79,8	5,16	01/03/2015
	220	21	82,57	6,05	03/03/2015
	223	11	62,03	2,93	04/03/2015
	223	22	123,01	7,26	05/03/2015
	227	18	77,20	5,07	09/03/2015

La quantité de pertes calculées est donc de :

$$\begin{aligned} M (\text{Pertes calculées}) &= (\text{Pertes}_{(\text{Glatt})} + \text{Pertes}_{(\text{T10})}) \\ &= 1246,55 + 700 = 1946,55 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\mathbf{M (\text{Pertes calculées}) = 1946,55 \text{ Kg}}$$

Durant cette période, la quantité de levure sèche produite dans le stock était de :

$$\mathbf{M (\text{produite}) = 64976 \text{ Kg}}$$

Théoriquement on a :

Tableau 4 : Les masses en (Kg), de chacune des crèmes de levure destinées au séchage

Numéro de crèmes	Quantité en Kg
198	27780
202	29600
210	27290
217	36400
220	33810
223	36700
227	9670
	= 201250 Kg

On sait que :



Puisque c'est la teneur en eau qui change, on peut donc établir un bilan de matière du sécheur, afin de pouvoir déterminer la quantité de levure sèche qu'on devait obtenir à partir des cuves de crèmes utilisées :

On a :

$$\text{Entrée} = \text{Sortie} \quad \Leftrightarrow \quad 201250 \text{ (Kg)} \times 0.32 = X \text{ (Kg)} \times 0.95$$

$$\text{Donc : } X = \frac{201250 \times 0.32}{0.95} = 67789,5 \text{ Kg}$$

$$X = 67789,5 \text{ Kg}$$

- La différence entre X et M (produite) nous permet de calculer la quantité de pertes totales obtenues au cours de l'opération de séchage :

$$\begin{aligned} M \text{ (pertes totales)} &= X - M \text{ (produite)} \\ &= 67789,5 - 64976 = 2813,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$M \text{ (pertes totales)} = 2813,5 \text{ Kg}$$

On remarque que la quantité des pertes totales est supérieure a celle des pertes réelles calculées, ceci est du aux pertes de levure avant le séchage au cours des opérations suivantes :

- Les fuites au niveau de la pompe à vide du filtre rotatif
- Le nettoyage des grilles de l'extrudeuse
- La mise en place de la pré-couche d'amidon au niveau du filtre rotatif
- Le nettoyage général

On peut donc déduire la quantité de levure perdue avant le séchage :

$$\begin{aligned} M(\text{pertes avant séchage}) &= 2813,5 - 1946,55 \\ &= 866,95 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\mathbf{M(\text{Pertes avant séchage}) = 866,95 \text{ Kg}}$$

Ces résultats nous permettent de déterminer le % de pertes de levure avant et après le séchage :

$$\bullet \text{ \% pertes totales} = \frac{M(\text{pertes totales})}{X} \times 100 = \frac{2813,5}{67789,5} \times 100 = 4,15\%$$



$$\mathbf{\% \text{ pertes totales} = 4,15\%}$$

Dont :

$$\bullet \text{ \% Pertes de séchage} = \frac{M(\text{Pertes calculées})}{X} \times 100 = \frac{1946,55}{67789,5} \times 100 = 2,87\%$$



$$\mathbf{\% \text{ pertes de séchage} = 2,87 \%}$$

$$\bullet \text{ \% pertes avant séchage} = \frac{M \text{ (pertes avant séchage)}}{X} \times 100 = \frac{866,95}{67789,5} \times 100 = 1,28\%$$



% pertes avant séchage = 1,28 %

Les 4,15 % de pertes obtenue sont acceptables par la société du fait qu'elles sont dans les normes et ne dépassent pas 4,5 %.

Les résultats et les calculs effectués nous permettent de déterminer lequel des deux sécheurs représente plus de pertes de levure au cours de son séchage :

- Puisque ces deux sécheurs ne possèdent pas la même capacité, ce calcul doit être fait par Kg de charge de chacun des sécheurs,
- Chaque charge correspondante à l'un des sécheurs a donné :
 - 1 charge de Glatt = 246 Kg
 - 1 charge de T10 = 110 Kg
- On peut donc à ce moment calculer la quantité de levure perdue par 1 Kg d'une charge :

▪ **Pour Glatt :**

$$\frac{\text{Pertes de Glatt calculées}}{\text{Nombre de charges} \times \text{poids d'une charge}} = \frac{1246,55}{191 \times 246} = 27 \text{ g / kg de charge}$$

