

## *Résumé*

Dans le cadre de notre formation en Licence Science et Technique Conception et Analyse Mécanique, nous avons effectué un stage de fin d'études au sein de la société LESAFFRE MAROC, pour une durée de deux mois.

Après notre intégration dans l'équipe, nous avons eu l'occasion de collaborer dans l'amélioration de la maintenance des équipements particulièrement le clarificateur ALFA LAVAL.

L'étude AMDEC consiste à analyser et améliorer la disponibilité de la machine et par conséquent limiter l'arrêt de production sachant que le produit (mélasse) est un composant principal dans la production de la levure.

Le présent travail est fait en plusieurs étapes :

- ✓ présentation de la société.
- ✓ Suivi des processus de production de la levure.
- ✓ Présentation et analyse fonctionnelle de la machine.
- ✓ Présentation de la méthode AMDEC.
- ✓ Application d'AMDEC sur le clarificateur de la mélasse et établissement d'un plan de maintenance préventive.

## *Table des matières*

<i>Dédicace</i> .....	1
<i>Remerciements</i> .....	2
<i>Liste des figures</i> .....	7
<i>Liste des Tableaux</i> :.....	8
<i>INTRODUCTION</i> .....	9
<u>Chapitre 1</u> : Historique & Présentation de la société .....	10
I. Introduction.....	11
I. Historique du groupe LESAFFRE .....	11
II. Historique de LESAFFRE Maroc .....	11
III. Organigramme LESAFFRE MAROC .....	13
<u>Chapitre 2</u> : Les différentes étapes de la production de la levure.....	14
I. Introduction.....	15
II. Les stations principales de production .....	15
III. Les étapes de production .....	15
1. Ensemencement .....	15
2. Pré fermentation .....	16
3. Traitement de la mélasse .....	16
4. La fermentation.....	17
5. Séparation .....	17
6. Stockage de la crème .....	17
7. Filtration .....	17
8. Séchage.....	18
8.1. La levure sèche active ou SPH.....	18
8.2. La levure sèche instantanée ou SPI.....	18
9. Emballages.....	19
9.1. Emballage de la levure fraîche .....	19
9.2. Emballage de la sèche .....	19
IV. Machines et technique de production.....	21
1. Dans la fraîche .....	21
1.1 Les filtres rotatifs.....	21
1.2 Le réservoir de la crème .....	21
1.3 Panneau de commande et de contrôle.....	21

1.4 Le système d'alimentation d'eau .....	21
1.5 Machine PROCONOR .....	21
2. Dans la sèche .....	22
2.1 Malaxeuse boudineuse .....	22
2.2 Contrôle et régulation des émulsifiants .....	22
2.3 Sécheurs .....	22
3. Dans la salle de séparation.....	22
V. Les tours de refroidissement de l'eau .....	23
VI. L'échangeur de chaleur .....	23
VII. Les Chaudières.....	23
<b>Chapitre 3: Problématique et étude du clarificateur ALFA LAVAL.....</b>	<b>24</b>
I. Présentation du problème .....	25
1. Problématique .....	25
2. Cahier de charge .....	25
II. Analyse fonctionnelle .....	26
1. Définition.....	26
2. Analyse fonctionnelle externe .....	26
2.2 Diagramme de Pieuvre .....	27
3. Analyse fonctionnelle interne .....	28
III. Analyse du fonctionnement.....	30
1. Définition du produit traité par la machine (mélasse) .....	30
2. Le fonctionnement général de la machine .....	30
2.1 Le bol du clarificateur.....	30
2.1.1 Turbine centripète .....	31
2.1.2 Principe.....	31
2.2 Le moteur.....	32
2.3 Mécanisme.....	32
2.3.1 Transmission de puissance .....	33
2.3.2 Calcul du rapport de vitesse .....	33
2.3.3 Calcul du couple de transmission de sortie .....	33
3. Principe de fonctionnement .....	34
<b>Chapitre 4: Application de l'analyse AMDEC sur le clarificateur ALFA LAVAL .....</b>	<b>37</b>
I. Introduction.....	38
II. Généralités sur la méthode AMDEC .....	38
1. Définition.....	38

2. Objectif .....	38
III. Application AMDEC.....	38
1. Introduction .....	38
2. Constitution du groupe de travail .....	39
3. Découpage fonctionnelle de la machine .....	39
4. Analyse AMDEC du clarificateur ALFA LAVAL.....	45
6. Diagramme d’Ishikawa.....	54
IV. Maintenance corrective et préventive .....	58
1. Plan de maintenance corrective proposé .....	58
2. Plan de la maintenance préventive .....	59
V. Travaux effectués .....	60
<i>Conclusion et perspectives</i> .....	61
<i>Reference bibliographique</i> .....	62
ANNEXE 1 .....	63

## Liste des figures

Figure 1 : historique Lesaffre Maroc.....	12
Figure 2 : Organigramme de l'entreprise LESAFFRE MAROC .....	13
Figure 3 : schéma du procédé de fabrication de la levure .....	20
Figure 4 : Diagramme de bête à corne du clarificateur ALFA LAVAL .....	26
Figure 5 : Diagramme de Pieuvre du clarificateur ALFA LAVAL .....	27
Figure 6 : Graphe SADT du clarificateur ALFA LAVAL.....	28
Figure 7 : Graphe FAST du clarificateur ALFA LAVAL .....	29
Figure 8 : de la mélasse .....	30
Figure 9 : le bol du clarificateur .....	30
Figure 10 : Turbine centripète .....	31
Figure 11 : Moteur du clarificateur ALFA LAVAL .....	32
Figure 12 : Mécanisme du clarificateur ALFA LAVAL.....	32
Figure 13 : le bol du clarificateur en débouillage.....	34
Figure 14 : Décomposition fonctionnelle du clarificateur ALFA LAVAL .....	40
Figure 15 : Vue éclaté des éléments du bol.....	41
Figure 16 : Vue éclaté des éléments du moteur .....	42
Figure 17 : Vue éclaté du dispositif d'entraînement vertical .....	42
Figure 18 : Vue éclaté du dispositif d'entraînement horizontale .....	43
Figure 19 : Vue éclaté des éléments du système d'eau de commande.....	44
Figure 20 : Vue éclaté des éléments de la garniture mécanique .....	45
Figure 21 : Vue éclaté des éléments de la garniture mécanique .....	45
Figure 22 : Vue éclaté des éléments des pattes de la machine .....	45
Figure 23 : Analyse Pareto du clarificateur ALFA LAVAL.....	53
Figure 24 : Diagramme Ishikawa du disque du bol .....	55
Figure 25 : Diagramme Ishikawa du joint.....	55
Figure 26 : Diagramme Ishikawa des pattes .....	56
Figure 27 : Diagramme Ishikawa des roulements .....	56
Figure 28 : Diagramme Ishikawa du fond de bol.....	57
Figure 29 : Diagramme Ishikawa du Fond mobile du bol.....	57

## *Liste des Tableaux*

Tableau 1 : Mesures en différents modes de fonctionnement du clarificateur.....	36
Tableau 2 : Nomenclature des éléments du bol.....	41
Tableau 3 : Nomenclature des éléments du moteur .....	42
Tableau 4 : Nomenclature du dispositif d'entraînement vertical .....	43
Tableau 5 : Nomenclature des éléments du dispositif d'entraînement horizontal .....	44
Tableau 6 : AMDEC des éléments du bol du clarificateur ALFA LAVAL.....	47
Tableau 7 : AMDEC des éléments du dispositif d'entraînement vertical.....	48
Tableau 8 : AMDEC des éléments du dispositif d'entraînement horizontal.....	49
Tableau 9 : AMDEC du moteur .....	50
Tableau 10 : AMDEC des éléments du système eau de commande .....	50
Tableau 11 : AMDEC des pattes.....	51
Tableau 12 : AMDEC des éléments de la garniture mécanique.....	51
Tableau 13 : Tableau Pareto.....	52
Tableau 14 : Actions correctives.....	58
Tableau 15 : Planning de maintenance préventive.....	59
Tableau 16 : Les éléments de l'évaluation .....	63
Tableau 17 : Gravité.....	64
Tableau 18 : Fréquence .....	64
Tableau 19 : Non détection .....	65

## *INTRODUCTION*

La maintenance d'un équipement critique pour une usine doit être rigoureuse. Il est donc souhaitable de contrôler au lieu de subir les pannes imprévues. Ces pannes peuvent causer une augmentation des coûts de maintenance, un arrêt de production ou des dangers pour les travailleurs.

Pour maintenir, il faut bien connaître l'équipement ainsi que les différents modes de défaillances. Il est possible par la suite de déterminer les causes probables des dysfonctionnements et d'en évaluer l'impact sur le procès. L'AMDEC est l'outil adéquat pour exécuter cette tâche laborieuse.

L'étude AMDEC, réalisée au sein de la société LESAFFRE de l'industrie agroalimentaire spécialisé dans la production de la levure industrielle, consiste à analyser une machine critique dans le procès de production.

La machine objet de l'étude 'AMDEC machine' est un clarificateur de mélasse (ingrédient principal dans la production de la levure). A partir de cette étude AMDEC, nous avons pu relever les éléments critiques, faire une étude causes effets à l'aide des diagrammes d'Ichikawa, et enfin proposer des actions correctives et préventives pour améliorer la maintenance de la machine.

Le présent rapport, issu du travail effectué pendant la période de stage, est structuré en quatre chapitres :

- ***Chapitre 1*** : Histoire et présentation de la société LESAFFRE.
- ***Chapitre 2*** : Les différentes étapes de la production de la levure.
- ***Chapitre 3*** : Problématique et étude du clarificateur ALFA LAVAL.
- ***Chapitre 4*** : Analyse AMDEC du clarificateur ALFA LAVAL.

## Chapitre 1

### Historique & Présentation de la société





## I. Introduction

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. 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.

## I. Historique du groupe LESAFFRE

- **En 1853** : création d'une distillerie d'alcool de grains et de genièvre a Marquette-lez-Lille.
- **En 1867** : démarrage de l'industrie de levure a l'Autriche.
- **En 1873** : développement de la fabrication de la levure fraîche.
- **En 1923** : changement de matière première.
- **En 1973** : première production de levure sèche instantanée.
- **En 2003** : Construction d'une nouvelle levurerie à Cedar Rapids (Etats-Unis) et acquisitions en Russie et en Ukraine.
- **En 2007** : construction d'une nouvelle unité de production en chine.
- **En 2010** : Inauguration d'une usine de levure et d'extraits de levure en Chine.
- **En 2012** : Lancement de Kastalia levain, véritable levain vivant dont la durée de conservation atteint les 12 semaines.
- **En 2017** : LESAFFRE fête ses 164 ans.

## II. Historique de LESAFFRE Maroc

Créé en 1975, SODERS, la société des dérivées des sucres est depuis 1993 majoritairement détendue par LESAFFRE. Elle est ainsi devenue la première entreprise privatisée du Maroc. Elle bénéficie de l'expérience de la maîtrise technique du leader mondial de la fabrication de levure de panification.

Basés à Fès, c'est une société anonyme employant 150 personnes avec une superficie de 2 hectares qui bénéficie d'une politique salariale attractive et des possibilités de formation continue d'un grand groupe qui a su conserver les valeurs humaines d'une entreprise familiale.

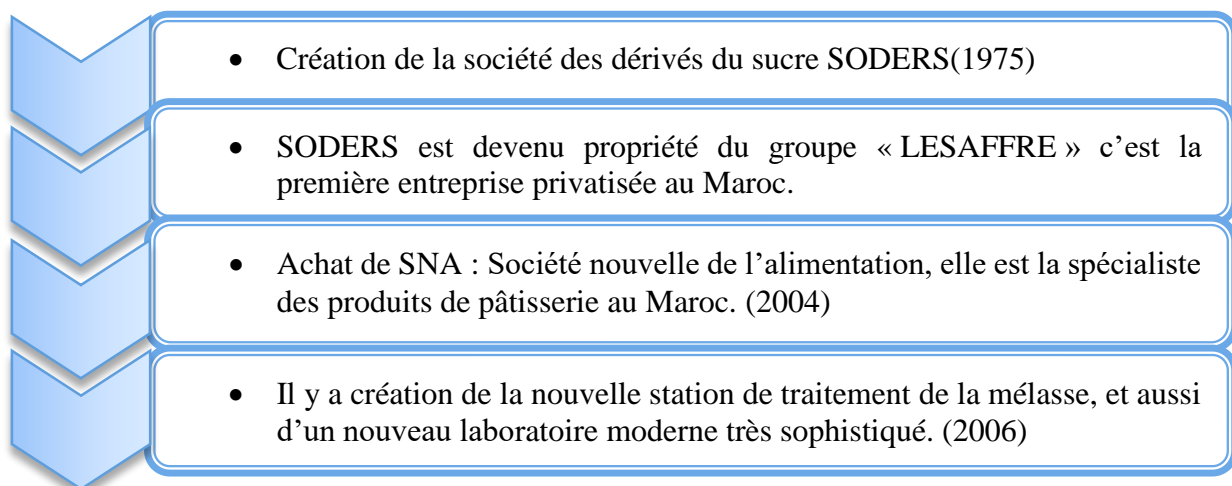
LESAFFRE Maroc fabrique et commercialise au Maroc de la levure et des améliorantes de panification : les marques <jaouda> en levure fraîche, <Rafiaa> en levure sèche, < Neveda> la levure sèche réservée à l'export en Tunisie, les améliorants de panification <Ibis> et <Migimax>, ainsi que les aromes. Sa large gamme de produits en fait aujourd'hui le leader sur le marché des professionnels.

Bénéficiant de l'expertise du savoir-faire du groupe LESAFFRE Maroc possède un laboratoire d'analyse qui effectue chaque jour de nombreux tests physico-chimiques et bactériologique. La qualité des levures est ainsi sans cesse évaluée afin d'optimiser leurs performances : forces 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 LESAFFRE Maroc assure un suivi de 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.

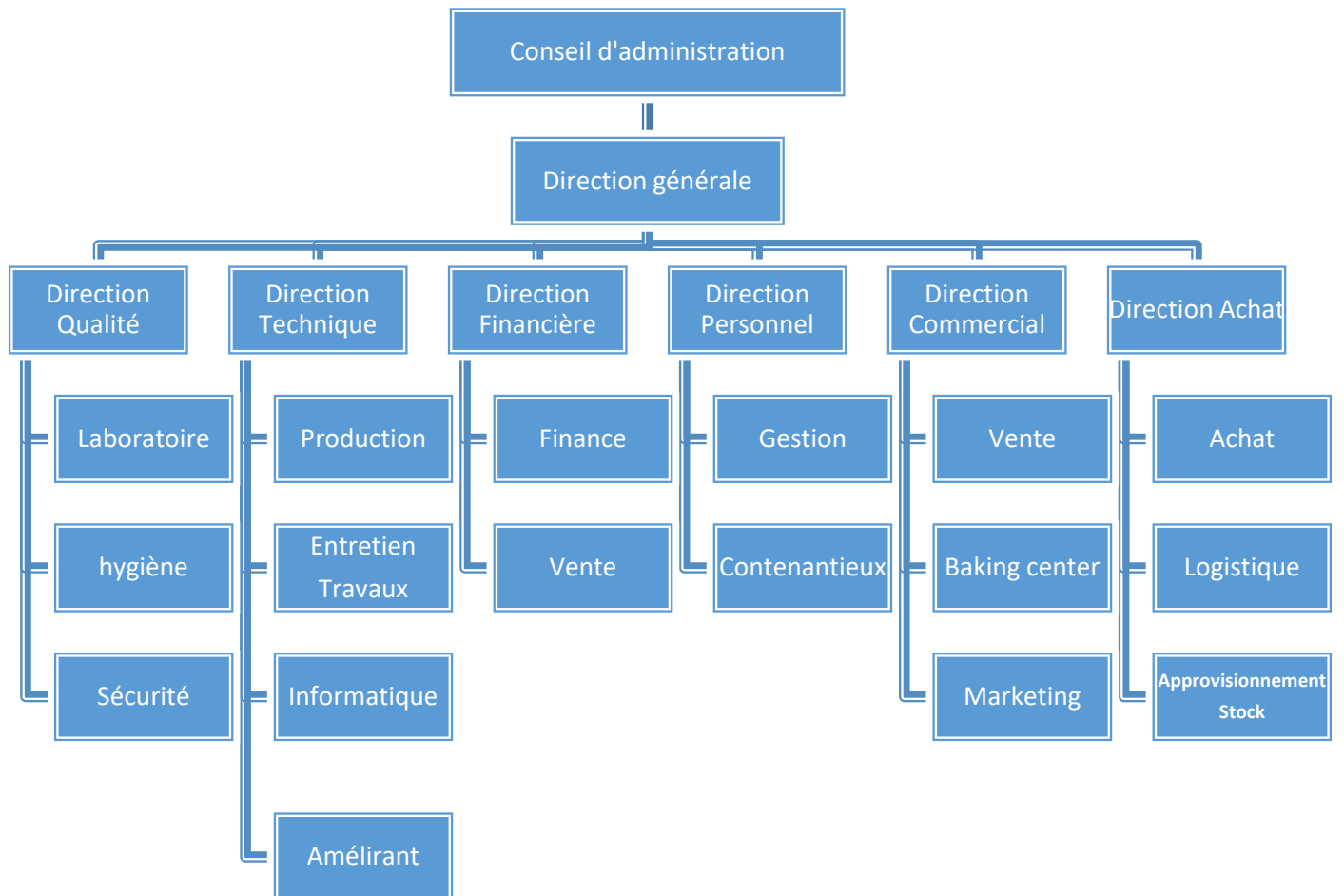
Enfin, une sensibilisation permanente des salariés de l'entreprise aux principes et règlements relatifs à l'hygiène permet de respecter des normes bactériologiques rigoureuses.



