

Année Universitaire : 2017-2018

## Filière ingénieurs Industries Agro-Alimentaires



Rapport de stage de fin d'études

---

### Optimisation de production et réduction des pertes au cours de déshydratation et conditionnement de la levure sèche selon la démarche DMAIC

---

Réalisé par l'élève-ingénieur:

**LAMKADMI Yassine**

Encadré par:

- M<sup>r</sup>. ELYAGHMOURI Fouad - Directeur de production (LESAFFRE Maroc)
- M<sup>r</sup>. Mohammed Ali Tahri Jouti - Professeur (FST Fès)

Présenté le 22 Juin 2018 devant le jury composé de:

- Prof. ERRACHIDI Faouzi
- Prof. LHASSANI Abdelhadi
- Prof. Mohammed Ali Tahri Jouti

Stage effectué à : LESAFFRE Maroc

## DEDICACE

**A mes chers parents**, je souhaite que vous soyez fiers par mon parcours académique et par ce travail représentant l'une de mes responsabilités futures d'ingénieur en agroalimentaire.

*Que Dieu vous protège et vous donne longue vie et bonne santé.*

**A mes frères YOUSSEF et ABDERRAZAK et mes sœurs NADIA et KHADIJA**, veuillez trouver dans ce travail le témoignage de mon profond amour. Je vous remercie pour avoir illuminé ma vie.

*Que Dieu vous assiste et vous réserve une vie pleine de succès et de bonheur.*

**A la famille LAMKADMI, à mes amis Hicham ELYAAGOUBI et Lamyae EL ARCHI et à tout le corps professoral de la Filière de Formation en Industries agricoles et alimentaires** pour m'avoir fourni une formation de qualité, m'avoir accompagné tout au long de mes stages et m'avoir permis de faire des rencontres aussi enrichissantes que chaleureuses.

## REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon tuteur **ELYAGHMOURI Fouad**, Directeur de production au sein de LESAFFRE Maroc, pour m'avoir donné l'opportunité de rejoindre la société et pour ses conseils avisés. Les responsabilités et les opportunités qu'il m'a confiées ont été très appréciables.

Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

Mes vifs remerciements vont également au mon encadrant le Professeur **Mohammed Ali Tahri JOUTI** pour l'intérêt et les efforts qu'il a consacrés pour la réalisation de ce travail, pour ses fructueuses directives, ses encouragements prodigués ainsi que ses critiques constructives.

Mes remerciements les plus chaleureux, mes hommages et mon profond respect s'adressent à les membres du jury le Professeur **ERRACHIDI Faouzi** et le Professeur **LHASSANI Abdelhadi** qui ont accepté de bien vouloir évaluer ce travail et l'enrichir par leurs remarques et critiques.

Je transmets également ma gratitude au Comité Directeur, aux adhérents avec qui j'ai travaillé et plus spécialement à Monsieur **Ahmed TIMOUCH**, chef de service de production, pour son aide et sa disponibilité.

J'adresse enfin mes remerciements au personnel du LESAFFRE Maroc pour sa gentillesse et son soutien et aussi toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

## Liste des abréviations

**DMAIC:** Define, Measure, Analyze, Improve and Control

**MD:** Mélasse diluée

**MDC:** Mélasse diluée et clarifiée

**MDCS:** Mélasse diluée, clarifiée et stérilisée

**SIPOC:** Supplier Input Process Output Customer

**TRS:** Le Taux de Rendement Synthétique

**AMDEC:** Analyse des modes de défaillance et de leurs effets et de leur criticité

**LS:** Levure sèche

**P:** Poussière

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Organigramme de la société.....	5
<b>Figure 2:</b> levure <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> .....	6
<b>Figure 3:</b> Procédé de fabrication de la levure.....	11
<b>Figure 4:</b> Diagramme de SIPOC.....	17
<b>Figure 5:</b> Processus de fabrication avant séchage.....	20
<b>Figure 6:</b> Causes des pertes avant séchage.....	21
<b>Figure 7:</b> Processus de séchage de la levure.....	21
<b>Figure 8:</b> Causes des pertes au cours de séchage.....	22
<b>Figure 9:</b> Processus de conditionnement de la levure sèche.....	23
<b>Figure 10:</b> Causes des pertes au cours de conditionnement.....	24
<b>Figure 11:</b> Diagramme Pareto des causes de chute de TRS.....	25
<b>Figure 12:</b> Diagramme Ishikawa des pertes avant séchage.....	26
<b>Figure 13:</b> Diagramme Pareto des causes de perte au cours de conditionnement.....	27
<b>Figure 14:</b> Analyse microbiologique des coliformes de la levure.....	29
<b>Figure 15:</b> La force de panification de la levure et la poussière.....	30
<b>Figure 16:</b> Comparaison entre la force de panification des proportions 85/15 et 75/25.....	31
<b>Figure 17:</b> Les effets des facteurs sur la quantité de poussière produite.....	32
<b>Figure 18:</b> Diagramme Pareto des effets des facteurs du plan d'expérience.....	32
<b>Figure 19:</b> Présentation 3D des effets des facteurs sur la quantité de poussière produite.....	33
<b>Figure 20:</b> Test de Capabilité de la machine ICA1.....	35
<b>Figure 21:</b> Carte de contrôle Xbar et R de la machine ICA1.....	36
<b>Figure 22:</b> Test de capabilité pour la densité de la levure.....	37

<b>Figure 23:</b> Carte Xbar et R pour la densité de la levure.....	37
<b>Figure 24:</b> Test de capabilité de la machine ICA pour la levure de la France.....	38
<b>Figure 25:</b> Carte Xbar et R pour la levure de la France.....	38
<b>Figure 26:</b> Test de capabilité pour la densité de la levure Française.....	39
<b>Figure 27:</b> Diagramme de Pareto AMDEC.....	44

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Charte de projet.....	18
<b>Tableau 2:</b> Pertes en gâteau avant séchage.....	20
<b>Tableau 3:</b> Perte en levure sèche au cours de séchage.....	22
<b>Tableau 4:</b> Données de suivi du TRS de la machine ICA1.....	25
<b>Tableau 5:</b> Niveaux choisis par facteur.....	32
<b>Tableau 6:</b> Mesures des poids de produit fini de levure sèche 125g.....	35
<b>Tableau 7:</b> Mesures de densité de la levure sèche.....	37
<b>Tableau 8:</b> Grille de l'échelle de gravité.....	42
<b>Tableau 9:</b> Grille de l'échelle de fréquence d'apparition.....	42
<b>Tableau 10:</b> Grille de l'échelle de non détection.....	42
<b>Tableau 11:</b> Analyse AMDEC de la machine ICA1.....	43
<b>Tableau 12:</b> Données de diagramme de Pareto.....	43

# Liste des annexes

**Annexe 1:** Pertes de gâteau avant séchage

**Annexe 2:** Pertes en levure sèche au cours de séchage

**Annexe 3:** Causes des pertes au cours de conditionnement

**Annexe 4 :** Décomposition du TRS selon la norme AFNOR NF E-60-182 (2002)

**Annexe 5:** Fiche de suivi de TRS de la machine ICA 1

**Annexe 6:** Résultats de suivi du TRS

**Annexe 7:** Causes de chute du TRS

**Annexe 8:** Données pour le diagramme de Pareto du TRS

**Annexe 9:** Diagrammes Ishikawa au cours de séchage et conditionnement

**Annexe 10:** Analyse microbiologique de la levure sèche et la poussière

**Annexe 11:** Force de panification de la levure et la poussière

**Annexe 12:** Force de panification du mélange de la levure et la poussière

**Annexe 13:** Tableau des essais réaliser de plan d'expérience

**Annexe 14:** Mesures de poids de produit fini de levure sèche 125 g

**Annexe 15:** Etude de capabilité de la machine ICA2

**Annexe 16:** Etude de capabilité de la machine ICA3

**Annexe 17:** Mesures de la densité de levure sèche

**Annexe 18:** Mesures de poids de produit fini de levure sèche 15Kg

**Annexe 19:** Balance proposée pour éliminer les pertes de poids

**Annexe 20:** Analyse AMDEC de la machine de conditionnement ICA1

**Annexe 21:** Carte de contrôle de poids de produit fini

# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Partie I: Revue bibliographique</b> .....	2
1- Description de la société.....	3
1.1- Activités du groupe.....	3
1.2- Gamme de produits.....	4
1.3- Organigramme de la société.....	5
2- Procédé de fabrication de la levure .....	6
2.1- Généralité sur la levure .....	6
2.2- Le procédé de fabrication de la levure.....	6
2.2.1- Préparation des éléments nutritifs nécessaires à la fermentation .....	7
2.2.2- A l'échelle du laboratoire.....	8
2.2.3- A l'échelle industrielle.....	8
<b>Partie 2: Matériel et méthodes</b> .....	12
1- Introduction .....	13
2- La méthode DMAIC .....	13
2.1- Diagramme SIPOC .....	14
2.2- Diagramme d'Ishikawa.....	14
2.3- Diagramme de PARETO .....	14
2.4- AMDEC.....	15
2.5- TRS.....	15
<b>Partie 3: Résultats et discussions</b> .....	16
I- Phase « Définir ».....	17
1- Objectifs et étapes de la phase .....	17
1.1- Définition du projet.....	17
1.2- Périmètre du projet .....	17
1.3- Charte de projet .....	18
II- Phase « Mesurer » .....	19
1- Démarche adoptée pour calculer les pertes.....	19
2- Description des trois phases de fabrication de la levure sèche .....	19
2.1- Phase avant séchage.....	19



2.2-	Phase au cours de séchage.....	21
2.3-	Phase après séchage.....	23
III-	Phase « Analyser ».....	26
1-	Diagramme Ishikawa des pertes avant séchage.....	26
2-	Diagramme Ishikawa des pertes pendant le séchage.....	27
3-	Diagramme Ishikawa des pertes après le séchage.....	27
IV-	Phase « Améliorer ».....	28
1-	Solutions au cours de séchage.....	28
2-	Solutions au cours de séchage.....	29
3-	Solutions au cours de séchage.....	34
4-	Analyse AMDEC de la ligne d'emballage ICA1.....	40
V-	Phase « Contrôler ».....	44
VI-	Gain estimé.....	45
	Conclusion.....	46
	Références bibliographiques.....	47
	Annexes.....	48

# INTRODUCTION

L'acquisition d'un avantage concurrentiel est conditionnée par la réactivité de l'entreprise, sa capacité à relever le défi de la compétitivité. Par conséquent, elle ne peut se permettre ou tolérer un gaspillage et doit par contre bien gérer son budget et optimiser ses dépenses pour réussir à surmonter cette rude épreuve. Une gestion efficace du système de production constitue un point crucial pour toute entreprise industrielle afin d'optimiser ses bénéfices.

La qualité totale du produit, la maîtrise des coûts et l'amélioration de la performance industrielle sont des facteurs primordiaux pour assurer la pérennité et l'excellence de n'importe quelle entreprise face à ces concurrents.

En tant qu'entreprise industrielle leader dans son secteur, Lesaffre Maroc cherche toujours à augmenter sa productivité et veille à mieux gérer ses coûts à travers l'élimination des pertes de production qui constituent le problème majeur à maîtriser. Elle doit donc se focaliser sur l'ajustement de son fonctionnement interne en maîtrisant le processus de production et en chassant tous les types de gaspillages qui jalonnent la chaîne de valeur.

Pour bien cerner le sujet et limiter son périmètre, nous avons adopté la démarche DMAIC. Cet outil permet d'identifier les causes des pertes, de les évaluer et de mettre en place les actions les plus appropriées pour les limiter.

Ce rapport comprenant les détails de cette étude est constitué de trois chapitres qui seront présentés comme suit :

- Le premier chapitre regroupe les données sur le contexte général du projet.
- Le deuxième chapitre est dédié à la présentation des outils de gestion utilisés le long de la réalisation du projet.
- Le troisième chapitre, décrira le cas pratique de réduction des pertes au cours de la déshydratation et conditionnement de la levure sèche, en appliquant la démarche DMAIC.

# **Partie 1: Revue bibliographique**

## **1- Description de la société**

La société LESAFFRE Maroc est l'une des principales filiales du groupe agroalimentaire LESAFFRE, leader mondial en matière de production de la levure de panification. C'est un groupe familial français indépendant, il est présent sur les cinq continents et compte plus de 7000 collaborateurs. Son siège est situé au quartier industriel SIDI BRAHIM à Fès. L'entreprise compte, en plus du site de production à Fès, un Baking Center à Casablanca. Celui-ci constitue une vitrine des produits LESAFFRE où les boulangers peuvent suivre des formations et voir des démonstrations afin de consolider leurs connaissances et améliorer leur savoir faire. La politique commerciale de la société LESAFFRE se base sur la qualité. Bénéficiant de l'expertise et du savoir faire du groupe LESAFFRE, LESAFFRE Maroc possède un laboratoire d'analyse qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et bactériologiques. La qualité des levures est ainsi sans cesse évaluée afin d'optimiser leur performance: force fermentative, pureté, stabilité et résistance par rapport au contexte climatique.

L'entreprise bénéficie d'une reconnaissance à l'échelle mondiale puisqu'elle a reçu deux trophées:

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

### **1.1- Activités du groupe**

LESAFFRE conçoit et propose des solutions de panification ainsi qu'une large gamme de levures et d'améliorants. L'entreprise répond également à des demandes spécifiques de l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique, proposant ainsi des produits obtenus par fermentation et bioconversion utilisés pour leurs propriétés aromatisantes et nutritionnelles. Concernant la fermentation et la distillerie, elle sélectionne la bonne souche de levure qui permettra d'obtenir la qualité et les caractéristiques souhaitées dans la fermentation alcoolique.

## **1.2- Gamme de produits**

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

Ainsi que la levure sèche conditionnée en sachets. Ce dernier type compte deux produits :

- ❖ La SPI : levure sèche instantanée sous forme de petits bâtons fissurés et emballés sous vide dans des sachets de 500g, 125g et 10g.
- ❖ La SPH : levure sèche active ou à réhydratation, emballée sous air dans des sachets de 50g et 500g.

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

### 1.3- Organigramme de la société

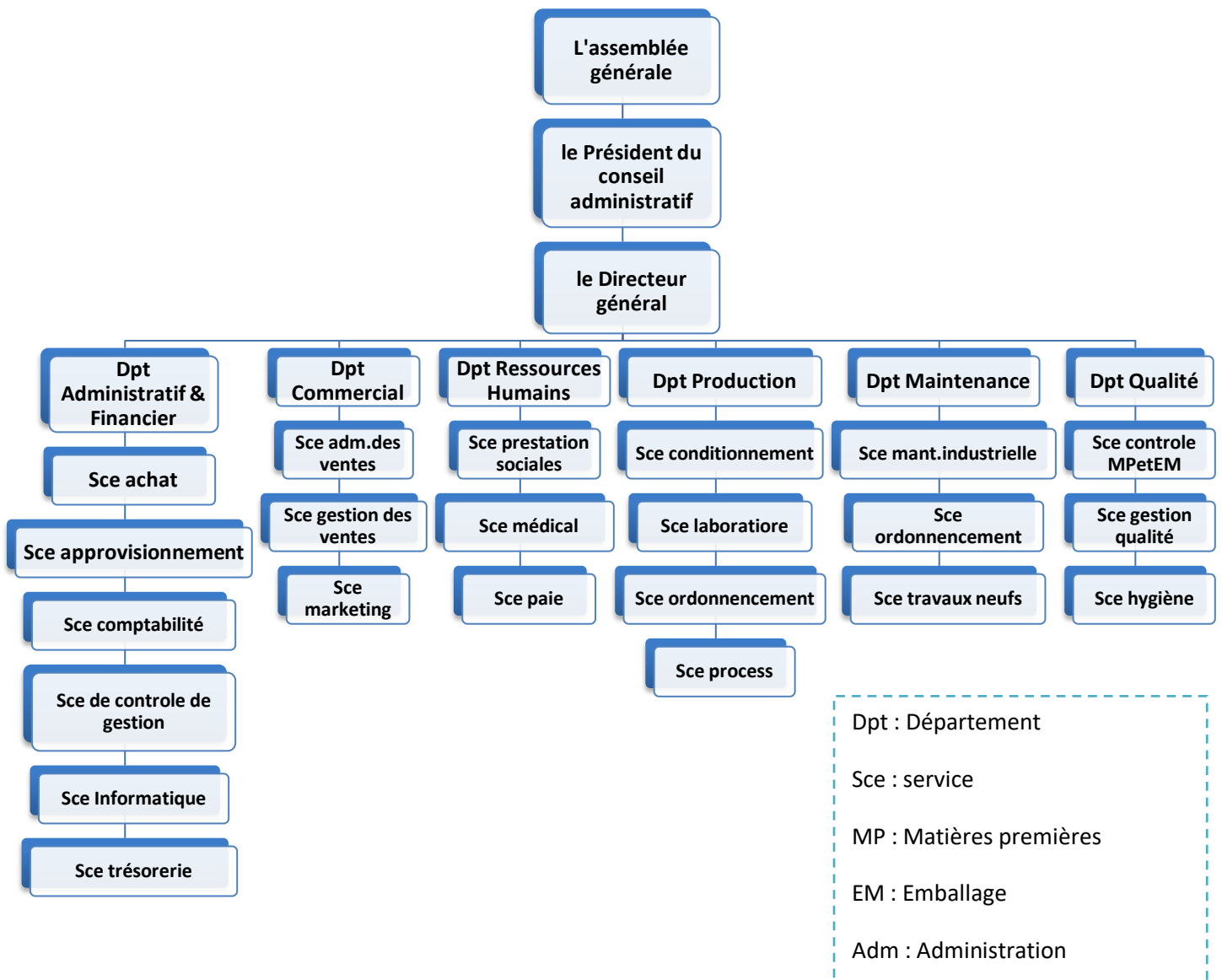


Figure 1: Organigramme de la société

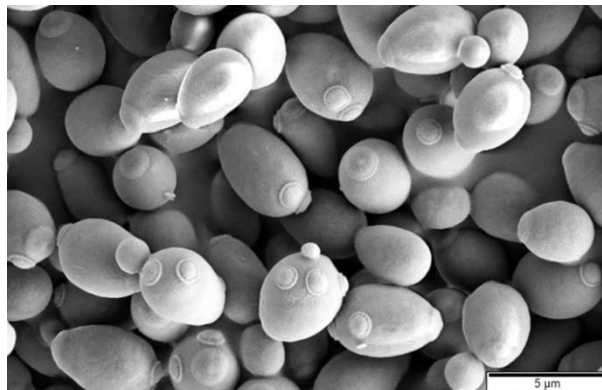
## 2- Procédé de fabrication de la levure

### 2.1- Généralité sur la levure

Les levures sont des micro-organismes eucaryotes, non photosynthétiques, chimio-hétérotrophes (qui sent leur énergie dans la dégradation de substances organiques variées), champignons à thalle unicellulaire immobiles. Le thalle de la levure est l'appareil végétatif le plus simple, sans racine ni tige, sans rameau feuillu et non chlorophyllien [1, 2, 3, 4, 5].

Les cellules sont généralement ovoïdes ou sphériques, parfois cylindriques, allongées, apiculées ou de formes plus spécifiques : ogivales, en forme de bouteille, triangulaires ou en forme de citron [2,6,7].

Leur taille est d'environ 20  $\mu\text{m}$  en longueur et de 1 à 10  $\mu\text{m}$  en largeur [8]. Les levures sont de grande taille par rapport aux bactéries ce qui rend possible l'examen direct [3].



**Figure 2:** levure *Saccharomyces Cerevisiae* [9]

### 2.2- Procédé de fabrication de la levure

La production de levures de boulangerie commerciale s'effectue à partir de deux 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 en 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.

### **2.2.1- 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 :

##### **❖ 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<sup>3</sup>, ce mélange est ensuite deux fois dilué par de l'eau chaude (environ 65°C).

##### **❖ 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.

##### **❖ 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.



## **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.

### **2.2.2- A l'échelle du 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. C'est à partir de cette souche pure reçue du laboratoire central (France), 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'apport de l'O<sub>2</sub> à 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<sub>2</sub>).

### **2.2.3- A l'échelle industrielle**

#### **❖ 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.

#### **❖ 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 16 heures et on obtient une grande population de levure sous forme liquide qu'on appelle « Le mout ».