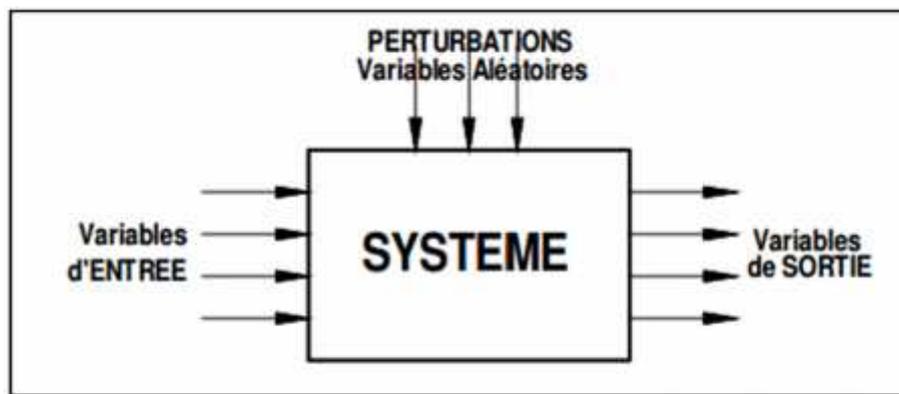
▪ **Pour T10 :**

$$\frac{\text{Pertes de T10 calculées}}{\text{Nombre de charges} \times \text{poids d'une charge}} = \frac{700}{134 \times 110} = 47 \text{ g / kg de charge}$$

D'après ces résultats, on remarque que l'ancien sécheur T10 représente plus de pertes par rapport au sécheur Glatt, cette différence est expliquée au fait que le sécheur Glatt dispose d'une dépoussiéreuse située à l'extérieur de ce dernier, tandis que les filtres à poche qui retiennent la poussière de levure sont situés à l'intérieur du sécheur T10 ce qui permet l'échappement des grains de levures sèche avec la poussière au cours de la ventilation.

II. Méthodes d'optimisation des pertes de levure observées :

Un système peut-être modélisé par une boîte noire sur laquelle agissent des variables d'entrées, Ce que l'on veut observer du système est modélisé par des variables de sortie.



L'optimisation est une branche des mathématiques et de l'informatique en tant que disciplines, cherchant à modéliser, à analyser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à déterminer quelles sont la ou les solution(s) satisfaisant un objectif quantitatif tout en respectant d'éventuelles contraintes

Ses domaines d'application sont extrêmement variés : optimisation d'un trajet, de la forme d'un objet, d'un prix de vente, d'une réaction chimique, du contrôle aérien, du rendement d'un appareil, du fonctionnement d'un moteur, de la gestion des lignes, du choix des investissements économiques....

L'optimisation de ces systèmes permet de trouver une configuration idéale, d'obtenir un gain d'effort, de temps, d'argent, d'énergie, de matière première, ou encore de satisfaction.

Parmi les problèmes rencontrés par la société est celui des pertes de levure sèche observées au cours de l'opération de séchage, mais avant de procéder à la modélisation du sécheur de levure, une étude des causes de cet effet indésirable est nécessaire.

1) Etablissement du diagramme d'Ishikawa – Diagramme causes et effet :

Ce diagramme représente de façon graphique les causes aboutissant à un effet, il peut être utilisé comme outil de visualisation synthétique et de communication des causes identifiées, et Il peut être utilisé dans le cadre de recherche de cause d'un problème ou d'identification et gestion des risques lors de la mise en place d'un projet.