**FIGURE 1 : HISTORIQUE LESAFFRE MAROC**

### III. Organigramme LESAFFRE MAROC

L'organigramme ci-dessous résume la voie hiérarchique de la société.



**FIGURE 2 : ORGANIGRAMME DE L'ENTREPRISE LESAFFRE MAROC**

- ✦ Co-développer et Co-construire leurs produits et leurs services avec tous ces clients.
- ✦ travaille à améliorer la qualité de leur alimentation pour maintenir durablement la santé des vivants.
- ✦ Exercer ces activités dans le respect de la planète.

*Mission du groupe Lesaffre*

## Chapitre 2

# Les différentes étapes de la production de la levure



## I. Introduction

La production de la levure est réalisée en plusieurs étapes successives de fermentation et chaque étape servira pour commencer l'étape suivante.

Les premières fermentations sont des étapes d'expansion de la levure, avec un rendement faible en biomasse. Puis on réalise une fermentation aérée qui débute avec faible quantité de nutrition puis on ajoute les produits nutritifs spécifiques à fur et mesure durant la fermentation, cela donne un rendement élevé de la biomasse et un taux d'alcool quasi nul.

## II. Les stations principales de production

Il y a six stations de production qui travaillent en parallèles pour assurer un produit de qualité :

- ❖ **Station de préparation** : Le rôle de cette station est la préparation de sels minéraux : l'urée, sulfate, d'ammonium, phosphate.
- ❖ **Station de mélasse** : La stérilisation de la mélasse avant d'alimenter les fermenteurs.
- ❖ **Station de fermentation** : Elle contient la pré-fermentation et les fermenteurs principaux de la levure mère et la crème.
- ❖ **Station de la séparation** : Elle contient cinq séparateurs et trois clarificateurs, l'un de ces clarificateur est l'objet de notre étude.
- ❖ **Station de filtration** : Elle est composée par trois filtres rotatifs sous vide l'un pour la levure sèche et deux autres pour la fraîche.
- ❖ **Station d'emballage et de stockage** : Elle est composée par des boudineuses qui emballent la levure sèche et la levure fraîche.

## III. Les étapes de production

### 1. Ensemencement

La souche initiale estensemencée dans des tubes dans un milieu nutritifs spécifique à la croissance des levures, cela dans des conditions aseptiques pour écarter tout risque de contamination, après on prend le contenu du tube et on met dans un petit cône de 1/21 avec un milieu nutritif, puis dans un Carlsberg de 6L, on prend ce dernier et on met dans une cuve de 800L pour cette fois on donne la mélasse comme produit nutritif.

## 2. Pré fermentation

Le contenu de la cuve de 800L est versé dans un pré fermenteur et on ajoute les éléments avec des quantités précises :

- L'eau.
- La mélasse stérile.
- L'acide sulfurique pour ajuster le pH.
- Les sels minéraux.
- Les éléments de traces (oligo-éléments et vitamines)
- L'air.

## 3. Traitement de la mélasse

### 3.1. Réception

La mélasse provient de différentes sucreries de Maroc par des camions citernes, on s'assurer de la bonne qualité en prenons des échantillons pour l'analyse du PH qui donne une idée sur la qualité de la mélasse.

La mélasse est stockée dans des tanks qui sont équipés par des pompes qui assurent la poussé de la mélasse pour la dilution.

### 3.2. Dilution

La mélasse brute de la canne et de la betterave provient des tanks et se mélange dans une cuve de dilution avec de l'eau et de la vapeur pour avoir de mélasse dilué (MD), cette dernière contient environ 80% de betterave et 20% de canne, quand à la dilution est d'environ 50%.

La température dans la cuve de MD est de 70°C grâce à la vapeur d'eau injectée pour diminuer la viscosité de la mélasse et la diluer.

### 3.3 Clarification

Après la dilution, la clarification élimine les bouts et les matières solides indésirables par centrifugation.

La mélasse diluée clarifiée (MDC), est stockée dans une cuve et transférée dans un échangeur mélasse/mélasse, qui augmente la température de la mélasse diluée clarifiée de 70°C

à 90°C en échangeant avec une autre mélasse qui provient du stérilisateur et qui a une température de 120°C à 130°C.

### 3.3. Stérilisation

On injecte de la vapeur d'eau sous pression de 6 bars, la température de la mélasse augmente de 90°C à environ 120°C à 130°C.

Après la stérilisation, la mélasse stérilisée (MDCS) est stockée dans deux cuves ensuite elle passe dans échangeur mélasse/eau, qui refroidie la mélasse pour qu'elle soit utilisable pour la fermentation et pour produire de l'eau chaude à 60° C » » 70°C.

## 4. La fermentation

A la fin de la pré-fermentation on obtient un mout qui servira à ensemercer le fermenteur avec milieu nutritif bien spécifique et après 18 à 20 heures de fermentation, on obtient la levure mère, qui va subir une séparation puis un stockage.

La levure mère obtenue va encore servir à la fermentation, par un ensemencement pour donner naissance à une levure commerciale.

## 5. Séparation

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

Pour éliminer ces déchets on utilise un séparateur qui utilise comme principes la centrifugation, on obtient un liquide dense (crème) et un liquide léger, c'est le moût qui est rejeté vers les égouts.

## 6. Stockage de la crème

La crème obtenue après la séparation est acidifiée par l'acide sulfurique a PH=2 pour éviter la contamination, et stockée à 5°C pour ralentir le métabolisme cellulaire.

## 7. Filtration

Consiste à éliminer l'eau présente dans la levure pour la préserver d'une éventuelle contamination puisque l'eau facilite par des micro-organismes.

La crème arrive au niveau d'un filtre rotatif qui contient une couche filtrante d'amidon, dont le but de ne laisser pénétrer que l'eau.

La crème étant étalée sur la surface de filtre et récupérée.

## 8. Séchage

Il augmente la durée de vie de la levure par la réduction de son humidité.

### 8.1. La levure sèche active ou SPH

Sous forme de petits grains sphériques, sa durée de séchage est d'environ quatre heures pour une quantité de 400kg à 500kg, effectué à 45°C.

La levure sort du filtre à l'état pâteux et passe dans mélangeur puis dans une grille percée de tous pour avoir une granulométrie bien déterminée.

La levure granulée est récupérée dans des bols pour passer dans des séchoirs qui fonctionnent par l'envoi d'un courant d'air sec et chaud auparavant filtré sur la levure granulée.

Le séchage de S.P.H se déroule en deux étapes :

- **1ère étape** : on néglige la température de la levure et on fixe celle de l'air d'entrée à 65°C dans le but d'éliminer l'eau de la surface.
- **2ème étape** : pour éviter la détérioration des cellules sous l'influence de la chaleur, on diminue la température de l'air et en faisant augmenter la température de la levure jusqu'à 45°C.

### 8.2. La levure sèche instantanée ou SPI

Sous forme des bâtonnets, elle a une durée de séchage réduite, durant 20min environ pour une quantité de 100kg, elle est caractérisée par force fermentaire supérieure à celle de la SPH.

Son séchage se déroule en trois étapes :

- **1ère étape** : pour éliminer l'eau externe au maximum, on fait envoyer un courant d'air d'une température de 100°C sur les grains de levure.
- **2ème étape** : on diminue la température de la vapeur par rapport au produit pour éviter la mort des cellules.
- **3ème étape** : pour augmenter la teneur de matière sèche, on fait envoyer d'une manière continue et rapide des courants d'air sur les grains.



## 9. Emballages

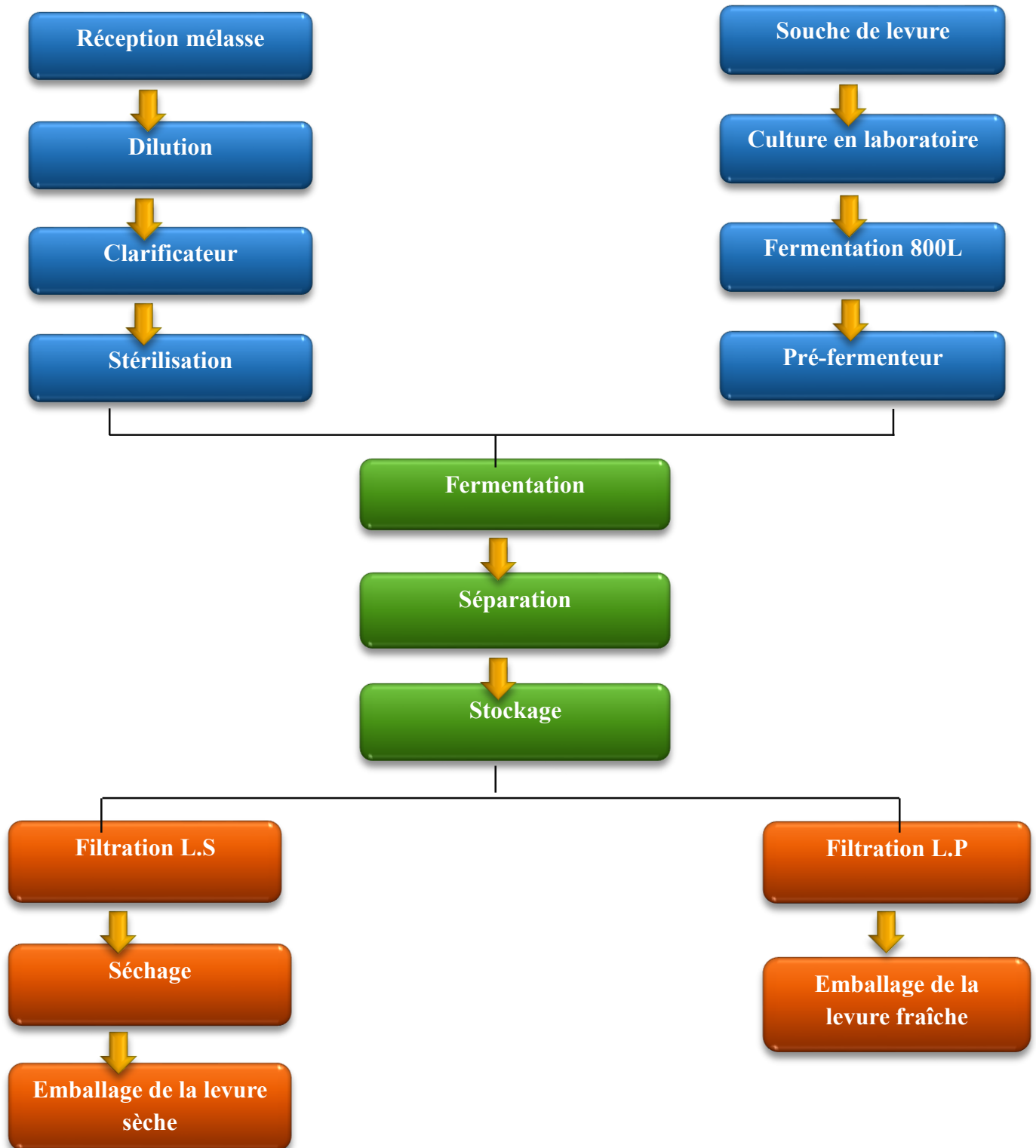
### 9.1. Emballage de la levure fraîche

S'effectue grâce à une machine spéciale, construite d'une boudineuse, découpeuse et enveloppeuse. Quand le gâteau de la levure fraîche passe par cette machine, on aura à la fin un produit fini sous forme de paquets de poids nette de 500g, qu'on met en cartons disposés sur des palettes de manière à avoir un vide entre eux pour faciliter la circulation d'air froid.

### 9.2. Emballage de la sèche

Après le séchage la levure passe dans un appareil d'emballage spécifique qui aspire l'air des paquets pour une conservation à longue durée.

On va présenter ci-dessous le schéma général des étapes de la production de levure depuis la réception jusqu'à l'emballage.



**FIGURE 3 : SCHEMA DU PROCEDURE DE FABRICATION DE LA LEVURE**

## IV. Machines et technique de production

Pour la production de la levure, plusieurs techniques et machines sont utilisées pour ce processus, parmi les machines que nous avons pu assister à leur fonctionnement nous citons les filtres rotatifs, le réservoir de la crème, le panneau de commande et de contrôle, le système d'alimentation d'eau, machine Proconor, malaxeuse boudineuse, le clarificateur... etc.

### 1. Dans la fraîche

#### 1.1 Les filtres rotatifs

Pour la déshydratation de la crème, pour la production de la levure fraîche, levure instantanée et levure sèche active.

Le filtre rotatif utilisé dans la fraîche est un filtre de dimension 12m<sup>2</sup>.

Avec les systèmes d'automatisation incorporés, le démarrage et l'arrêt du filtre rotatif est automatique, suivant un programme préétabli, par rapport au niveau de remplissage dans la trémie de malaxage de la boudineuse.

#### 1.2 Le réservoir de la crème

Réservoir intermédiaire de crème et de préparation de pré couche, avec système de salage en ligne de système d'automatisation de l'alimentation de la crème au filtre rotatif.

#### 1.3 Panneau de commande et de contrôle

Panneau de commande et contrôle, muni d'écran tactile, à travers lequel on effectue le contrôle et le réglage du filtre rotatif.

Ainsi, grâce au système de contrôle et au niveau d'équipement et automatisation des machines, la présence d'opérateur pendant le fonctionnement automatique lors du procès de filtration n'est pas nécessaire.

#### 1.4 Le système d'alimentation d'eau

Système d'alimentation d'eau au système de lavage, avec système d'automatisation pour l'interruption et l'ouverture de l'alimentation d'eau.

#### 1.5 Machine PROCONOR

- Installation complètes, avec panneaux de commande, dont l'exécution basique comprend un écran tactile, pour faciliter les opérations d'automatisation, commande et contrôle de la ligne de conditionnement ainsi que du filtre rotatif.

- L'exécution basique de la coupeuse comprend le système de détection de la longueur des pains à travers l'Encoder, avec contrôle de coupe à travers PLC.
- Système d'addition d'huile avec anneau fritté, permettant de produire une levure plus friable, puisque l'on parvient à réduire considérablement et même à éliminer l'utilisation d'huiles plastifiantes dans la trémie de malaxage.

## 2. Dans la sèche

Dans la sèche l'usine utilise le filtre rotatif de 8 m<sup>2</sup> avec le réservoir de la crème mais il utilise aussi une extrudeuse, malaxeuse, des silos et des sécheurs.

### 2.1 Malaxeuse boudineuse

Malaxeuse boudineuse, pour le bobinage de la levure sous forme de vermicelles de 0.5mm de diamètre ou supérieurs, pour la production de levure instantanée et levure sèche active.

### 2.2 Contrôle et régulation des émulsifiants

Système pour l'addition, contrôle et régulation des émulsifiants qui sont ajoutés à la levure juste à la sortie du filtre rotatif.

### 2.3 Sécheurs

#### 2.3.1 Sécheur Glatt

Il se compose de deux bols le premier reçoit de la levure sous forme de vermicelles et quand elle est séchée le bol fait un pivotage avec le deuxième pour que la levure subit aussi le séchage.

#### 2.3.2 Sécheur T 10

Spécifique pour SPH : (sous forme arrondie). Le vis contient de l'air qui aspire la levure sous forme de vermicelles pour passer à l'intérieur du T10 afin d'être séchée, la poussière produite est récupérée dans des poches à filtre placées en haut des séchoirs, qu'on va les secouer par la suite.

## 3. Dans la salle de séparation

Il existe plusieurs machines dans la salle de fermentation parmi ces machines :

Les fermenteurs, le pré fermenteurs, le clarificateur qui élimine les choses indésirables par centrifugation d'une manière discontinue par débouillage manuelle.

## V. Les tours de refroidissement de l'eau

Une tour de refroidissement est un échangeur d'un type particulier qui permet de rejeter de la chaleur dans l'air environnant sous forme à la fois de chaleur sensible et de chaleur latente du fait de l'augmentation de son humidité.

En opérant de la sorte, il est possible de refroidir de l'eau jusqu'à une température supérieure de quelques degrés au-dessus de la température humide de l'air ambiant (et donc éventuellement inférieur à sa température sèche), ceci au prix d'une quantité d'eau consommée de l'ordre de 5% de celle que demanderait un refroidissement à eau.

## VI. L'échangeur de chaleur

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Le flux thermique traverse la surface d'échange qui sépare les fluides.

La plupart du temps, on utilise cette méthode pour refroidir ou réchauffer un liquide ou un gaz qu'il est impossible ou difficile de refroidir ou chauffer directement, par exemple l'eau d'un circuit primaire de refroidissement.