#### ❖ **Séparation de la levure mère:**

Dès que la consommation total de la nutrition la fermentation touche à 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:**

Selon le type de produit désiré on distingue deux types:

- **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 :** qui est sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ trois heures pour une qualité de 400kg à 500kg.

**La levure sèche instantanée :** qui est 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 ci-dessous, résume le procédé de fabrication de la levure boulangère:

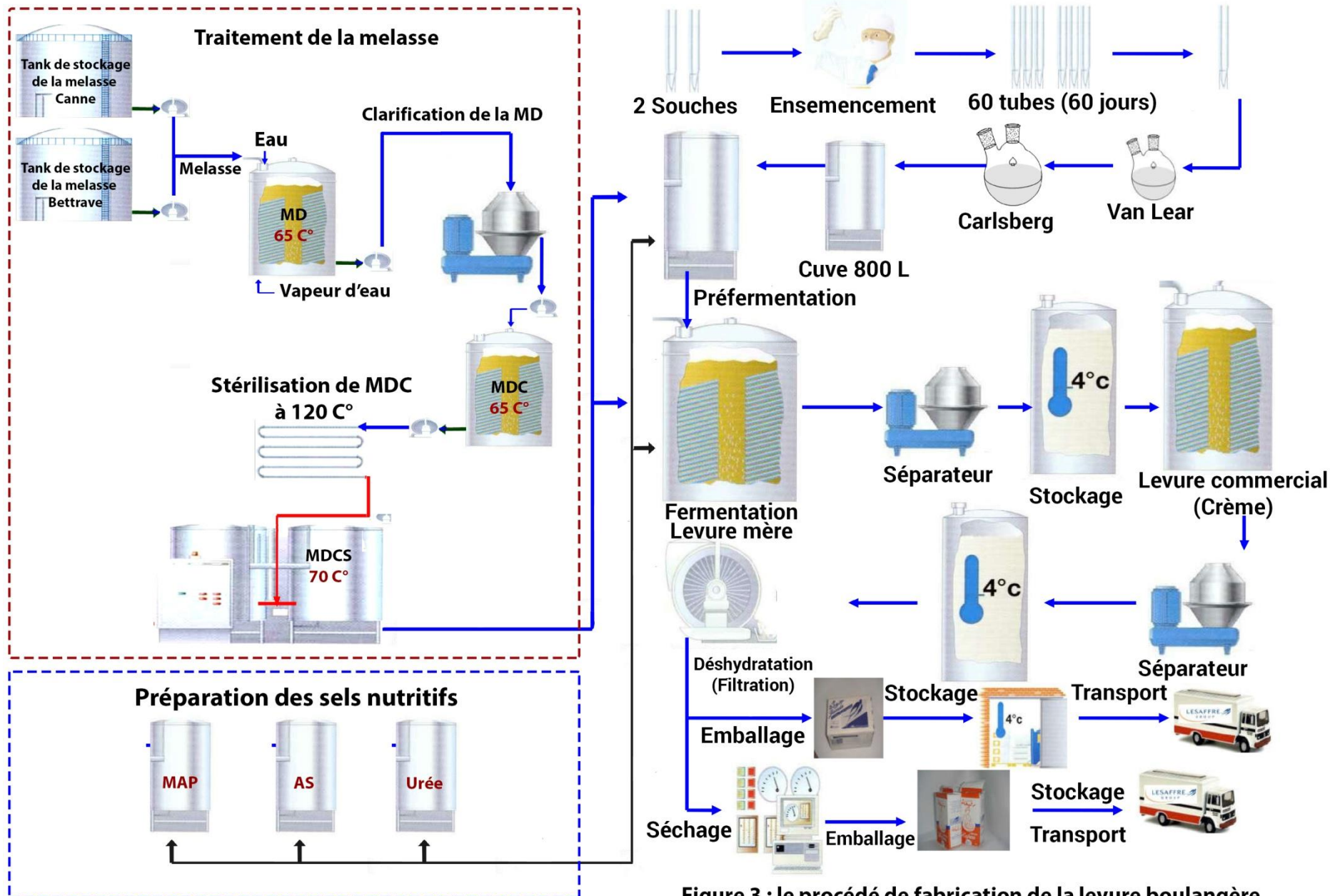


Figure 3 : le procédé de fabrication de la levure boulangère

## **Partie 2: Matériel et méthodes**

## 1- Introduction

Réussir à améliorer la qualité, la productivité et à inscrire durablement son entreprise dans une réelle dynamique d'amélioration continue, ne peut pas être le fruit d'un hasard. Pour atteindre ces objectifs il faut utiliser des méthodes et des outils adaptés à la situation, à l'objectif recherché et à la mobilisation des ressources de l'entreprise.

Pour chaque situation, il existe un ou plusieurs outils facilitant l'atteinte des ces objectifs, car ils permettent de canaliser les efforts de tous afin d'éviter toute dispersion contre-productive. Pour réussir à mettre en œuvre des actions d'amélioration pertinentes, nous avons utilisé plusieurs outils dont nous présenterons dans ce chapitre en commençant par la méthode DMAIC, ainsi que les outils tel que le SIPOC, le diagramme Ishikawa, le diagramme Pareto et l'AMDEC.

## 2- La méthode DMAIC

La démarche DMAIC est une composante de base de la méthodologie Six Sigma. C'est une méthode de management se référant à une stratégie fondée sur des données de qualité et d'efficacité afin d'améliorer des processus existants au sein d'une entreprise. DMAIC représente un acronyme pour cinq phases interconnectés : Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et Contrôler (en anglais : Define Measure Analyze Improve Control), chaque étape est nécessaire pour assurer les meilleurs résultats possibles.

**a. Définir** : définition du problème, du périmètre étudié et des objectifs associés (en termes de performance, attente utilisateurs...).

**b. Mesurer** : choix des variables qui doivent être analysées et des instruments de recueil, mise en œuvre de la collecte des données.

**c. Analyser** : appréciation des écarts entre la situation actuelle et les objectifs fixés.

Identification des causes et des leviers actionnables pour y remédier.

**d. Améliorer** : inventaire, classement et choix des solutions. Mise en place des actions retenues.

**e. Contrôler** : définition d'un plan de contrôle de la solution mise en place, choix d'indicateurs pertinents. Le but est de se donner les moyens de corriger le plan si les résultats souhaités ne sont pas au rendez-vous.

Cette méthode utilise sur de nombreux outils comme : les "cinq pourquoi", le diagramme Ishikawa, le diagramme Pareto, la méthode des cinq S, Kaizen.

## **2.1- Diagramme SIPOC**

Le sigle SIPOC correspond aux cinq éléments permettant d'analyser la relation client fournisseur :

- **Supplier(sous-traitant ou fournisseur) :** la personne ou le groupe de personnes qui fournit l'information, le produit, ou toute autre ressource indispensable au bon fonctionnement du processus.
- **Input(entrées) :** ce qui est apporté par le sous-traitant ou le fournisseur .
- **Processus:** ce qui concerne le processus, c'est-à-dire la boîte noire.
- **Output(sorties) :** le produit final du processus.
- **Customer(client) :** la personne, le groupe de personnes ou le processus qui reçoit le produit final.

Le modèle SIPOC permet de clarifier correctement le périmètre des processus. Il identifie un ensemble d'éléments (les acteurs, les fournisseurs, les clients, les équipes). Cet outil est utilisé pour le management du changement et le management de projet.

## **2.2- Diagramme d'Ishikawa**

Le diagramme d'Ishikawa, ou plus communément appelé « arête de poisson », est un modèle permettant d'identifier les causes possibles d'un effet perçu et, par conséquent, de mettre en place les solutions remédiant aux causes relevées.

## **2.3- Diagramme de PARETO**

### **• Objectif d'utilisation:**

Le diagramme de PARETO est un moyen simple pour classer les phénomènes par ordre d'importance. Ce diagramme et son utilisations ont aussi connus sous le nom de « Règle des 20/80 » Ou « Méthode de ABC ».

Les objectifs sont :

- ✓ Faire apparaître les causes essentielles d'un phénomène.
- ✓ Hiérarchiser les causes d'un phénomène.
- ✓ Evaluer les effets d'une solution.
- ✓ Mieux cibler les actions à mettre en œuvre.

• **Méthodologie – Démarche :**

1. Etablir les listes des données.
2. Classer les valeurs du critère étudié en ordre décroissantes.
3. Calculer le cumule de ces valeurs.
4. Calculer, pour chaque cumule le pourcentage.
5. Représenter le graphique des pourcentages cumulés.

## **2.4- AMDEC**

Il s'agit d'un process régulier qui a pour objectif d'identifier différentes défaillances, et qui permet de les traiter avant qu'elles n'arrivent, dans le but de les supprimer en réduisant les risques associés. Il s'agit d'une méthode d'évaluation fondée sur les défaillances d'un process, d'un produit ou d'un service et qui permet d'identifier le niveau de fiabilité dudit process, produit ou service.

## **2.5- TRS**

Le Taux de Rendement Synthétique, comme son nom l'indique, est un indicateur destiné à la mesure de rendement des équipements selon trois composantes :

- La disponibilité de l'équipement
- La performance de celui-ci, en régime normal
- La qualité qu'il est capable de fournir

Chacune de ces composantes pouvant s'exprimer par un taux propre : Taux de Disponibilité, Taux de Performance et Taux de Qualité.

Le TRS correspond donc à la multiplication de ces trois taux. Chacun des trois taux étant compris entre 0 et 100%, le TRS doit donc être compris entre 0 et 100%.

La différence entre le 100% de performance et le TRS réel s'explique par les pertes de performances de l'équipement. Le TRS permet donc de décomposer et de mettre en évidence les pertes de production en différentes catégories sur lesquelles un plan d'action est mis en place.



## **Partie 3: Résultats et discussions**

## I- Phase « Définir »

### 1- Objectifs et étapes de la phase

Après avoir entériné la décision de réaliser le projet, il faut à présent en dessiner plus précisément ces contours, connaître ces différentes limites, cette première étape se compose en trois parties qui sont : Définition du projet; Le périmètre du projet (SIPOC); Rédaction de la charte de projet.

#### 1.1- Définition du projet

Au cours du processus de fabrication il y a des pertes de la levure sèche, cette perte a des répercussions sur la productivité et l'efficacité de la performance dans les lignes de conditionnement. Pour ce faire, nous avons, d'une part, appliqué la démarche DMAIC pour estimer les pertes en matière et améliorer les performances de fabrication, et d'autre part, élaboré des standards pour réduire et stabiliser ces pertes.

#### 1.2- périmètre du projet

Pour clarifier le périmètre du projet nous avons utilisé le diagramme de SIPOC suivant:

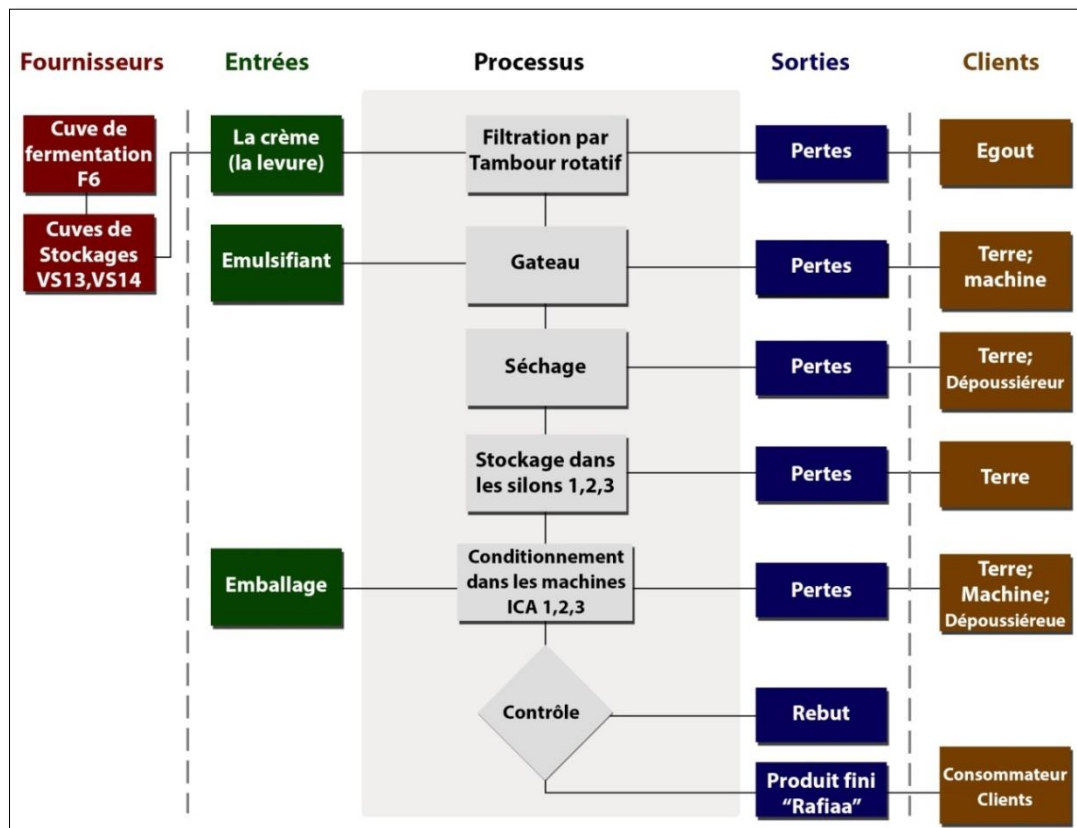


Figure 4: le diagramme de SIPOC

### 1.3- Charte du projet

A l'aide de la charte de projet, nous avons essayé de matérialiser l'ensemble des éléments de la phase « Définir » afin de poser des bases solides pour la suite du projet.

Cette charte engage le groupe de travail tant en termes de délais qu'en matière de résultats attendus, sur sa base se déroulera notre projet, que nous pourrions modifier si son évolution l'exige.

**Tableau 1: Charte du projet**

Charte du projet																
<b>Nom du Projet</b>	Optimisation de production et réduction des Pertes en produit															
<b>Produit concerné</b>	La levure sèche															
<b>Equipe de travail</b>	M. Fouad EL YAGHMOURI								Directeur de production							
	M. Yassine LAMKADMI								Stagiaire							
	M. Ahmed TIMOUCH								Chef de production							
<b>Date de début</b>	21 / 01 / 2018															
<b>Date de Fin</b>	21 / 05 / 2018															
<b>Présentation du projet</b>	Projet Industriel qui s'inscrit dans le cadre de projet de fin d'étude, et qui vise particulièrement l'optimisation et réduction des pertes de la levure sèche.															
<b>Objectifs du Projet</b>	Optimiser et réduire les pertes en levure sèche															
<b>Périmètre et équipe du Projet</b>	Le projet aura lieu principalement au sein des salles de la déshydratation et de conditionnement, avec une équipe de travail constituée de directeur production, les conducteurs des machines, et moi-même.															
<b>Budget Nécessaire</b>	Non estimé à l'état actuel															
<b>Contraintes du Projet</b>	Les contraintes que le projet est susceptible de rencontrer sont : - L'impossibilité d'assister à la totalité de l'opération de séchage et de conditionnement, et visualiser toutes les pertes, vu que la production se déroule 24h/24h. - L'insuffisance de temps pour réaliser une étape de contrôle. - Le non respect des délais de réalisation de chaque étape.															
<b>Planning du projet</b>	<b>Semaines</b>															
<b>Durée de chaque étape de la démarche DMAIC</b>		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	<b>D</b>															
	<b>M</b>															
	<b>A</b>															
	<b>I</b>															
<b>C</b>																
<b>Résultats attendus</b>	Réduction permanente des pertes en produit (levure sèche)															

## **II- Phase « Mesurer »**

L'objectif de la phase *Mesurer* consiste à collecter toutes les informations de la situation courante, pour obtenir les données de base sur la performance actuelle du procédé. Cette étape est essentielle à l'application de la méthode DMAIC puisque sa particularité est d'être basée uniquement sur des données réelles. Par la suite, les relations de cause à effet basées sur les données relevées seront exposées dans la phase « Analyser ».

Au cours de cette phase, nous avons rassemblé les informations sur les éléments et les lignes de base de l'état actuel, ainsi nous avons déterminé les pertes en produit qui résultent de suivi.

### **1- Démarche adoptée pour calculer les pertes**

Le calcul des pertes a été réalisé sur 3 étapes: étape avant séchage, au cours de séchage et la dernière étape est l'étape de conditionnement ou après séchage.

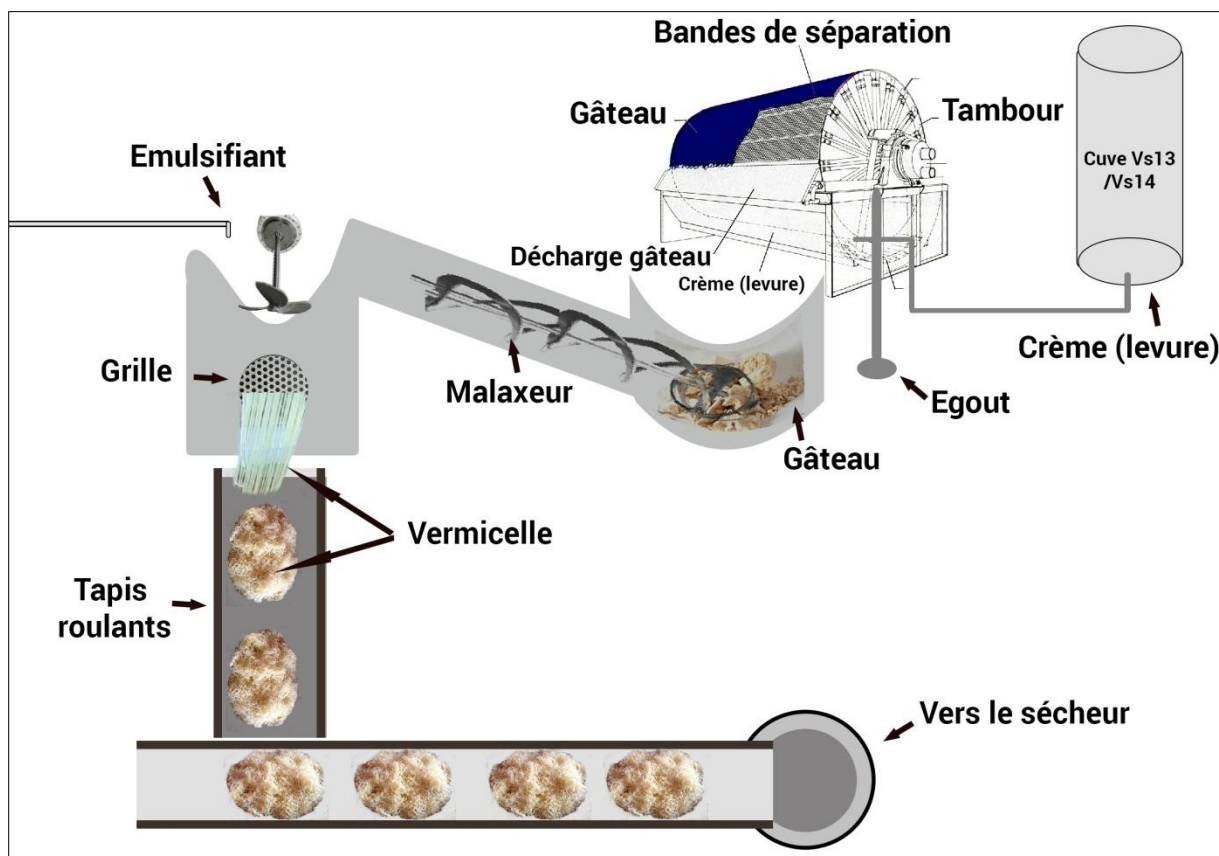
Au cours du suivi, nous avons travaillé 6 heures par jour pendant un mois, les pertes sont calculées d'après la différence entre la consommation réelle déclarée dans des fiches fournies par « le process » et la consommation théorique. En outre la somme de pertes observées lors du suivi, est notée avec les causes de chaque perte. La méthode de suivi adopté consiste à consulter les lignes de séchage et de conditionnement.

Après avoir quantifié les pertes durant le suivi, nous avons pu déterminer le pourcentage de chaque type des pertes par rapport à la somme des pertes engendrées au niveau de la fabrication de la levure sèche.