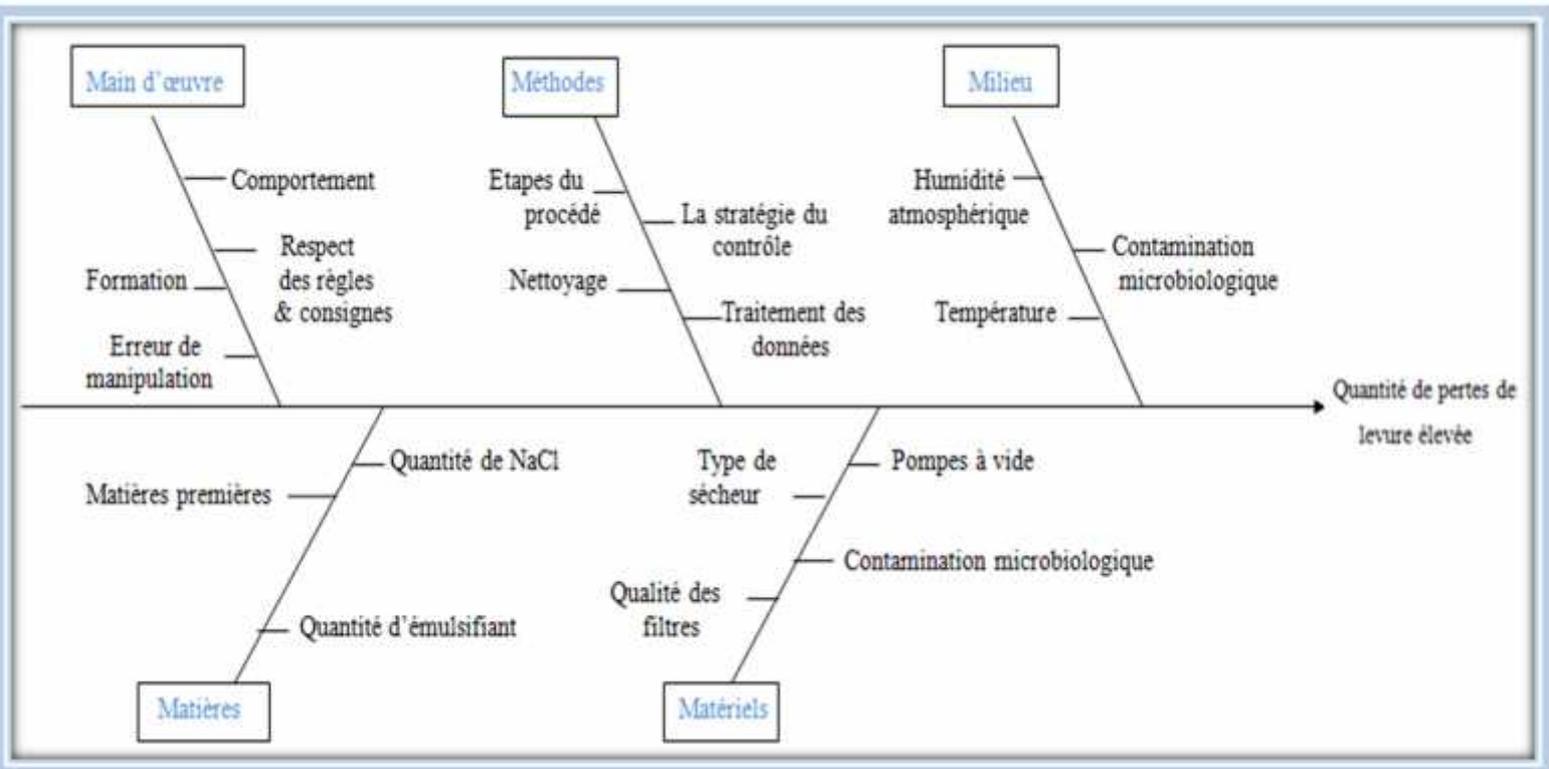


Figure 14 : Diagramme D'Ishikawa de l'étude

Ce diagramme **d'ISHIKAWA**, ou diagramme de cause à effet, qui est une représentation structurée de toutes les causes qui conduisent à la situation étudiée, qui nous a permis d'avoir une vision partagée et précise des causes possibles de la situation.

Le scientifique est toujours amené à comprendre comment réagit un système en fonction des facteurs susceptibles de le modifier, Pour visualiser cette évolution, il mesure une réponse et va ensuite essayer d'établir des relations de cause à effet entre les réponses et les facteurs.

L'étude doit avant tout avoir un but précis : minimiser un coût de fabrication, chercher les paramètres influents...

Pour pouvoir étudier ces paramètres, on a choisi d'établir un plan d'expérience qui permet d'obtenir un réglage facile des paramètres du procédé ainsi que l'optimisation de son fonctionnement.

Le succès de la démarche originale des plans d'expériences réside dans la possibilité d'interprétation de résultats expérimentaux avec un effort minimal sur le plan expérimental.

2) Etablissement d'un plan de criblage des facteurs :

Un plan de criblage permet de rechercher rapidement, parmi un ensemble de facteurs potentiellement influents, ceux qui le sont effectivement dans un domaine expérimental fixé.