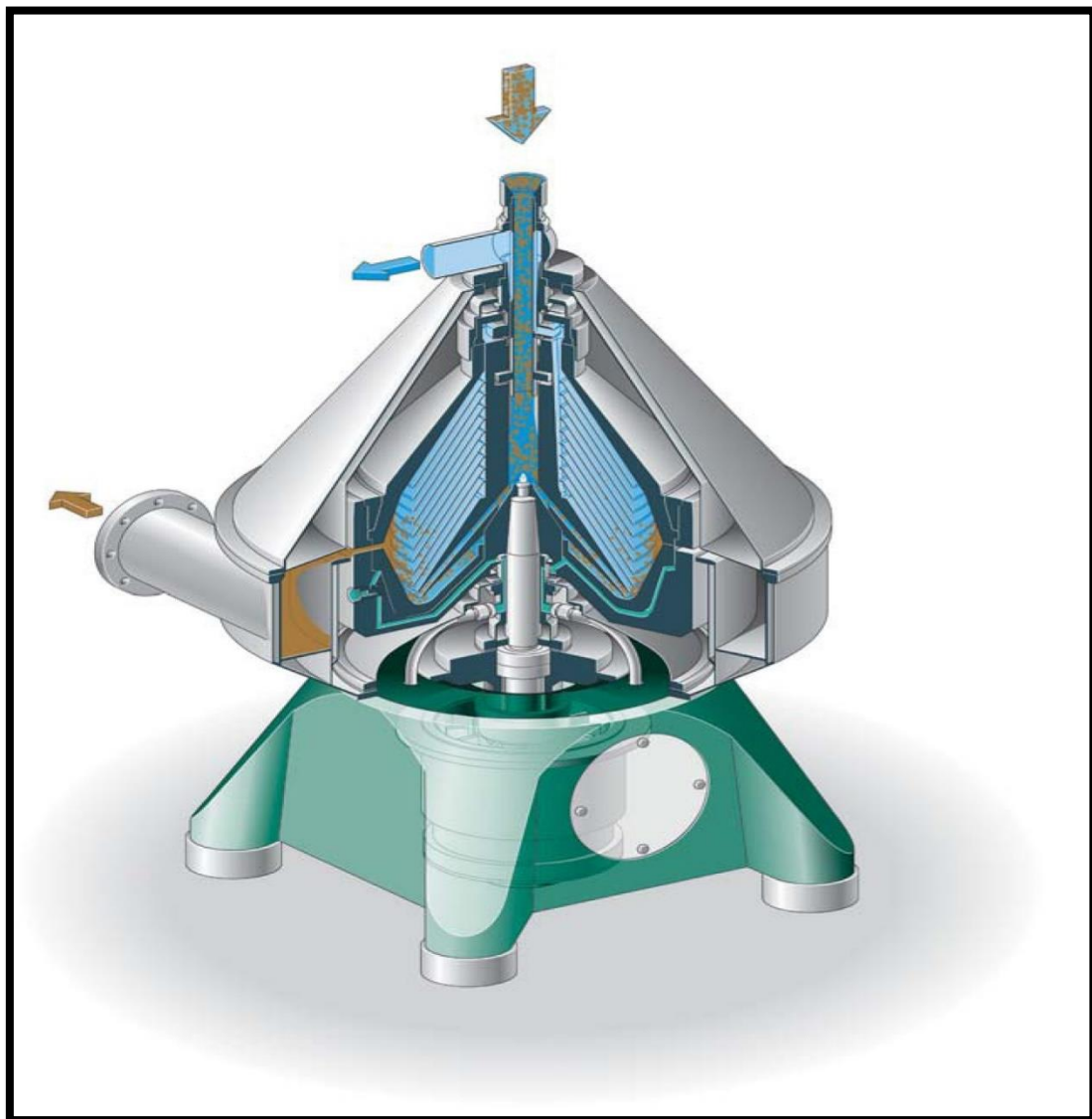
## VII. Les Chaudières

Une chaudière est un réservoir contenant un fluide et muni d'un système de chauffage. Son but est de produire et stocker de l'énergie thermique dans ce fluide et d'utiliser cette énergie dans un autre lieu. Le fluide chauffé est transporté à l'aide de tuyauteries jusqu'au lieu d'utilisation.

Généralement une chaudière fonctionne en circuit fermé, le fluide chaud sort par une tuyauterie fixée sur sa partie haute et revient par une autre tuyauterie fixée sur sa partie basse après avoir circulé et s'être refroidi.

## Chapitre 3

### Problématique et étude du clarificateur ALFA LAVAL



## I. Présentation du problème

### 1. Problématique

Le clarificateur ALFA LAVAL est une machine critique qui est sensible au niveau de production car sa défaillance engendre un arrêt total de production et aussi des risques au niveau de sécurité car il s'agit d'une machine tournante à grande vitesse ce qui va causer en cas d'accident des dégâts personnels et matériels très grave. Le paramètre qui va nous permettre de suivre l'état de fonctionnement du clarificateur est la vibration.

En référence des seuils de vibrations déterminés par les agents du service maintenance à partir du fonctionnement normal du clarificateur, nous avons constaté que le dépassement des seuils d'alarmes est un problème très fréquent.

Les seuils de vibration dans la norme ISO 2372:

- ✓ Entre 0.28 et 1.1mm/s, le système est normal.
- ✓ Entre 1.1 et 2.8mm/s, le système est admissible.
- ✓ Entre 2.8 et 7mm/s, le système est encore admissible.
- ✓ Supérieur à 7 mm/s, le système est non admissible.

La vibration est un effet qui cache derrière lui plusieurs causes. Pour remédier et résoudre le problème nous avons pris l'initiative de faire une étude AMDEC afin de bien définir les causes les plus probables et réaliser un planning de maintenance préventive.

### 2. Cahier de charge

1. Présentation de la machine, son rôle ainsi que son principe de fonctionnement.
2. Etude cinématique de la machine clarificateur ALFA LAVAL.
3. Découpage de la machine en sous éléments
4. Etude de l'historique de défaillances constatées au niveau de chaque élément de l'ensemble et analyse les modes de défaillances, de leurs effets et de leurs criticités AMDEC.
5. Proposition des actions correctives pour remédier aux problèmes rencontrés.
6. Etablissement d'un planning de la maintenance préventive.

## II. Analyse fonctionnelle

### 1. Définition

L'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à recenser, caractériser, hiérarchiser et valoriser les fonctions du produit (système) pour satisfaire les besoins de son utilisateur.

### 2. Analyse fonctionnelle externe

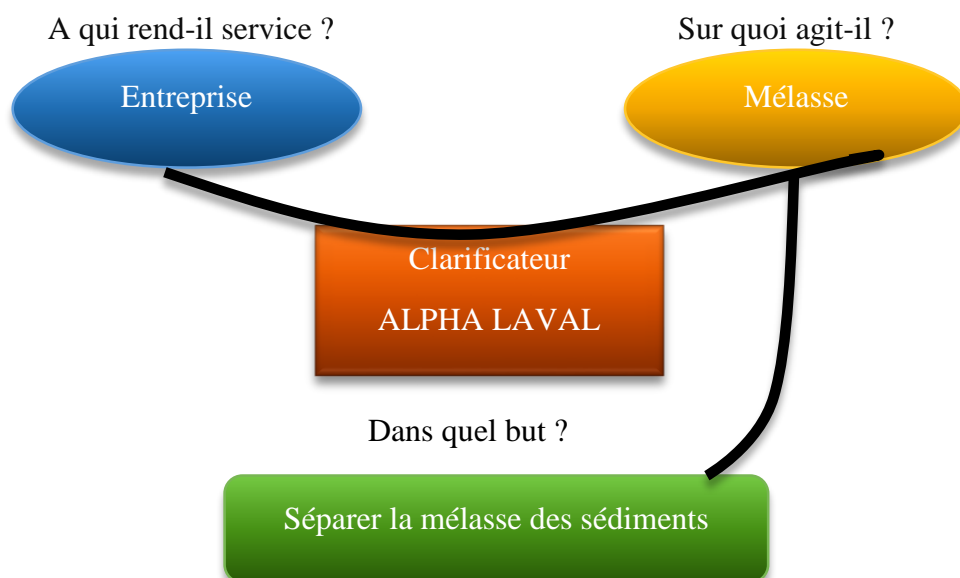
L'analyse fonctionnelle externe, décrit le point de vue de l'utilisateur et ne s'intéresse au produit qu'en tant que "boite noire" capable de fournir des services dans son environnement durant son cycle d'utilisation.

Parmi les outils destinés à nous aider à réaliser cette analyse fonctionnelle externe : le diagramme de bête à corne et le diagramme de pieuvre.

#### 2.1 Le diagramme bête à corne

Il est nécessaire de se poser des questions fondamentales concernant le véritable objectif du produit.

- ✓ **Quel est son utilité ?** = A quoi sert-il ? A qui sert-il ?
- ✓ **Quel est son action ?** = Sur quoi agit-il ? Sur qui agit-il ?
- ✓ **A quel besoin de base répond-il ?** = Dans quel but ?



**FIGURE 4 : DIAGRAMME DE BÊTE A CORNE DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

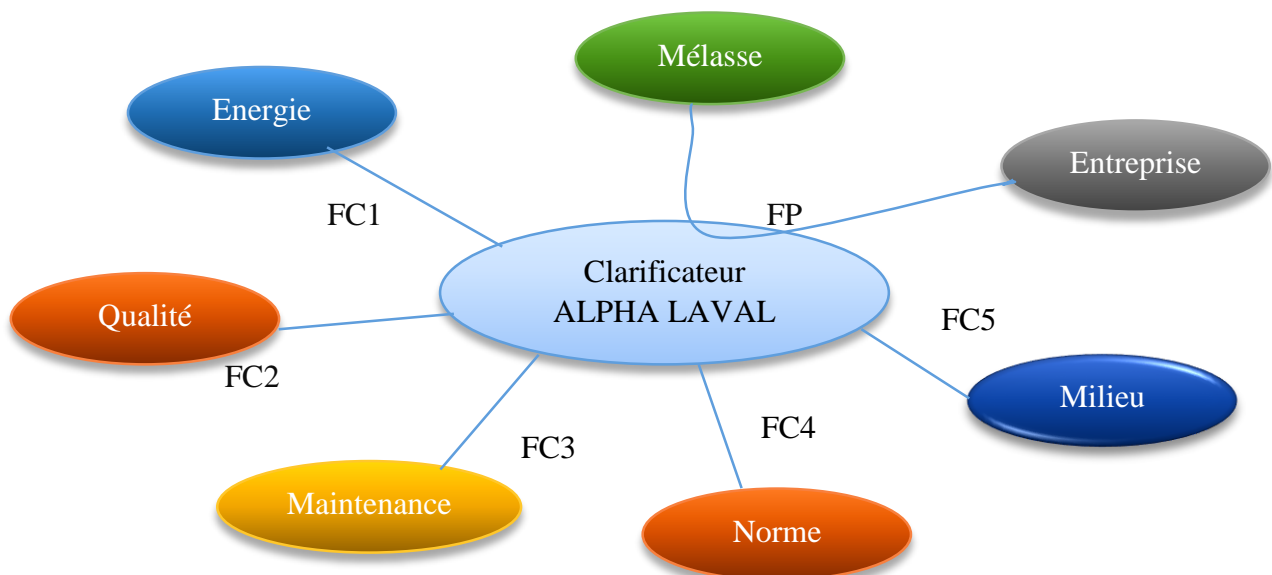


## 2.2 Diagramme de Pieuvre

Ce diagramme sert à exprimer les fonctions, il est constitué du système et des éléments de son milieu environnant, et il fait apparaître les fonctions entre les éléments du milieu environnant et le système.

On distingue deux types de fonctions de services :

- **Fonctions Principales FP** : qui sont l'expression même du besoin. Chaque FP doit être représentée par une relation entre au moins deux milieux extérieurs via le produit.
- **Fonctions contraintes FC** : qui représentent les actions ou/et les réactions du produit par rapport au milieu extérieurs. Chaque FC doit être représenté par une relation entre le produit et un milieu extérieur.



**FIGURE 5 : DIAGRAMME DE PIEUVRE DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

**FP** : permet de clarifier la mélasse.

**FC1** : Alimentation de la machine.

**FC2** : Assurer la bonne qualité de la mélasse.

**FC3** : Assurer la sûreté de fonctionnement de la machine.

**FC4** : Respecter les normes de sécurité.

**FC5** : résistance au milieu ambiant (corrosion).

### 3. Analyse fonctionnelle interne

Analyse du point de concepteur en charge de réaliser le produit. Cette analyse consiste à passer des fonctions de services aux fonctions techniques permettant de les concrétiser.

Pour cela nous avons utilisé La méthode SADT et FAST pour réaliser cette analyse fonctionnelle interne.

#### 3.1 Analyse fonctionnelle descendante - Méthode SADT (Structured Analysis for Design and Technic)

Le modèle SADT est un diagramme à "boîtes descendantes", il part du général pour aller au particulier. La description du système s'effectue alors sous la forme d'une suite cohérente d'actigrammes.

Les entrées sont de deux types :

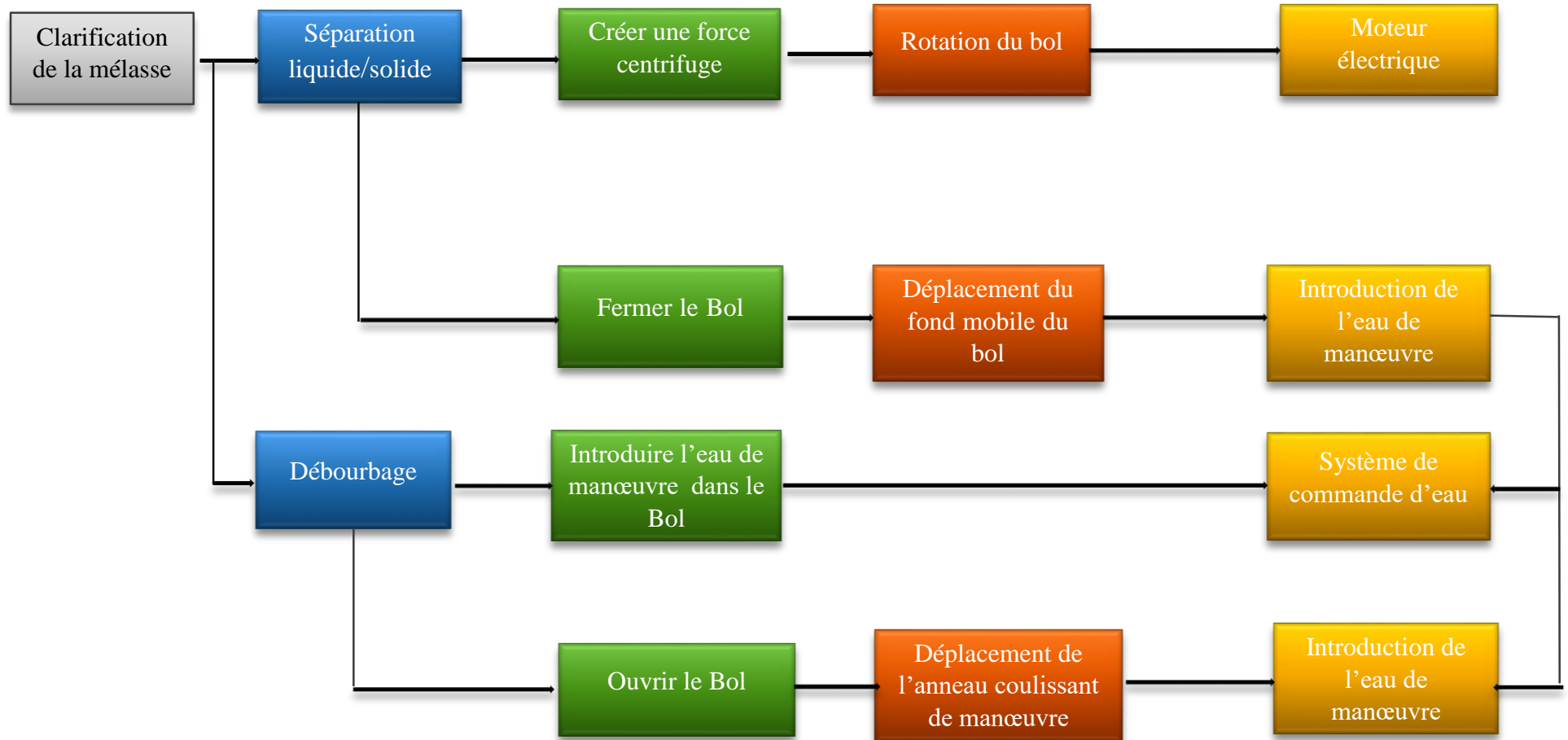
- ✓ Le flux matière d'œuvre qui est modifié par la fonction.
- ✓ Les données de contrôle qui déclenchent, régulent ou contraignent le déroulement de la fonction.



**FIGURE 6 : GRAPHE SADT DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

#### 3.2 Méthode FAST (Function Analysis System Technic)

Le modèle **F.A.S.T** se présente sous forme d'un arbre fonctionnel établi à partir de la fonction globale ou d'une fonction de service, en s'appuyant sur la technique interrogative suivante :



**FIGURE 7 : GRAPHE FAST DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

### III. Analyse du fonctionnement

#### 1. Définition du produit traité par la machine (mélasse)

La mélasse est une mixture résultant du raffinage du sucre extrait de la betterave sucrière ou de la canne à sucre. Il convient de ne pas la confondre avec le vesou, la bagasse ou la pulpe de betterave.