## **2- Description des trois étapes de fabrication de la levure sèche**

### **2.1- Etape avant séchage**

Après la fermentation, la crème obtenue par la séparation est stockée dans des cuves de stockage à une température de 4°C, puis cette crème va se transformer en gâteau par élimination d'une proportion d'eau à l'aide d'un tambour rotatif sous vide, le schéma suivant présente les étapes pour obtenir le gâteau.



**Figure 5:** processus de fabrication avant séchage

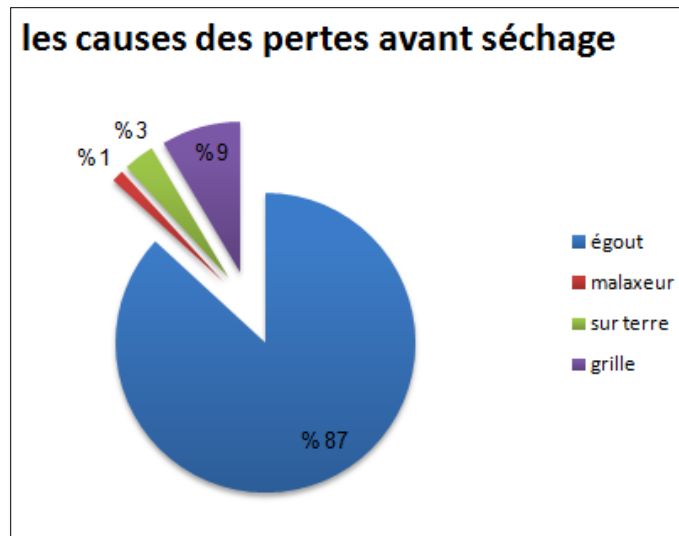
Au cours de cette phase nous avons calculé les quantités des pertes en gâteau pour 15 crèmes avec ses causes et nous avons trouvé les résultats suivants: **(Extrait annexe 1)**

**Tableau 2:** les pertes en gâteau avant séchage

Date	N° de la crème	lieu de perte en Kg				Total de perte par crème en Kg
		égout	malaxeur	sur terre	grille	
2018-02-21	210	376	4	14	30	424
2018-02-22	226	448,7	6	15	35	504,7
2018-02-23	230	199,67	3	12	32	246,67

D'après les résultats nous avons trouvé que les pertes pendant cette phase sont comprises entre 202 Kg (min) et 504.7 Kg (max), dont la moyenne est 356 Kg/crème et les pourcentages des pertes sont entre 0.97% et 2.44%.

Les causes de ces pertes sont présentées dans le graphique à secteur suivant:

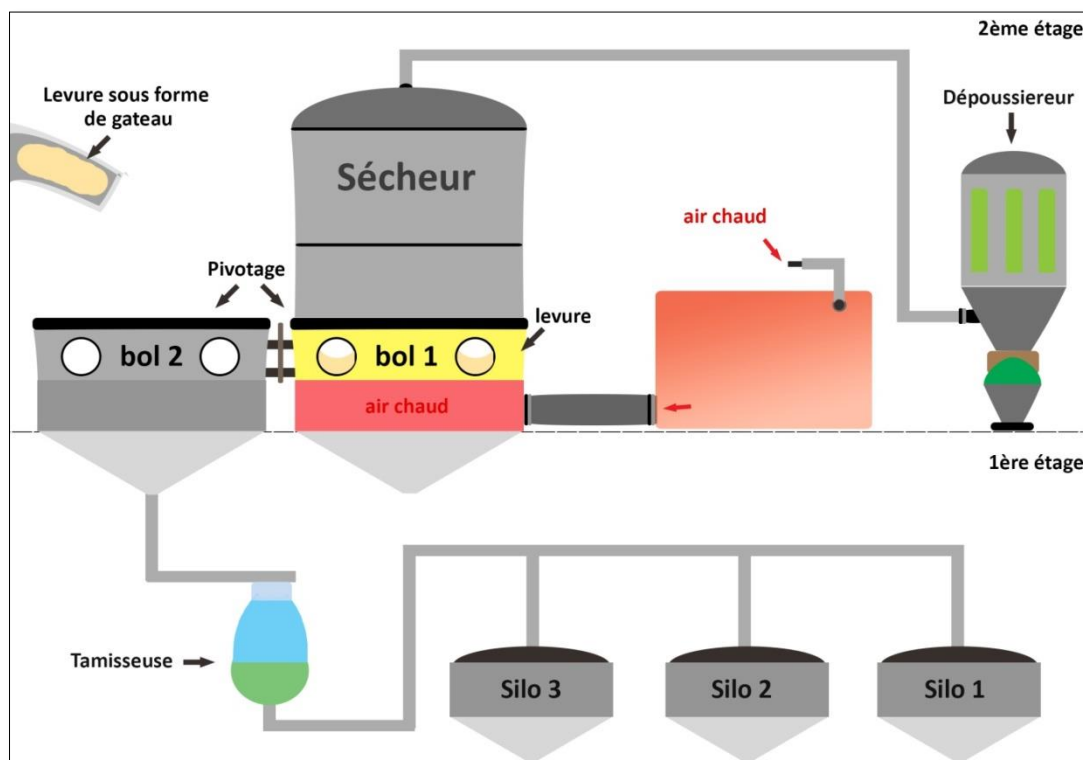


**Figure 6:** Causes des pertes avant séchage

D'après le secteur nous constatons que la majorité des pertes provient de l'égout avec un pourcentage de 87% et de la grille 9%.

## 2.2- Etape au cours du séchage:

Après avoir transformé la crème en gâteau et vermicelle nous allons passer à l'étape de séchage dans un tambour à air fluidisé, le schéma suivant explique l'étape de séchage:



**Figure 7:** Processus de séchage de la levure

Les résultats du suivi des pertes au cours de séchage sont présentés dans le tableau suivant:

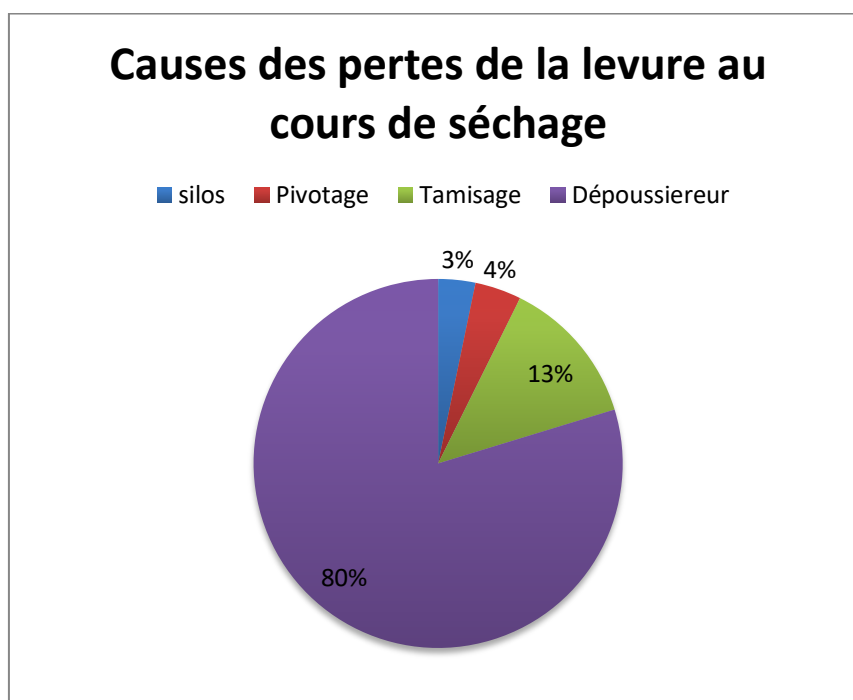
**(Extrait annexe 2)**

**Tableau 3:** Perte en levure sèche au cours de séchage

N° de la crème	Pertes en Kg				Total des pertes par crème
	silos	Pivotage	Tamissage	Dépoussierneur	
210	9,30	10,5	12,92	93,69	126,41
226	8,50	9,7	41,53	182,15	241,88
230	9,00	10,88	35,55	232,85	288,28

D'après les résultats nous avons trouvé que les pertes pendant le séchage sont comprises entre 126.41 Kg (min) et 359.85 Kg (max), dont la moyenne est 267.93 Kg/crème et les pourcentages des pertes sont entre 2.26% et 4.58%.

Les causes de ces pertes sont présentées dans le graphique à secteur suivant:

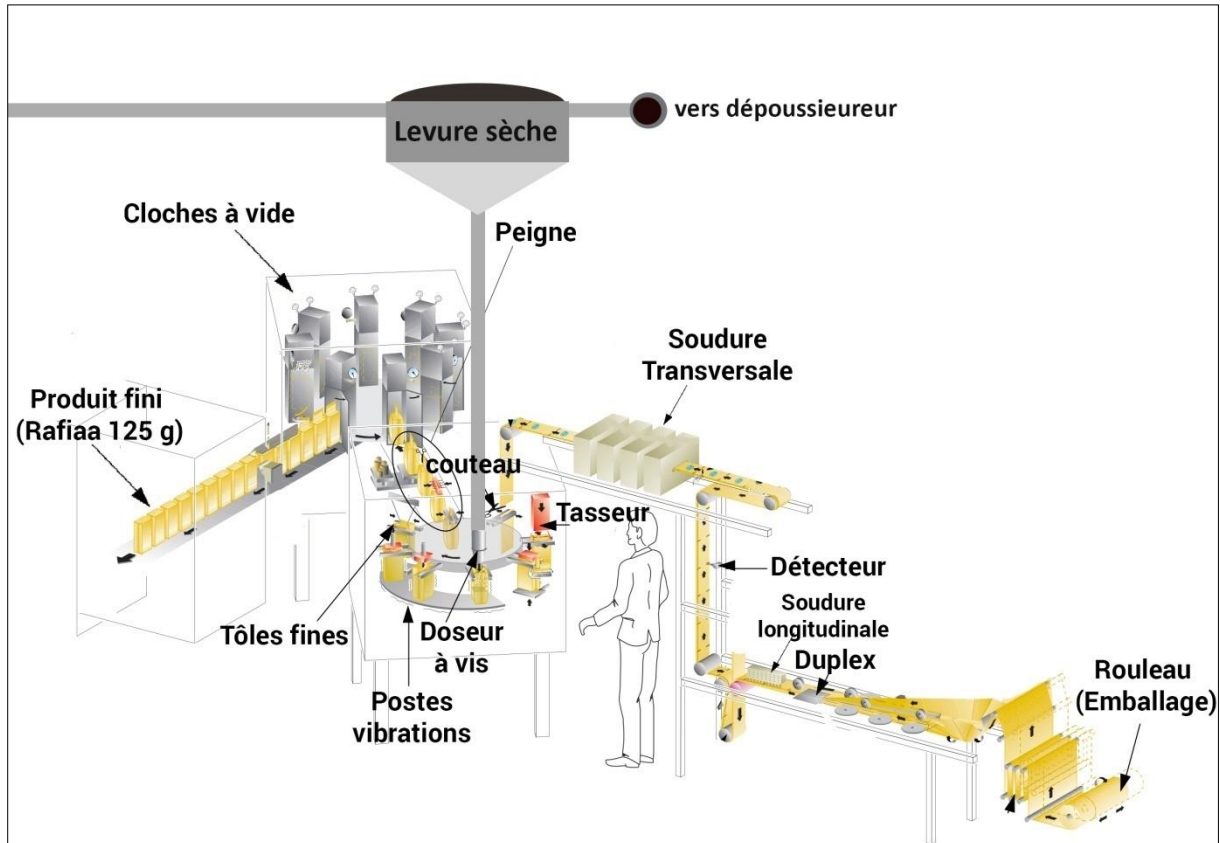


**Figure 8:** causes des pertes au cours de séchage

D'après le secteur nous constatons que la majorité des pertes provient du dépoussiéreur avec un pourcentage de 80% et du tamissage avec 9%.

### 2.3- Etape après séchage:

Après avoir obtenu la levure sèche, nous passons à la dernière étape, c'est l'étape de conditionnement, nous mettons la levure sèche dans leurs emballages à l'aide des machines conditionneuses dont le schéma suivant explique:



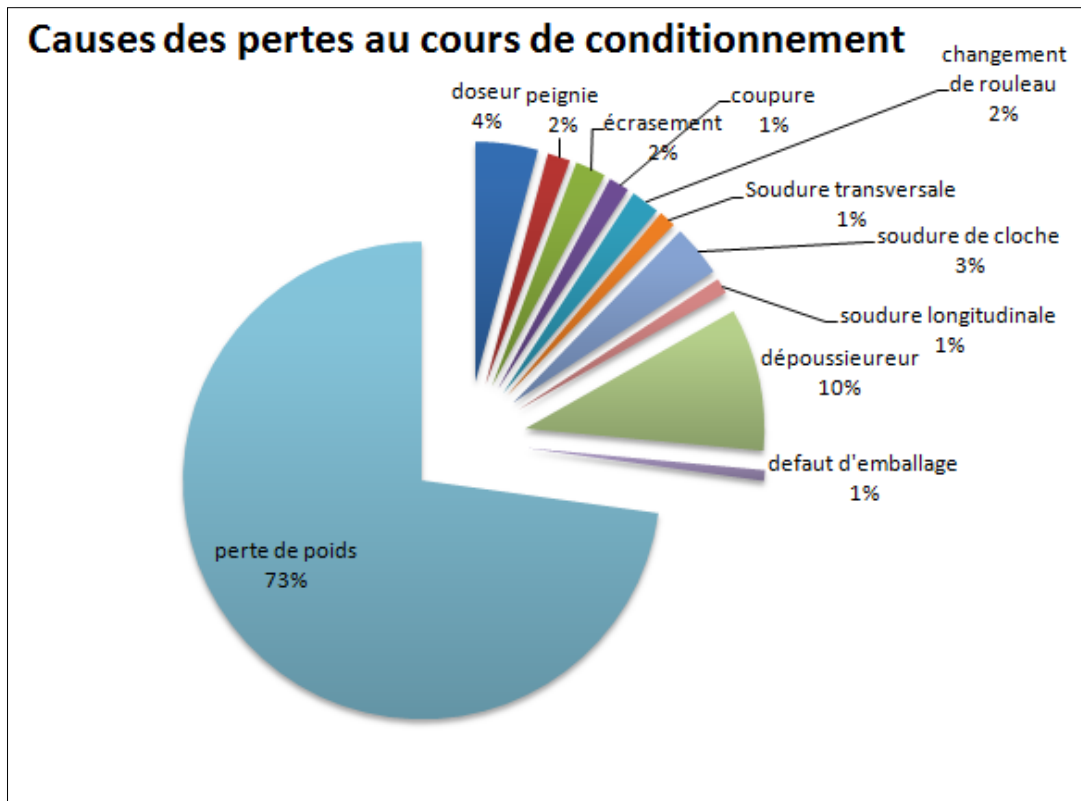
**Figure 9:** Processus de conditionnement de la levure sèche

Les résultats de suivi des pertes sont présentés dans le tableau (**Annexe 3**)

D'après les résultats nous avons trouvé que les pertes pendant le conditionnement sont comprises entre 95.36 Kg (min) et 139.48 Kg (max), dont la moyenne est 116 Kg de la levure sèche/jour et les pourcentages des pertes sont entre 1.25% et 2.34%.

Les causes de ces pertes sont présentées dans le graphique à secteur suivant:





**Figure 10:** Causes des pertes au cours du conditionnement

D'après le secteur nous constatons que la majorité des pertes provient de la perte de poids avec un pourcentage de 73% et du dépoussiéreur avec 10%.

#### **a- Calcul de TRS de la machine ICA1:**

L'atelier de conditionnement de levure sèche comporte trois lignes d'emballages ICA1, ICA2 et ICA3, comme la machine ICA1 la plus ancienne nous avons choisi de travailler sur elle.

Selon le modèle AFNOR, Le TRS se calcul via la multiplication de 3 facteurs qui sont le Taux de disponibilité (TD), le Taux de Performance (TP) et le Taux Qualité (TQ). (**Annexe 4**)

$$TRS(\%) = TD \times TP \times TQ$$

Avec :

**TD** = Temps de fonctionnement (Tf) / Temps requis (Tr)

**TP** = Temps net (Tn) / Temps de fonctionnement (Tf)

**TQ** = Temps utile (Tu) / Temps net (Tn)

- **Suivi journalier du TRS de la machine de conditionnement ICA1:**

Pour calculer le TRS nous avons mis en place des fiches journalières d'enregistrement des temps d'arrêt sur une durée d'une semaine, de 8h à 2h chaque jour (durée de 6h), en notant pour chaque arrêt la cause et le temps de ce dernier. (Annexe 5)

- **Résultat de suivi:**

Les données obtenues à partir de suivi que nous avons réalisé pendant une durée d'une semaine, vont servir pour calculer le TRS, le taux de disponibilité TD, le taux de performance TP et le taux de qualité TQ.

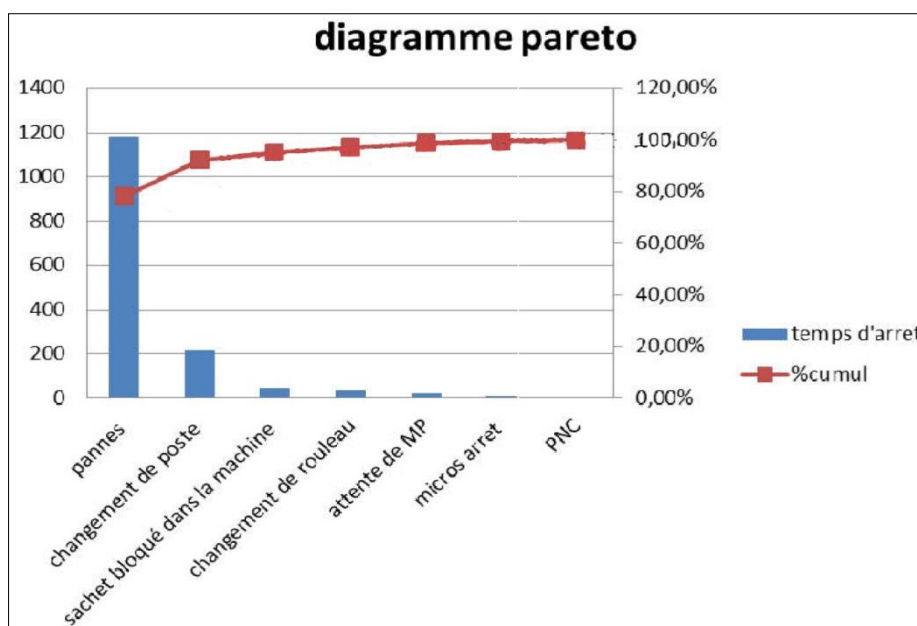
**Tableau 4:** Données de suivi du TRS de la machine ICA1 (Extrait annexe 6)

Date	Temps d'ouverture	Temps requis Tr (mn)	Temps de fonctionnement Tf (mn)	Taux de disponibilité TD = Tf/Tr	Temps net Tn (mn)	Taux de performance TP = Tn/Tf	Temps utile Tu (mn)	Taux de qualité TQ	TRS en %
21-02	360	300	291	97%	286	98%	284.5	99%	94%

D'après le suivi nous avons trouvé que le TRS est égal à **57.66 %** qui est une valeur inférieure à **80 %** la valeur minimal que le TRS doit atteindre.

- **Analyse des causes de chute de TRS:** (Annexe 7 & Annexe 8)

D'après les données de l'annexe 8 nous avons pu de tracer le diagramme de Pareto suivant pour montrer les causes principales responsable de la chute du TRS.



**Figure 11:** Diagramme Pareto des causes de chute de TRS

Les résultats de l'analyse du diagramme de Pareto indique que **78.11%** des arrêts de la machine de conditionnement ICA1 est principalement due au pannes. Il est donc évident que si on oriente les actions d'amélioration sur la réduction du temps perdu à cause des pannes le temps net va être plus important et donc le TRS sera optimisé.