Ñ Identification des paramètres du séchage ayant plus d'influence sur l'étude :

Tableau 5 : Domaine expérimentale des facteurs (criblage)

Facteurs	Niveau -	Niveau +
Débit de l'air de séchage (m ³ /h)	31000	35000
Conductivité (Us/cm)	250	400
Quantité d'émulsifiant (Kg)	1,90	2
Durée de séchage (min)	20	30

Selon la méthode d'Hadamard, 8 essais doivent être réalisés du fait que le nombre de facteur à étudier est de 4.

Ñ Choix des expériences à réaliser :

Pour réaliser les 8 essais, on est amené à construire dans un premier temps une matrice d'expérience, pour ceci on a eu recours à un logiciel permettant un criblage des facteurs étudiés.

Fermer		Matrice d'expériences				RTF
N°Exp	X1	X2	X3	X4		
1	1	1	1	-1		
2	-1	1	1	1		
3	-1	-1	1	1		
4	1	-1	-1	1		
5	-1	1	-1	-1		
6	1	-1	1	-1		
7	1	1	-1	1		
8	-1	-1	-1	-1		

Figure 14: La matrice d'expérience de l'étude

- **Réalisation des essais :**

Un soin tout particulier doit être apporté à l'exécution des essais. Si on ne réalise pas personnellement les essais, il faut notamment vérifier que les facteurs contrôlables mais non étudiés soient bien fixés à des valeurs précises.

Ceci nous a permis de réaliser le plan de l'expérimentation suivant :

Fermer		Randomisation		Abandon		RTF
Plan d'expérimentation						
N°Exp	Rand	Débit d'air m3/h	conductivité Us/cm	durée de séc min	Quantité d'én Kg/char	Quantité des Kg
1		35440	24000	30	1,90	7.88
2		31000	24000	30	2	7.50
3		31000	20000	30	2	5.02
4		35440	20000	20	2	5.50
5		31000	24000	20	1,90	7.98
6		35440	20000	30	1,90	6.97
7		35440	24000	20	2	7.04
8		31000	20000	20	1,90	6.40

Figure 15 : Plan d'expérimentation de l'étude

- **Interprétation des résultats des essais :**

Comme première approche, le plan de criblage des facteurs peut être conçu comme un moyen de savoir quels sont les facteurs qui ont une influence statistiquement significative sur la réponse étudiée, l'exploitation des résultats expérimentaux est souvent assez rapide ... surtout avec le logiciel **Nemrodw** Utilisé pour notre étude.