**FIGURE 8 : DE LA MELASSE**

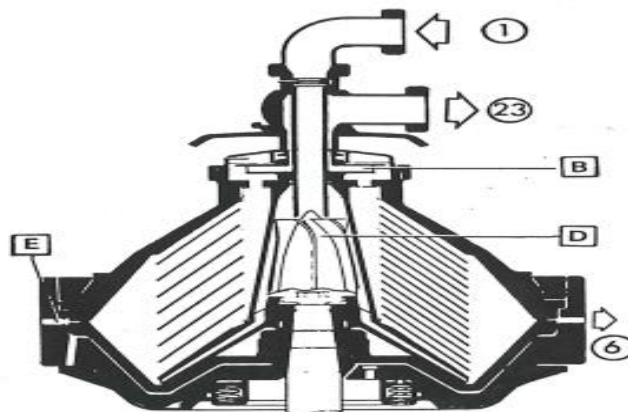
#### 2. Le fonctionnement général de la machine

Le clarificateur est une machine spéciale basée sur le principe de séparation centrifuge dont le régime de rotation est élevé. Il fonctionne d'une façon irréprochable dans les conditions normales.

La machine peut se composer en trois parties :

- ✚ Le bol
- ✚ Le moteur
- ✚ Le mécanisme

##### 2.1 Le bol du clarificateur



**FIGURE 9 : LE BOL DU CLARIFICATEUR**

1 : liquide à traiter

23 : liquide clarifié

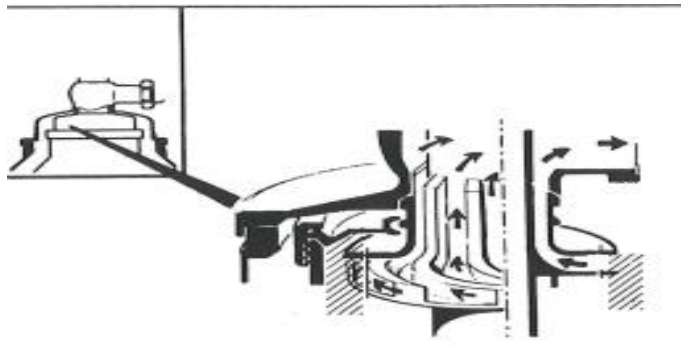
6 : sédiment

B : turbine centripète pour transporter le liquide clarifié.

D : Erou coiffant/accélérateur. Permet d'augmenter progressivement la vitesse d'acheminement du liquide à traiter pour l'amener à la vitesse du bol.

E : orifice pour la sortie des sédiments.

### 2.1.1 [Turbine centripète](#)



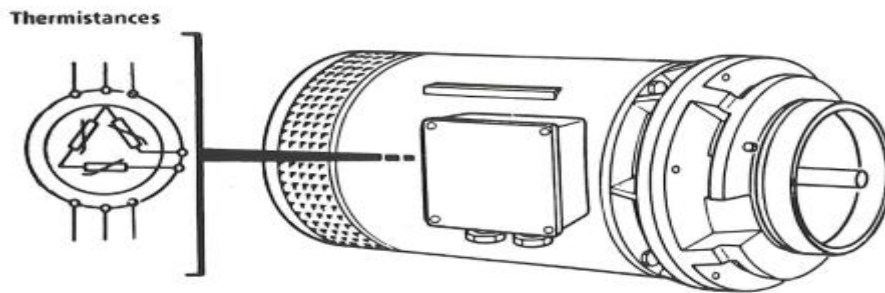
**FIGURE 10 : TURBINE CENTRIPETE**

La turbine centripète est une roue de pompe immobile. Montée dans une chambre dans le col du bol qui tourne. La turbine centripète prolonge dans l'anneau liquide en rotation et « écale » le liquide.

### 2.1.2 [Principe](#)

Le produit est introduit dans le bol en rotation de la centrifugeuse par le haut via un tube fixe (1) et il subit une accélération dans le distributeur allant jusqu'à la vitesse de rotation du bol avant d'entrer dans la pile d'assiettes. Le distributeur est spécialement conçu pour assurer une accélération en douceur de la partie liquide du produit. La séparation liquide-solides s'effectue entre les disques. La phase liquide se déplace vers le centre du bol puis elle est pompée hors du bol par une turbine centripète (B).

## 2.2 Le moteur



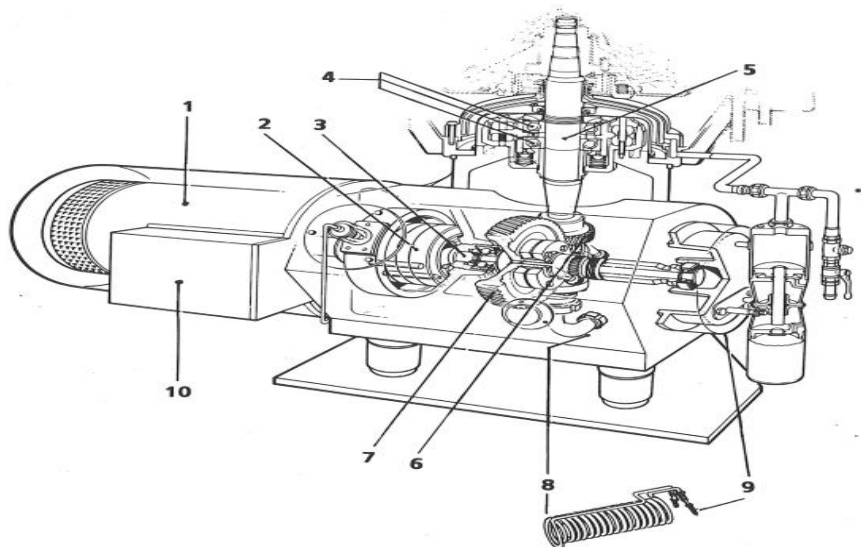
**FIGURE 11 : MOTEUR DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

- Le moteur fourni avec la machine est de conception spéciale. Il a un isolement de classe supérieure, une meilleure résistance rotorique et des masses de fer plus importantes. Ces caractéristiques compensent l'élévation de la température qui se produit dans le moteur pendant le démarrage.
- Ces moteurs peuvent normalement supporter deux démarrages consécutifs sans surchauffer
- Si le clarificateur est freiné immédiatement après deux démarrages consécutifs, il faut attendre que le moteur refroidisse avant de le remettre en marche.

### **Plaque signalétique :**

400 volt ; P=45kw ; n=1500tr/min ; A=60 A ;  $\cos\phi = 0.87$

## 2.3 Mécanisme



**FIGURE 12 : MECANISME DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**



- 1 : électromoteur
- 2 : couplage rigide
- 3 : arbre de roue à vis sans fin
- 4 : palier supérieur
- 5 : arbre du bol
- 6 : vis sans fin
- 7 : Roue à vis sans fin
- 8 : Bobine de refroidissement pour bain d'huile.
- 9 : Entrée/sortie eau de refroidissement pour la bobine.
- 10 : Boite pour les connexions électrique et les thermistances.

} Engrenage vis sans fin

### 2.3.1 Transmission de puissance

Le moteur (1) fait tourner le bol via le couplage (2) et l'engrenage à vis sans fin sert à adapter la vitesse de rotation du bol au régime du moteur.

Le nombre de tour du bol est un tant soit supérieure à celui du moteur.

Les paliers sur l'arbre du bol (5) et l'arbre de la roue à vis sans fin (3) sont lubrifiés par le brouillard d'huile produit par la roue à vis sans fin (7) qui trempe dans le bain d'huile du carter de l'engrenage à vis sans fin.

### 2.3.2 Calcul du rapport de vitesse

$$R = \frac{n_s}{n_e} = \frac{3995}{1500} = 2.66$$

$n_s$  : La vitesse de sortie (du bol).

$n_e$  : La vitesse d'entrée (moteur).

### 2.3.3 Calcul du couple de transmission de sortie

On a  $P = T_s \cdot w_s$

$$\text{Donc, } T_s = \frac{P}{w_s} = \frac{P}{\frac{2\pi n_s}{60}} = \frac{60 \cdot P}{2\pi n_s}$$

Avec  $P=45\text{kW}$  et  $n_s=3995\text{tr/m}$

$$T_s = \frac{60 \cdot 45000}{2\pi \cdot 3995} = 107.56$$

### 3. Principe de fonctionnement

Les séparateurs centrifuges sont mis en œuvre pour la séparation de mélanges liquides ou l'élimination de matières solides à partir de liquide ou de mélanges de liquides. Dans le bol en rotation des forces centrifuges importantes sont produites. Sous l'action de ces forces centrifuges, il s'effectue en un minimum de temps la séparation du mélange liquide et/ou l'élimination des particules solides.

Les composantes de haute densité cheminent vers la périphérie du bol, tandis que les composantes de faible densité se dirigent vers le centre du bol. Les forces centrifuges importantes sont obtenues par des régimes de rotation très élevées du bol.

Les trois étapes principales du fonctionnement de la machine sont : **Clarification**, **déplacement** et **débouillage**.

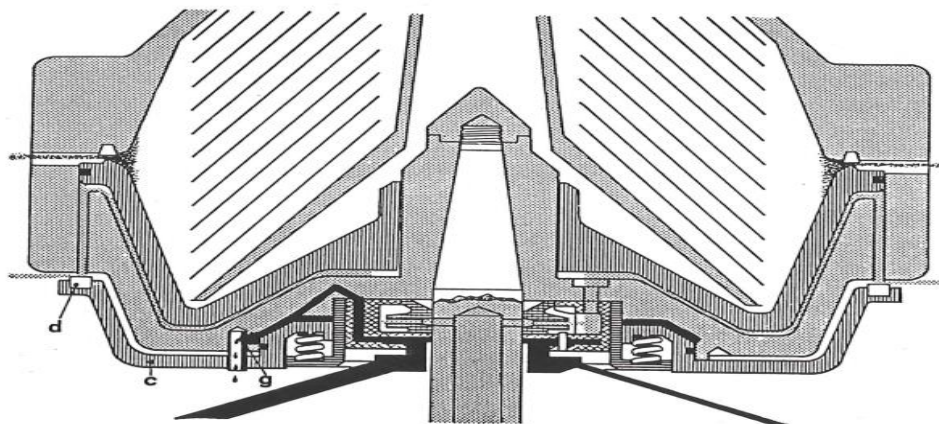
#### 3.1 Clarification

Cette phase s'effectue à l'intérieur du bol en rotation. La séparation des particules solides d'un liquide grâce à la force centrifuge obtenue par une rotation rapide du bol.

#### 3.2 Déplacement

une fois l'alimentation de la mélasse coupée l'écoulement de l'eau de manœuvre dans le bol commence pour faire dégager le reste du liquide clarifié.

#### 3.3 Le débouillage



**FIGURE 13 : LE BOL DU CLARIFICATEUR EN DEBOURBAGE**





Pour permettre l'éjection des solides, le liquide de manoeuvre est alimenté par un passage à une chambre de distribution située sous le bol rotatif et il continue à travers un passage usiné dans ce dernier jusqu'à la partie supérieure de l'anneau coulissant de manoeuvre(c). Entre les injections, l'anneau coulissant de manoeuvre est pressé vers le haut par les ressorts hélicoïdaux . Il est maintenant forcé vers le bas par la pression de liquide, ouvrant ainsi les clapets de décharge (d)de l'espace situé sous le fond mobile du bol,de façon que le liquide de manoeuvre contenu dans cet espace s'écoule.

Lorsque la pression exercée par le liquide de manoeuvre contre la paroi inférieure du fond mobile du bol diminue, celui-ci est forcé vers le bas et s'ouvre de façon que les solides soient éjectés du bol à travers les poches usinées dans la paroi du bol le liquide de manoeuvre s'écoule à travers trois embouchures de vidange (g) de telle façon que cet espace est vidé dès que l'alimentation de liquide de manoeuvre à l'anneau coulissant de manoeuvre s'arrête.

L'anneau coulissant se ferme alors contre les clapets de décharge de l'espace situé sous le fond mobile du bol, ce qui fait que celui-ci est forcé vers le haut par la pression du liquide contenu dans cet espace, ce qui a pour effet de fermer le bol.

#### 4. Nettoyage du bol

Le nettoyage du bol se fait par circulation de liquide détergent c- à- d en faisant circuler plusieurs types de liquides de rinçage et de nettoyage dans la machine suivant un programme fixe.

##### 4.1 Les étapes de nettoyage du bol

Le nettoyage du bol commence par un rinçage de l'eau pendant 15 min, puis circulation de la soude pendant 25min suivi d'un rinçage avec l'eau de 5min, ensuite on termine le nettoyage avec l'acide Nitrique de 15 min.

##### 4.2 Mesures effectués

D'après le suivi des différents modes de fonctionnement du clarificateur on a obtenu les mesures suivantes :

Modes	Vitesse de rotation (tr/min)	La vibration (mm/s)	La pression de l'eau de manœuvre(Kpa )	La pression du liquide (Kpa)	L'ampérage (A)	Le temps nécessaire
Au cours de clarification	3929	2.1	330-541	551-659	28-31	11 min
Au cours de débourbage	3910	3.9	327	125	95	1 min26s
Au cours de nettoyage	3923-3926	1.9-2.1	3320-326	552-625	29-31	1heure

**TABLEAU 1 : MESURES EN DIFFERENTS MODES DE FONCTIONNEMENT DU CLARIFICATEUR**

#### 4.3 Interprétation des résultats

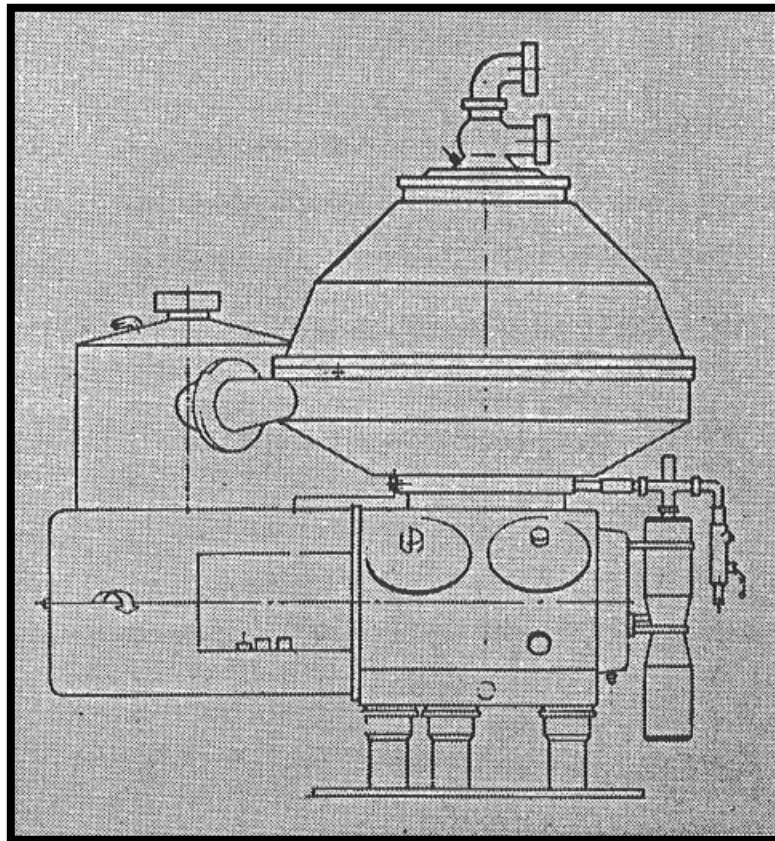
- D'après les résultats obtenus, l'ampérage subit une augmentation au cours du débourbage, car il s'agit d'un vidange des sédiments et de l'eau ce qui provoque une déstabilisation.
- Lorsqu'une décharge des solides commence (débouillage), l'électrovanne se ferme tout en empêchant le passage de la mélasse, ce qui explique la diminution de la pression du liquide.

#### 5. Matériau

Le matériau des différents éléments du clarificateur est l'acier inoxydable de haute qualité pour toutes les parties en contact avec le produit traité pour une raison essentielle : l'acier au carbone se corrode. Cette corrosion peut entraîner une contamination du produit, le déséquilibre du bol, un coût d'entretien élevé et des temps d'arrêt machine prolongés.

## Chapitre 4

# Application de l'analyse AMDEC sur le clarificateur ALFA LAVAL





## I. Introduction

L'objectif de ce chapitre consiste d'identifier les éléments les plus critiques du clarificateur, afin d'élaborer un plan de maintenance préventive et corrective. Nous allons procéder à la détermination de la gravité, la fréquence et le non détection pour dresser le tableau AMDEC et appliquer la méthode Pareto sur la partie la plus critique, pour aboutir enfin aux grandes lignes de notre plan de maintenance préventive et corrective.

## II. Généralités sur la méthode AMDEC

### 1. Définition

Analyse des modes de défaillances et de leur effet et leur criticité, équivalent français de la FMEA Failure Mode, Effets, and Criticality Analysis. Il s'agit d'une méthode qualitative et inductive permettant, pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système.

### 2. Objectif

L'AMDEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.

L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale.

#### 1.1 Les objectifs intermédiaires

- ✚ Analyser les conséquences des défaillances.
- ✚ Identifier les modes de défaillances.
- ✚ Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection.
- ✚ Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance.
- ✚ Classer les modes de défaillance.
- ✚ Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.

## III. Application AMDEC

### 1. Introduction

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



- ✦ La constitution d'un groupe de travail.
- ✦ Décomposition fonctionnelle de la machine.
- ✦ L'analyse des défaillances potentielles.
- ✦ L'évaluation de ces défaillances et la détermination de leur criticité.
- ✦ La proposition et la planification des actions.