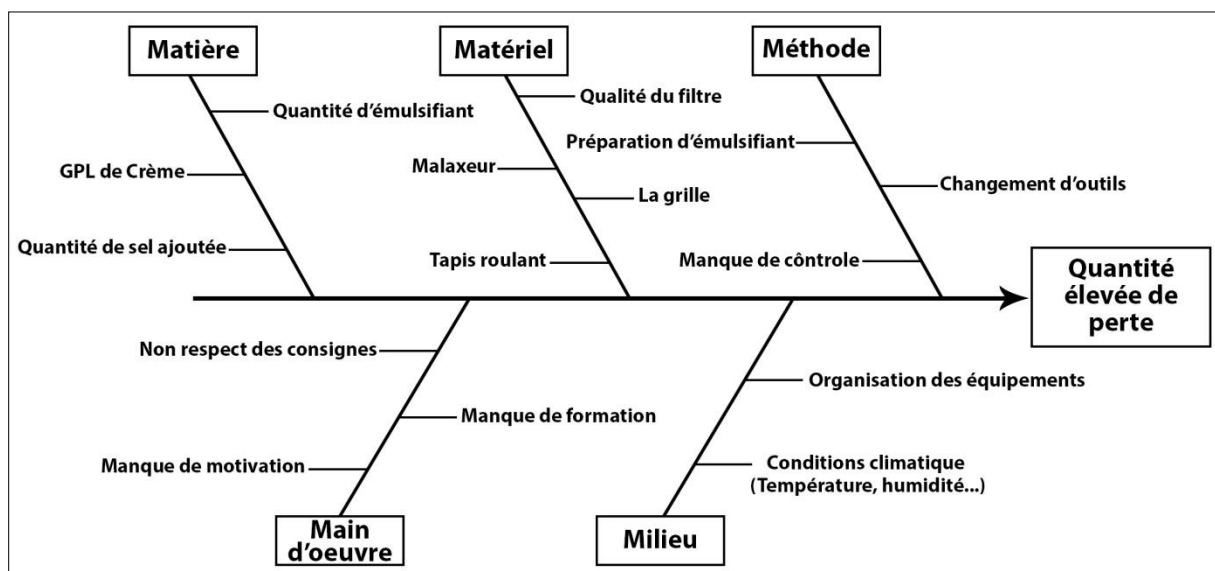
### III- Phase « Analyser »

Après avoir accompli les étapes « Définir » et « Mesurer », la démarche DMAIC se poursuit avec l'étape « Analyser ». Cette étape a pour objectif d'augmenter notre connaissance du processus de fabrication afin de découvrir les causes racines des pertes. En effet, l'analyse des données récoltées dans l'étape « Mesurer » doit être conduite de manière rigoureuse en utilisant les outils analytiques suivants:

- diagramme d'Ichikawa
- diagramme de Pareto

#### 1- Diagramme Ishikawa des pertes avant séchage

Pour déterminer les différentes causes des pertes avant séchage, un travail d'équipe est réalisé et chacun a émis ses opinions sur les origines possibles. Ces causes sont ensuite classées en 5M et présentées dans la figure suivante:



**Figure 12:** Diagramme Ishikawa des pertes avant séchage

D'après la phase Mesurer, nous avons trouvé que les pertes essentielles sont constatées au niveau des égouts (87%), ceci montre que le filtre utilisé n'est pas de bonne qualité, car il

laisse passer la levure vers l'égout. Et aussi nous avons trouvé que 9% des pertes due à cause de la grille.

## 2- Diagramme Ishikawa des pertes pendant le séchage: (Annexe 9)

D'après la phase Mesurer, nous avons trouvé que les pertes essentielles sont constatées au niveau de le dépoussiéreur (87%), et du tamisage (13%) ceci montre que les paramètres de séchage ne sont pas bien maîtriser, ces paramètres sont : le temps de séchage, débit d'air, la température de séchage, quantité de sel ajoutée à la crème.

## 3- Diagramme Ishikawa des pertes après le séchage: (Annexe 9)

D'après la phase Mesurer, nous avons trouvé que les pertes essentielles sont constatées au niveau de la perte de poids (surpoids) (73%), de le dépoussiéreur (10%) et le reste par la machine de conditionnement ICA cela indique qu'il y a pas une maîtrise efficace de poids de produit fini, et c'est évident car la ligne de conditionnement ne possède pas des cartes de contrôle de poids.

### ❖ Diagramme de PARETO après séchage:

Le diagramme de Pareto suivant montre les causes majeures des pertes en levure sèche (responsables de 80 % des pertes) dans les différentes machines au cours de conditionnement

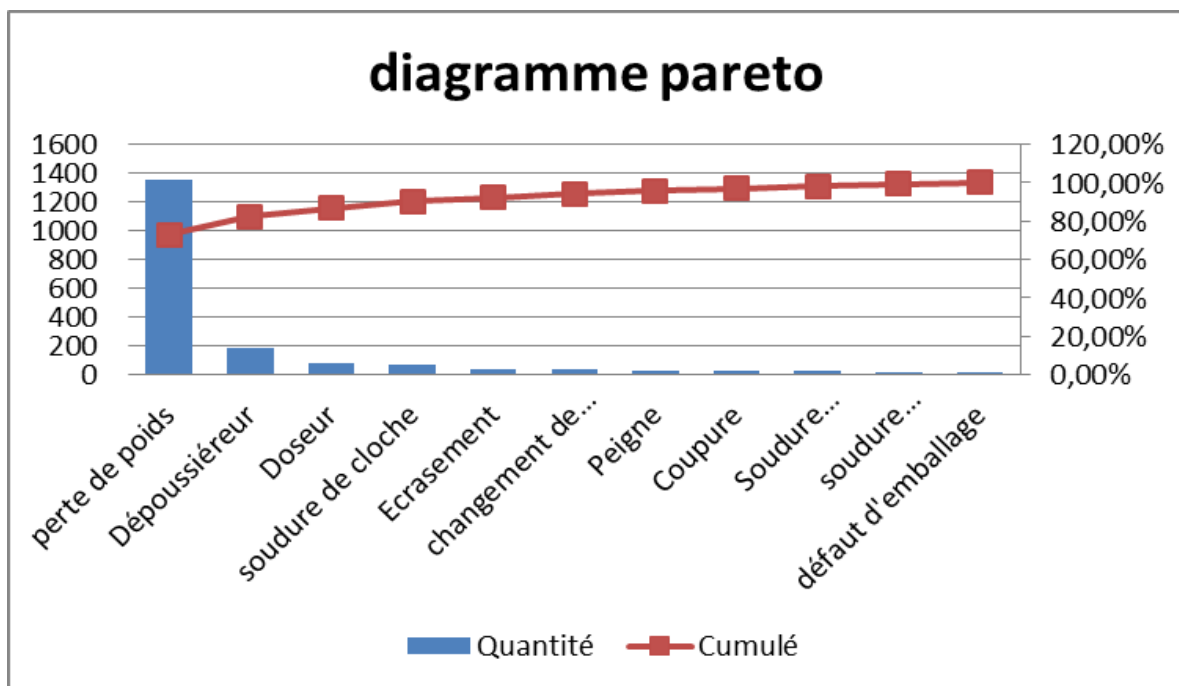


Figure 13: Diagramme Pareto des causes de perte au cours de conditionnement

Les causes principales de perte au cours de conditionnement sont le surpoids (perte de poids) avec un pourcentage de 73%, et le dépoussiéreur avec un pourcentage de 10%. Alors il est donc évident que si nous orientons les actions d'amélioration sur ces deux causes la quantité des pertes va diminuer.

#### **IV- Phase « Améliorer »**

Les trois premières étapes de l'application de la méthode DMAIC nous ont permis de connaître les facteurs responsables des pertes. Durant ces trois premières étapes, on n'a pas modifié le processus.

Le temps est venu d'apporter des modifications en profondeur au processus afin d'atteindre l'objectif fixé au début du projet.

Cette étape peut se scinder en deux phases:

- une phase de génération des solutions;
- une phase d'expérimentation;

##### **1- Solutions avant séchage**

Après l'étude de la zone de filtration nous avons pu déterminer les causes majeures des pertes qui sont les pertes au niveau des égouts et la grille, pour palier à ce problème nous proposons le plan d'action suivant:

- Augmentation de la fréquence de changement de filtre rotatif.
- Installer un filtre supplémentaire au niveau des égouts pour collecter les restes de la levure.
- Installer un petit filtre rotatif au-dessous de premier filtre.
- Augmenter la fréquence de nettoyage de la grille plus de deux fois par poste.
- Réduire la distance entre les tapis roulants.
- Vérification de fonctionnement d'automate et synchronisation avec le temps de rejet de la levure sur les tapis.

## **2- Solutions au cours de séchage**

Au cours de séchage nous avons pu identifier les causes des pertes qui sont le dépoussiéreur, le tamisage et le pivotage pour résoudre ce ci nous avons mis en place un plan d'action comme suit :

### **2.1- Pour le Dépoussiéreur**

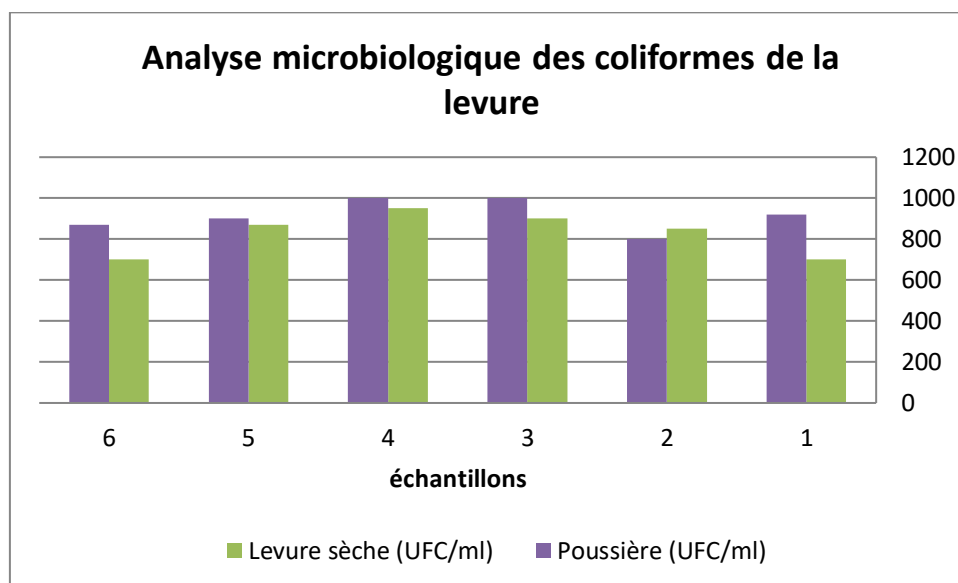
Pour pallier au problème des pertes au niveau de dépoussiéreur Nous allons travailler sur deux propositions, premièrement le recyclage de la poussière collecté produire de nouveau la levure sèche. Deuxièmement nous proposons un plan d'expérience pour minimiser la quantité de la poussière produite.

#### **a- Recyclage de la poussière**

Après séchage une partie de la levure passe de l'état granulé (désiré) à l'état poussière (non désiré), qui s'accumule au niveau de dépoussiéreur avec des quantités importantes (80%) des pertes au niveau du séchage, alors nous avons proposé de recyclé cette dernière, en préservant la même qualité que celle de la levure sèche. Pour ce faire nous avons étudié sa qualité microbiologique et sa force de panification en les comparants avec celles de la levure sèche. Nous avons trouvé les résultats suivants:

#### **❖ Analyse microbiologique**

Nous avons effectué des analyses microbiologiques sur 6 échantillons de la poussière et nous trouvé les résultats suivants: (**Annexe 10**)



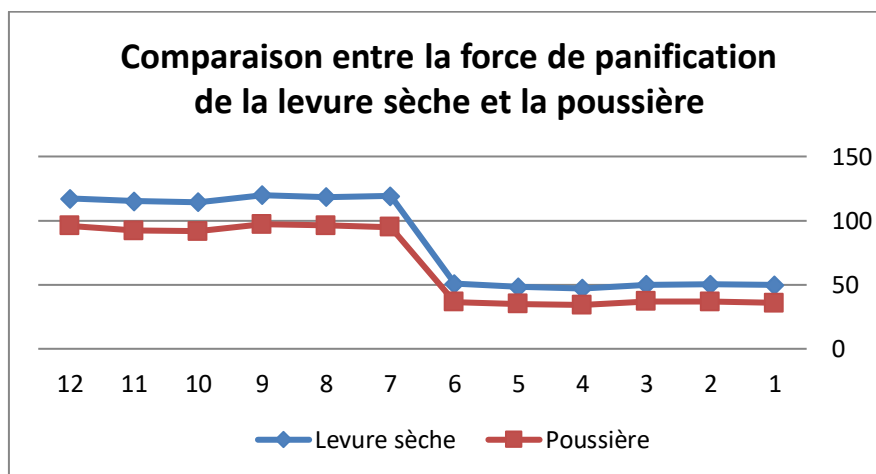
**Figure 14:** Analyse microbiologique de coliformes de la levure

- **Interprétation**

D'après la figure 15 nous avons constaté que le taux de coliformes pour la poussière est élevé par rapport à celui de la levure sèche. Mais ce taux reste toujours dans les normes qui est de  $10^3$  UFC/ml. Alors de point de vu microbiologique la qualité de la poussière est acceptable.

- ❖ **Force de panification**

La 2<sup>ème</sup> étape d'analyse consiste à mesurer la force de panification de la poussière et la comparer avec celle de la levure sèche pour les 6 échantillons précédents et nous avons trouvé les résultats suivants : **(Annexe 11)**

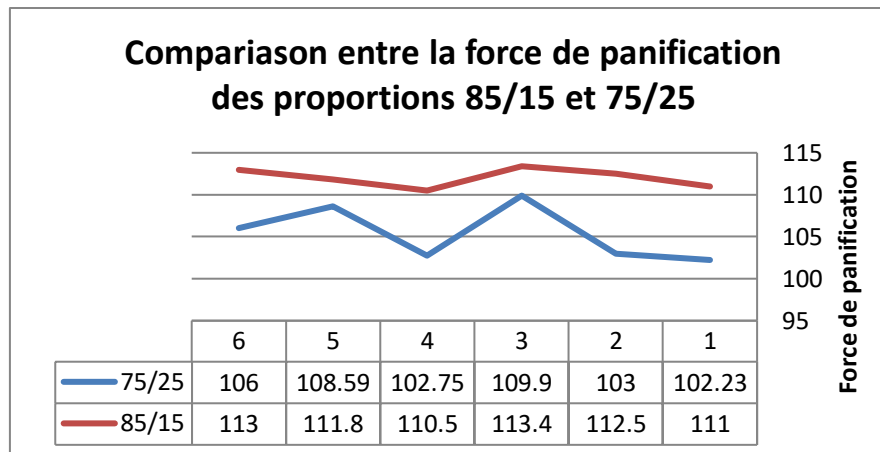


**Figure 15:** la force de panification de la levure et la poussière

- **Interprétation**

Le graphe ci-dessus représente l'évolution de la force de panification de la poussière, cette force trouvée est inférieure a celle de la levure sèche, donc elle est inférieur aux normes.

Puisque nous avons trouvé que la force de panification de la poussière est inférieur aux normes nous proposons de réaliser des mélanges de proportion différentes contient la poussière et la levure sèche et mesurer la force de panification du mélange, et nous avons trouvé les résultats décrit ci-dessous: **(Annexe 12)**



**Figure 16:** Comparaison entre la force de panification des proportions 85/15 et 75/25

D'après les résultats nous pouvons conclure que la force de panification acceptable est celle du mélange (85% de la levure sèche et 15% de la poussière) car la force de panification est dans les normes (supérieure à 110), donc pour pouvoir réutiliser cette poussière il est recommandé d'utiliser la proportion 85/15.

#### **b- Diminution de taux de production de la poussière**

Pour minimiser la quantité de la poussière produite lors de séchage nous avons réalisé un plan d'expérience (plan fragmentaire) avec quatre facteurs de deux niveaux.

#### **❖ Application de plans d'expériences**

D'après la phase "Analyser" nous avons trouvé que les facteurs responsables de la production de la poussière sont:

- ✓ **Le débit d'air** entré dans le sécheur en ( $m^3/h$ ).
- ✓ **La conductivité** : le mixage du sel et de la levure en ( $\mu S/cm$ ).
- ✓ **La durée de séchage**: c'est le temps nécessaire pour sécher une charge de la levure en (min).
- ✓ **La quantité d'émulsifiant** qui contient l'eau, l'huile de soja et le mono-stéarate de sorbitane (un ester de sorbitane d'acide) sert à conserver et protéger le produit plus longtemps par la formation d'une couche brillante et lisse. Cette dernière permet d'éviter la dégradation de levure à cause de frottement externe des cellules au cours du séchage et donne aussi la couleur blanche caractéristique de la levure (Kg /charge).

Nous avons choisi deux niveaux par facteurs:



**Tableau 5:** niveaux choisis par facteur

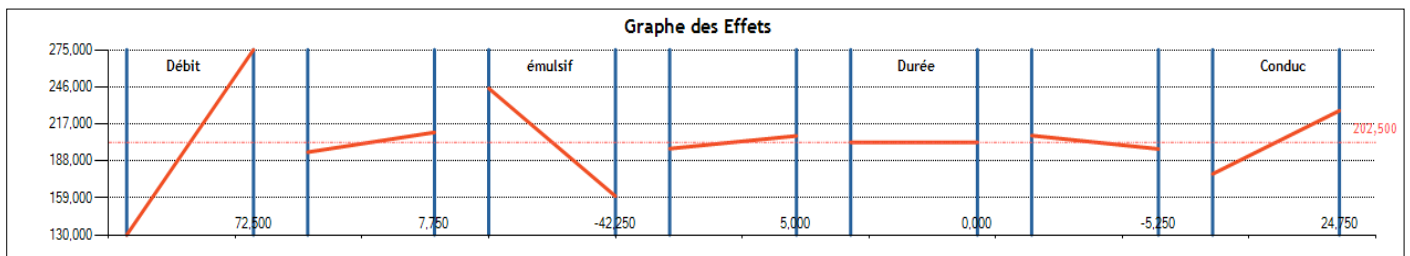
Facteurs	Débit d'air	Débit massique d'émulsifiant	Durée de séchage	Conductivité Crème
Unité	m <sup>3</sup> /h	Kg/min	min	μS/cm
Niveau -1	36000	1.3	10	24000
Niveau +1	38000	1.6	12	26000

▪ **Tableau des essais:**

Nous avons effectué 8 expériences et nous avons mesuré la quantité de poussière produite (**Annexe 13**)

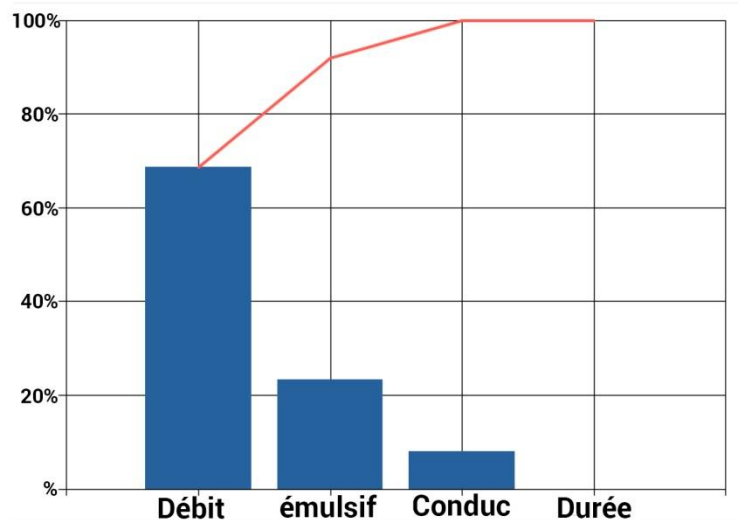
Après insertion des résultats dans le logiciel **ELISTAT**, ce dernier nous donne l'équation mathématique du plan d'expérience et le graphe des effets des facteurs sur la quantité de poussière produite:

$$Y = -2690,33 + 0.0725 * \text{Débit} - 281.66 * \text{émulsi} + 0.0248 * \text{Condu} + 0.00 \text{Durée}$$



**Figure 17:** Les effets des facteurs sur la quantité de poussière produite

Ellistat aussi nous donne le diagramme de Pareto qui nous révèle le pourcentage d'influence de chaque facteur. Dans notre cas les facteurs les plus influents sur la production de la poussière sont le débit d'air avec un pourcentage de 65% et la quantité d'émulsifiant avec un pourcentage de 23%.



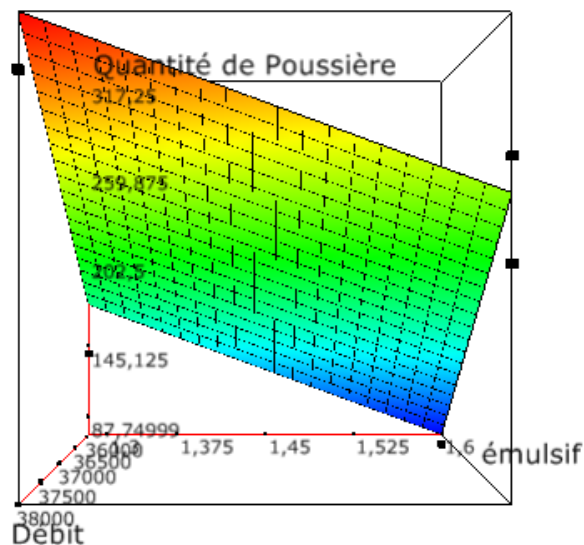
**Figure 18:** Diagramme Pareto des effets des facteurs du plan d'expérience

- **Conclusion:**

D'après les résultats obtenus par le plan d'expérience nous avons trouvé que les facteurs les plus influents sur la production de la poussière sont:

- ✓ Le débit d'air qui influence positivement sur la production de la poussière, lorsque le débit d'air augmente de 36000 m<sup>3</sup>/h à 38000 m<sup>3</sup>/h la quantité de poussière augmente aussi.
- ✓ Le débit d'émulsifiant qui influence négativement sur la poussière, lorsque le débit augmente de 1.3 kg/min à 1.6 kg/min la quantité de poussière diminue.
- ✓ La conductivité influence positivement sur la production de la poussière mais moins important que le débit d'air et l'émulsifiant.
- ✓ La durée du séchage de 10 min à 12 min a une influence négligeable par rapport aux autres.

La figure suivante présente les effets des facteurs sur la réponse (quantité de poussière) en 3 dimensions:



**Figure 19:** présentation 3D des effets des facteurs sur la quantité de poussière produite

➔ Alors d'après tous ces résultats nous pouvons conclure que pour produire une quantité faible de poussière pendant le séchage de la levure, il doit fixer les paramètres de séchage comme suit: le débit d'air à 36000 m<sup>3</sup>/heur, le débit d'émulsifiant à 1.6 Kg/min, la conductivité à 24000 μS/cm et la durée de séchage à 10 min.

## **2.2- Pour le tamisage**

Lorsque le séchage termine la levure sèche passe par une tamiseuse vers les silos de stockages. Le tamisage est essentiel pour ne pas laisser passer les grandes particules, ces grandes particules sont de la levure mélangée avec d'émulsifiant, formée à cause de la mauvaise utilisation d'émulsifiant, pour diminuer la quantité de formation de ces particules, il faut garder toujours la température d'émulsifiant entre 65 °C et 70 °C, et aussi il faut remplacer l'injecteur d'émulsifiant de forme tuyau en injecteur pulvérisant pour avoir une répartition homogène d'émulsifiant dans le gâteau et alors moins des grandes particules, moins de perte.

## **2.3- Pour le Pivotage**

Au cours de changement de bol de sécheur la levure tombe sur terre chose qui nous amène de proposer d'installer une grille sur la partie inférieure de chaque bol pour minimiser ces derniers.

## **3- Solutions après séchage**

A cette étape et d'après l'analyse du diagramme de pareto, nous avons trouvé que la majeure partie des pertes proviennent de perte de poids et de dépoussiéreur, le reste provient des pertes au niveau de la machine.

### **a- Perte de poids**

Au niveau de remplissage des sachets de la levure au cours de conditionnement, la machine remplit certains sachets avec un surpoids plus de 125g, chose qui provoque des pertes pour l'entreprise presque 85 Kg/jour de perte. Pour prouver cette hypothèse et identifier les causes responsables de ce surpoids, nous allons calculer la capacité des machines ICA.

#### **o Calcul de la capacité**

La capacité est la mesure établissant le rapport entre la performance réelle d'une machine (ou procédés) et la performance demandée. Une capacité s'exprime par un chiffre. Elle permet de mesurer la capacité d'une machine ou d'un procédé à réaliser des pièces dans l'intervalle de tolérance fixé par le cahier de charge. Le fait d'utiliser un chiffre pour caractériser la capacité est fondamental.

Pour calculer la capacité nous avons mesuré le poids de 14 échantillons de produit fini (levure rafiaa 125g) par machine, d'où 5 mesures par échantillon et nous avons trouvé les résultats suivants:

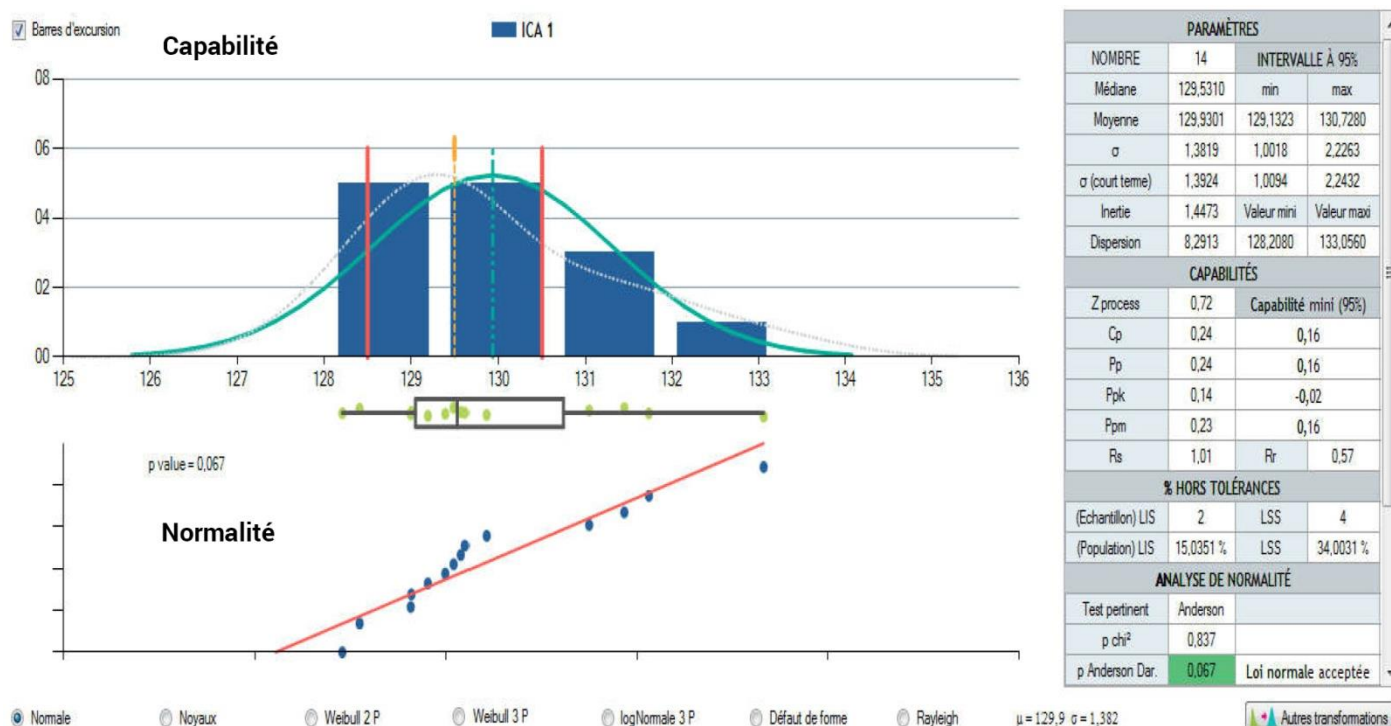
**Tableau 6:** mesures des poids de produit fini de levure sèche 125g (Extrait d'annexe 14)

	ICA 1	ICA 2	ICA 3
échantillons	Moyenne de chaque échantillon/machine en g		
1	128,9	129,3	130,4
2	129,3	129,5	130,1
3	133,0	129,6	129,9

Les mesures obtenues nous permettent donc d'étudier les capacités de chaque machine ICA à l'aide du logiciel Ellistat.

Après avoir vérifié la Normalité des données et les valeurs aberrantes en utilisant le logiciel Ellistat, nous avons trouvé les résultats citée ci-dessous:

✓ **Pour la machine ICA 1:**

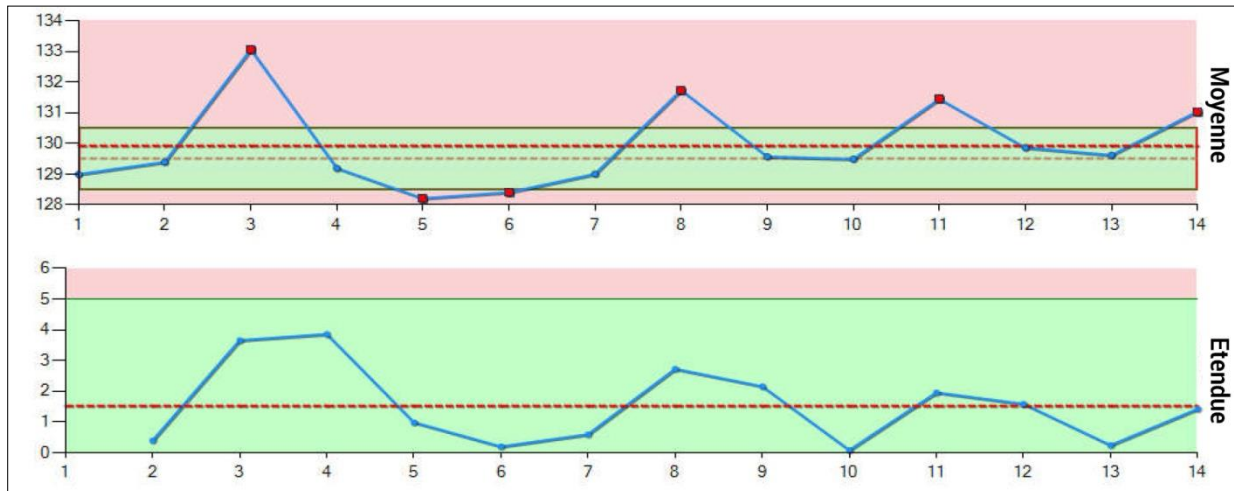


**Figure 20:** Test de Capabilité de la machine ICA1

L'intervalle de tolérance fixé par le cahier de charge est compris entre 128.5g à 130.5g, la valeur souhaitée est 129.5g.

**La capacité de la machine ICA1 est égale à 0.24**, cette valeur est inférieure à 1.33, alors la machine est incapable.

La carte Xbar et R suivantes montrent cette incapacité de la machine ICA qui apparait par les fluctuations dans la carte.



**Figure 21:** Carte Xbar et R de la machine ICA1

✓ **Pour la machine ICA 2: (Annexe 15)**

La capabilité est égale à **0.46** cette valeur est inférieure à 1.33, alors la machine est incapable.

✓ **Pour la machine ICA 3: (Annexe 16)**

La capabilité est égale à **0.35** cette valeur est inférieure à 1.33, alors la machine est incapable.

• **Conclusion**

Après le calcul de la capabilité pour les trois machines ICA1, ICA2 et ICA3, nous avons trouvé que l'indice de capabilité est inférieur à 1.33 pour les trois machines. ( $cp_1=0.24$  ;  $cp_2=0.46$  ;  $cp_3=0.35$ ). Les résultats des tests de capabilité et les cartes Xbar et R nous pousse à chercher les causes responsables de ces fluctuations et cette incapabilité.

• **Identification des causes de fluctuations du poids au niveau des cartes Xbar et R**

○ **Densité de la levure sèche**

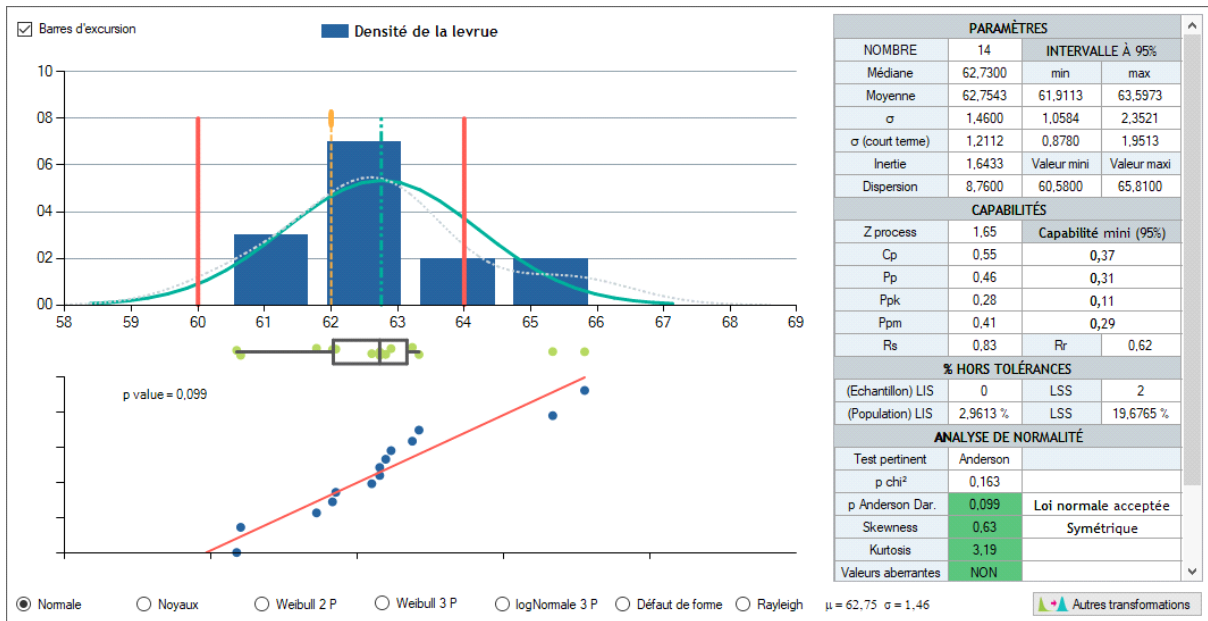
Au cours du brainstorming, nous avons suspecté que la densité de la levure sèche est l'une des facteurs responsable du problème de surpoids, lorsque cette densité est instable les fluctuations seront importantes.

Pour montrer que la densité est instable nous avons mesuré la densité de 14 échantillons de produits finis (levure rafiaa 125 g), et nous avons trouvé les résultats suivants:

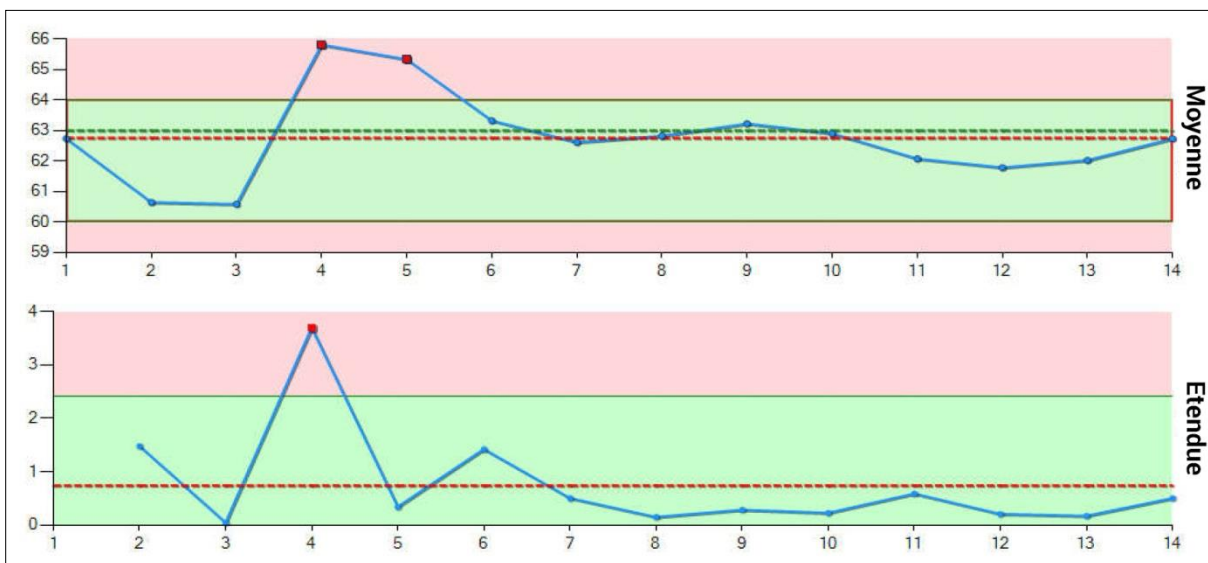
**Tableau 7: Mesures de densité de la levure sèche (Extrait d'annexe 17)**

Echantillons	densité de la levure sèche						Moyenne
1	63,34	62,77	62,55	62,3	62,4	63	62,73
2	60,54	60,38	60,2	60,3	60,21	62,23	60,64
3	60,5	60,68	60,75	60,66	60,42	60,45	60,58
4	65,75	65,92	66,31	66,5	65,5	64,9	65,81

L'intervalle de tolérance fixé par le cahier de charge pour la densité est compris entre 60 à 64, la valeur souhaitée est 62.



**Figure 22: Test de capabilité pour la densité de la levure**

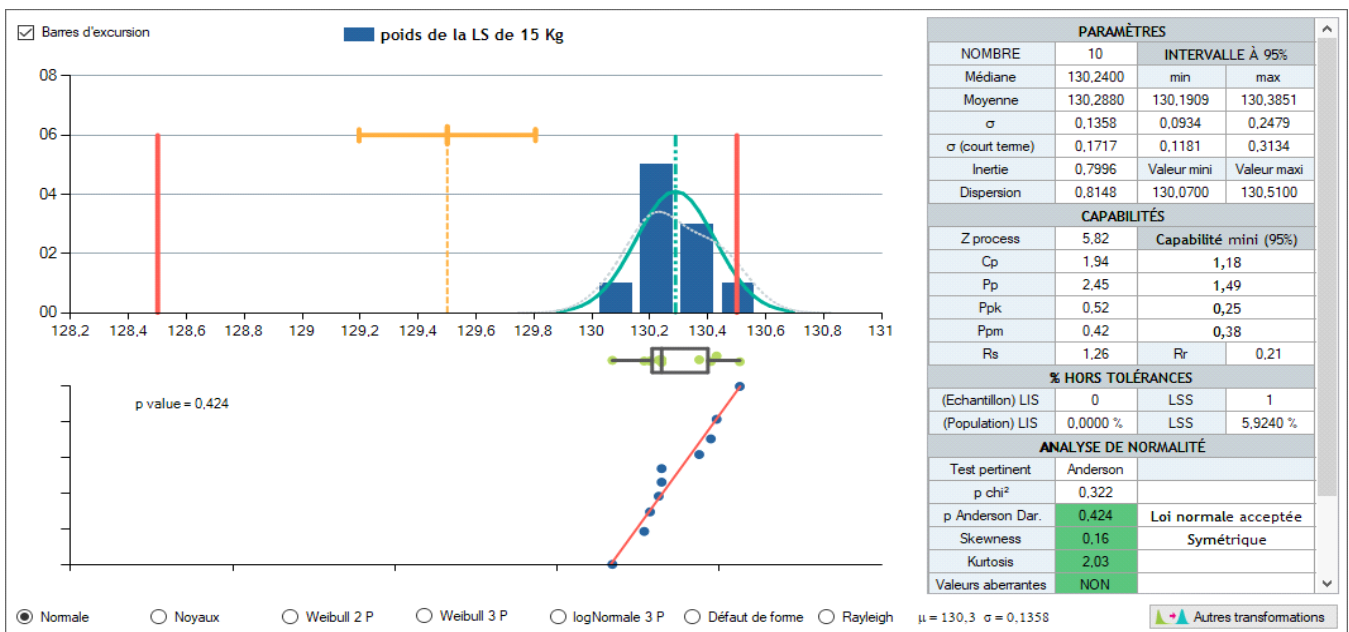


**Figure 23: Carte Xbar et R pour la densité de la levure**

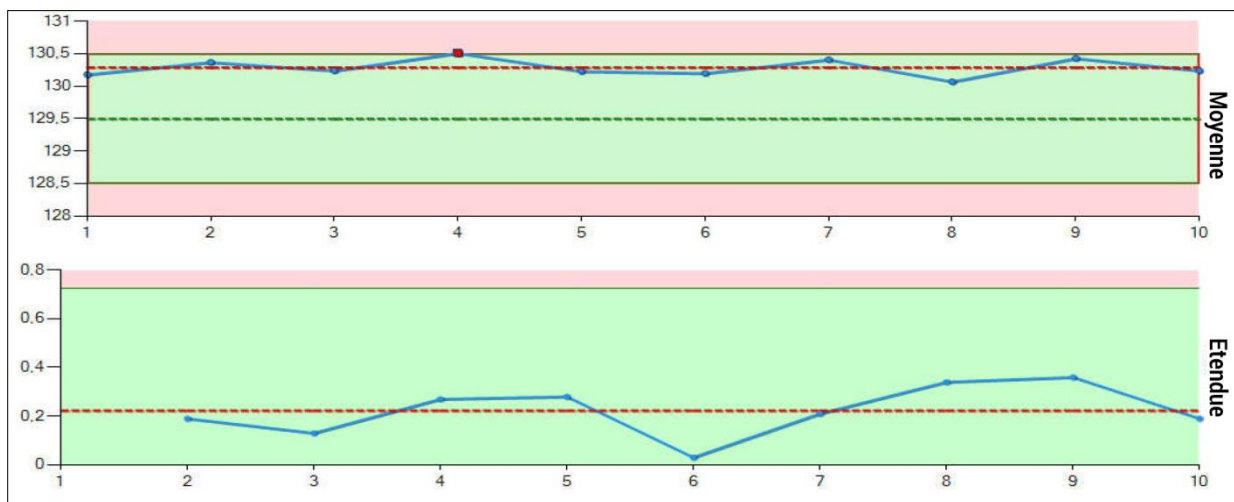
La capabilité est égale à **0.55** cette valeur est inférieure à 1.33, et les cartes Xbar et R montrent des fluctuations, alors nous pouvons conclure que la densité de la levure sèche est instable.

○ **Machine ICA:**

Pour montrer l'effet de la machine ICA sur la capabilité nous avons effectué un test de capabilité comme auparavant mais cette fois ci nous avons mesuré les poids des produits finis de la levure sèche de la France (levure 15Kg), cette levure a une densité stable par rapport à celui du Maroc et nous avons trouvé les résultats suivants:(Annexe 18)



**Figure 24:** Test de capabilité de la machine ICA pour la levure de la France



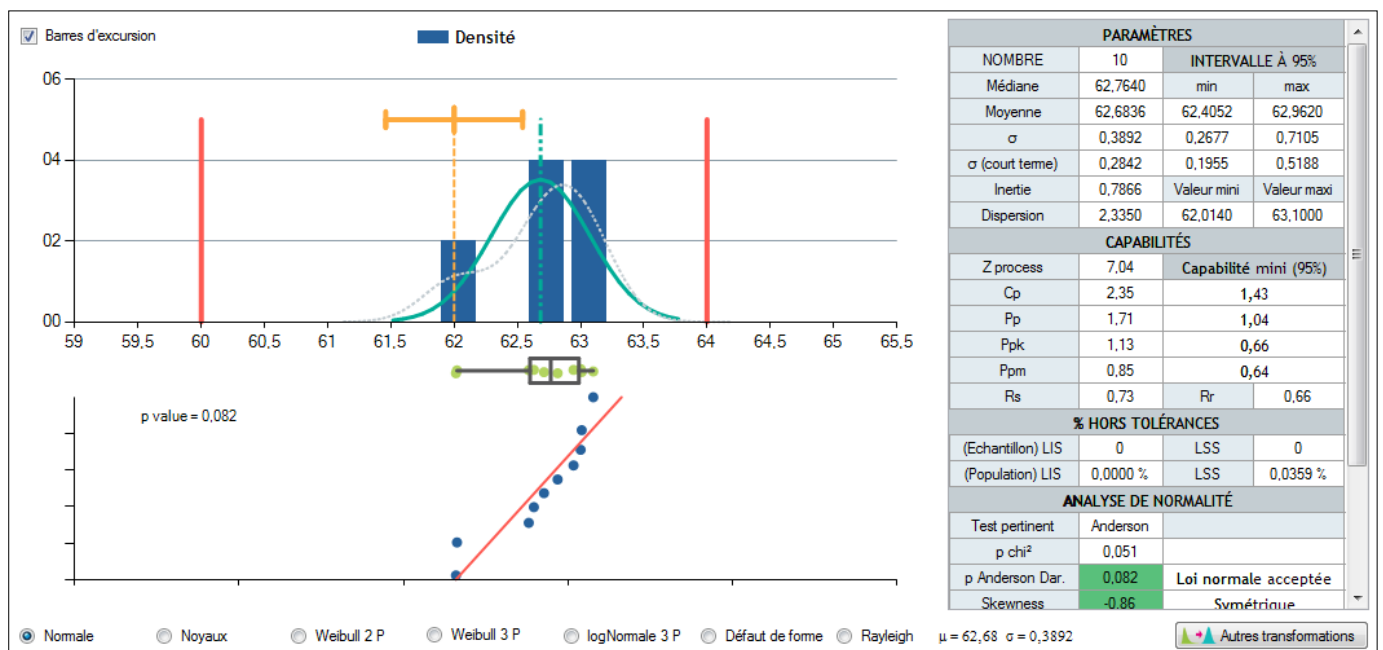
**Figure 25:** Carte Xbar et R pour la levure de la France



La capacité est égale **1.94** cette valeur est supérieur à 1.33, et les cartes Xbar et R ne présentent pas des fluctuations, mais les poids sont décentrés à la cible alors nous pouvons conclure que les machines ICA sont capables mais décentrées il faut régler la machine pour doser une quantité acceptable pour minimiser et éliminer le surpoids.

Ces résultats obtenus nous permettons de conclure que le problème de surpoids vient essentiellement de l'instabilité de la densité de la levure sèche.

La figure suivante montre que la densité de la levure de la France est stable:



**Figure 26:** Test de capacité pour la densité de la levure Française

### **Conclusion (mesure de la capacité)**

Après interprétation des résultats obtenus de la capacité et la carte Xbar et R nous pouvons conclure que la cause principale de (surpoids et l'instabilité) est la densité de levure. Il faut donc revoir et vérifier tout le process pour stabiliser la densité. En plus nous avons proposé d'installer une balance à la sortie des machines ICA pour éliminer les produits finis dont le poids dépasse 129.5g. (Annexe 19)

### **b- Perte au niveau du dépoussiéreur:**

Au cours du conditionnement, les machines ont besoin de la levure, l'alimentation des machines par la levure se fait par un circuit qui relie entre les silos de stockage et les machines ICA, pendant ce transfert, lorsque la cuve de stockage des machines remplit au bout



une partie de la levure passe dans le dépoussiéreur, presque 10 Kg/jour des pertes dans le dépoussiéreur. Afin de palier à ce problème nous proposons d'installer un capteur de niveau dans la cuve de stockage de la machine ICA pour ne pas laisser passer la levure passe vers le dépoussiéreur.

### **c- Perte au niveau de la machine:**

Les pertes de la levure sèche au niveau des machines ICA sont moins importantes par rapport aux pertes provoquées par le surpoids et dépoussiéreur, qui ne sont pas négligeables. Dans le but de minimiser les causes responsables de ces pertes et augmenter le TRS de la machine ICA1 nous allons faire l'analyse AMDEC.

#### **4- Analyse AMDEC de la ligne d'emballage ICA1:**

##### **o Définition:**

L'Association Française de Normalisation (AFNOR X 60-510) définit l'AMDEC comme étant : « Une Méthode inductive d'analyse de système utilisée pour l'étude systématique des causes et la maîtrise des effets des défaillances susceptibles d'affecter les composants de ce système ».

Autrement dit : c'est une technique d'analyse préventive de la Sûreté De Fonctionnement (SDF) d'un système (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité).

C'est une méthode qui consiste à imaginer les dysfonctionnements qui peuvent arriver à une machine bien avant que ça se produise, c'est donc une méthode prédictive.

##### **o Objectifs de l'application d'AMDEC:**

Il existe plusieurs types de l'AMDEC, Dans notre cas on a utilisé AMDEC moyen de production pour les buts suivant :

- Détermination des modes de défaillance de la ligne de production.
- Mise en œuvre d'un plan de maintenance corrective afin d'économiser le temps d'intervention dans les pannes inattendu.
- Minimiser les arrêts imprévus par la mise en œuvre d'un plan de maintenance préventive.
- Améliorer la disponibilité de la machine en augmentant sa fiabilité
- Dresser une liste de consigne pour l'utilisateur de la machine pour garder la machine productive le plus long possible et augmenter la durée de vie des équipements constitutive de la machine.

○ **Démarche d'application:**

La réalisation d'une AMDEC suppose le déroulement de la méthode comme suit :

- la constitution d'un groupe de travail.
- Précision des objectifs de la méthode
- Analyse fonctionnelle du procédé ou de la machine.
- L'analyse des défaillances.
- L'évaluation de ces défaillances et de leurs criticités.
- La planification des actions corrective et préventive.

○ **Introduction et explication de la problématique:**

LESAFFRE-MAROC possède un atelier de conditionnement de levure sèche comportant trois lignes d'emballages. Les machines d'emballage fonctionnent 7j/7j et 24h/24h. De plus elles sont utilisées par un personnel varié travaillant au sein de l'atelier (ouvriers, techniciens, chef...), Ce qui explique la pression journalière exercée sur ces machines afin de garder une cadence convenable aux objectifs planifié par l'usine au niveau de la production de la levure sèche. Pour cela, l'équipe maintenance au sein de l'usine a décidé de faire une analyse AMDEC, puisque cette méthode est la plus convenable pour faire une analyse des défaillances et de les prédire avant qu'elle se produise en se basant sur leurs criticités, et aussi les éviter par la mise en œuvre des plans de maintenance corrective et préventive, afin d'améliorer la disponibilité des machines, et d'éviter les arrêts inattendu qui puisse influencer la production de la société. Puisque les trois lignes sont presque identique au niveau composant et taches accompli, j'ai choisi la machine qui a eu le plus grand nombre d'arrêts pendant la période de mon stage, la ligne ICA1, qui représente le 1/3 de la production journalière de l'usine (1800 kg de levure sans arrêt).

○ **Initialisation et analyse:**

**Vacuumpack** est une ligne de conditionnement automatique, elle produit plusieurs types de paquets, différents par leur dimension, géométrie, esthétique et type de produit conditionnée, (lait en poudre, levure, café...).

La ligne de conditionnement est composée de trois machines, appelées FB67, RS20 et GV36. La première forme FB67: une tubulaire qui soude le paquet longitudinalement et transversalement (soudure de fond). La deuxième forme RS20: la coupe du paquet, remplissage, la vibration et la fermeture partielle du paquet. La dernière partie GV36: prélève

l'aire du paquet ouvert ou prés soudé, équerre le paquet et effectue la soudure finale de la tête de paquet.

○ **Analyse des défaillances:**

**Grilles des échelles de cotation :** Pour rendre l'étude homogène, la criticité des défaillances de tous les équipements sera évaluée suivant une même échelle de cotation, à partir de trois critères indépendants :

**La gravité (G), la probabilité d'occurrence ou la fréquence d'apparition (O) et la probabilité de non détection (D).** A chaque critère on associe une échelle de cotation définie selon quatre niveaux en s'appuyant sur : l'historique des arrêts et l'expérience du personnel. En effet, l'échelle de cotation est basée principalement sur le temps d'indispensabilité ainsi que le nombre de défaillances des équipements. Elle est aussi le fruit de nombreuses discussions menées avec le personnel du service maintenance. Ainsi nous avons pu dresser les tableaux suivants:

**Tableau 8:** grille de l'échelle de **gravité.**

Niveau	Description
1	Arrêt à court durée : < 10min
2	Arrêt a moyenne durée : 10min < . <25min
3	Arrêt a long durée : 15min
4	Arrêt a très longue durée : >=60min

**Tableau 9:** grille de l'échelle de **fréquence d'apparition**

Niveau	Description
1	<=1 fois par ans
2	>=1 fois par ans
3	1 fois par mois
4	>=2 fois par mois

**Tableau 10:** grille de l'échelle de **non détection**

Niveau	Description
1	DéTECTABLE par l'operateur
2	DéTECTABLE par le moniteur ou le chef d'équipe production ou le technicien
3	DéTECTABLE par leader team maintenance ou technicien maintenance
4	DéTECTABLE par le constructeur équipement

**Tableau 11:** Analyse AMDEC de la machine ICA1 (Extrait d'annexe 20)

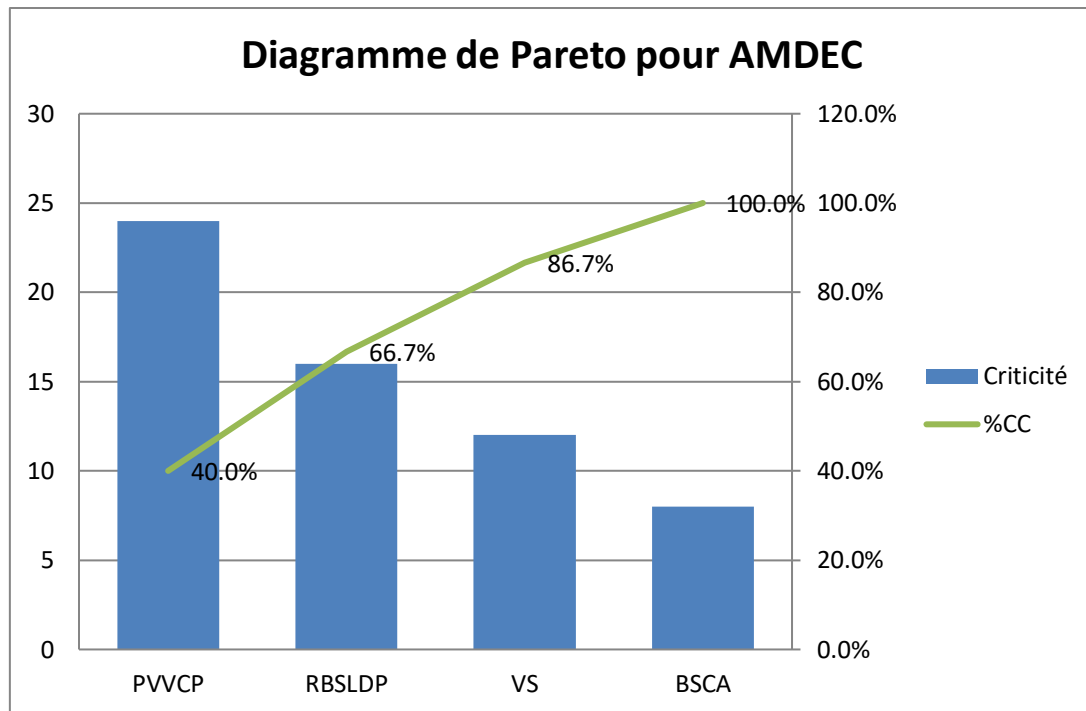
Éléments	Fonctions	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effets de défaillance	Criticité			
					G	N	F	C
Bobine	Alimente la FB67 par le matériau de conditionnement	coincement	Sur poids non contrôlable	Usure de roulement	4	2	1	8
Rouleaux basculants	Guidage des films d'emballage	Désorientation de rouleaux	Usure des roulements des rouleaux	Effet sur le guidage des films	4	2	2	16

D'après le tableau ci-dessus, nous avons pu de déterminer la criticité des défaillances qui égale le produit de  $G*N*F$ . alors les éléments de la machine qui ont une criticité élevée sont les plus qui influencent sur le temps d'arrêt et la disponibilité de la machine, donc pour l'amélioration la production il faut agir plus sur ces éléments de la machine qui ont une criticité élevée.

Pour déterminer les éléments les plus influents nous avons utilisé le diagramme de Pareto.

**Tableau 12:** données de diagramme de Pareto

Élément	Codes d'éléments	Criticité	Cumulé C	%CC
Pompe à vide	PVVCP	24	24	40,0%
Valve de distribution				
Vérin				
Came				
Peigne				
Rouleaux basculants	RBSLDP	16	40	67%
Soudure longitudinale				
Doseur				
Plaques chauffantes				
Venteuse	VS	12	52	86,7%
Souffleur				
Bobine	BSCA	8	60	100,0%
Soudure transversale				
Cylindre d'attractions				
Axe de porte				
<b>totale</b>		<b>60</b>		



**Figure 27:** Diagramme de Pareto AMDEC

D'après la figure 28, les éléments de la machine qui influencent plus sur la machine ICA1 sont les éléments qui portent le code PVVCP et RBSLDP, donc pour augmenter la disponibilité de la machine et le TRS il faut conduire les actions sur ces deux éléments.

#### **V- Phase « Contrôler » :**

Cette cinquième étape a pour objectif de donner les outils de mettre sous contrôle le processus, afin de s'assurer la stabilité de la solution trouvée. Ces améliorations ont été proposées pour la mise en œuvre. Il est à noter que les cartes de contrôles sont mises en place pour faire en sorte que les variables clés soient dans les limites acceptables au fil du temps afin de maintenir les performances de processus à long terme.

Nous avons mis dans la salle de conditionnement un ordinateur qui contient une carte pour contrôler le poids de produit fini, il suffit que l'opérateur fasse la saisi des données et le logiciel Exel affiche la carte de contrôle. (**Annexe 21**)

## **VI- Gain estimé:**

- **Avant séchage:**

A cette étape nous avons trouvé une quantité moyenne des pertes évalué à 309 kg/jour de gâteau de levure cette quantité donne 100 Kg de la levure sèche, chaque 0.125 Kg coûte 3 Dhs alors 100 Kg va coûter en moyenne 2 400 Dhs/jour, 72 000 Dhs/mois, 864 000 Dhs/an.

Comme action nous avons proposé de mettre un filtre supplémentaire de petite taille pour filtrer de nouveau le crème, ce filtre coûte approximative 200 000 Dhs, alors le coût de mettre ce filtre et rentable, donc cette solution est faisable de point de vu financière et efficacité.

- **Au cours de séchage:**

Au niveau du séchage, la majorité des pertes est due à la transformation de la levure en poussière avec une quantité moyenne de 200 Kg/jours.

Alors si nous recyclons la poussière on peut atteindre un gagné de 4 800 Dhs/jour, 144 000 Dhs/mois, 1 728 000 Dhs/an.

- **Au cours de conditionnement:**

Au niveau du conditionnement, si nous arrivons à bien maitriser la densité de la levure et bien régler les machines ICA qui sont les causes de perte de poids 85Kg/jour la société gagnera 2 040 Dhs/jour, 61 200 Dhs/mois, 734 400 Dhs/an.

L'installation le capteur de niveau dans le dépoussiéreur fera gagner à la société 11 Kg/jour, 264 Dhs/jour, 7 920 Dhs/mois, 95 040 Dhs/an.

## Conclusion:

Au cours de ce projet, nous avons eu l'occasion de traiter un sujet qui compte parmi les premières préoccupations de toute entreprise, à savoir l'optimisation de la production et la réduction des pertes au cours de déshydratation et conditionnement de la levure sèche. A cet égard, le travail réalisé s'inscrit dans le cadre de l'amélioration continue dans les deux zones, en vue de remédier aux problèmes et aux causes de pertes afin d'atteindre le niveau de performance requis.

Lors de cette étude, nous avons opté pour la démarche DMAIC qui nous a servi à la structuration du travail. Ainsi, la phase « Définir » a mis l'accent sur le cadre général dans lequel ce projet a évolué et l'environnement au niveau de lequel a été mené. Dans l'étape « Mesurer », des mesures et des suivis de toute perte générée par le processus ont été instaurés dont nous avons trouvé 400 Kg/jour de perte en levure sèche. L'analyse de ces mesures dans la phase « Analyser » qui a été menée par la suite, a permis de relever les causes provoquant les problèmes détectés telles que la mauvaise qualité du filtre, la levure se transforme en poussière, la densité de la levure est instable, en utilisant le diagramme d'Ishikawa et le diagramme de Pareto. Et c'est à l'issue de cette analyse que la phase « Innover » devait prendre place. Des actions d'amélioration ont été lancées telles que l'installation d'un filtre supplémentaire, le recyclage de la poussière, stabilisation de la densité de la levure, mettre des cartes de contrôles.

L'application de ces actions d'améliorations permet l'entreprise de gagner 7 464 Dhs/jour, 223 920 Dhs/mois, 2 687 040 Dhs/an.

## Références bibliographiques

- 1- **BOURGEOIS CM, MESCLE J-F, ZUCCA J** "Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments" \_ 2<sup>ème</sup> édition Ed. Tec & Doc, 1996.-672 p.
- 2- **LARPENT J-P.** "Les ferments microbiens dans les industries agro-alimentaires" (produits laitiers et carnés), Ed. APRIA, 1991.-242 p.
- 3- **GUIRAUD J-P.** "Microbiologie alimentaire" Ed. Dunod, 1998.-652 p.
- 4- **LEBLONC.** "Etude des levures de vinification et des facteurs agissant sur la fermentation alcoolique".- 235 p.Thèse: Pharmacie: Nancy 1 : 1988 ; n051
- 5- **TCHANGO TCHANGO J.** "Qualité microbiologique des jus et nectars de fruits exotiques. Croissance et thermorésistance des levures d'altération", -217 p. Thèse: Sciences: Lille: 1996; n° 50376-1996-25p.
- 6- **LARPENT J-P, LARPENT-GOURGAUD M.** "Mémento technique de microbiologie" - 3<sup>ème</sup> édition Ed. Tec & Doc, 1997,-1039p.
- 7- **LEVEAU J.-V., BOUIX M.** "Microbiologie industrielle: les micro-organismes d'intérêt industriel" Ed. Tec & Doc Lavoisier, 1993.-612 p.
- 8- **GOURNIER-CHATEAU N, LARPENT J.-P, CASTELLANOS M.-I.,LARPENT J. L.** "Les probiotiques en alimentation animale et humaine" Ed. Tee & Doc - Lavoisier, 1994.-192 p.
- 9- **Site Internet: Brasseurs de France** <http://www.cu.lu/labext/remsicppe/biere/hist.html>



# ANNEXES

**Annexe 1: pertes de gâteau avant séchage**

Date	N°de la crème	lieu de perte en Kg				Total de perte par crème en Kg
		égout	malaxeur	sur terre	grille	
2018-02-21	<b>210</b>	376	4	14	30	424
2018-02-22	<b>226</b>	448,7	6	15	35	504,7
2018-02-23	<b>230</b>	199,67	3	12	32	246,67
2018-02-24	<b>234</b>	251,29	4	15	34	304,29
2018-02-25	<b>238</b>	409	2	9	29	449
2018-02-26	<b>242</b>	260,5	3	11	30	304,5
2018-02-27	<b>246</b>	206	6	14	34	260
2018-02-28	<b>250</b>	448	4	11	28	491
2018-03-01	<b>254</b>	257,3	5	7	30	299,3
2018-03-02	<b>258</b>	157	6	12	27	202
2018-03-03	<b>262</b>	289	6	10	30	335
2018-03-04	<b>266</b>	278	4	11	31	324
2018-03-05	<b>270</b>	376	5	14	29	424
2018-03-06	<b>313</b>	344	7	12	27	390
2018-03-07	<b>340</b>	336	5	11	31	383
	Total	4636,46	70	178	457	5341,46

**Annexe 2: pertes en levure sèche au cours de séchage**

N° de la crème	Pertes en Kg				Total des pertes par crème
	silos	Pivotage	Tamissage	Dépoussiéreur	
210	9,30	10,5	12,92	93,69	126,41
226	8,50	9,7	41,53	182,15	241,88
230	9,00	10,88	35,55	232,85	288,28
234	7,65	9,61	33,8	212,5	263,56
238	9,70	9,88	26,84	191,53	237,95
242	8,60	11,79	47,64	246,74	314,77
246	7,90	14,76	31,16	252,44	306,26
250	9,00	11,03	44,75	269,16	333,94
254	8,40	7,81	57,28	219,57	293,06
258	8,20	9,9	48,03	144,13	210,26
262	9,00	14,58	32,54	185,64	241,76
266	8,60	13,57	22,2	312,24	356,61
270	9,20	14,25	34,27	302,13	359,85
313	9,10	10,2	27,92	202,2	249,42
340	8,70	5	24,36	156,95	195,01
<b>Total</b>	<b>130,85</b>	<b>163,46</b>	<b>520,79</b>	<b>3203,92</b>	<b>4019,02</b>

**Annexe 3: Causes des pertes au cours de conditionnement**

N° crème	cause des pertes en Kg										
	doseur	peignie	écrasement	coupure	changement de rouleau	Soudure transversale	soudure de cloche	soudure longitudinale	dépoussieur	defaut d'emballage	perte de poids
210	2,62	1,125	3,75	4,125	2,25	1,5	4,875	2,25	12	1,5	63,8
226	5	3,375	4,125	3,75	2,25	2,25	5,25	2,625	10	1	88,55
230	4,5	3,75	3,75	1,125	2,25	1,875	3,375	2,5	11,5	1,125	65,9
234	3,7	2,25	3	2,25	2,25	1,5	4,125	0,84	14	1,625	97,88
238	6	2,5	2,625	1,125	2,25	2,625	3,375	1,125	10,725	1,875	69,655
242	5,27	3,75	4,125	1,875	2,25	0,25	4,125	0,75	13,5	1	102,585
246	3,25	1,875	2,625	0,75	2,25	0,25	2,75	0,25	9,5	0,75	71,11
250	4	2,5	3,125	1,125	2,25	0,75	3,375	0,75	11	0,75	73,925
254	6,3	0,75	1,125	0,75	2,25	1,25	4,75	1,125	10	0,25	85,23
258	5,82	1,125	0,75	1,75	2,25	1,125	5,125	0,75	10,6	0,75	70,715
262	4,8	1,875	2,125	1,125	2,25	1,125	6,375	0,125	12,3	0,125	72,025
266	5,12	0,75	1,25	2,25	2,25	1,875	5,25	0,75	11,6	0,25	104,185
270	4,9	0,125	1,25	0,75	2,25	0,75	3,375	1,875	9,75	0,25	109,505
313	6,7	1,875	2,625	1,125	2,25	1,125	4,375	1,125	15,22	0,75	95,53
340	4,76	0,75	0,75	1,25	2,25	1,875	2,125	0,75	8,57	1,125	103,635
342	5,2	0,25	1,25	0,75	2,25	1,125	2,125	1,875	9,15	0,25	77,505
<b>Total</b>	<b>77,94</b>	<b>28,625</b>	<b>38,25</b>	<b>25,875</b>	<b>36</b>	<b>21,25</b>	<b>64,75</b>	<b>19,465</b>	<b>179,415</b>	<b>13,375</b>	<b>1351,735</b>

**Annexe 4 : Décomposition du TRS selon la norme AFNOR NF E-60-182 (2002)**

<b>Tt = Temps total</b>				
<b>Fermeture</b>	<b>To = Temps d'ouverture</b>			
	Arrêts planifiés (Nettoyage, essais, réunions, pauses, maintenance préventive, ...)	<b>T<sub>r</sub> = Temps Requis</b>		
		Pertes de disponibilité (Pannes, changement de série, ...)	<b>T<sub>f</sub> = Temps de Fonctionnement</b>	
			Perte de performance (Baisse de cadence, microarrêts, défauts machine)	<b>t<sub>N</sub> = Temps Net</b>
				Non qualité
				<b>T<sub>u</sub> = Temps Utile</b>

**Annexe 5: Fiche de suivi de TRS de la machine ICA 1**

Date:
N° Crème:

<b>Suivi de TRS de la machine ICA 1</b>
---

Date	Temps d'arrêt (min)	Type d'arrêt	Cause d'arrêt

### Annexe 6: Résultats de suivi du TRS

Date	Temps d'ouverture	Temps requis Tr (mn)	Temps de fonctionnement Tf (mn)	Taux de disponibilité TD= Tf/Tr	Temps net Tn (mn)	Taux de performance Tp=Tn/Tf	Temps utile Tu (mn)	Taux de qualité	TRS en %
21-02	360	300	291	97%	286	98%	284.5	99%	94%
22-02	360	300	297.5	99%	285.5	95%	284.36	99%	93%
27-02	360	293	286	97%	277	96%	276.44	99%	92%
28-02	360	298	232	77%	229.7	99%	229.5	99%	75%
01-03	360	222	170.5	76.8%	168.5	98.8%	167.87	99%	75%
02-03	360	295	278.5	94.4%	269.09	96.6	268.115	99%	90%
03-03	360	360	0	0%	0	0%	0	0%	0%
04-03	360	360	0	0%	0	0%	0	0%	0%
05-03	360	360	0	0%	0	0%	0	0%	0%
Moyenne				60.13%		64.82%		66%	57.66%

### Annexe 7: Causes de chute du TRS

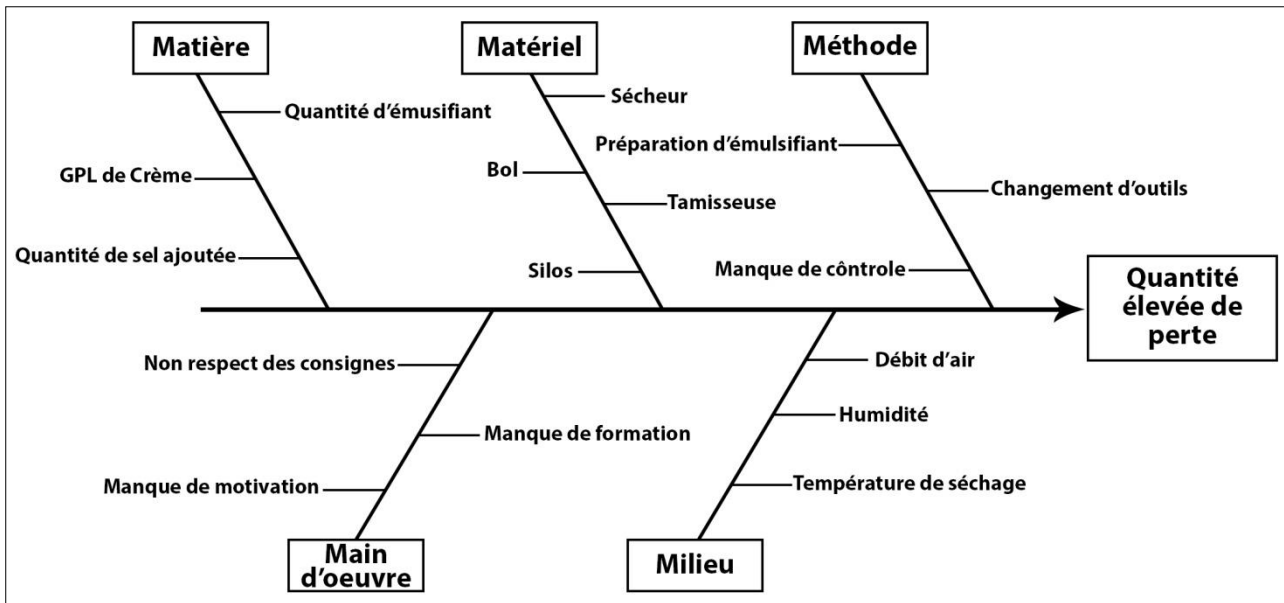
Date	Type des arrêts							
	Arrêts planifiés	temps	Pertes de disponibilité	Temps	Perte de performance	Temps	Prdt non conformes	temps
21-02	Pause/changement de poste	60 min	Panne /changement de serie	9 min	Micro arrêts	5 min	54 prdt NC	1min30sec
22-02	Pause/changement de poste	60 min	Changement de rouleau /attent de levure	2.5min	Micro arrêts	12 min	28 prdt NC	1min10sec
27-02	Pause/change de poste	67min	Changement de rouleau /att de MP	7min	Micro arrêts	8min85sec	23	34.5 sec
28-02	Pause/changement de poste	62 min	Panne/change de serie/att de MP	66min	Micro arrêts	2min30sec	6	9 sec
01-03	Pause/chang de poste	138 min	Panne/chang de serie	51min30 sec	Micro arrêts	2min	25	37.5sec
02-03	Pause /chang de poste	65min	Panne/change de serie	16min37 sec	Micro arrêts	9min41sec	39	58.5 sec

**Annexe 8:** Données pour le diagramme de Pareto du TRS

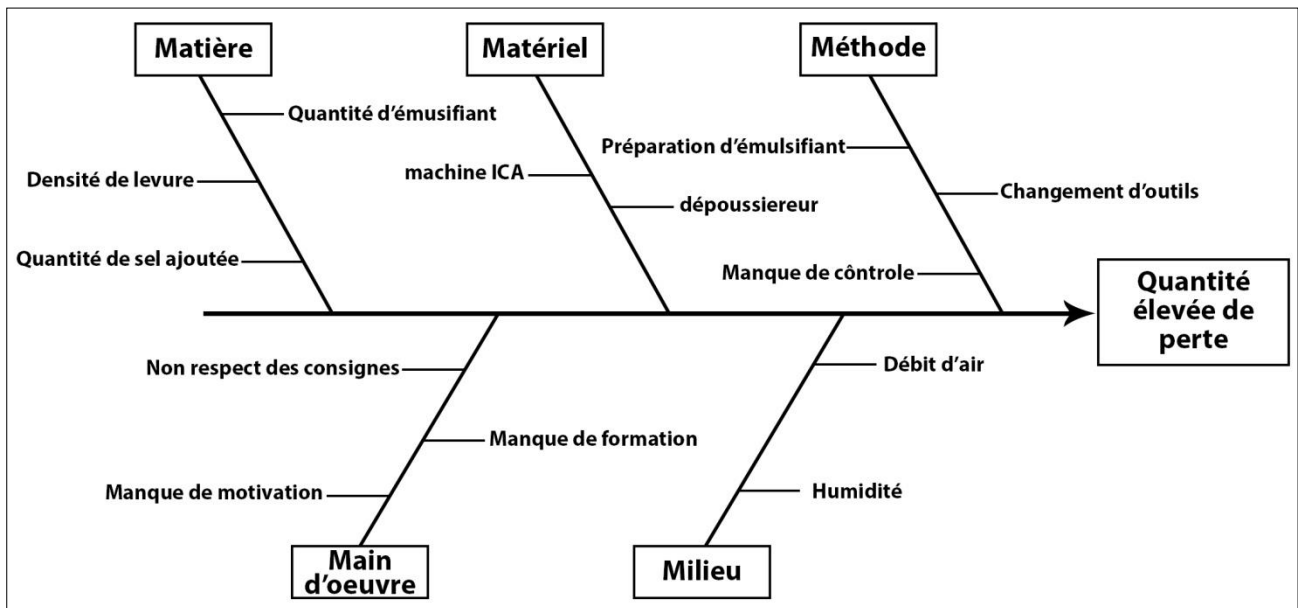
cause d'arrêts	temps d'arrêts	%d'arrêts	%cumul
pannes	1182,27	78,11%	78,11%
changement de poste	215	14,20%	92,32%
sachet bloqué dans la machine	43,63	2,88%	95,20%
changement de rouleau	31,56	2,09%	97,28%
attente de MP	23,5	1,55%	98,84%
micros arrêts	10,55	0,70%	99,53%
PNC	7,05	0,47%	100,00%
total	1513,56	1	



**Annexe 9:** Diagrammes Ishikawa au cours de séchage et conditionnement



- Au cours de séchage



- Au cours de conditionnement

**Annexe 10: Analyse microbiologique de la levure sèche et la poussière**

Echantillons	Dilution n°0		Dilution n°1		Dilution n°2	
	Levure sèche (UFC/ml)	Poussière (UFC/ml)	Levure sèche (UFC/ml)	Poussière (UFC/ml)	Levure sèche (UFC/ml)	Poussière (UFC/ml)
1	700	920	70	92	8	10
2	850	800	85	80	9	7
3	900	1000	90	100	8	9
4	950	1000	95	100	9	10
5	870	900	87	90	7	10
6	700	870	70	87	5	7

**Annexe 11: Force de panification de la levure et la poussière**

Echantillons	Force de panification pdt 1h		Force de panification pdt 2h	
	Levure sèche	Poussière	Levure sèche	Poussière
1	49.62	35.78	119.1	94.8
2	50.23	36.68	118.4	96.1
3	50.06	36.98	119.8	97.2
4	47	34.2	114.4	91.6
5	48.2	35	115.23	92.3
6	50.8	36.5	117.2	96

**Annexe 12: Force de panification du mélange de la levure et la poussière**

Echantillons	Force de panification					
	Levure sèche	Poussière	Mélange			
			Proportions			
LS/P	75/25	LS/P	85/15			
1	119.1	94.8	102.23		111	
2	118.4	96.1	103		112.5	
3	119.8	97.2	109.9		113.4	
4	114.4	91.6	102.75		110.5	
5	115.23	92.3	108.59		111.8	
6	117.2	96	106		113	

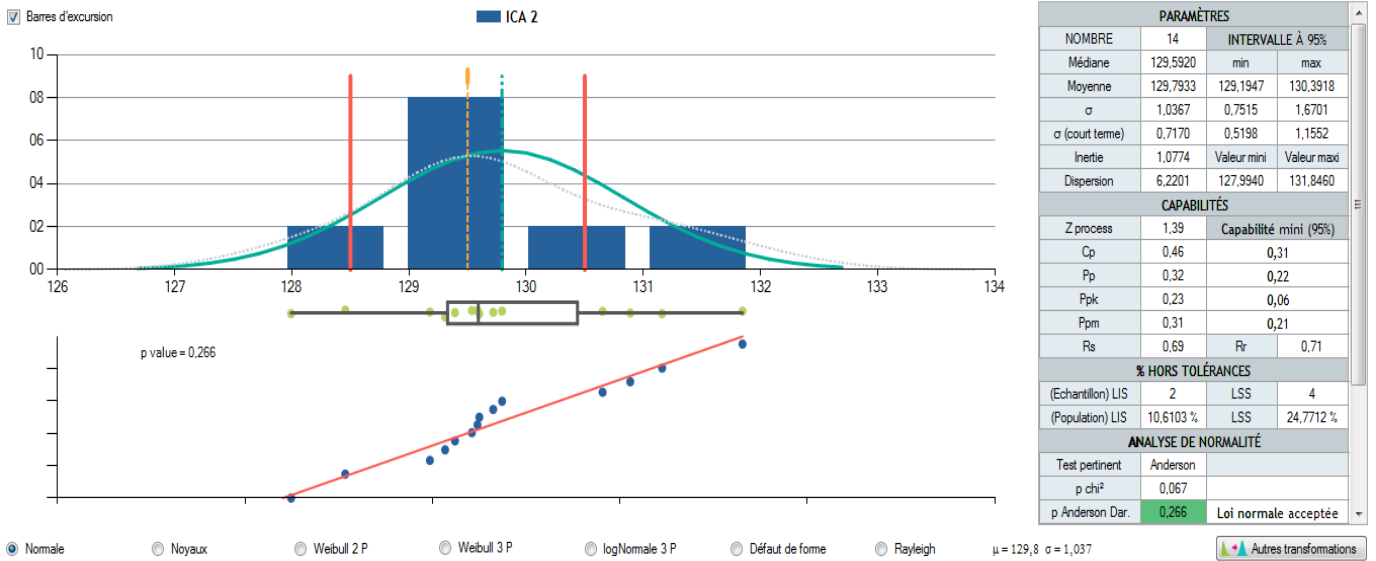
**Annexe 13:** Tableau des essais réalisés de plan d'expérience

Débit	émulsifiant	durée	Conductivité	quantité de poussière
36000	1,3	10	24000	140
36000	1,3	12	26000	189
36000	1,6	10	26000	110
36000	1,6	12	24000	81
38000	1,6	12	26000	250
38000	1,6	10	24000	200
38000	1,3	12	24000	290
38000	1,3	10	26000	360

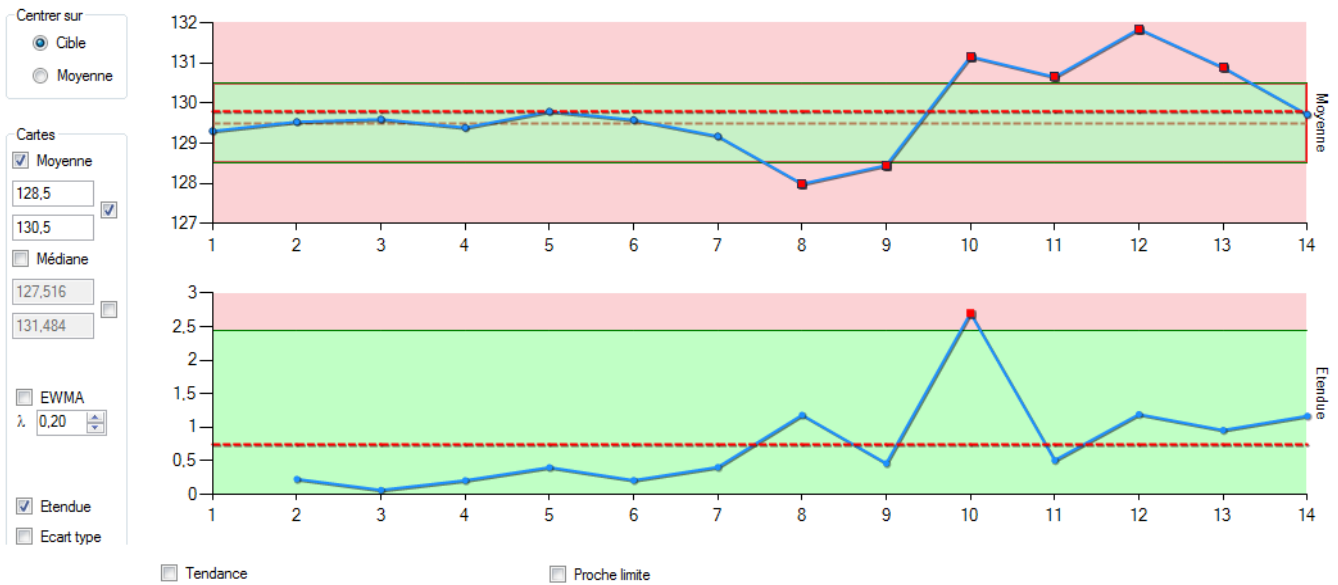
**Annexe 14:** Mesures de poids de produit fini de levure sèche 125 g

	ICA 1	ICA 2	ICA 3
échantillons	Moyenne de chaque échantillon/machine en g		
1	128,996	129,308	130,452
2	129,394	129,536	130,166
3	133,056	129,6	129,984
4	129,194	129,392	129,602
5	128,208	129,794	129,566
6	128,408	129,584	129,478
7	129,004	129,178	129,36
8	131,732	127,994	128,502
9	129,572	128,456	132,128
10	129,49	131,16	131,35
11	131,448	130,652	132,624
12	129,86	131,846	130,438
13	129,618	130,888	131,726
14	131,042	129,718	131,232

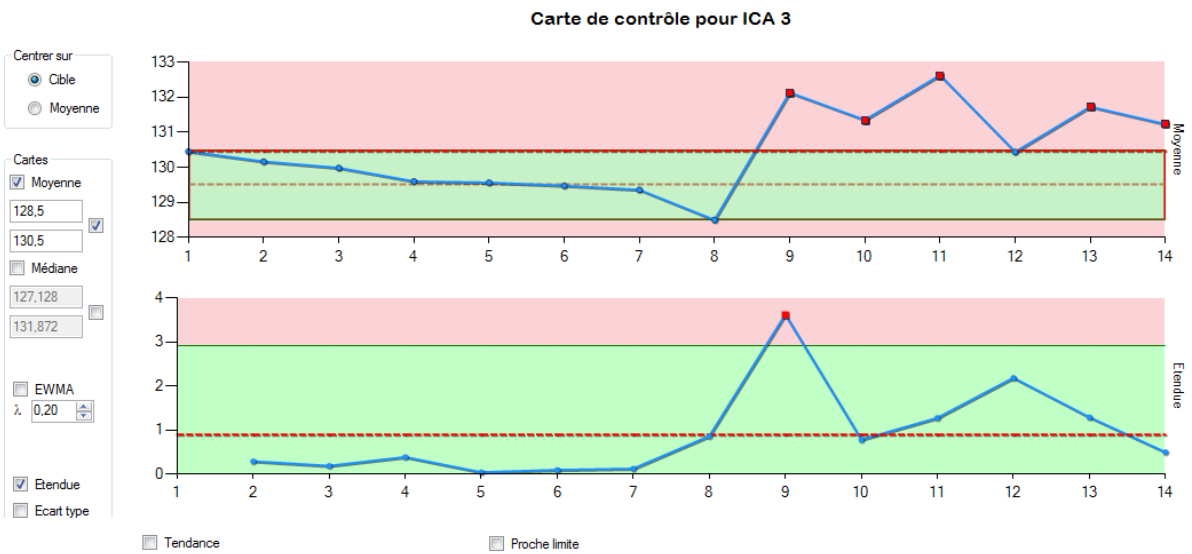
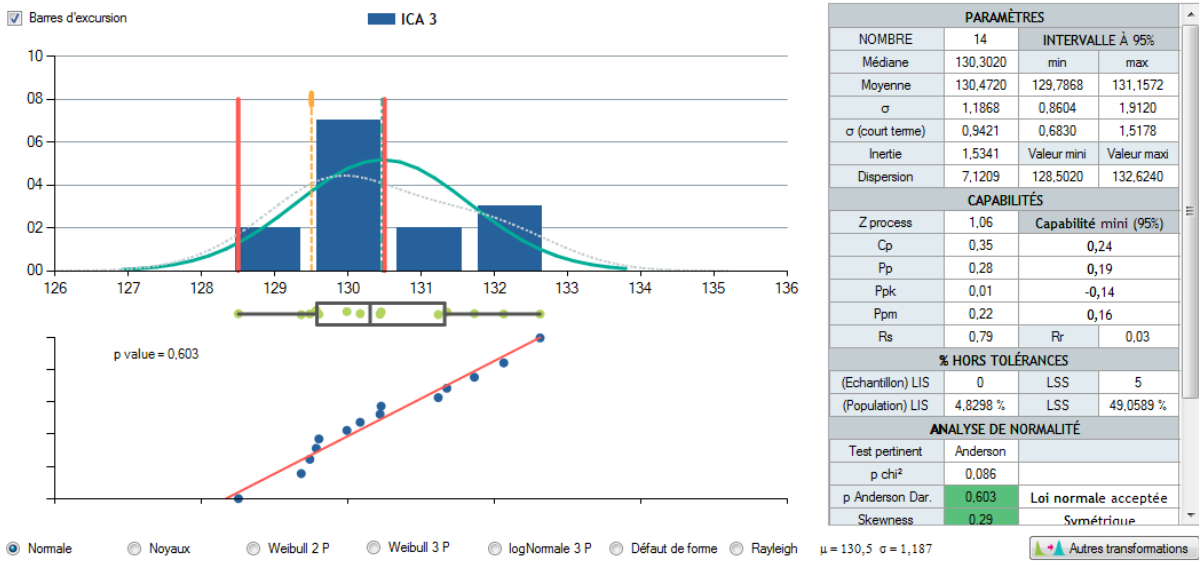
## Annexe 15: Etude de capabilité de la machine ICA2



Carte de contrôle pour ICA 2



## Annexe 16: Etude de capabilité de la machine ICA3



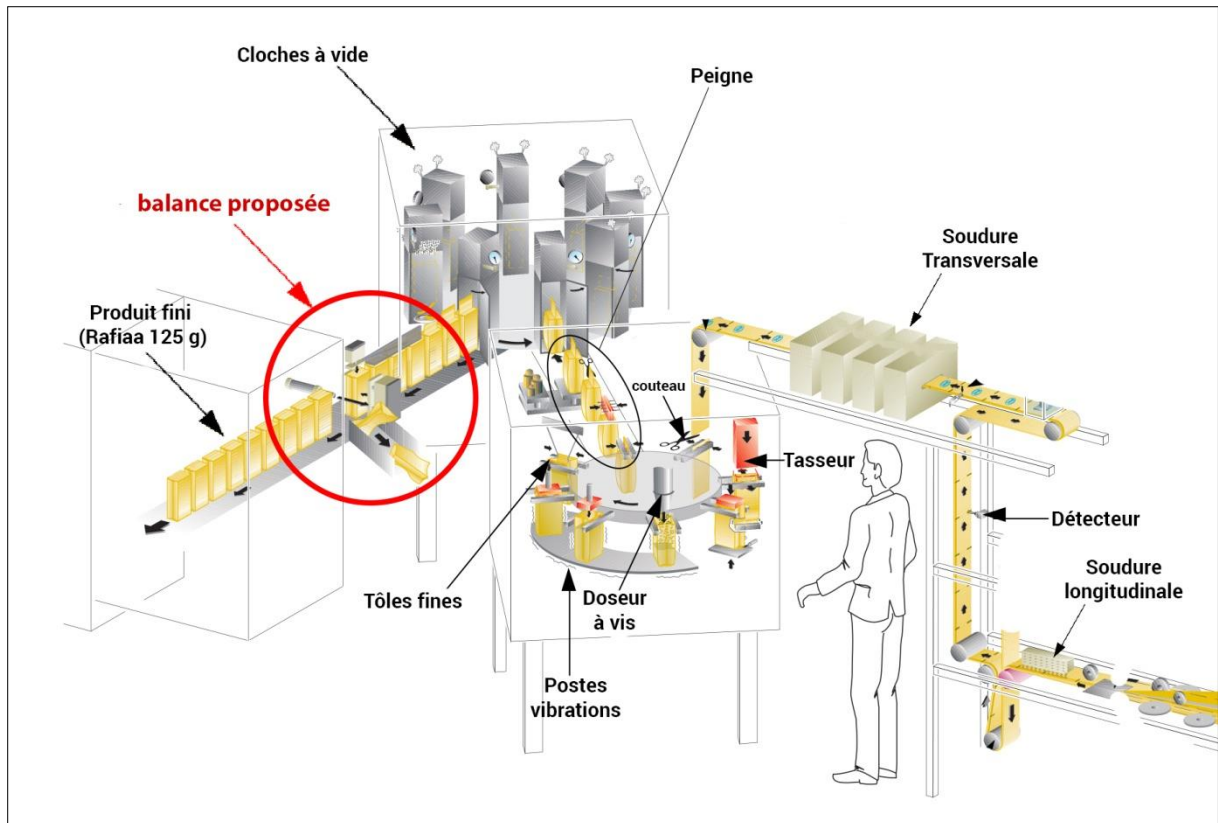
**Annexe 17: Mesures de la densité de levure sèche**

Echantillon	densité de la levure sèche						Moyenne
1	63,34	62,77	62,55	62,3	62,4	63	62,73
2	60,54	60,38	60,2	60,3	60,21	62,23	60,64
3	60,5	60,68	60,75	60,66	60,42	60,45	60,58
4	65,75	65,92	66,31	66,5	65,5	64,9	65,81
5	65,8	66,05	65,81	64,89	64,7	64,75	65,33
6	62,29	61,92	63,93	63,53	64,15	64,1	63,32
7	62,45	63,3	63,1	62,1	62,3	62,4	62,61
8	63	62,87	62,97	62,6	62,7	62,8	62,82
9	63,38	63,59	63,25	63,1	63,13	62,89	63,22
10	62,1	62,3	62,5	64,2	63,13	63,14	62,90
11	61,5	62,3	61,9	62	62,4	62,3	62,07
12	61,4	62,4	62	61,4	62	61,5	61,78
13	62,3	62,4	62,1	61,4	63	60,9	62,02
14	62	61,3	63,1	62,8	63,8	63,4	62,73

**Annexe 18: Mesures de poids de produit fini de levure sèche 15Kg**

Echantillons	Poids de la levure 15 kg					moyenne
1	130,05	130,49	129,9	130,35	130,1	130,18
2	130,61	130,59	130,35	130,08	130,2	130,37
3	130,6	130,3	129,95	130,14	130,2	130,24
4	130,5	130,77	130,2	130,7	130,4	130,51
5	130,48	130,03	130,1	130,35	130,2	130,23
6	130,15	130,1	130,32	130,3	130,12	130,20
7	130,08	130,64	130,21	130,61	130,5	130,41
8	129,99	130	130	130,3	130,07	130,07
9	130,4	130,55	130,65	130,23	130,34	130,43
10	130,16	130,23	130,42	130,3	130,1	130,24

## Annexe 19: Balance proposée pour éliminer les pertes de poids



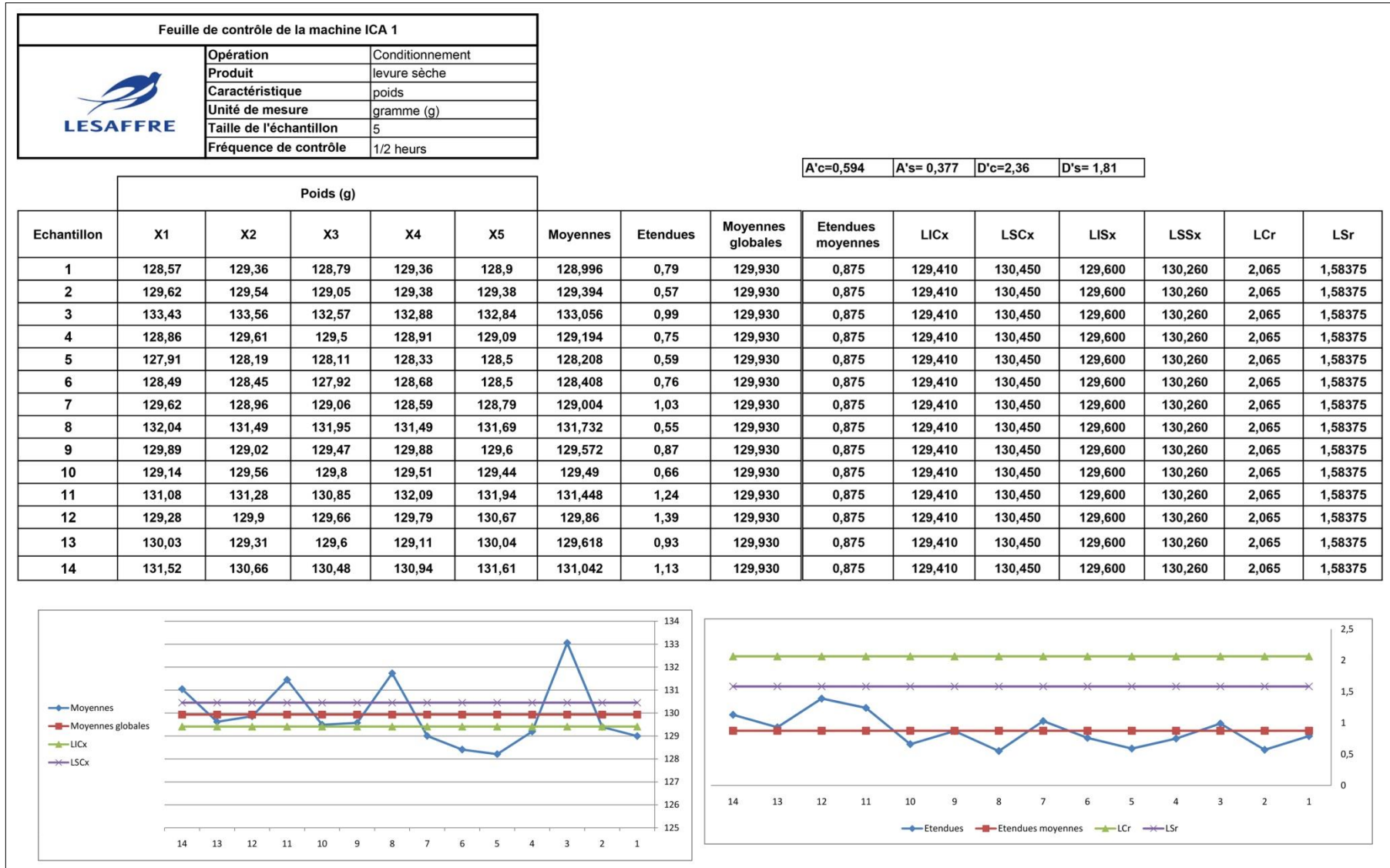
**Annexe 20:** Analyse AMDEC de la machine de conditionnement ICA1

Éléments	Fonctions	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effets de défaillance	Criticité			
					G	N	F	C
Bobine	Alimente la FB67 par le matériau de conditionnement	coincement	Sur poids non contrôlable	Usure de roulement	4	2	1	8
Rouleaux basculants	Guidage des films d'emballage	Désorientation de rouleaux	Usure des roulements des rouleaux	Effet sur le guidage des films	4	2	2	16
Pompe à vide	Assure le système sous vide de la machine	Manque de vide dans la machine	Poussière et les corps étrangers	Des paquets non étanches	4	3	2	24
Soudure transversale	Souder la partie transversale du sachet	Sachet percés	Diminution de température	Perte de produit	1	2	4	8
Cylindre d'attraction	Attraction de rouleau	Usure	Frottement avec le rouleau	mauvais attirerment de rouleau	2	2	2	8
Soudure longitudinale	Souder la partie longitudinale du sachet	Sachet percés	Diminution de température	Perte de produit	2	2	4	16
Couteau 1	Coupage des sachets	Usure de couteau	Vieillessement	Sachets non coupés	4	1	1	4
Venteuse d'ouverture sachets	Ouverture sachets	Déchirure des venteuses	Vieillessement	Chute des sachets	2	2	3	12
Valve de distribution	Distribution d'air	Usure des valves	Panne de la pompe à vide et manque de graisse des valves	Manque d'air	4	3	2	24
Doseur	Remplissage de la levure dans les sachets	Perte de produit	déréglage	Perte de produit	2	2	4	16



Support de mouvement chariot (peigne)	Assure les mouvements des paquets au sein de la machine	Désorientation du paquet en rentrants dans les chambres	Blocage des paquets dans le convoyeur	Perte de produit	3	2	3	18
Vérin	Commande la came	Mauvais réglage	Cassement	Panne de la came	4	3	2	24
Came 1	Faire tourner la chambre	Mauvais réglage de vérin	Vieillessement des roulements	Blocage des chambres de soudage	4	3	2	24
Souffleur	Sous vide des paquets	Sachets non étanches	Panne de la pompe à vide	Produit non conforme	2	3	2	12
Plaques chauffantes de la chambre	Soudage des têtes des sachets	Non soudage des sachets	Diminution de la température de la résistance	Mauvaise étanchéité Des sachets	2	2	4	16
Came 2	Commande l'ouverture et la fermeture de pinces de la cloche	Délitations des roulements de la came	Ir régulation de la densité de la levure	Blocage des sachets dans la chambre	4	3	2	24
AXE de porte	Ouverture des portes de la cloche	Usure des axes	Non ouverture des portes de la cloche	Manque de graisse	4	2	1	8
Venteuse	Tirer les sachets de la chambre	Délitations des caoutchoucs des venteuses	Remplissage des venteuses par la levure	Chute des sachets dans la cloche	2	2	3	12
Couteau 2	Coupure des sachets	Usure de couteau	Vieillessement	Sachets non coupés	4	1	1	4

## Annexe 21: carte de contrôle de poids de produit fini





## Filière Ingénieurs IAA

### Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat

Nom et prénom: LAMKADMI Yassine

Année Universitaire : 2017/2018

**Titre: Optimisation de production et réduction des pertes au cours de déshydratation et conditionnement de la levure sèche selon la démarche DMAIC**

### Résumé

L'objectif du présent travail, réalisé dans LESAFFRE Maroc, est d'optimiser la production et réduire les pertes en matière de la levure sèche. Notre approche est basée sur la démarche DMAIC. Pour ce faire, nous avons commencé par la détermination du périmètre du projet par l'outil SIPOC et la charte du projet. Ensuite, nous avons déterminé les origines et les moyennes des pertes en effectuant des suivis et en utilisant les outils suivants : le diagramme de Pareto, et le diagramme d'Ichikawa afin d'identifier les causes réelles des pertes. Puis, nous avons calculé le TRS de la machine de conditionnement, ensuite nous avons essayé de réduire les pertes par l'élaboration de nouveaux standards par utilisation de un plan d'expérience et la vérification et la correction des standards déjà existants lors des trois phases de fabrication de la levure sèche. En outre nous avons effectué une analyse AMDEC de la machine ICA et enfin nous avons proposés des recommandations amélioratrices, tel qu'une carte de contrôle qui permettra d'assurer l'application de ces actions par les conducteurs et des installations à ajouter.

**Mots clés: Optimisation - Perte – DMAIC – Levure sèche – TRS – AMDEC – Capabilité – Carte de contrôle – Plan d'expérience – Pareto – Ishikawa - LESAFFRE**