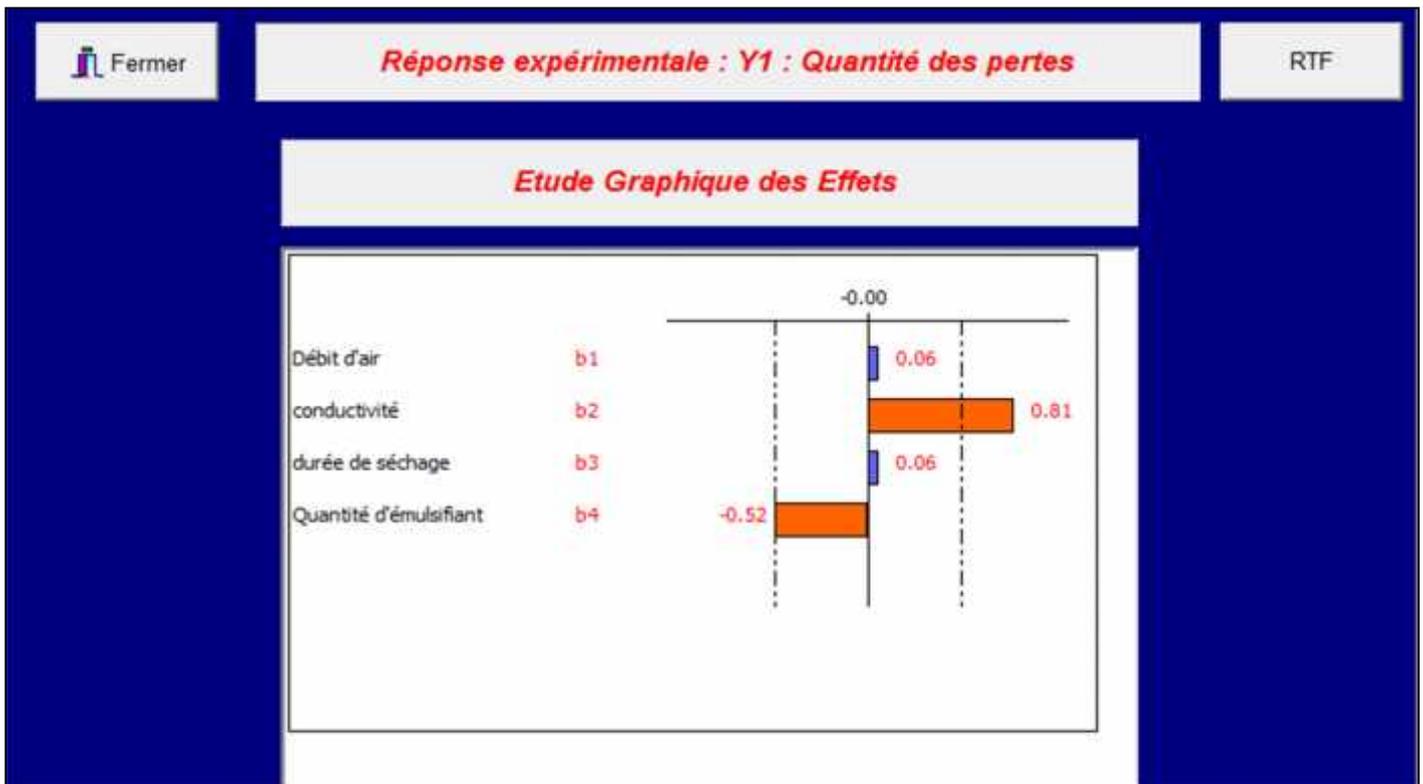


Figure 16 : Etude graphique des effets

La figure montre que les facteurs présentant un poids significatif sont les suivants :

- La conductivité de la levure
- La quantité d'émulsifiant ajouté

On observe que ces facteurs classés dans l'ordre d'importance ont l'un une influence positive et l'autre une influence négative sur la quantité des pertes, les autres facteurs ne sont pas influents et ne seront donc pas pris en considération.

- La conductivité a un effet positif sur la quantité de levure perdue, à hauteur de 81%.
- La quantité d'émulsifiant ajouté a un effet négatif sur la quantité de levure perdue à une contribution de 52%.

- **Elaboration d'un plan d'action :**

Un plan d'action est un type de plan qui privilégie les initiatives plus importantes pour répondre à certains objectifs et propos. Ainsi, un plan d'action est constitué comme une espèce de guide offrant un cadre ou une structure au moment où il y a lieu de mener un projet.

Tableau 6: le plan d'action de l'étude

Paramètres	Quantité des pertes de levure sèche		Plan d'action
	Contribution	Sens	
Le Taux de Nacl	81%		250 $\mu\text{s/cm}$
La quantité de l'émulsifiant ajouté	52%		2 Kg / charge
Débit d'air	6%		3500 m ³ /h
Durée de séchage	6%		20min

- **L'influence de Nacl sur une cellule de levure et sa relation avec les pertes observées :**

Le sel ajouté à la levure agit par le phénomène d'osmose, c'est-à-dire phénomène de diffusion à travers une membrane semi-perméable, sous l'action d'un gradient de concentration. Le phénomène d'osmose peut se traduire par un flux d'eau dirigé d'une solution diluée vers une solution concentrée à travers une membrane, En effet considérons deux solutions aqueuses de concentrations différentes et séparées par une membrane semi-perméable. La membrane va laisser passer les molécules d'eau tout en retenant les substances dissoutes, l'eau va diffuser de la solution hypotonique, c'est-à-dire la moins concentrée, vers la solution hypertonique,

C'est à dire la plus concentrée, Le phénomène s'arrête spontanément lorsque la pression de la solution hypotonique atteint sa valeur limite, dite pression osmotique.

Tant que les deux solutions ne contiennent pas le même nombre de particules dissoutes par unité de volume, on observe un déplacement de l'eau du milieu intracellulaire (moins concentré) vers le milieu extracellulaire (plus concentré) qui tend à équilibrer les concentrations à travers la membrane plasmique de la cellule de levure.

Si la quantité de NaCl ajouté dépasse les normes, le taux de la matière sèche dans la levure augmente d'une manière remarquable, et donc provoque l'apparition des fissures sur la cellule de levure à cause de sa déshydratation et conduit par la suite à sa destruction, ce qui a pour effet l'augmentation des pertes de levure.