## 2. Constitution du groupe de travail

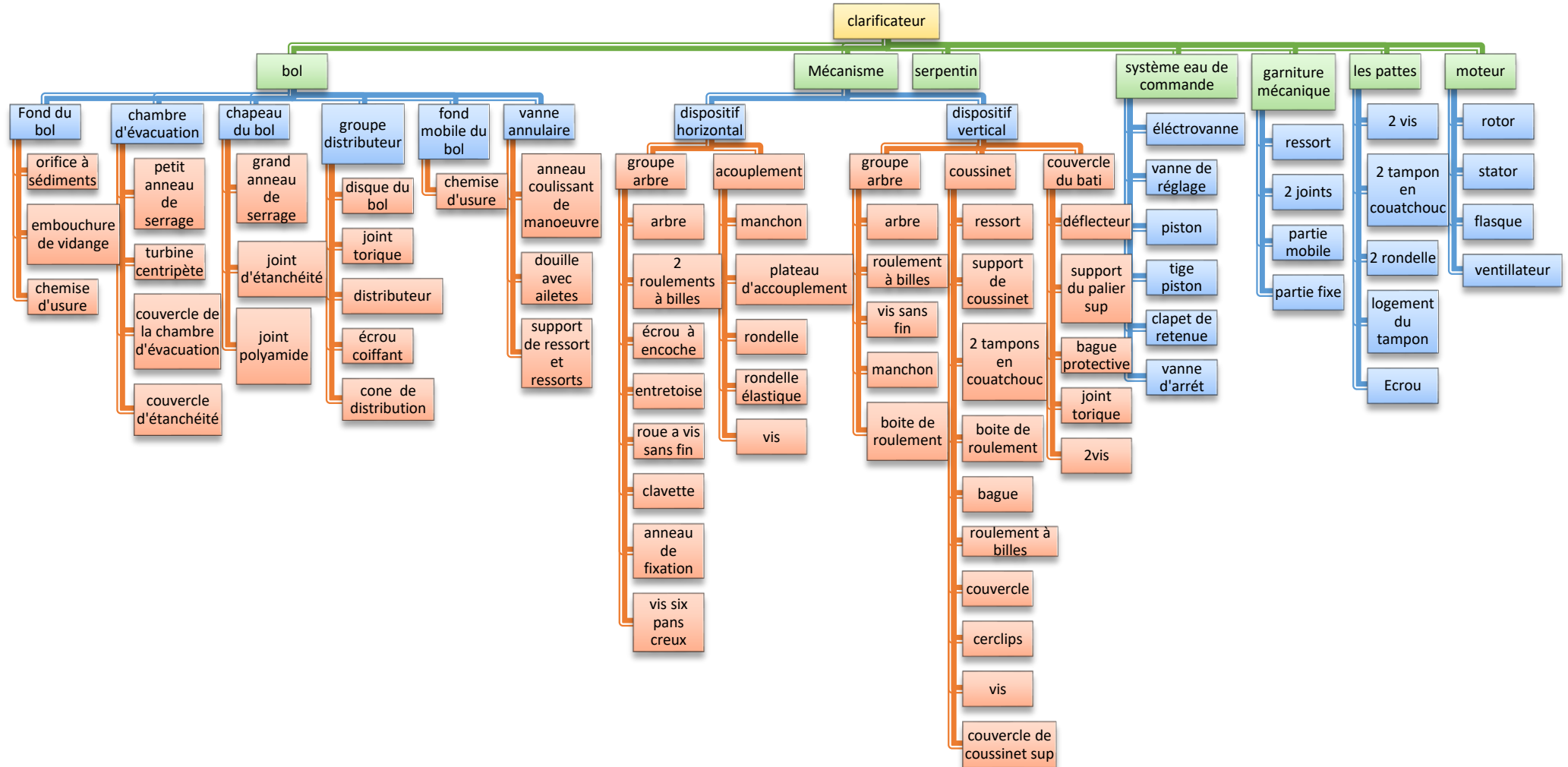
Le groupe de travail de l'étude AMDEC est constitué par :

- ✦ LAZAAR Loubna : Stagiaire.
- ✦ SAAD Soukaina : Stagiaire
- ✦ SARROU Abdlouahed: Responsable de Maintenance Mécanique
- ✦ BOUJNANE Abdelhak : Chef d'atelier.
- ✦ BOUINBI Mourad: Technicien Maintenance.
- ✦ TARRAK Mohamed: Technicien Maintenance.
- ✦ TRIRAHE ouassim : Technicien Maintenance.

## 3. Découpage fonctionnelle de la machine

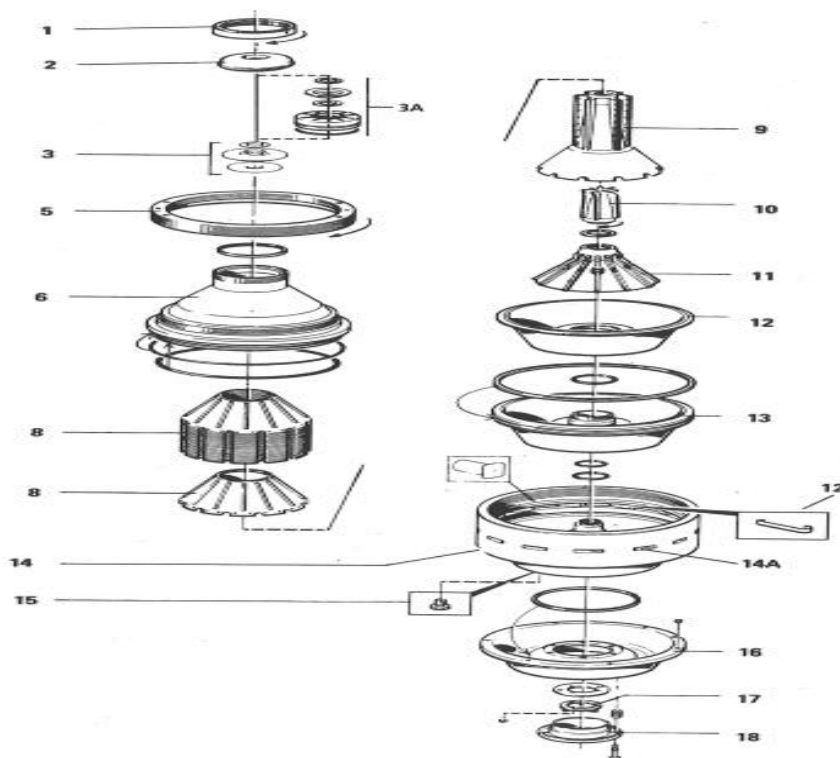
La machine se compose de huit éléments :

- ✦ Un bol.
- ✦ Un moteur électrique.
- ✦ Dispositif d'entraînement vertical.
- ✦ Dispositif d'entraînement horizontal.
- ✦ Un système de commande d'eau de manœuvre.
- ✦ Une garniture mécanique.
- ✦ Un serpentin de refroidissement.
- ✦ Les pattes de la machine.



**FIGURE 14 : DECOMPOSITION FONCTIONNELLE DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

### 3.1 Décomposition du bol

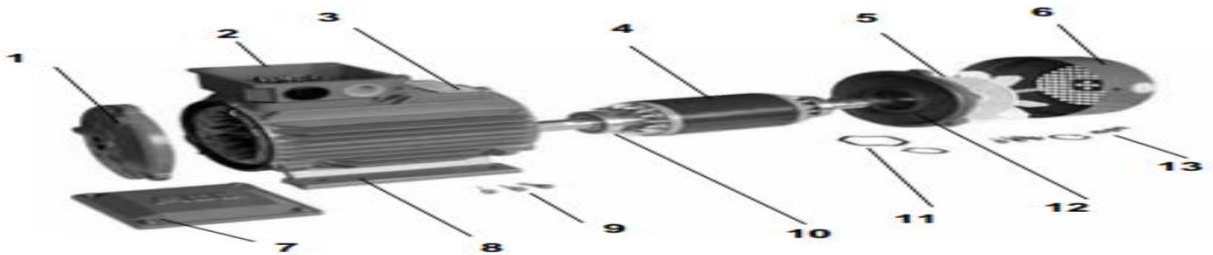


**FIGURE 15 : VUE ECLATE DES ELEMENTS DU BOL**

1	Anneau de serrage
2	Couvercle de la chambre d'évacuation
3	Turbine centripète
3A	Couvercle de disque d'étanchéité et de chambre d'évacuation
5	Anneau de serrage
6	chapeau du bol
8	Disque du bol/assiette
9	Distributeur
10	Ecrou coiffant
11	Cône de distribution
12	Chemise d'usure
13*	Fond mobile du bol
14	Fond du bol
14A*	Orifice des sédiments
15*	Embouchure de vidange de l'eau de manœuvre
16*	Anneau coulissant de manœuvre
17*	Douille avec ailette (transport)
18*	Support de ressort et ressorts

**TABLEAU 2 : NOMENCLATURE DES ELEMENTS DU BOL**

### 3.2 Décomposition du moteur

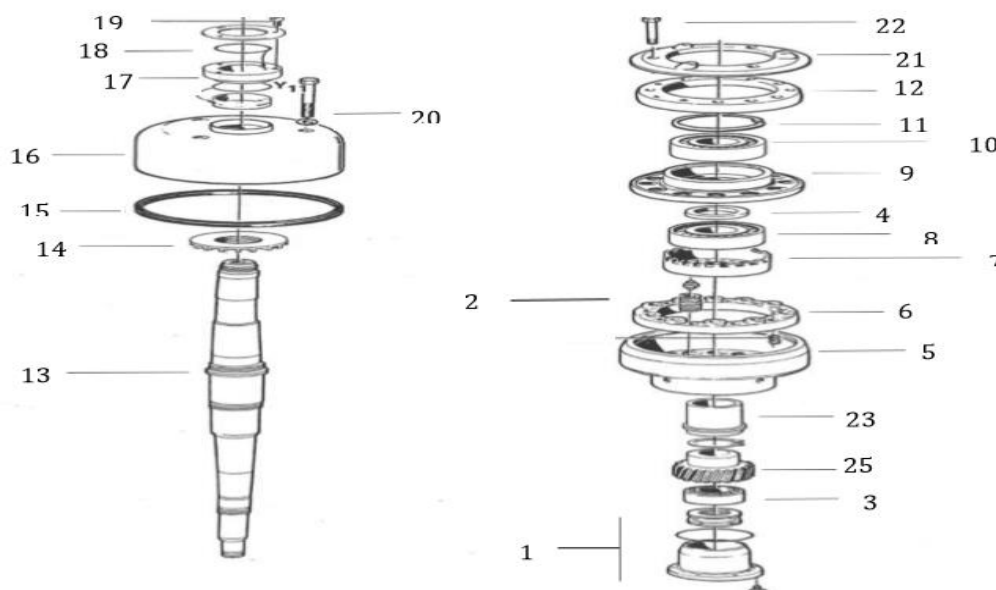


**FIGURE 16 : VUE ECLATE DES ELEMENTS DU MOTEUR**

1	Flasque, coté commande
2	Boite à bômes
3	Plaque signalétique
4	Rotor avec arbre
5	Ventilateur
6	Capot du ventilateur
7	Couvercle de la boite à bômes
8	Stator
9	Visserie
10	Roulement
11	Rondelle élastique
12	Flasque, côté opposé commande
13	Rondelle

**TABLEAU 3 : NOMENCLATURE DES ELEMENTS DU MOTEUR**

### 3.3 Décomposition dispositif d'entraînement vertical



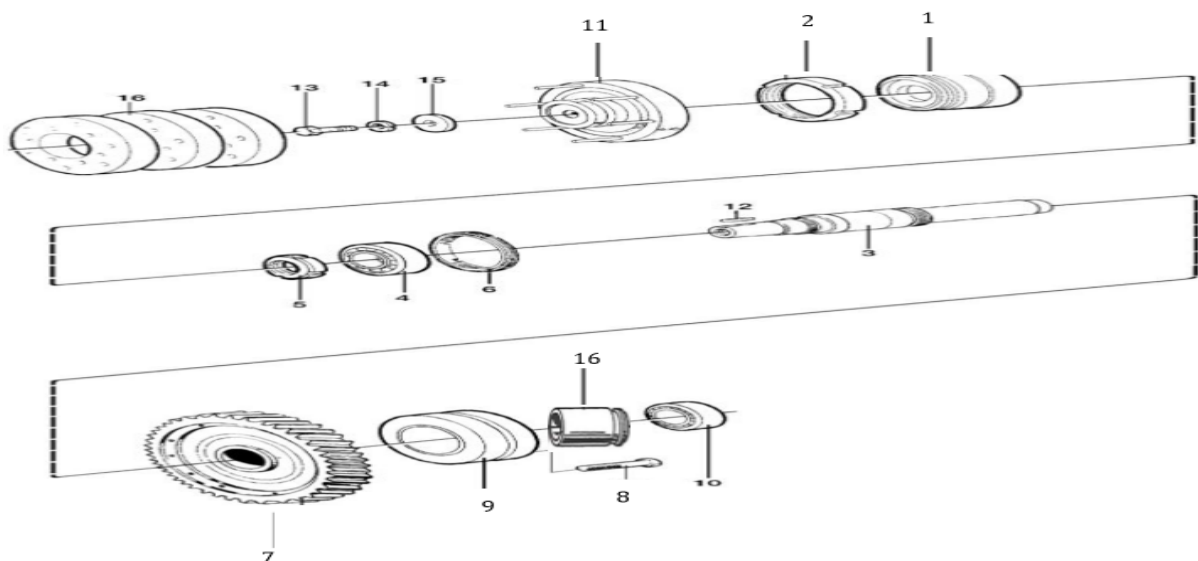
**FIGURE 17 : VUE ECLATE DU DISPOSITIF D'ENTRAINEMENT VERTICAL**



1	Boîte de roulement
2	Ressort
3	Roulement à bille
4	Bague de retenue
5	Support de coussinet
6	Tampon en caoutchouc inférieur
7	Boîte de roulement
8	Roulement à billes inférieur
9	Couvercle
10	Roulement à billes supérieur
11	Cerclips
12	Tampon en caoutchouc supérieur
13	Arbre du dispositif vertical
14	Défecteur
15	Support de palier supérieur
16	Couvercle du bâti
17	Bague protectrice
18	Joint torique
19	Vis
20	Vis
21	Couvercle du coussinet supérieur
22	Vis
23	Manchon
24	Cerclips
25	La vis sans fin

**TABLEAU 4 : NOMENCLATURE DU DISPOSITIF D'ENTRAINEMENT VERTICAL**

### 3.4 Décomposition dispositif d'entraînement horizontal

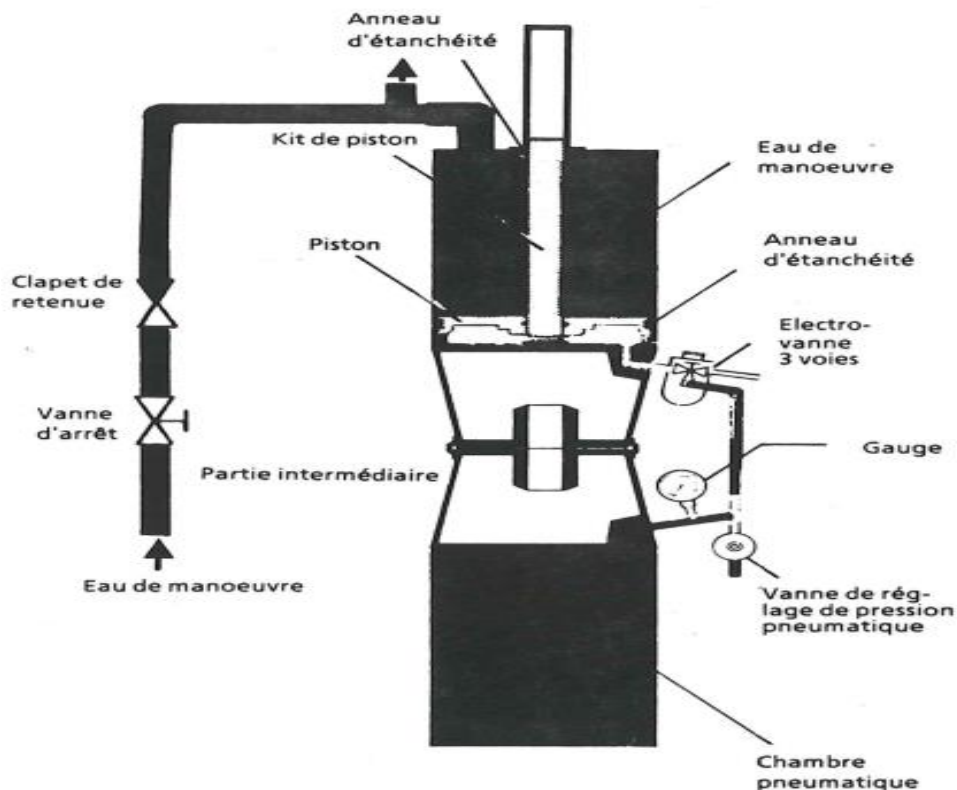


**FIGURE 18 : VUE ECLATE DU DISPOSITIF D'ENTRAINEMENT HORIZONTALE**

1	Logement du roulement
2	Ecrou à encoche
3	Arbre à vis sans fin
4	Roulement à billes
5	Ecrou à encoche
6	Entretoise
7	Roue à vis sans fin
8	Vis 6 pans creux
9	Anneaux de fixations
10	Roulement à billes
11	Plateau d'accouplement
12	Clavette
13	Vis
14	Rondelle élastique
15	Rondelle
16	Manchon