- **Influence de l'émulsifiant sur la cellule de levure :**

Le mono-stéarate de sorbitane agit sur la levure par formation d'une couche protectrice sur la cellule en lui donnant une texture brillante et lisse pour qu'elle résiste contre les chocs au cours du séchage, il agit aussi en empêchant le séchage de la levure en excès, favorise la forme de la levure sèche, et maintient la bio activité après hydratation.

Conclusion Générale

Au terme de ce stage effectué au sein de l'atelier de séchage de la levure, nous nous sommes intéressés à l'étude et la maîtrise des causes conduisant aux pertes de levure au cours du séchage par :

- Suivi et contrôle des quantités de levure sèche perdues aux cours de différentes opérations, concernant le pivotage, le tamisage ou bien au niveau des filtres pour chacun des sécheurs.
- Détermination du % des pertes pour pouvoir le comparer à la norme exigée par la société.
- Elaboration d'un plan d'expérience (criblage des facteurs) qui nous a permis d'avoir une idée sur les paramètres du séchage ayant une influence significative sur notre étude.

Les calculs effectués tout au long de la période d'étude, nous ont amené à mettre en évidence des pertes de levure durant le séchage et par même occasion évaluer leur moyenne qui reste aux alentours de 4%.

En tenant compte du prix de la levure sèche et de la consommation énergétique nécessaire à sa fabrication on a pu déterminer la valeur significative des pertes financières pour la société, celles-ci peuvent être éventuellement chiffrées à **14 01507 DH** annuellement, un tel montant représente une perte assez conséquente pour la société et met en évidence un manque d'efficacité du procédé de séchage qui s'oppose avec le principe de la qualité de production industrielle.

Dans cette optique nous avons proposé quelques actions correctives face à ce problème qui peuvent être résumées comme suit :

- Un contrôle régulier des filtres des sécheurs afin d'éviter leur colmatage pour assurer un meilleur fonctionnement de l'opération de récupération de la poussière de levure lors du séchage.
- La mise en place des électrovannes liées à des débitmètres, dont il sera possible d'agir sur le débit de la solution de NaCl ainsi que celui de l'émulsifiant ajouté.

Finalement je peux dire que mon objectif est atteint, puisque ce stage m'a permis d'une part d'appliquer mes connaissances théoriques pour l'étude d'un problème pratique, afin d'adapter ma formation aux besoins industriels et s'initier donc à la recherche scientifique, d'autre part j'ai appris à assumer une responsabilité au sein de l'entreprise et d'acquérir l'esprit du travail par équipe.

Références Webographiques

- [1] <http://www.toutsurlalevure.fr/article/la-levure-quest-ce-que-cest>
- [2] [http://fr.ekopedia.org/Levure_\(champignon\)](http://fr.ekopedia.org/Levure_(champignon))
- [3] [http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-10052006-161610/unrestricted/Partie II Sechage de la levure etat de la question.pdf](http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-10052006-161610/unrestricted/Partie%20II%20Sechage%20de%20la%20levure%20etat%20de%20la%20question.pdf)
- [4] <http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=7551>
- [5] [http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-10052006-161610/unrestricted/Partie II Sechage de la levure etat de la question.pdf](http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-10052006-161610/unrestricted/Partie%20II%20Sechage%20de%20la%20levure%20etat%20de%20la%20question.pdf)
- [6] http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich6_1.htm
- [7] <https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9chage>
- [8] <http://chohmann.free.fr/maintenance/16pertes.htm>



2014/2015

Master Sciences et Techniques : Génie des Matériaux et des Procédés

Nom et prénom: JAOUADI Imane

Titre: Evaluation et Optimisation des Pertes de la Levure Sèche

Résumé

Durant ma période de stage au sein de l'atelier de séchage de la levure dans « Lesaffre-Maroc », j'ai effectué une étude concernant la maîtrise des causes conduisant aux pertes de la levure au cours du séchage, par un contrôle des quantités de levure sèche perdues aux cours de différentes opérations, ensuite par élaboration d'un plan d'expérience (plan de criblage des facteurs) on a pu avoir une idée sur les paramètres du séchage ayant une influence significative sur notre étude dans le but d'optimiser le fonctionnement du procédé de séchage et diminuer les quantités de levure sèche perdues dans tout l'atelier.

Les calculs effectués tout au long de la période d'étude, nous ont amené à mettre en évidence des pertes de levure durant le séchage et par la même occasion évaluer leur moyenne qui reste aux alentours de 4%.

Mots clés: Levure, Sacharomyces cereviciae, fermentation, séchage, pertes, modélisation, plan d'expérience, criblage des facteurs.