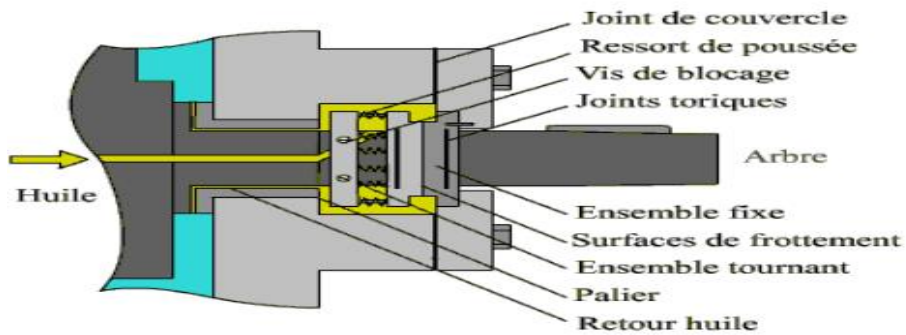
**TABLEAU 5 : NOMENCLATURE DES ELEMENTS DU DISPOSITIF D'ENTRAINEMENT HORIZONTAL**

### 3.5 Le système d'eau de commande



**FIGURE 19 : VUE ECLATE DES ELEMENTS DU SYSTEME D'EAU DE COMMANDE**

### 3.6 La garniture mécanique



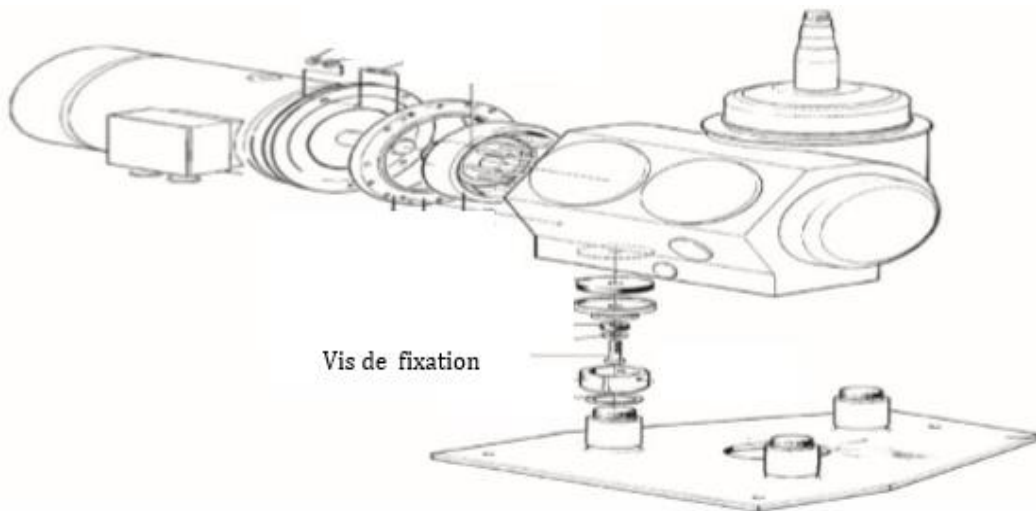
**FIGURE 20 : VUE ECLATE DES ELEMENTS DE LA GARNITURE MECANIQUE**

### 3.7 Le serpentin de refroidissement



**FIGURE 21 : VUE ECLATE DES ELEMENTS DE LA GARNITURE MECANIQUE**

### 3.8 Les pattes du clarificateur



**FIGURE 22 : VUE ECLATE DES ELEMENTS DES PATTES DE LA MACHINE**

## 4. Analyse AMDEC du clarificateur ALFA LAVAL

En se basant sur l'historique des pannes, on est parvenu à élaborer les tableaux AMDEC du clarificateur ALFA LAVAL.

Eléments	Fonctions	Modes de défaillances	Causes	Effets	Criticité			
					G	F	N	C
Chapeau de bol	Il constitue l'enveloppe du bol	Usure	Fatigue	Empêchement de la fermeture complète du bol	2	1	3	6
Fond de bol	Il constitue l'enveloppe du bol	Les buses de purges du fond de bol sont bouchées	Existence du calquer dans l'eau de manœuvre	Empêchement de la fermeture complète du bol	3	1	3	9
		Usure des tôles d'usures	Fatigue	Usure des orifices du fond de bol	3	1	2	18
		Usure des filets du fond de bol	Corrosion ou l'érosion	Desserrage de l'anneau de serrage	3	1	3	9
L'anneau de serrage	Tenir ensemble le chapeau et le fond de bol	Des détériorations par grippages	Mauvaise graissage de l'anneau de serrage	Serrage insuffisant du jeu de disques	3	1	2	6
Turbine centripète	Transporter le liquide clarifié	Usure de la turbine	Frottement	Diminution du débit de la mélasse clarifié	2	1	3	6
Disque du Bol	Séparation liquide/solide	Serrage insuffisant du jeu de disques	Anneau de serrage mal serré	Marche défectueuse du bol (vibration)	4	2	3	27
		Jeu de disques colmaté	Débit de la mélasse trop élevée	Clarification non satisfaisante	4	2	3	27

Joint d'étanchéité	Permet au liquide de rester à l'intérieur du bol	Usure du joint	Fatigue	Ecoulement de la mélasse	4	2	3	27
Distributeur	Augmenter progressivement la vitesse du liquide à traiter	-Débordement du distributeur -Usure du distributeur	-Contre-pression trop élevée -Débit trop élevé du liquide à traiter	-Clarification non satisfaisante -L'érosion	3	1	3	9
Fond mobile du bol	Permet la fermeture du bol par la pression de l'eau de manœuvre	Usure de l'anneau d'étanchéité du piston	Fatigue	Empêchement de la fermeture complète du bol	3	1	3	9
		Usure de la chemise de protection	Fatigue	L'érosion du piston	3	2	3	18
Ressort	Permet le retour à l'état initial	Cassure	Fatigue	Clarification non satisfaisante	1	1	3	3
Anneau coulissant de manœuvre	Permet l'ouverture du bol par la pression de l'eau de manœuvre	Les clapets de décharge fuient	Fatigue	Empêchement de la fermeture complète du bol	2	1	3	6
Vanne annulaire	Etanchéité de l'eau de manœuvre	Ressorts défectueux ou cassés	Fatigue	Empêchement de la fermeture complète du bol	3	1	3	9

**TABLEAU 6 : AMDEC DES ELEMENTS DU BOL DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

Eléments	Fonctions	Modes de défaillances	Causes	Effets	Criticité			
					G	F	N	C
Les tampons	Limiter l'impact des chocs	Ressorts défectueux	Fatigue	L'usure des organes de la machine comme : les roulements et l'engrenage	2	1	3	6
Paliers	Guider en rotation l'arbre	Roulement défectueux	Mauvaise lubrification	Arrêt brutal de la machine	3	1	3	9
Arbre	Transmettre le mouvement de rotation	Oscillation excessive à l'extrémité de l'arbre	Vibrations	Une anormale usure du joint axial(18) et donner lieu à des fuites	3	1	3	9
Vis sans fin	Transmission de mouvement	Usure des dents	Mauvaise lubrification et manque de refroidissement de l'huile	Bruit anormal et éventuellement des vibrations	3	1	3	9
Roulement à billes	Facilite le mouvement de rotation de l'arbre	Usure des roulements	Mauvaise lubrification	Vibrations	4	2	3	24
Défecteur	Distribution de l'huile	Usure du déflecteur	Fatigue	Frottements	2	1	3	6

**TABLEAU 7 : AMDEC DES ELEMENTS DU DISPOSITIF D'ENTRAINEMENT VERTICAL**

Eléments	Fonctions	Modes de défaillances	Causes	Effets	Criticité			
					G	F	N	C
Accouplement élastique	Assure la liaison entre l'arbre du moteur et l'arbre du mécanisme horizontal	Cassure ou usure de l'accouplement	Vieillessement	Mauvaise liaison	4	1	2	8
Paliers	Guider en rotation l'arbre du moteur	Roulements défectueux	Mauvaise lubrification	Arrêt brutal de la machine	3	1	3	9
Arbre	Transmettre le mouvement de rotation	Oscillation excessive	Cassure d'accouplement et usure de l'engrenage	Vibrations	3	1	3	9
Roue hélicoïdale	Transmission de mouvement	Usure des dents	Charge excessives ou manque de lubrification et manque de refroidissement de l'huile	Vibrations	3	1	3	9

**TABLEAU 8 : AMDEC DES ELEMENTS DU DISPOSITIF D'ENTRAINEMENT HORIZONTAL**

Eléments	Fonctions	Modes de défaillances	Causes	Effets	Criticité			
					G	F	N	C
Moteur électrique	Entrainement de la machine	Moteur trop chaud	-Surcharge -Ventilation insuffisante (refroidissement du moteur)	-Echauffement des roulements -Bobinage défectueux	4	1	3	12

**TABLEAU 9 : AMDEC DU MOTEUR**

Eléments	Fonctions	Modes de défaillances	Causes	Effets	Criticité			
					G	F	N	C
Electrovanne	Permet d'interrompre la circulation du fluide dans le circuit	Coincement	Fatigue	Absence du débouillage	2	1	1	2
Piston	Conversion de la pression en un travail	Usure du piston	-Fuites -corrosion	-Grippage du piston -Défaut de débouillage	2	2	2	8
Tige du piston	Transfère la force générée par le piston	Rupture de la tige	-Joint défectueux -grippage	-Fuite externe de l'eau de manœuvre -Mauvais pilotage du piston	2	1	2	4
Clapet anti-retour	Assure le passage de l'eau de manœuvre dans un seul sens	Usure du ressort	Haute pression de l'eau de manœuvre	Retour de l'eau de manœuvre dans l'autre sens	2	1	2	4

**TABLEAU 10 : AMDEC DES ELEMENTS DU SYSTEME EAU DE COMMANDE**



Eléments	Fonctions	Modes de défaillances	Causes	Effets	Criticité			
					G	F	N	C
Les pattes	Fixation de la machine	Cisaillement des vis de fixations	Vibrations	Déséquilibre de la machine	4	2	4	32
		Usure des tampons	Vibrations	Déséquilibre de la machine	4	2	4	32

**TABLEAU 11 : AMDEC DES PATTES**

Eléments	Fonctions	Modes de défaillances	Causes	Effets	Criticité			
					G	F	N	C
Garniture mécanique	Etanchéité empêche la fuite de l'huile et liquide	Usure	Fatigue	Ecoulement du liquide et l'huile	2	1	3	6

**TABLEAU 12 : AMDEC DES ELEMENTS DE LA GARNITURE MECANIQUE**

## 5. Méthode ABC ou analyse Pareto

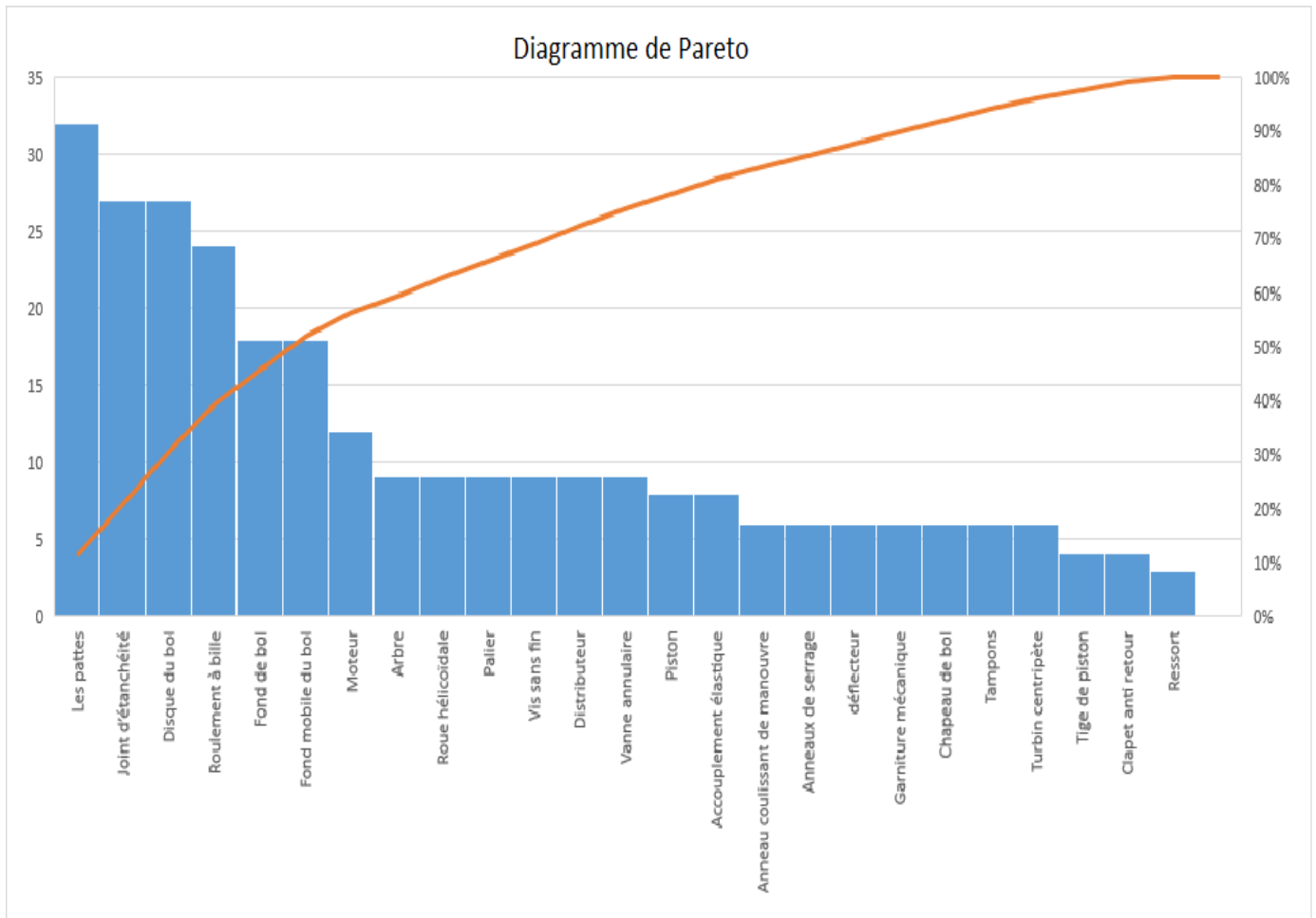
C'est une méthode très objective d'analyse. Elle permet de classer les causes selon les effets qu'elles génèrent.

Causes	Effets
Equipement	Cout de maintenance
Défaillances	Cout d'indisponibilité
Articles en stock	Valeur de consommation

### 5.1 Application de la méthode ABC

Numéro d'élément	Eléments	Criticité	Criticité cumulé	Cumulé%	Zone
1	Les pattes	32	32	11.31%	A
2	Joint d'étanchéité	27	59	20.85%	A
3	Disque du bol	27	86	30.39%	A
4	Roulement à bille	24	110	38.9%	A
5	Fond de bol	18	128	45.23%	A
6	Fond mobile du bol	18	146	51.6%	A
7	Moteur	12	158	55.83%	A
8	Arbre	9	167	59.01%	A
9	Roue hélicoïdale	9	176	62.01%	A
10	Palier	9	185	65.37%	A
11	Vis sans fin	9	194	68.55%	A
12	Distributeur	9	203	71.73%	A
13	Vanne annulaire	9	212	75%	A
14	Piston	8	220	77.73%	A
15	Accouplement élastique	8	228	80.56%	B
16	Anneau coulissant de manœuvre	6	234	82.68%	B
17	Anneaux de serrage	6	240	84.80%	B
18	défecteur	6	246	86.92%	B
19	Garniture mécanique	6	252	89.04%	B
20	Chapeau de bol	6	258	91.16%	B
21	Tampons	6	264	93.28%	B
22	Turbin centripète	6	270	95.40%	C
23	Tige de piston	4	274	96.81%	C
24	Clapet anti retour	4	278	98.23%	C
25	Ressort	3	281	99.29%	C
26	Electrovanne	2	283	100%	C
	Total	283			

**TABLEAU 13 : TABLEAU PARETO**



**FIGURE 23 : ANALYSE PARETO DU CLARIFICATEUR ALFA LAVAL**

### 5.2 Interprétation de la courbe

La courbe PARETO est composée de trois zones :

Zone A : contient les 14 premiers éléments qui représentent presque 54% du total des éléments et totalisent 80% des effets donc c'est sur ces éléments qu'il faut concentrer les actions de maintenance afin de réduire la criticité.

Zone B : contient 7 éléments qui représentent 27 % du totale des éléments mais ils totalisent presque 14% des effets.

Zone C : contient 5 éléments qui représente 19 % du total des éléments mais il totalise presque 6% des effets.



### 5.3 Conclusion

D'après les résultats précédents nous avons trouvés que les éléments critiques sont ceux de la zone A. Nous on s'intéresse des éléments critiques suivant :

- **Joint d'étanchéité.**
- **Disque du bol.**
- **Les pattes.**
- **Les roulements.**
- **Fond du bol.**
- **Fond mobile du bol.**

Pour déterminer les causes des défaillances de ces éléments critiques nous avons appliqués la méthode d'Ishikawa.

## 6. Diagramme d'Ishikawa

Appelé diagramme causes à effet c'est un outil permettant d'identifier les causes possible d'un effet constaté et donc de déterminer les moyens pour y remédier

### 6.1 Présentation de l'outil

Cet outil se présente sous la forme d'arêtes de poisson classant les catégories de causes inventoriées selon **la loi des 5M** (Matière, Main d'œuvre, Matériel, Méthode, Milieu).

Les catégories de causes commencent toutes par la lettre M

**Matériel:** Causes relatives aux machines, équipements et moyens concernés.

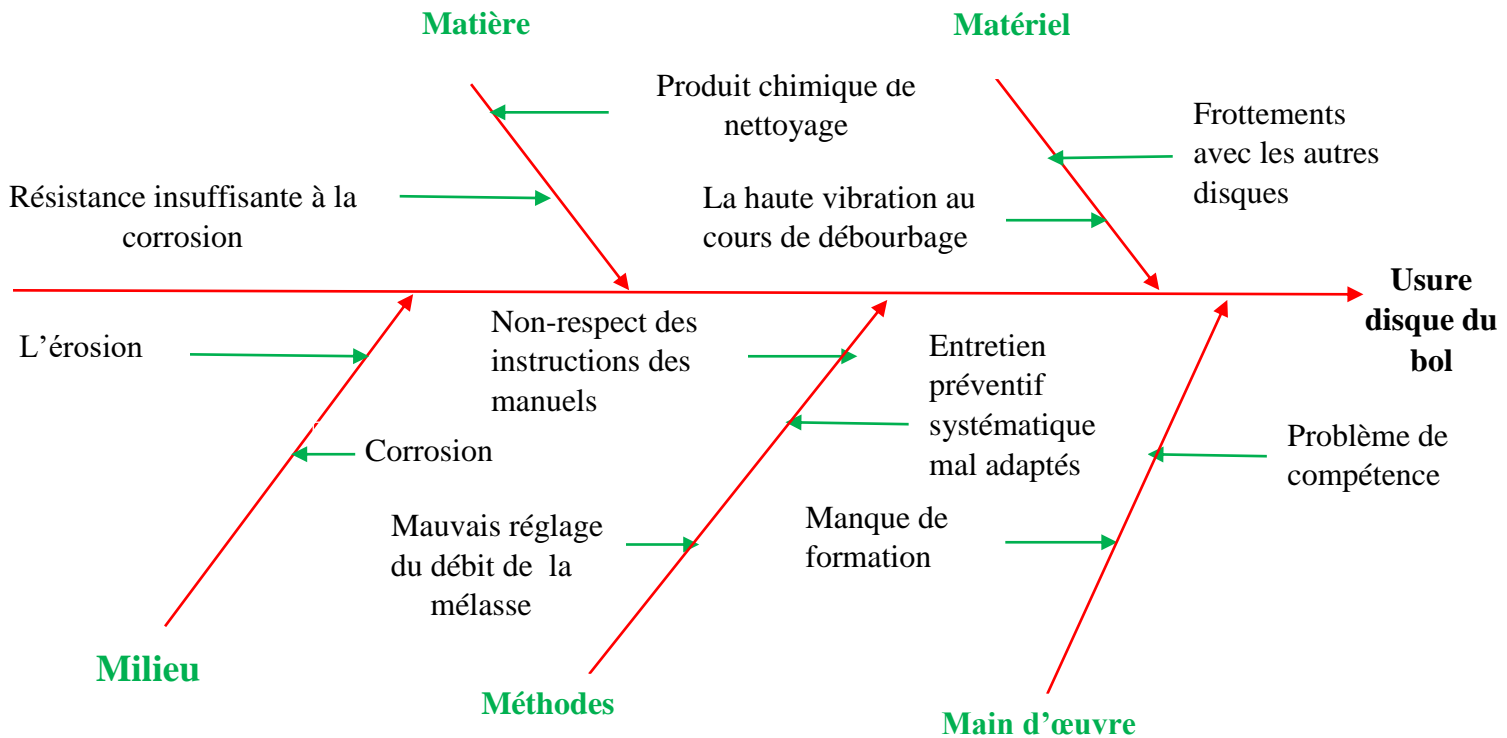
**Main d'œuvre:** Problème de compétence, d'organisation, de management.

**Milieu:** environnement physique : lumière, bruit, poussière, température...

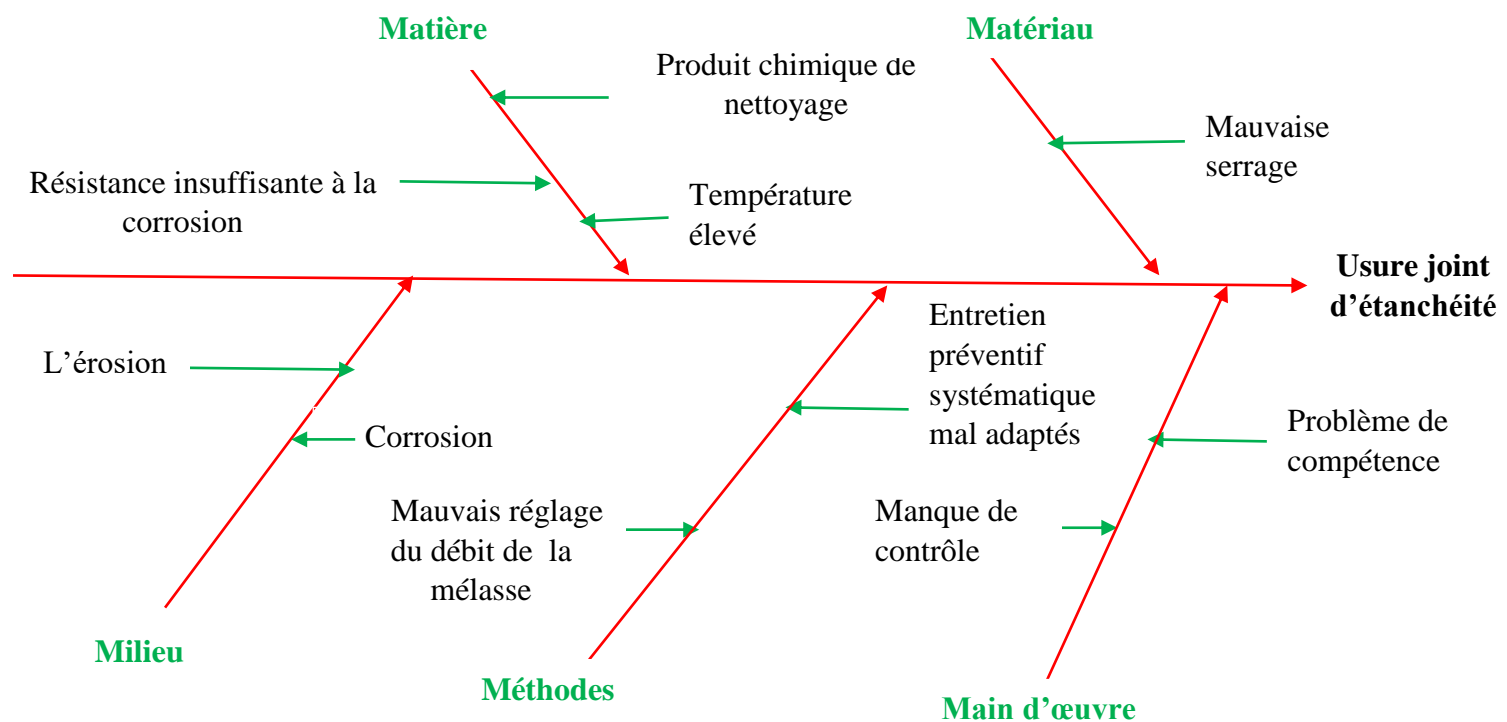
**Méthode :** instructions, manuels, procédures, modes opératoires utilisés...

**Matières:** Recense les causes ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés

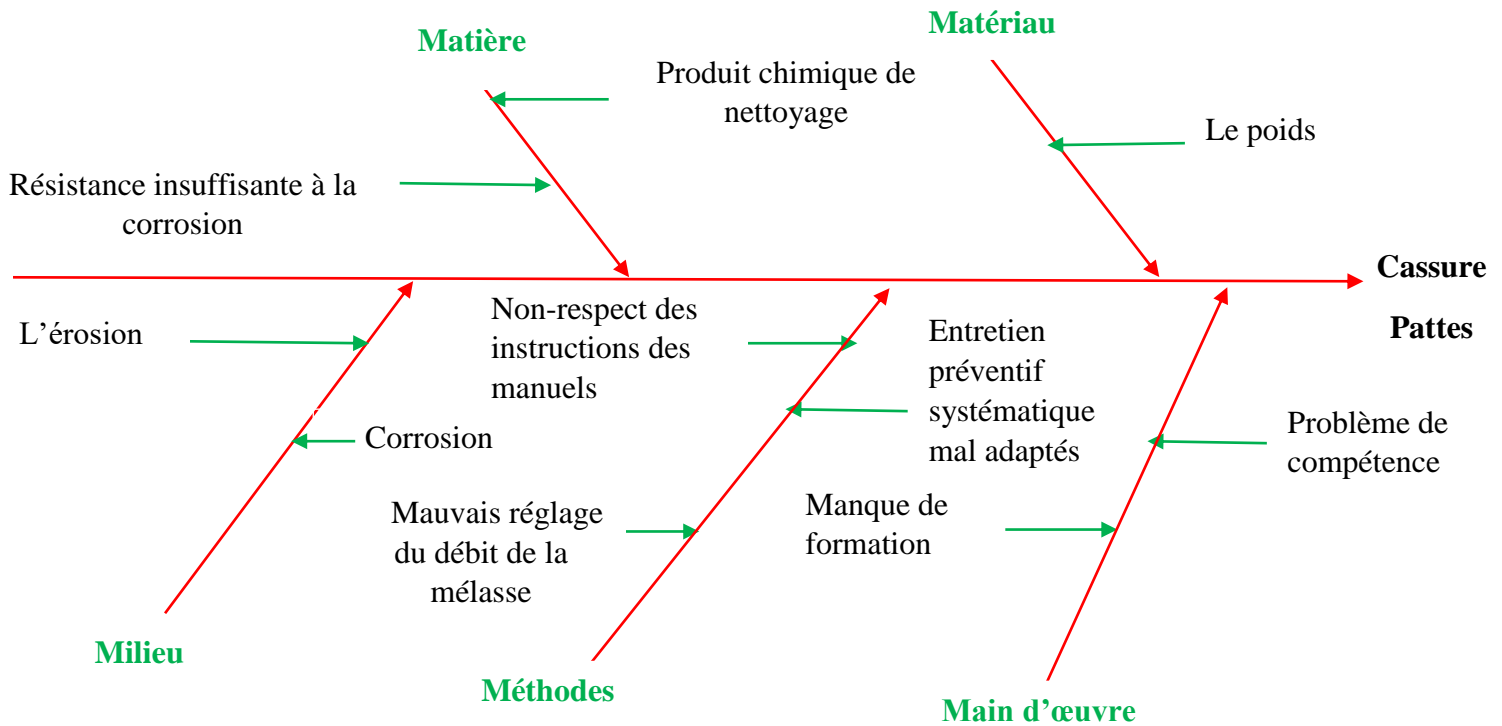
## 6.2 Diagramme d'Ishikawa pour les éléments critiques



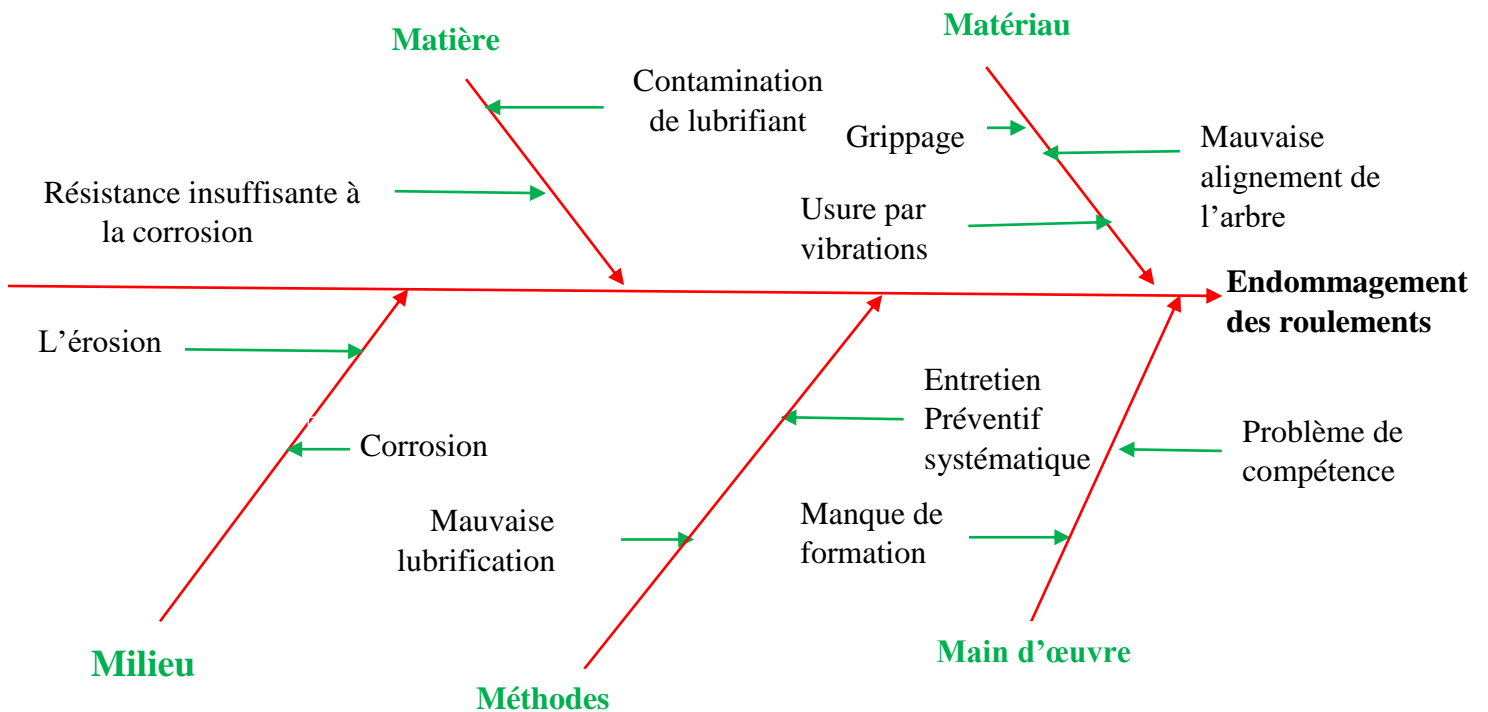
**FIGURE 24 : DIAGRAMME ISHIKAWA DU DISQUE DU BOL**



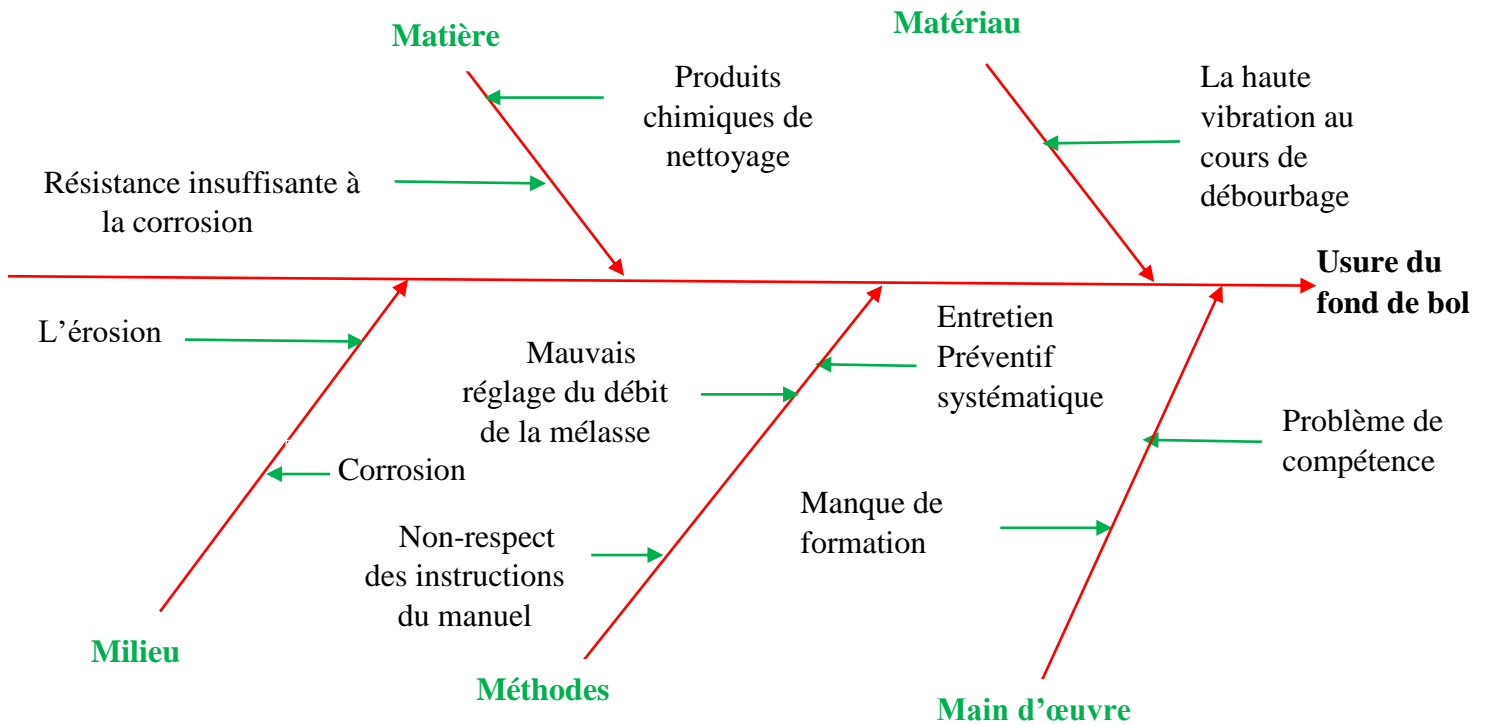
**FIGURE 25 : DIAGRAMME ISHIKAWA DU JOINT**



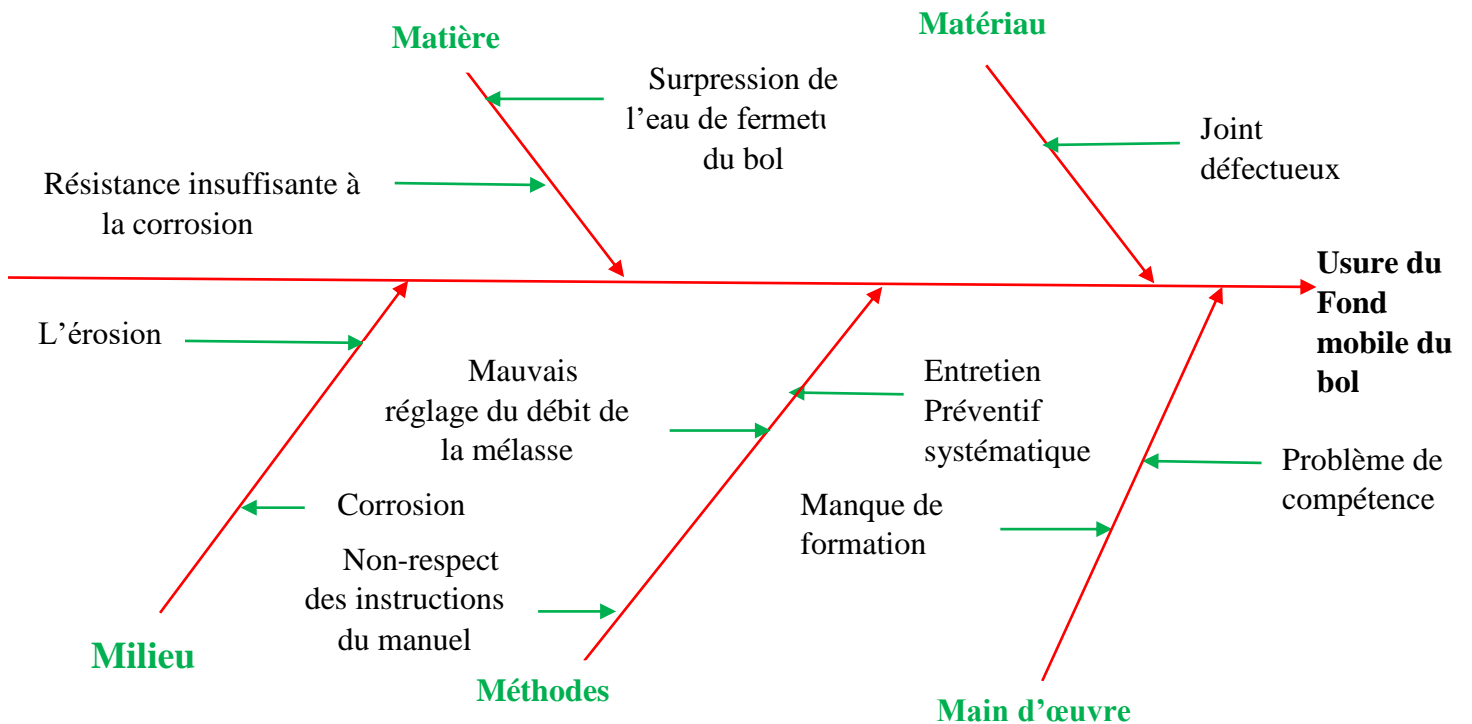
**FIGURE 26 : DIAGRAMME ISHIKAWA DES PATTES**



**FIGURE 27 : DIAGRAMME ISHIKAWA DES ROULEMENTS**



**FIGURE 28 : DIAGRAMME ISHIKAWA DU FOND DE BOL**



**FIGURE 29 : DIAGRAMME ISHIKAWA DU FOND MOBILE DU BOL**

#### IV. Maintenance corrective et préventive

##### 1. Plan de maintenance corrective proposé

Après avoir étudié les modes de défaillances nous avons déterminé le plan de maintenance corrective suivant :

Le mode de défaillance	Actions correctives
Endommagement des roulements de l'arbre (vertical et horizontal)	-Protection des roulements contre la corrosion et la poussière pendant le stockage. -Changer l'huile de lubrification -Contrôler les sièges de roulements pour détecter tout signe de dommage.
Usure des joints d'étanchéité	-Nettoyer et graisser le joint
Usure du disque du bol	-Contrôler la pression de la pile de disques. -Régler le débit de la mélasse pour réduire l'effet de l'érosion.
Cassure des pattes	-Vérifier les amortisseurs des pieds de fondation. -Enduire les vis de loctite 242 et les serrer.
Usure paliers du mécanisme horizontal et vertical	-Contrôler l'alignement de l'arbre. -Changer l'huile de lubrification. -Surveiller de près la vibration.
Endommagement du moteur	-Contrôler les vibrations -Lubrifier conformément aux recommandations du constructeur - Contrôler l'isolement
Usure de l'arbre (verticale et horizontale)	-Contrôler le flottement et l'excentricité éventuels à l'arbre
Usure Roue hélicoïdale	-Changer l'huile de lubrification. - Contrôler l'engrenage pour détecter toute usure anormale. - Vérifier les dents
Usure Vis sans fin	- Vérifier les dents -Lubrifier conformément aux recommandations du constructeur -Changer l'huile de lubrification
Usure du Fond mobile du bol	-Nettoyer et graisser le fond mobile du bol avec de la graisse aux silicones -Changer les deux joints et la chemise de protection
Usure du fond de bol	-Nettoyer le cône de l'arbre et le moyeu du fond de bol avec un produit dégraissant approprié.
Usure du distributeur	Surveiller toute attaque à la corrosion.
Détérioration de la vanne annulaire	-Nettoyer et graisser les ressorts. - Surveiller toute attaque à la corrosion.

**TABLEAU 14 : ACTIONS CORRECTIVES**



## 2. Plan de la maintenance préventive

Afin d'améliorer la disponibilité de la machine nous avons réalisé le planning de maintenance préventive suivant :

Eléments	Planning	Périodicité	Personnels	Temps moyens requis
Disque du bol	-Contrôler la pression de la pile de disques.	Trimestre	Mécanicien	120 min
	-Régler le débit de la mélasse pour réduire l'effet de l'érosion.	Trimestre	Mécanicien	120 min
Joint d'étanchéité	-Nettoyer et graisser le joint	Trimestre	Mécanicien	60 min
les roulements à bille	-Protection des roulements contre la corrosion et la poussière pendant le stockage.		Mécanicien	
	-Changer l'huile de lubrification	Mensuel	Mécanicien	30 min
	-Contrôler les sièges de roulements pour détecter tout signe de dommage.	Chaque 6mois	Mécanicien	220min
Les pattes	-Vérifier les amortisseurs des pieds de fondation.	Chaque 6mois	Mécanicien	240min
	-Enduire les vis de loctite 242 et les serrer.	Chaque 6mois	Mécanicien	240min
Vis sans fin	-Lubrifier conformément aux recommandations du constructeur	Mensuel	Mécanicien	30min
	-Changer l'huile de lubrification	Mensuel	Mécanicien	30 min
	- Vérifier les dents	Chaque 6mois	Mécanicien	200min
Arbre	-Contrôler le flottement et l'excentricité éventuels à l'arbre	Chaque 6mois	Mécanicien	200min
moteur	-Contrôler les vibrations.	Quotidiennement	Electricien	10 min
	-Lubrifier conformément aux recommandations du constructeur.	Mensuel	Electricien	30min
	-Contrôler l'isolement.	Quotidiennement	Electricien	10min
Palier	-Contrôler l'alignement de l'arbre.	Chaque 6mois	Mécanicien	200min
	-Changer l'huile de lubrification.	Mensuel	Mécanicien	30 min
	-Surveiller de près la vibration.	Quotidiennement	Opérateur	10 min
Fond de bol	-Changement tôle d'usure.	Annuel	Mécanicien	80min
Fond mobile du bol	-Changement chemise d'usure.	Annuel	Mécanicien	80min
Distributeur	-Contrôle d'usure.	Chaque 6mois	Mécanicien	60min
Vanne annulaire	-Contrôle des ressorts	Chaque 6mois	Mécanicien	180min

**TABLEAU 15 : PLANNING DE MAINTENANCE PREVENTIVE**



## V. Travaux effectués

Plus de notre sujet, nous avons participé aux travaux effectués par le service maintenance (réparation, révision, assemblage)

- + Changement des rouleaux d'un convoyeur dans la salle de séchage.
- + Changement d'un galet (coincement) au niveau de la machine Proconor P3.
- + Changement d'un moteur réducteur au niveau du filtre (vibration).
- + Régulation d'un couteau (cassure de la vis sans fin dans les deux côtés dans le mécanisme du mouvement du couteau).
- + Séparateur P4 :
  - Changement des roulements du mécanisme vertical +vidange.
  - Serrage du bol.
  - Changement du bol.
  - Nettoyage du bol (ouverture du bol) + changement d'une assiette.
- + Séparateur P5 :
  - Démontage total du séparateur (révision mécanique) + changement des rouleaux au niveau du mécanisme vertical et horizontal.
- + Vidange du clarificateur SB80 (couleur de l'huile n'est pas normal)
- + Changement axe agitateur dans le cuve d'émulsifiant.
- + Assemblage d'une pompe immergé dans l'eau usé.
- + Changement des coussinets d'un palier au niveau de la machine ICA.
- + Changement du rotor au niveau de la pompe qui aspire le produit (émulsifiant).problème (création d'un jeu à cause de l'usure des éléments du rotor).
- + Changement du surpresseur au niveau d'une soufflante d'air.
- + Révision du bol au niveau du clarificateur ALFA LAVAL (changement des pattes).



## *Conclusion et perspectives*

Nous avons effectué notre stage de fin d'étude au sein de la société LESAFFRE Maroc. Lors de ce stage de 2 mois, nous avons pu mettre en pratique nos connaissances théoriques acquises durant notre formation, de plus, nous sommes confrontés aux difficultés réelles du monde du travail et du management d'équipes.

Dans le cadre de notre projet fin d'étude à la division maintenance de la société LESAFFRE Maroc, nous avons réalisé une analyse AMDEC du clarificateur ALFA LAVAL.

Pour l'élaboration de ce travail, nous avons commencé dans un premier temps par La description détaillée du clarificateur ALFA LAVAL, puis une analyse de l'historique des défaillances, ensuite nous avons établi une étude AMDEC, ce qui nous a permis d'envelopper la problématique et de dégager les causes principales qui pénalise le bon fonctionnement du clarificateur ALFA LAVAL, ainsi nous avons relevé les éléments critiques par l'application de la méthode ABC.

Par la suite, le diagramme Ishikawa nous a permis d'identifier les causes principalement responsables de chaque problème, ce qui nous a aidé à donner des solutions en employant des actions correctives, et ainsi donner un plan de maintenance préventive de la machine.

Nous avons laissé comme perspectives la généralisation de cette étude AMDEC sur les autres zones et principalement sur la zone de séparation et sur les autres séparateurs existants dans cette zone et qui travaillent avec le même principe du clarificateur ALFA LAVAL.

Plus de notre travail, nous avons participé avec l'équipe de maintenance en plusieurs opérations de réparations, révision et d'assemblage.



## *Reference bibliographique*

### **Les livres :**

Manuel\_opérateur\_CHPX\_517SGV-30CGLT (documentation technique clarificateur Lesaffre)

AMDEC Guide pratique; G.Landy; AFNOR ; 2011

Cours maintenance ; Mr A. EL BIYAALI (FST Fès) 2017

### **Les sites web :**

<http://local.alfalaval.com>. (2017)

<http://fr.wikipedia.org>. (2017)

<http://www.lesaffre.com/fr>.(2017)

## ANNEXE 1

### L'évaluation de la criticité

#### Evaluation

L'évaluation se fait selon 3 critères principaux :

- La gravité.
- La fréquence.
- La non-détection.

Critère	Définition
Fréquence	Fréquence (occurrence ou probabilité) D'apparition d'une défaillance due à une cause particulière
Gravité	Gravité des effets de la défaillance sur le système ou l'utilisateur
Probabilité de non –détection	Risque de ne pas détecter une défaillance avant qu'elle n'atteigne l'utilisateur du système

TABLEAU 16 : LES ELEMENTS DE L'EVALUATION

#### Gravité

Elle exprime l'importance de l'effet sur la qualité du produit (AMDEC procédé) ou sur la productivité (AMDEC machine) ou sur la sécurité (AMDEC sécurité). Le groupe doit décider de la manière de mesurer l'effet.

<i>Cotation</i>	<i>Gravité G</i>	<b>DEFINITION DES NIVEAUX</b>
1	<b>Mineure</b>	Défaillance mineure : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt de production inférieur à 30MIN</li> <li>• Aucune dégradation notable du matériel.</li> </ul>
2	<b>Significative</b>	Défaillance significative : Arrêt de production de 30MIN à 2heures, au report possible d'intervention. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remise en état de courte durée, ou petite réparation sur place nécessaire.</li> <li>• Déclassement du produit.</li> </ul>
3	<b>Moyenne</b>	Défaillance moyenne : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt de production de 2h à 4heures.</li> <li>• Changement du matériel défectueux nécessaire.</li> <li>• Retouche de produit nécessaire ou rebut.</li> </ul>
4	<b>Majeure</b>	Défaillance majeure : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt de production de 4h à 6heures.</li> <li>• Intervention importante sur sous ensemble.</li> <li>• Production des pièces non conformes et non détectées.</li> </ul>
5	<b>Catastrophique</b>	Défaillance catastrophique : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrêt de production supérieur à 6heures.</li> <li>• Intervention lourde nécessitent des moyens coûteux.</li> <li>• Problème de sécurité du personnel ou d'environnement.</li> </ul>

**TABLEAU 17 : GRAVITE**

## Fréquence

On estime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se reproduire.

<i>Cotation</i>	<i>FREQUENCE F</i>	<b>DEFINITION DES NIVEAUX</b>
1	Très faible	Défaillance rare : <i>MOINS D'UNE DEFAILLANCE PAR AN</i>
2	Faible	Défaillance possible : Moins d'une défaillance par trimestre
3	Moyenne	Défaillance fréquente : Moins d'une défaillance par semaine
4	Forte	Défaillance très fréquente : Plusieurs défaillances par semaine

**TABLEAU 18 : FREQUENCE**

## Non-détection

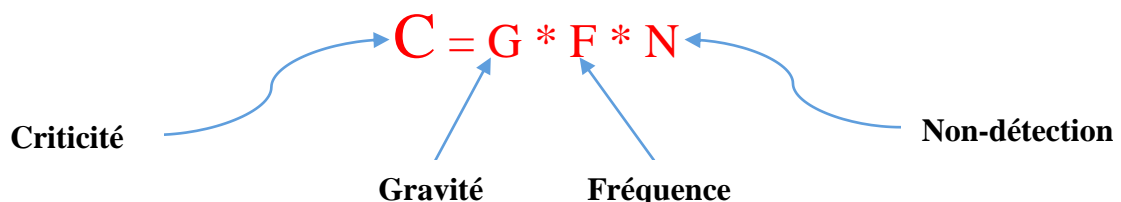
Elle exprime l'efficacité du système permettant de détecter le problème.

Cotation	PROBABILITE DE NON-DETECTION	DEFINITION DES NIVEAUX
1	<b>Délectable à coup sûr</b>	Défaillance détectable à 100% : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>DETECTION A COUP SUR DE LA CAUSE DE DEFAILLANCE</i></li> <li>• Signe avant-coureur évident d'une dégradation</li> <li>• Dispositif de détection automatique d'incident (alarme)</li> </ul>
2	<b>Détection possible</b>	Défaillance détectable : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signe avant-coureur de la défaillance facilement décelable mais nécessitant une action particulière de l'opérateur (visite, contrôle visuel, ...)</li> </ul>
3	<b>Détection improbable</b>	Défaillance difficilement détectable : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signe avant-coureur de la défaillance difficilement décelable, peu exploitable ou nécessitant une action ou des moyens complexes (démontage, appareillage, ...)</li> </ul>
4	Indétectable	Défaillance indétectable : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucun Signe avant-coureur décelable de la défaillance</li> </ul>

**TABLEAU 19 : NON DETECTION**

### La criticité

Lorsque les 3 critères ont été évalués dans une ligne de la synthèse AMDEC, on fait le produit des 3 notes obtenues pour calculer la criticité.



**F** : Fréquence d'apparition de la défaillance.

**D** : Fréquence de non-détection de la défaillance.

**G** : Gravité des effets de la défaillance



*Rapport-gratuit.com*   
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES