



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah  
Faculté des sciences et technique



---

## Départements Génie Mécanique

Spécialité : Conception et Analyse Mécanique

Lieu : Minoteries Hocine LAHBABI

Mémoire de PFE  
pour l'obtention de  
la LST

**Thème:**  
**L'analyse vibratoire en  
maintenance conditionnelle.**

---

**Encadré par :**

- Mme ELMAHDAOUI Sara (encadrant-société)
- Mr. SEDDOUKI Abbass (encadrant-FST)

**Présenté par :**

- LABIAD Maha
- YAKOUBI Khadija

**Soutenu le 10/06/2016 devant le jury :**

- Pr. SEDDOUKI Abbass
- Pr. EL MAJDOUBI Mohamed

Année Universitaire 2015-2016

# Sommaire

<b>Remerciement</b>	<b>3</b>
<b>Introduction</b>	
<b>Chapitre I : Présentation de l'entreprise</b>	<b>5</b>
1-Présentation du groupe SIOF	5
2- Présentation de la minoterie HOCINE ELHBABI	8
 <b>Chapitre II : présentation du processus général de la semoulerie.</b>	
1-Présentation des machines	9
2-Processus général	15
 <b>Chapitre III : La maintenance conditionnelle</b>	
1-Définition et principes	20
2-Technique d'analyse	23
3-Etat des lieux	24
4-Plans de maintenance	33
 <b>Chapitre IV : Analyse vibratoire</b>	
1- Vibrations et grandeurs associées	36
2- Image vibratoire des principaux défauts	37
3- Etude des principaux défauts	39
4- La chaîne de mesure	41
5-La stratégie de surveillance par analyse vibratoire	49

## ❖ Nomenclature :

SIOF = La Société Industrielle Oléicole de Fès.

AFNOR : L'Association Française de NORMalisation.

CEN : Comité Européen de Normalisation.

MTBF : durée moyenne entre pannes.

MTTR : temps moyen jusqu'à la réparation.

I.R : impact sur le rendement.

I.Q : impact sur la qualité.

A.S : Aspect sur la sécurité.

A.E : Aspect sur l'environnement.

P : Probabilité de Panne.

C : Criticité de l'équipement.

MCAV : maintenance conditionnelle analyse vibratoire.

Fcourroie = fréquence de passage de la courroie.

z = nombre de dents de l'engrenage.

Feng = fréquence d'engrènement.

Frot = fréquence de rotation.

NVM = niveau de maintenance.

OCRIM = marque des machines

# Remerciements

Il n'est jamais facile pour des étudiantes de trouver un stage, c'est pourquoi nous remercions Mr.Elberrkany qui nous a aidé dans cette étape et l'entreprise SIOF de nous avoir accueillies durant ces 2 mois.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Mm Sara ELMAHDAOUI, dirigeante de l'entreprise Minoterie Hocine ELHBABI, qui nous a accordé sa confiance et attribué des missions valorisantes durant ce stage, et Mr. Abdelkhalek MAHDAOUI, qui a supervisé notre stage au jour le jour. Merci également à toute l'équipe de l'entreprise car chacun d'entre eux a su trouver un peu de temps pour nous aider dans nos missions. Faire notre stage de licence dans cette entreprise a été un plaisir, nous avons pu apprendre beaucoup grâce à eux et nous avons surtout été confortées dans notre PFE, ce qui est un aboutissement de notre cursus universitaire.

Aussi, nous remercions Mr. SEDDOUKI Abbass Notre encadrant de la FST et toutes les personnes qui nous ont formées et accompagnées tout au long de cette année en général et de cette expérience professionnelle en particulier avec beaucoup de patience et de pédagogie.

# Introduction

Le stage est par excellence une occasion pour mettre en pratique les compétences intellectuelles forgées le long des années d'études. Ceci s'observe clairement dans l'opportunité offerte au stagiaire de montrer et démontrer son aptitude à analyser des situations concrètes.

Notre choix s'est alors porté sur le complexe industriel minoterie Hocine ELHBABI. C'est un grand établissement où se préparent les farines et les semoules, son travail consiste à éliminer les parties périphériques du grain des céréales (les sons et remoulages), et à transformer la partie centrale (l'amande) en particules de 200 à 1120 micromètres et assez pures pour composer les différents types de semoules.

Les machines de la minoterie se composent d'un ensemble de mécanismes et d'organes combinés destinés à transformer une énergie ou à transmettre un mouvement. Ces mécanismes, mobiles entre eux, ne peuvent fonctionner sans jeux, contraintes, efforts dynamiques et chocs dont les effets se manifestent principalement sous forme de vibrations et de bruits. Tout changement dans l'importance de ces jeux, de ces contraintes, efforts ou chocs, se traduit inmanquablement par une modification de l'intensité ou des fréquences de ces vibrations. Or, cette modification de comportement vibratoire constitue souvent la première manifestation physique d'une anomalie affectant la machine, cause potentielle à terme de dégradations, voire de pannes.

# Chapitre I :

## Présentation de l'entreprise

### 1-Présentation du groupe SIOF :

La Société Industrielle Oléicole de Fès (SIOF) est une entreprise innovante dans le secteur agroalimentaire marocain.

SIOF est une entreprise qui va de l'avant. Au fil des années, le groupe n'a cessé de chercher l'innovation et l'excellence pour satisfaire ses consommateurs nationaux et internationaux. Que ce soit à travers le lancement de nouveaux produits ou le développement de nouveaux marchés, SIOF est en constante évolution grâce à la richesse de son capital humain.

Si l'entreprise occupe aujourd'hui une place de choix dans le secteur des oléagineux au Maroc, c'est grâce à une stratégie de développement qui a su s'adapter aux migrations du marché et répondre aux attentes de l'environnement. Sa réussite découle du succès de ses marques auprès de ses clientèles.

### Mission :

La SIOF s'engage à fournir à ses clients nationaux et internationaux des produits de qualités tout en respectant la qualité du service. A la recherche continue d'opportunités dans le secteur oléagineux, la SIOF place l'innovation et le développement au cœur de son activité.

## **Vision :**

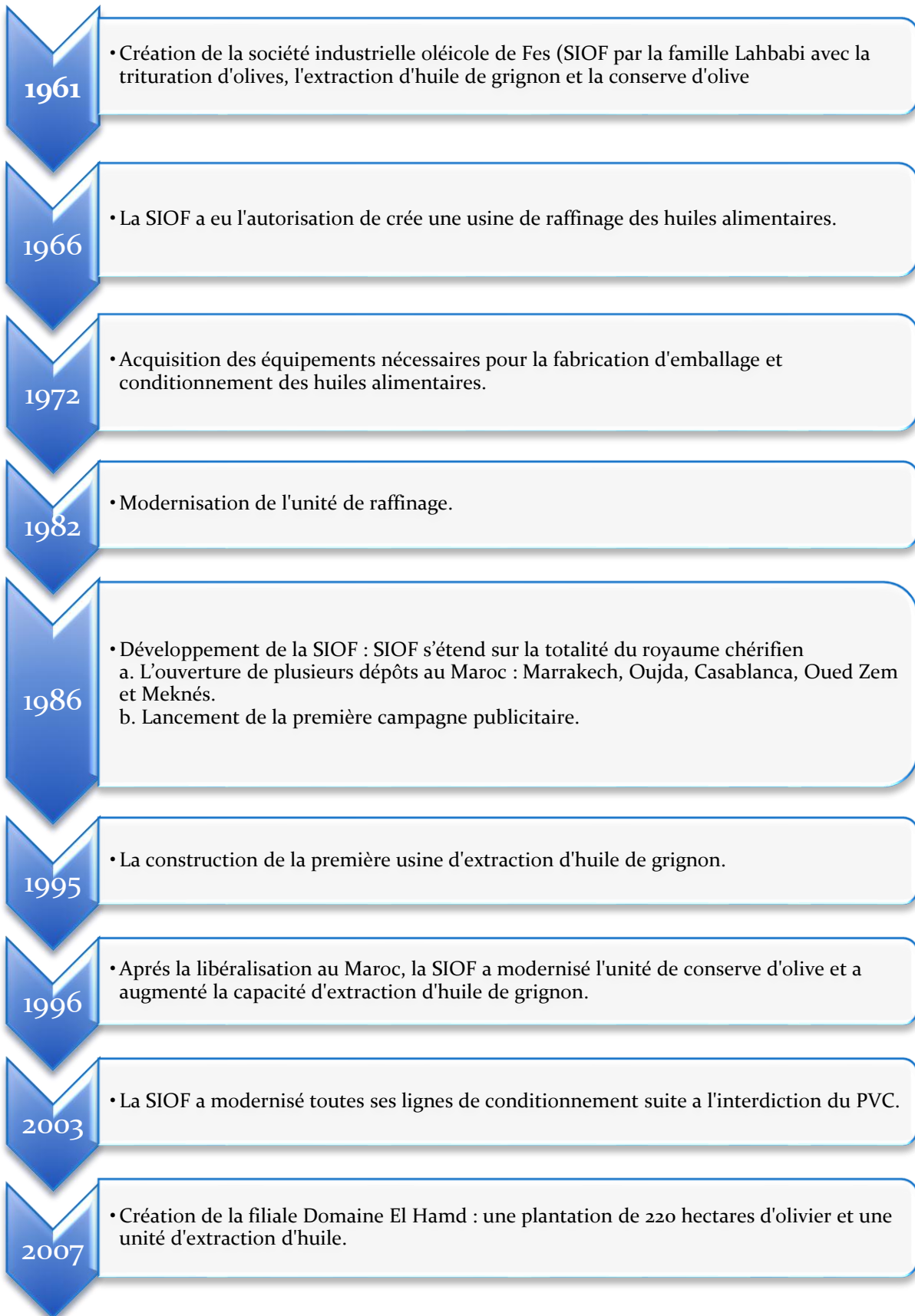
La SIOF est déterminée à être la référence dans le secteur des huiles et des olives au Maroc et à l'étranger. Pour cela la SIOF a établi une stratégie qui se décline en quatre points :

- Assurer un service de qualité à l'ensemble de ses clients
- Offrir un milieu de travail sain, équitable et épanouissant à tous ses employés
- Respecter les normes de production internationales
- Accroître sa présence à l'internationale en étant présent dans les différents salons et en développant une gamme adaptée

## **Valeurs :**

- ✓ **Qualité** : La qualité est au cœur de la stratégie du groupe. La SIOF met un point d'honneur à ce qu'on retrouve à tous les maillons de chaîne cet aspect fondamental à la satisfaction des consommateurs.
- ✓ **Respect** : La SIOF a été fondée sur des valeurs de tradition familiale. Grâce à une politique basée sur l'écoute et la tolérance, la SIOF a su instaurer un climat de confiance où la liberté d'expression est légion.
- ✓ **Éthique** : Chaque décision, action et intervention est empreinte de professionnalisme et d'honnêteté. La SIOF encourage un comportement responsable pour chaque collaborateur. L'éthique dépasse le seul facteur humain, la SIOF l'applique aussi sur le plan financier, juridique, social et environnemental.

## Historiques :



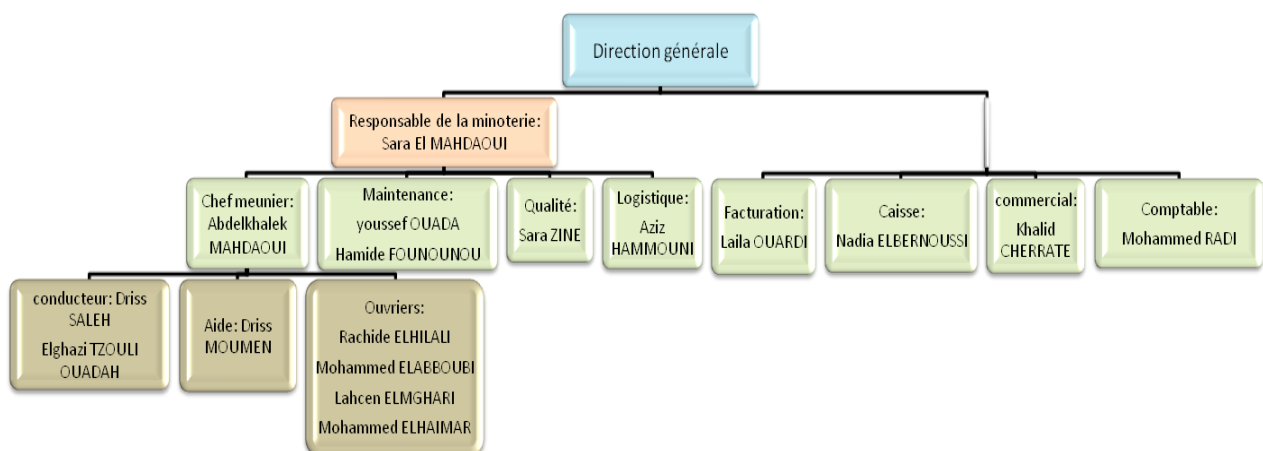


## 2-Présentation de la minoterie HOCINE ELHBABI :

La minoterie Hocine ELHBABI est une filiale du Groupe SIOF, créée en Janvier 2016, dont les directeurs général, sont Khalil LAHBABI et Youness ERRAFIK. Son siège social est Rue KHawarizmi, Q.I. Sidi brahim, Lot 21 Fés.

C'est une entreprise, SARL où se pratique la transformation des céréales en farines et semoules dont l'effectifs personnel est de 20, elle comporte deux bâtiments, un pour la semoulerie et l'autre pour la farine, chaque bâtiment est composé de 5 ou 6 étages selon une installation très compliquée, et chaque étage est divisé 3 parties : la partie nettoyage, partie de mouture, et la partie d'ensachage.

### ➤ Diagramme de l'entreprise :



## Chapitre II :

# machines et processus général de la semoulerie

### 1-Présentation des machines :

#### ➤ Épierreurs:

L'épierreur [Figure II.1] est une machine de nettoyage utilisée pour la séparation des pierres qui se trouvent dans les céréales grâce à la vibration et la différence de densité.

Le produit entre par la partie supérieure de la machine et par l'effet de vibration et d'un dispositif de distribution particulier se répand sur toute la largeur du tamis.

La table de travail est reliée à une aspiration permettant la sustentation (la suspension dans l'air) du produit au-dessus de la toile métallique, et par le phénomène de vibration, les particules les plus lourdes (pierre, verre,...) sont remontées vers la partie supérieure du tamis, jusqu'à une goulotte d'évacuation des déchets. Alors que les particules légers, par gravité, descend jusqu'à la goulotte de sortie.

Dans le cadre d'une implantation en "nettoyage moulin", l'épierreur viendra après un nettoyeur-séparateur qui retire du circuit les fins et gros déchets.

Figure II.1-  
Epierreur



### ➤ Trieur optique:

Le trieur optique [Figure II.2] est une technologie nouvelle mise récemment à la disposition des stations de semences. Il consiste à éliminer les impuretés selon leur couleur.

Le flux de grains est visionné au moyen de caméras digitales. Les impuretés sont éliminées par un jet d'air comprimé. Ainsi, les grains cassés, laissant apparaître la couleur blanche de leur amidon, peuvent être éliminés, ainsi que les grains décolorés.

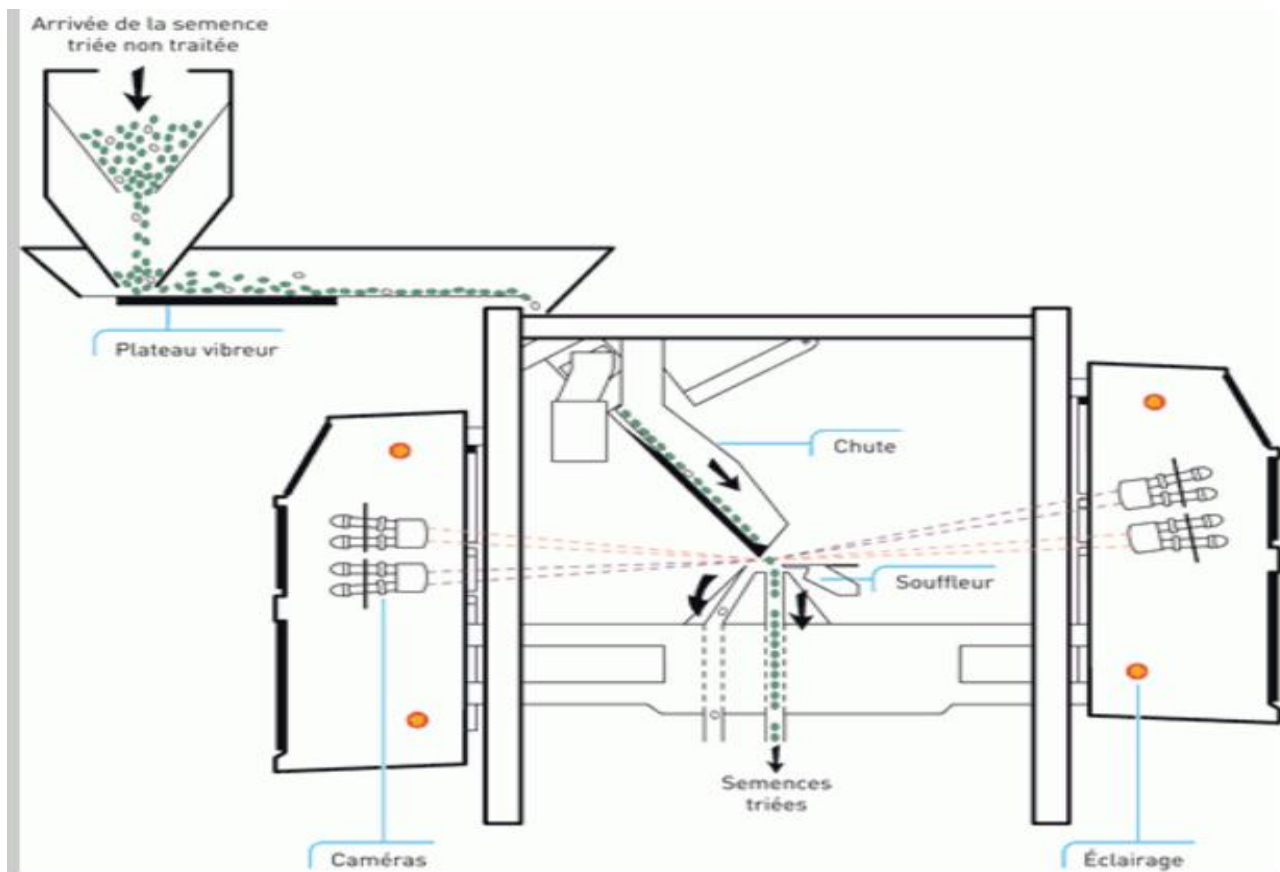


Figure II.2-fonctionnement de trieur optique

### ➤ Trieur cylindrique:

Les trieurs cylindriques, comme illustré à la figure ci-après, séparent les grains selon leurs longueurs. Ils éliminent les grains de forme ronds et ovales de, diamètre différents à, celui de blé.

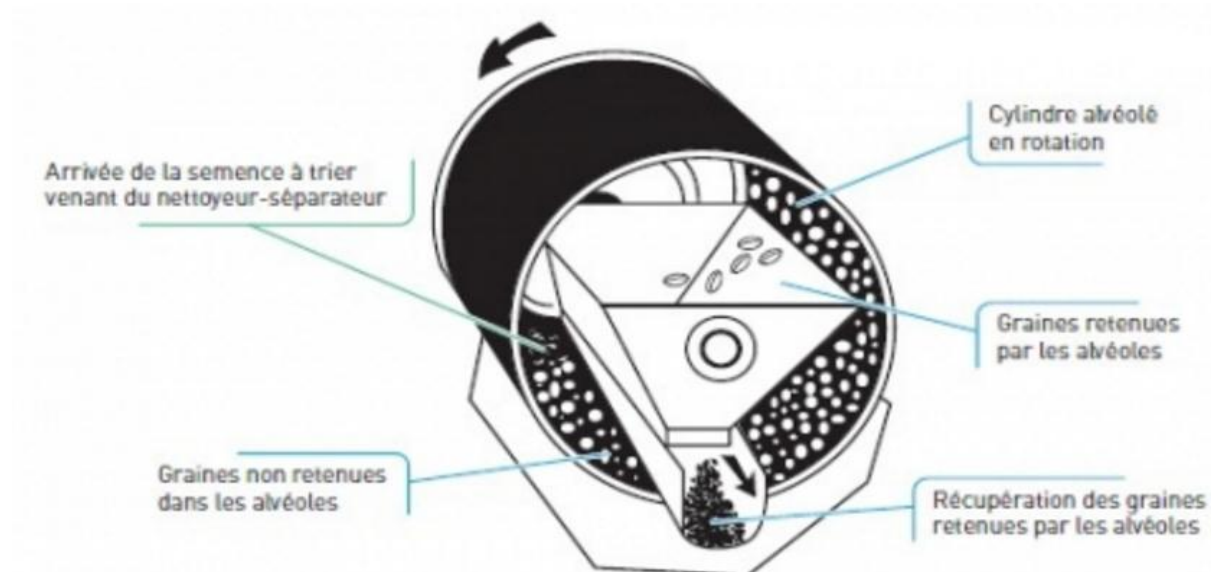


Figure II.3-fonctionnement du trieur optique.

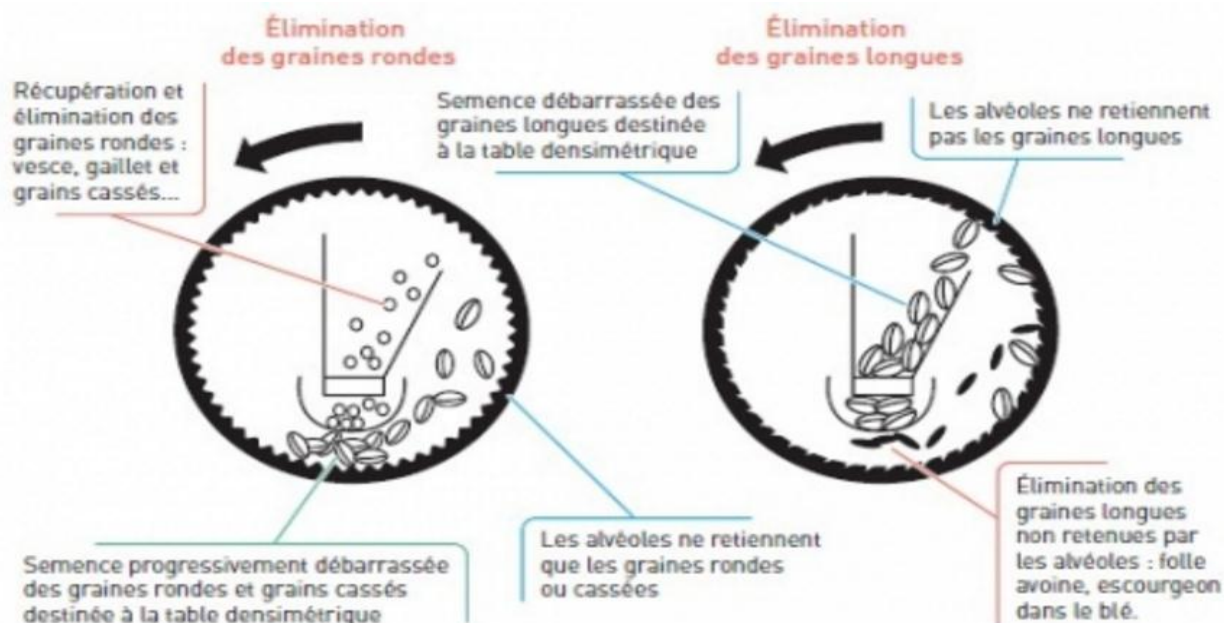


Figure II.4-Elimination des impuretés

### ➤ Appareil à cylindres :

L'appareil à cylindres est l'équipement de mouture le plus important dans une minoterie. Sa fonction principale est d'assurer le concassage du blé sous l'action de deux rouleaux en rotation simultanée.

Il est formé de quatre cylindres cannelés tournant deux à deux en sens inverse à des vitesses différentes. Les rouleaux d'alimentations, à mouvement parallèle, se rapprochent et s'éloignent automatiquement au moyen d'un système pneumatique.

La quantité du produit qui rentre dans l'appareil est réglée automatiquement au moyen d'un indicateur de niveau qui contrôle les rouleaux d'alimentation. Le produit qui s'écoule uniformément, est broyé entre les cylindres.



Figure II.5- Appareil à cylindres.

### ➤ Sasseur:

Le sasseur [Figure II.6], est un équipement utilisé pour la séparation des particules fines du blé, des résidus du blé et des poudres brutes, ce qui permet de réduire le niveau des impuretés. Il est conçu en trois parties principales :

- \* Un châssis principal fixe
- \* Une carcasse vibrante porteuse des tamis
- \* Un canal d'aspiration

Les clapets de réglage de conception spéciale placés sur les deux canaux d'aspiration aérodynamiquement disposées sur les tamis assurent un réglage précis du débit d'air optimal qui doit passer dans chaque tamis.

Le sasseur à semoules reçoit les semoules provenant du broyage et a pour fonction de les libérer des particules de son, de façon à envoyer



sur les convertisseurs, un produit aussi propre, que possible. Un sassage efficace est en effet une condition préliminaire pour obtenir un rendement maximum en semoules claires. Le principe de fonctionnement du sasseur est basé sur la séparation du produit par granulation et aspiration.



Figure II.6-sasseur.

➤ Plansichter:

C'est un équipement qui effectue une opération dénommée « blutage » ou « tamisage ». Ce sont des appareils composés de tamis superposés garnis de tissus de nylon (ou métal) dont les mailles sont adaptées au travail de classification recherchée.



Figure II.7-plansichter.

## 2-Processus général :

### a) Réception et Pré-nettoyage et stockage des blés :

La livraison du blé se fait ordinairement en vrac, par camions. Après pesage du camion sur un pont bascule, le blé est vidé dans une fosse de réception. Ensuite il est stocké dans 3 silos de capacité : 830 q x chacun.

IL est transporté à l'aide d'un transporteur à chaîne, jusqu'à un élévateur, puis il est acheminé jusqu'à un pré-nettoyeur. De là, il rejoint les cellules de blés sales par élévateurs et transporteurs.

### b) Nettoyage des blés :

Les différentes qualités de blé prévues pour une fabrication spécifique sont extraites en même temps des cellules du silo blé pour être mélangées et constituent une « mouture ». Chaque débit d'extraction de silos est commandé par un distributeur. Le blé est ensuite repris par élévateur pour être acheminé vers l'atelier de nettoyage et de mouillage au moyen d'un transporteur.

Le blé passe sur un magnétique afin d'en tirer les particules métalliques, ensuite par un nettoyeur séparateur pour éliminer les gros déchets du blé, après il passe par un épierreur pour enlever les pierres que contient le blé sale, et éventuellement d'un trieur qui permet de ne conserver que les grains de blé purs. Puis le blé est brossé et aspiré à l'aide d'une épointeuse.



### c) Mouillage et repos :

Le blé subit encore une opération de mouillage pour lui donner un taux d'humidité approprié, facilitant la mouture. L'humidification est obtenue par adjonction de 2 à 4% d'eau suivant les récoltes afin d'obtenir un blé à 16-17% d'humidité.

Les grains de blé sains sont humidifiés une première fois pour faciliter la séparation de l'amande de ses enveloppes, puis une deuxième fois, après passage dans une époinçeuse (l'époinçeuse est utilisée pour effectuer un nettoyage soigné, par friction).

Une fois mouillé, le blé subit un temps de repos nécessaire à la pénétration de l'eau à l'intérieur du grain. Il sera plus ou moins prolongé (4 à 16 heures) selon la nature de l'amande. Ce repos s'effectue dans les cellules de conditionnement également appelées « cellules de repos ».

Le grain ainsi préparé est ensuite acheminé vers le moulin après un deuxième nettoyage : passage dans un séparateur magnétique , un trieur optique , une peseuse et ensuite dans une décortiqueuse (avant 1er broyeur).

### d) Ecrasement des blés :

Afin de libérer les divers éléments constituant le grain de blé, ce dernier est broyé, tamisé et sassé.

Ces opérations sont réalisées au moyen de machines : broyeurs, claqueurs, convertisseurs, plansichters, sasseurs et réducteurs à sons, qui sont situées à différents niveaux du moulin afin de favoriser la

manutention par gravité. Les broyeurs, les claqueurs et les convertisseurs se situent généralement dans le moulin à un niveau inférieur à celui des plansichters et des sasseurs. Le transport des produits est majoritairement effectué par pneumatique.

➤ Broyeurs :

Le broyeur est une machine qui permet de séparer l'amande (semoule) de l'enveloppe (son gros et fin).

➤ Plansichters :

Les plansichters extraient la semoule et classent les autres produits en cours de transformation dont on poursuivra la mouture, tous les produits sont ainsi classés par grosseur : les refus, les semoules, ...

Les refus sont soumis à une nouvelle réduction sur les broyeurs, les semoules sont dirigées soit vers les claqueurs ou convertisseurs, qui les réduisent à l'état de farine, soit vers les sasseurs. Tandis que les différentes qualités de semoules obtenues sont immédiatement collectées et dirigées vers les silos idoines.

➤ Claqueurs et convertisseurs :

Ce sont des appareils formés de quatre cylindres lisses (non cannelés), ayant pour but la production de farine à partir des semoules.

Après chaque passage de claquage ou de convertissage, les produits sont blutés une seconde fois.

### ➤ Détacheurs et brosses à sons :

Le détacheur est un appareil permettant la libération de diverses particules de produits de moutures amalgamés sous forme de plaquettes après passage entre les cylindres lisses.

La brosse à sons est un appareil destiné au traitement des enveloppes du blé après broyage pour séparer les farines adhérant à celles-ci (enveloppes).

Chaque opération complémentaire permet d'extraire un peu plus de semoule. Environ quatorze opérations sont nécessaires pour obtenir la semoule qu'attendent les clients.

### ➤ Sasseurs :

Les sasseurs à semoule sont utilisés dans les minoteries et semoulerie pour nettoyer et classier la semoule et pour obtenir une semoule propre et brillante.

Le débit du produit peut être réglé et répartie uniformément sur la surface des tamis.

Le son et les produits similaires sont séparés de la semoule et transférés à la trémie de sortie. A la fin on obtient une semoule purifiée est classifiée suivant la dimension du grain à l'aide des tamis.

### **e) Ensachage et palettisation automatique des farines :**

Une partie des semoules vrac, en silos, est reprise pour être ensachée dans des sacs en papier de 5 kg, 10 kg, 25 kg, 50 kg et mis sur palettes. L'ensachage peut être réalisé sur poste fixe (manuel) ou sur carrousel (automatique),

# Chapitre III :

## La maintenance conditionnelle

### 1 - Définition et principes :

#### ➤ Définition AFNOR (1994) :

La maintenance: est l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise.

#### ➤ Définition CEN (1997) :

La maintenance: est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinée à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

#### ➤ Les niveaux de la maintenance :

Niveau 5:	
• Reconstitution et rénovation	
Niveau 4 :	
• Travaux lourds de maintenance	
Niveau 3 :	
• Diagnostic, réparations et remplacement	
Niveau 2 :	
• Travaux simples avec outillages simples	
Niveau 1 :	
• Travaux simples sans outillages	

## ➤ Les types de la maintenance :

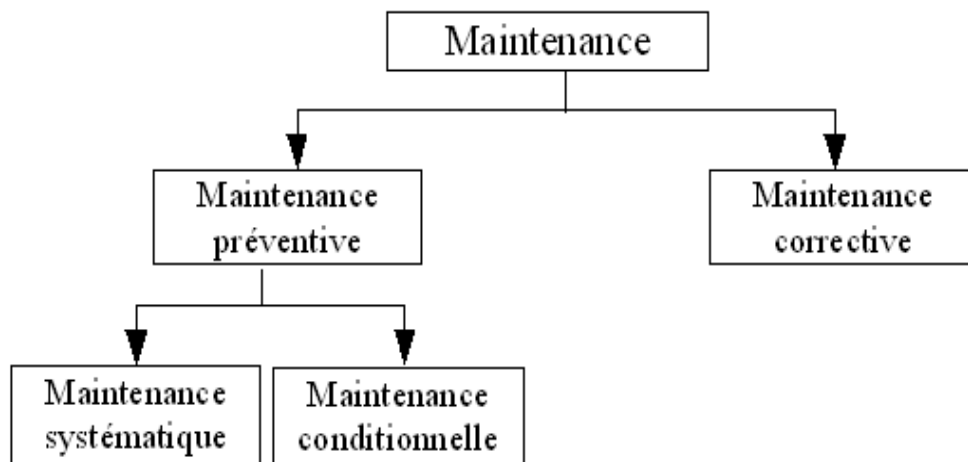


Figure III.1-typologie de la maintenance.

### ▪ La maintenance corrective :

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise .

### ▪ La maintenance préventive :

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dont l'objectif est de réduire la probabilité de défaillance d'un bien. Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation.

### ▪ Maintenance systématique :

Désigne des opérations effectuées systématiquement, soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe), soit selon une périodicité d'usage.

### ▪ La maintenance conditionnelle :

Elle est définie comme étant celle que l'on réalise uniquement lorsque l'état du bien le nécessite. Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant le cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et, à partir de là, de décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint.

Le matériel nécessaire pour assurer la **maintenance préventive conditionnelle** devra être fiable pour ne pas perdre sa raison d'être. Il est souvent onéreux, mais pour des cas bien choisis il est rentabilisé rapidement.

Cette maintenance, pour être efficace, doit dans tous les cas être comprise et admise par les responsables de production et avoir l'adhésion de tout le personnel.

Avec l'évolution actuelle des matériels et leurs tendances à être de plus en plus fiables, la proportion des pannes accidentelles sera mieux maîtrisée. **La maintenance préventive** diminuera quantitativement d'une façon systématique mais s'améliorera qualitativement par la maintenance conditionnelle.

La gestion d'un projet de **maintenance conditionnelle** passe nécessairement par une phase de pré-étude. Cette réflexion passe par l'étude des arrêts de production et des coûts de maintenance connus. Une fois les problèmes identifiés et référencés il est alors possible de définir les axes majeurs de progression. Les techniques de maintenance

conditionnelle sont parfois complémentaires, mais plus souvent elles s'appliquent à des éléments mécaniques différents.

## 2-Technique d'analyse:

Il existe différentes techniques d'analyses de surveillances tels que l'analyse vibratoire, l'émission acoustique, la thermographie, l'analyse des huiles et des lubrifiants, etc....

Les analyses vibratoires sont utilisées principalement sur les organes tournants ou alternatifs. La thermographie infrarouge sur les organes électriques/mécaniques statiques. L'analyse d'huile sur les boîtes de vitesses (réducteurs/multiplicateurs) ainsi que sur les moteurs thermiques.

Le choix de l'indicateur dépend du type de machine à étudier et du type de défaillance que l'on souhaite détecter.

➤ **L'analyse vibratoire** : est la plus connue et la plus largement utilisée car elle est adaptée à des composants mécaniques et aux machines industrielles en fonctionnement. Elle permet de détecter la majorité des défauts susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes.

➤ **L'analyse d'huile** : est appliquée à toutes les machines contenant des fluides de lubrification (réducteurs, motoréducteurs, moteurs thermiques...). Elle consiste à prélever un échantillon d'huile et de l'analyser (particules d'usure) pour déduire l'état de l'équipement.

➤ **La thermographie infrarouge** : suscite un intérêt encore récent dans le domaine de la maintenance jusqu'alors réservée au contrôle d'installations électriques. Elle est peu utilisée pour la surveillance des machines tournantes notamment pour la détection de défauts qui se manifestent par un échauffement anormal à la surface de l'équipement.

La thermographie permet de réaliser des mesures à distances et d'obtenir instantanément une image thermique de la zone inspectée

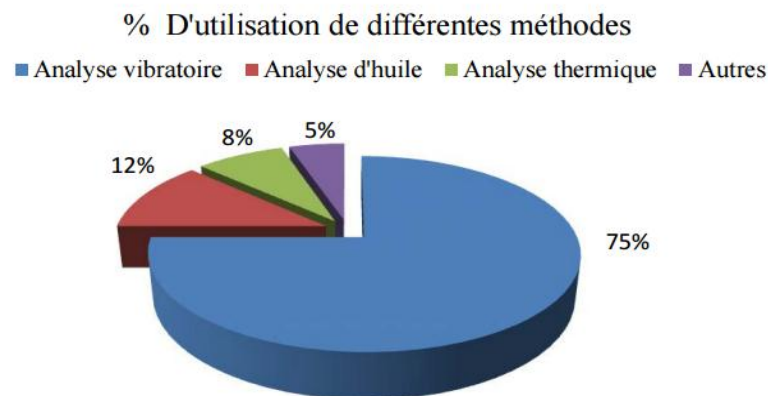


Figure III.2-% des différentes techniques.

### 3-Etat des lieux de l'existant:

L'état des lieux de l'existant est la phase la plus importante de la maintenance conditionnelle, elle consiste à collecter des données sur l'historique, la classification et la performance de nos machines et à établir un bilan des compétences du personnel de maintenance. Le résultat de cette phase permet de donner à la direction des informations objectives sur l'état des lieux de l'existant et permettra par la suite d'assurer un suivi régulier de la performance du parc machine et du développement des compétences du personnel.



## ❖ Les étapes de l'état des lieux :

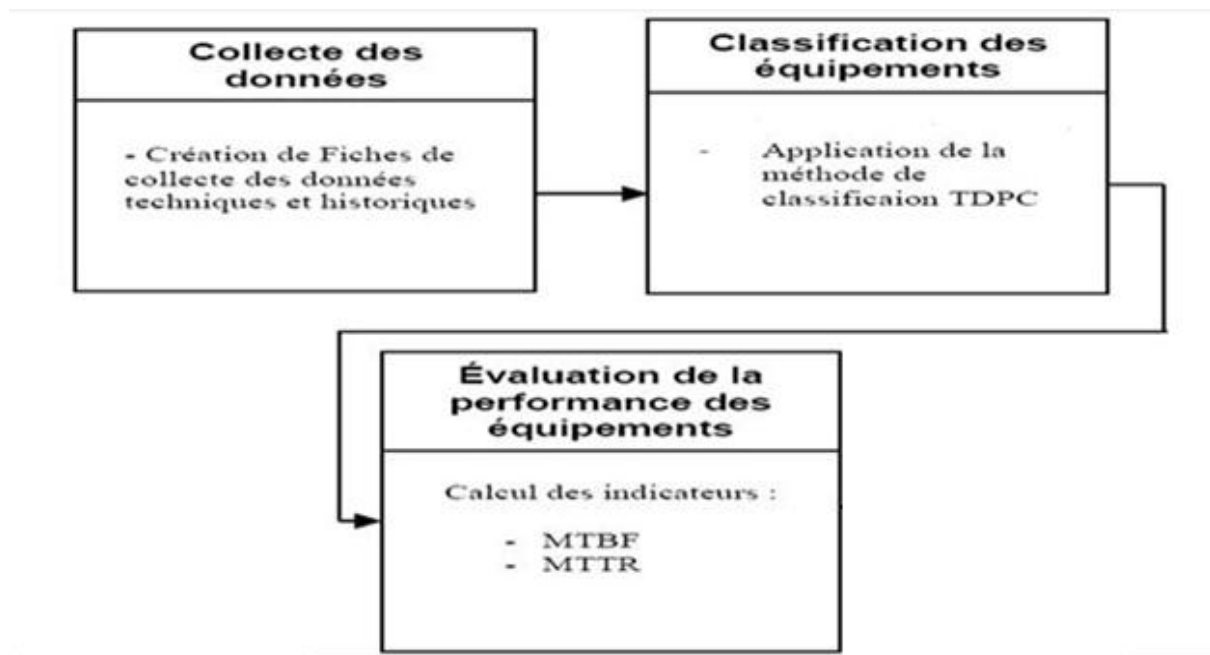


Tableau III.3-les étapes de l'état des lieux

### Etape 1 : Collecte des données

Dans cette étape, on a fait le suivi durant 3 mois des machines les plus importantes de la semoulerie :

Machines	Pannes	D.de panne	L'intervention	D. d'inter.	D.d'inter.
Trieur Cylindrique	Rectification de l'arbre de la vis coté réducteur	1h	Rect.de l'arbre de la vis coté réducteur à un diamètre inf	23/02/16	2h
	Changement arbre creux du réducteur	30 min	Changement arbre creux du réducteur	25/03/16	1h10min
	Changement arrêt d'huile pour réducteur	0	Changement arrêt d'huile pour réducteur	10/04/16	30 min
	Changement roulement pour trieur.	15 min	Changement roulement pour trieur.	30/04/16	45min



## Etape 2 et 3 : la classification des équipements (La méthodes de TDPC)

La méthode de classification se résume dans les étapes suivantes :

1. Lister tous les équipements (voir la page précédente)
2. Evaluer tous les équipements selon la méthode TDPC:
  - ✓ T : Temps de réparation(MTTR)
  - ✓ D : Degré d'influence
  - ✓ P : Probabilité de panne(MTBF)
  - ✓ C : Criticité de l'équipement

Le tableau suivant illustre les descriptions pour chaque indice de classification :

Indice	Abréviation	description
Temps de réparation	T	Pris dans l'historique
Degré d'influence	D	Effet sur la sécurité, l'environnement, la qualité produit et les coûts
Probabilité de panne	P	La fréquence des pannes pendant une durée
Criticité de l'équipement	C	Basé sur la durée d'arrêt de production
Score de classification = T + D + P + C		

**Tableaux III.4-Critère de la méthode TDPC.**

➤ Les critères TDPC :

✓ **Temps moyen de réparation MTTR :** C'est le rapport du temps total des arrêts sur le nombre des arrêts. Il mesure le temps moyen nécessaire à la réparation en se basant sur des données historiques.

$$MTTR = \frac{\text{somme des temps de réparation}}{\text{le nombre de pannes}}$$

✓ **Fréquence des pannes MTBF :** C'est le nombre de fois que l'équipement tombe en panne durant une période donnée.

$$MTBF = \frac{\text{tempstotaldebonfonctionnement}}{\text{lenombredepannes}}$$

✓ **Utilisation de l'équipement :** Avec stand by ou sans stand by (s'il y a un équipement de réserve ou pas)

✓ **Impact sur le rendement :** C'est l'effet d'un équipement sur le rendement de l'atelier phosphorique.

✓ **Aspect sur l'environnement :** C'est l'ensemble des impacts environnementaux engendrés par la défaillance d'un équipement.

✓ **Aspect sur la sécurité :** C'est le risque pour le personnel ou le matériel lorsqu'une défaillance survient sur un équipement.

✓ **Criticité de l'équipement :** C'est l'impact d'arrêt d'un équipement sur le fonctionnement des autres unités de production.

3. Après la détermination du score de chaque composant, on les classifié d'une manière décroissante. Le résultat sera une classification avec les critères suivants [tableau III.5]:

Score de l'évaluation	Type de classe		Description de criticité
95% - 100%	Classe AA	5%	Criticité très élevée
80% - 95%	Classe A	15%	Criticité élevée
20% - 80%	Classe B	60%	Criticité moyen
0% - 20%	Classe C	20%	Criticité faible

tableau III.5

➤ Barème de classification :

classification	No	Critères	Barème
<b>Temps de réparation (T)</b>	<b>1</b>	<b>Temps Moyen de réparation MTTR</b>	$MTTR > 3h$ , $T = 40$ $2h < MTTR < 3h$ , $T = 30$ $1h < MTTR < 2h$ , $T = 20$ $0,5h < MTTR < 1h$ , $T = 10$ $0h < MTTR < 0,5h$ , $T = 0$
<b>Facteur d'influence (D)</b>	<b>2</b>	<b>Utilisation de l'équipement</b>	Avec Stand by = 1 sans Stand by = 5
	<b>3</b>	<b>Impact sur le rendement</b>	Impact sur le rendement $< 0.1\%$ ou sans effet, I.R.=1 $0,1\% < \text{Impact sur le rendement} < 1\%$ , I.R =5 Impact sur le rendement $> 1\%$ , I.R =10
	<b>4</b>	<b>Impact sur la qualité du produit</b>	Impact sur la semoule $< 0.1\%$ ou sans effet, I.Q =1 $0,1\% < \text{Impact sur la qualité de la semoule} < 1\%$ , I.Q=5 Impact sur la semoule $> 1\%$ , I.Q=10
	<b>5</b>	<b>Aspect sur la sécurité</b>	sans risque A.S =1 Très fort risque pour le personnel A.S =5 Obligation de contrôle légal A.S =10
	<b>6</b>	<b>Aspect sur l'environnement</b>	faible impact A.E =1 Fort impact A.E =5
<b>Probabilité de Panne (P)</b>	<b>7</b>	<b>Fréquence des pannes (MTBF)</b>	$MTBF > 4$ par 3 mois , $P = 35$ $1$ par 3 mois $< MTBF < 4$ par 3 mois , $P = 15$ $MTBF < 1$ par 3 mois , $P = 5$
<b>Criticité de l'équipement (c)</b>	<b>8</b>	<b>Criticité de l'équipement en fonction des arrêts de production</b>	C=0 pas d'impact sur la production C=2 Réduction de la cadence C=4 Arrêt du 1 <sup>er</sup> nettoyage C=6 Arrêt de l'ensachage C=8 Arrêt du 2 <sup>ème</sup> nettoyage C=10 Arrêt totale

➤ La grille de classification :

Machines	Pannes	T	P	Facteur d'influence(D)					C
				U.E	I.rendement	I.Q	I.Sécurité	I .Environ.	
Trieur	Rectification de l'arbre de la vis coté réducteur	20	35	5	5	1	5	1	10
	Changement arbre creux du réducteur			5	5	1	5	1	10
	Changement arrêt d'huile pour réducteur			1	1	1	1	5	6
	Changement roulement pour trieur.			5	10	1	10	1	10
les critères de la machine				5	10	1	10	5	10
Apparail	h.de 2 pignons d'entraînement du cylindre de distribution	20	35	5	10	1	5	1	10
	changement du moteur d'entraînement			5	10	1	5	1	10
	Liberation du cylindre d'alimentation Blé			1	10	1	10	1	4
	Changement de l'axe et bagues d'embrayage			5	10	1	1	1	10
Cylindre	changement du verin du commande d'ambrayage	20	35	1	10	1	1	1	2
	Ch.d' ARBER DE COMMANDE COMPLER			5	10	1	1	1	4
	rebagueage du support roulement en boîte de désdistribution			1	10	1	1	5	6
	changement d'un fin de course			1	5	1	1	5	1
les critères de la machine				5	10	1	10	5	10
Bluterie	Changement des courroies	10	35	5	5	1	10	5	4
	Soudage de la sortie du bluterie			1	1	1	1	0	
	Ch. Roul côté opp. D'entraînement			1	5	5	1	1	2
	Serrage du tige du palier derrière			1	10	1	10	5	2
les critères de la machine				5	10	5	10	5	4
SASSEUR	Cisaillage des boulons de fixation du velbrequin	10	15	5	10	10	10	5	6
	changement du moteur du saskeur			5	10	10	1	1	10
	changement d'un roulement			5	10	5	5	5	10
				5	10	10	10	5	10
les critères de la machine				5	10	10	10	5	10
Plansichter	Ch. du contacteur de puissance/commande	30	15	5	10	5	1	1	10
	Changement des roulements d'entraînement des moteurs			5	10	1	10	5	10
				5	10	5	10	5	10
				5	10	5	10	5	10
les critères de la machine				5	10	5	10	5	10
Brosse A Blé	Changement roulement moteur	10	15	5	5	1	1	5	10
	Changement garniture de la brosse			5	10	5	1	1	6
	Changement boulons pour la poulie			5	10	1	10	1	10
				5	10	5	10	5	10
les critères de la machine				5	10	5	10	5	10
Séparateur	Changement grille triangulaire et porte boule	20	15	1	5	10	1	1	2
	Changement de la tuyauterie sous le séparateur			5	1	5	1	5	4
				5	5	10	1	5	4
				5	5	10	1	5	4
les critères de la machine				5	5	10	1	5	4
T.recycl.d'air	ch.contacteur et bloc additif	10	5	5	10	10	15	1	10
				5	10	10	15	1	10
				5	10	10	15	1	10
				5	10	10	15	1	10
les critères de la machine				5	10	10	15	1	10

➤ Résultats et interprétations :

Appareils	Score TDPC	Classe
Trieur cylindrique	96	AA
Appareil à cylindre	96	AA
Plansichter	90	A
Bluterie	84	A
Sasseur	75	B
Brosse à blé	70	B
Tarare à recycl.d'air	66	B
Séparateur	65	B

Tableaux III.6- Tableau des résultats de la classification

Interprétation des résultats:

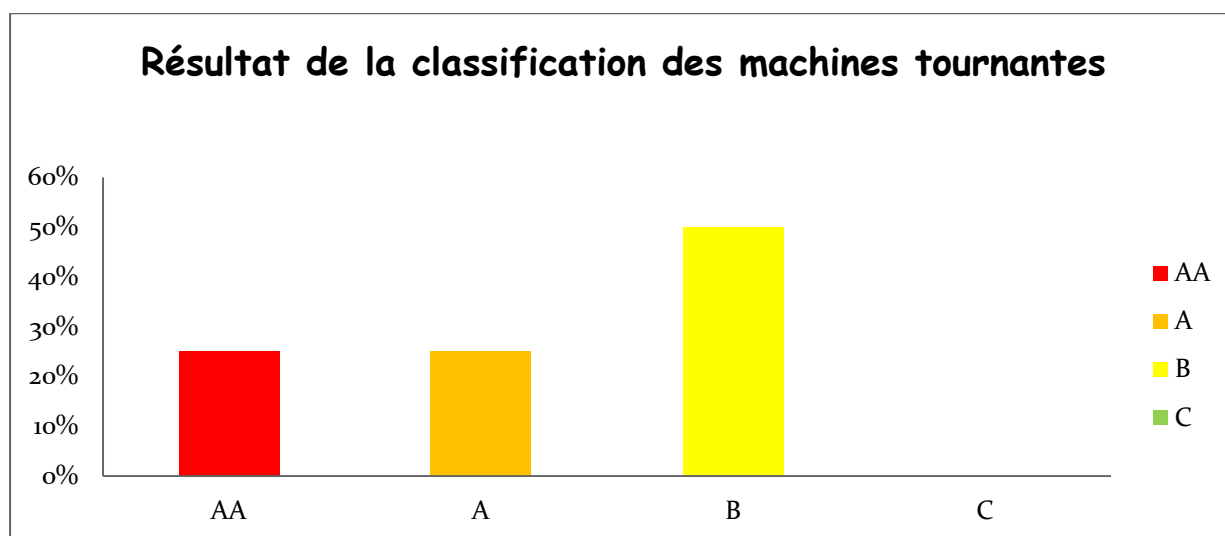


Figure III.6.

Après avoir fait la classification, nous avons trouvé que parmi les 8 machines tournantes étudiées 25% possèdent une criticité très élevée et 25% représentent une criticité élevée. Ainsi, 50 % des machines tournantes demandent une surveillance importante. Avec ce pourcentage de machines Critiques, la mise en œuvre de la MCAV dans cette entreprise s'avère nécessaire.

## 4-Plan de maintenance:

### ➤ Plansichter:

Élément	Fréquences en h	Exécuteur	NVM	Opérations
courroies	1000	mécanicien	1	Vérification de la tension et l'état d'usure
tamis	1000	mécanicien	1	Contrôler le blocage
roulements	1000	mécanicien	2	Graissage
écrous	1000	mécanicien	2	Serrage
vis	2000	mécanicien	1	Contrôler le serrage
poulies	1000	mécanicien	1	Vérifier l'alignement
Garnitures tamisantes	4500	mécanicien	3	Les remplacer si nécessaire
Dispositifs de nettoyage	4500	mécanicien	1	Contrôler l'état d'usure
moteur	Durant chaque fonctionnement	mécanicien	1	Vérifier s'il y a des bruits ou vibrations
Dispositif d'alimentation	Durant chaque fonctionnement	Électricien	1	Vérification
Goulottes de déchargement	Durant chaque fonctionnement	mécanicien	1	Vérifier l'écoulement de produit Vérifier s'il y a des fissurations

#### Remarque importante :

- pour la prévention des incendies et des accidents, consulter la norme OCRIM OS-PG 001.
- ces opérations doivent être effectuée par un opérateur qualifié et en employant une clé dynamométrique.
- l'alignement ne doit jamais être supérieur à 1 millimètre.



## ➤ Sasseur :

Élément	Fréquences en h	Exécuteur	NVM	Opérations
Courroie dentée	250	mécanicien	1	Contrôler la tension et l'état d'usure
Support	500	mécanicien	1	contrôler la température extérieure
Roulements	500	mécanicien	2	Graissage
Vis	1000	mécanicien	2	Serrage
Ressorts	500	mécanicien	1	Vérification d'état d'usure
Tamis et brosse	500	mécanicien	3	Les remplacé si nécessaire
L'installation d'aspiration centralisée	Durant chaque fonctionnement	Electricien	2	Contrôler s'il n y a pas des pertes dans la connexion à l'installation

### Remarque importante :

- Ces opérations doivent être effectuées par un opérateur et avec la machine arrêtée.
- Il faut faire fonctionner l'installation d'aspiration centralisée pour quelques minutes avant le démarrage pour permettre le dépoussiérage à l'intérieur de la machine.

## ➤ Appareil à cylindres :

Élément	Fréquences en h	Exécuteur	NVM	Opérations
Courroies	500	Mécanicien	2	Contrôle de la tension et l'état d'usure
Dispositif de nettoyage	500	Mécanicien	1	Effectuer le réglage
Supports	1500	Mécanicien	2	Contrôles de la température
Graisseur	500	Mécanicien	1	Contrôle de la quantité d'huile
Vis	6000	Mécanicien	1	Contrôle le serrage

### Remarque importante :

- Ces opérations doivent être effectuées par un opérateur et avec la machine arrêtée.
- Effectuer le nettoyage, au moyen de jets d'air comprimé, du secteur qui se trouve devant le groupe d'alimentation et du groupe de mouture.

# Chapitre IV : Analyse vibratoire

## 1 - Vibration et grandeurs associées :

### a) Définition :

Un système mécanique est dit en vibration lorsqu'il est animé d'un mouvement de va-et-vient rapide autour d'une position moyenne appelée « position d'équilibre ». La transmission du mouvement vibratoire peut se faire au travers d'une matière solide comme la structure d'une machine, ses paliers, ses rotors,....

### b) Les grandeurs associées :

#### ➤ La fréquence :

La fréquence représente la cadence de répétition d'un phénomène ou le nombre de fois qu'il se reproduit en un temps donné. Lorsque l'unité de temps choisi est la seconde, la fréquence s'exprime en Hertz (Hz). Une vibration qui se produira 50 fois/seconde aura donc une fréquence de 50 Hz.

$$1 \text{ Hertz} = 1 \text{ cycle par seconde}$$

#### ➤ L'amplitude :

L'amplitude est la première sensation ressentie lorsque l'on pose la main sur le palier d'une machine qui vibre. L'amplitude d'un mouvement

vibratoire est la valeur de ses écarts par rapport à sa position d'équilibre.

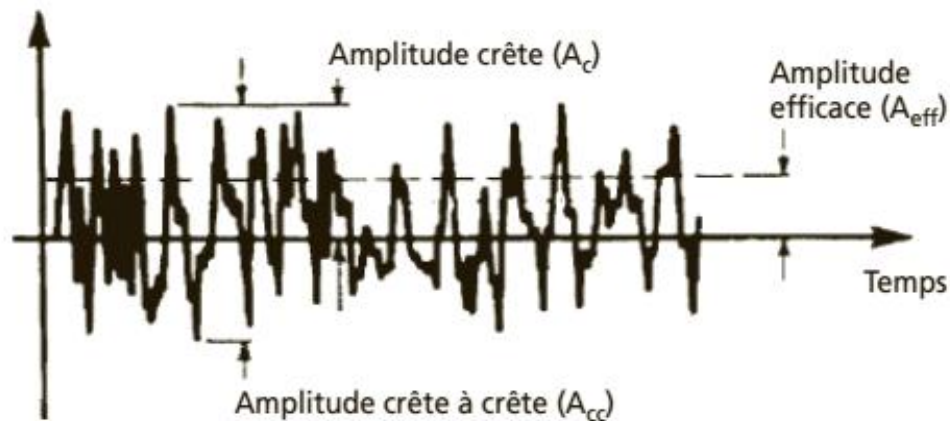
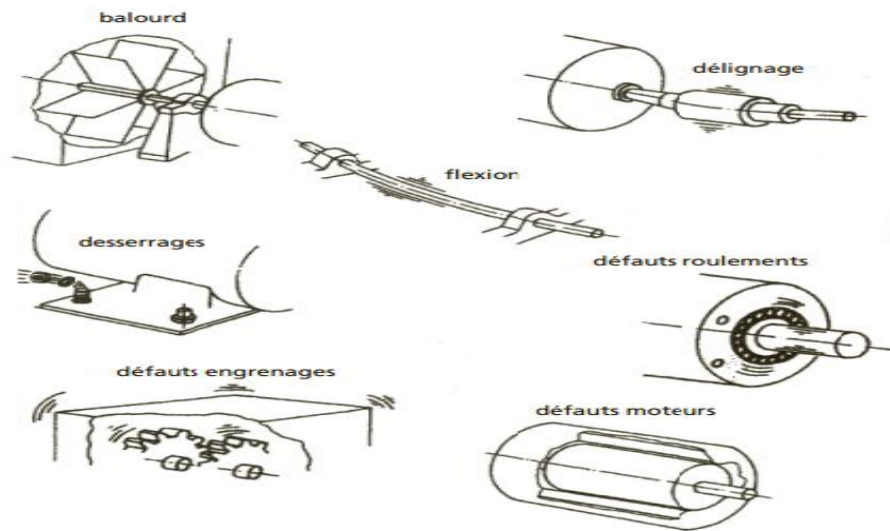


Figure IV.1 - Amplitude.

## 2-Image vibratoire des principaux défauts:

L'identification d'anomalies à un stade précoce, le suivi de leurs évolutions et le diagnostic de l'état d'une machine ne sont possibles que si, préalablement, l'on connaît les symptômes vibratoires associés à chaque défaut susceptible de l'affecter, il est essentiel de connaître la cinématique de la machine et les manifestations dynamiques ou symptômes associés aux différents défauts potentiels, afin de définir les indicateurs de surveillance, les techniques de traitement des signaux nécessaires au calcul de ces indicateurs ou à la mise en évidence de ces images et, enfin, pour formuler un diagnostic sur son état. Malheureusement, un même symptôme peut correspondre à plusieurs pathologies et à une pathologie peut être associée à différents symptômes.



FigureIV.2-Principaux défauts.

➤ Les principales anomalies de l'appareil à cylindre :

Elément	Type d'anomalie	Fréquence	direction	Remarque
Courroie trapézoïdale	Usure de courroie	$1,2,3,4 \times F_c$	Radiale	Apparaître d'une vibration d'amplitude importante aux hautes fréquences.
Engrenage	Détérioration d'une dent.	$F_{eng} = Z \times F_{rot}$	Radiale et axiale	Le spectre correspondant montre un peigne de raies dont le pas correspond à la fréquence de rotation du pignon détérioré.
Roulement	Défaut de type écaillage sur un élément roulant	---	Radiale et Axiale	A pour image vibratoire un peigne de raies

Rotor	Balourd	1xFrot	Radiale	Le signal vibratoire est périodique de période 1 tour
serrage	joint de l'accouplement est usé	2xFrot	Radiale	amplitude élevée en fonction du degré de desserrage
Rotor	Désalignement radial	2xFrot	Radial	phénomène périodique à la fréquence de rotation, mais également des phénomènes se répétant chaque 1/2 tour et 1/3 tour.

### 3-Etudes des principaux défauts:

#### ❖ Défait de balourd :

Quel que soit le soin apporté à la construction des machines, il n'est pas possible de faire coïncider l'axe de rotation avec le centre de gravité de chaque tranche élémentaire du rotor. De cette non concentricité, résulte l'application de forces centrifuges proportionnelle à la vitesse de rotation selon la relation  $F = Mr \omega^2$  qui déforment le rotor. On dit que le rotor présente un balourd. Ce balourd provient généralement de défauts d'usinage, d'assemblage et de montage.

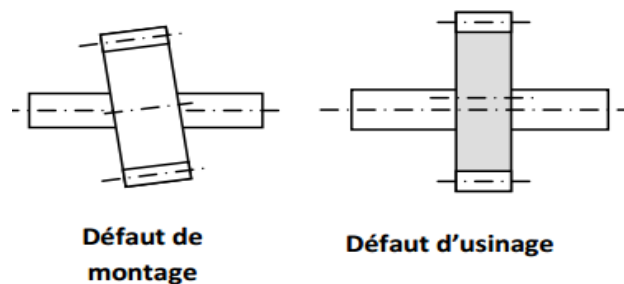


Figure IV.3-Exemples de défauts induisant un balourd.

### ❖ Défauts de transmission par courroies :

Le principal défaut rencontré sur ce type de transmission est lié à une détérioration localisée d'une courroie : partie arrachée, défaut de jointure, impliquant un effort ou un choc particulier à la fréquence de passage FC de ce défaut définie par :

$$FC = \frac{\pi D_1}{L} \quad f_1 = \frac{\pi D_2}{L} * f_2$$

FC : fréquence de passage de la courroie.

$D_1$  et  $D_2$  : diamètres des poulies 1 et 2.

$f_1$  et  $f_2$  : fréquences de rotation des poulies 1 et 2. L : la longueur de la courroie.

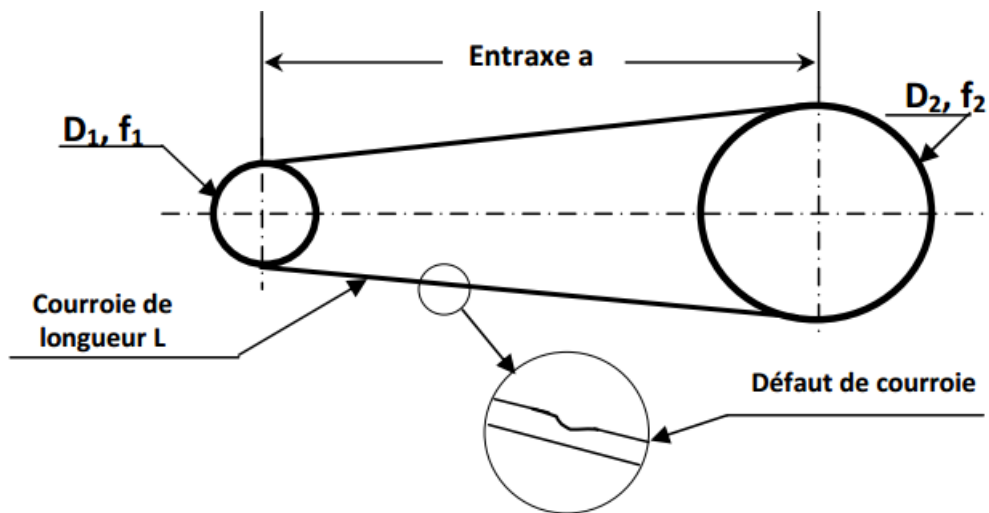


Figure IV.4-défaut de courroie.

### ❖ Les defaults des engrenages :

Un engrenage est composé de l'ensemble de deux roues dentées engrenant l'une avec l'autre, permettant de transmettre de la puissance. Si l'une des roues présente une dent détériorée, il se produit un choc dur, à chaque tour du pignon.

### ❖ Défauts de roulements :

Les roulements sont parmi les composants les plus sollicités des machines et représentent une source de panne fréquente. Les défauts que l'on peut y rencontrer sont les suivants : écaillage, grippage, corrosion (qui entraîne l'écaillage).

La dégradation localisée d'un roulement se manifeste par un choc dur, périodique, apparaissant à la fréquence du contact situé au niveau de la détérioration.

Les vibrations induites sont des vibrations de type impulsionnel.

## 4- la chaine de mesure :

### a) Les capteurs :

Il existe plusieurs types de capteurs pour apprécier les mouvements vibratoires. La sensibilité des capteurs représente la proportionnalité de la sortie électrique exploitable (tension, charge, courant) par rapport au paramètre de vibration (accélération, vitesse, déplacement). Elle s'exprime en terme de : sortie électrique / paramètre de vibration.

Dans notre étude le capteur que nous avons choisi est l'accéléromètre piézo-électrique.



### L'accéléromètre piézo-électrique:

Il est considéré comme le meilleur capteur disponible à ce jour pour les mesures de vibrations absolues. Il permet de mesurer les déformations et contraintes mécaniques. Schématiquement, un accéléromètre est composé d'un disque en matériau piézoélectrique qui joue le rôle d'un ressort sur lequel repose une masse sismique précontrainte.

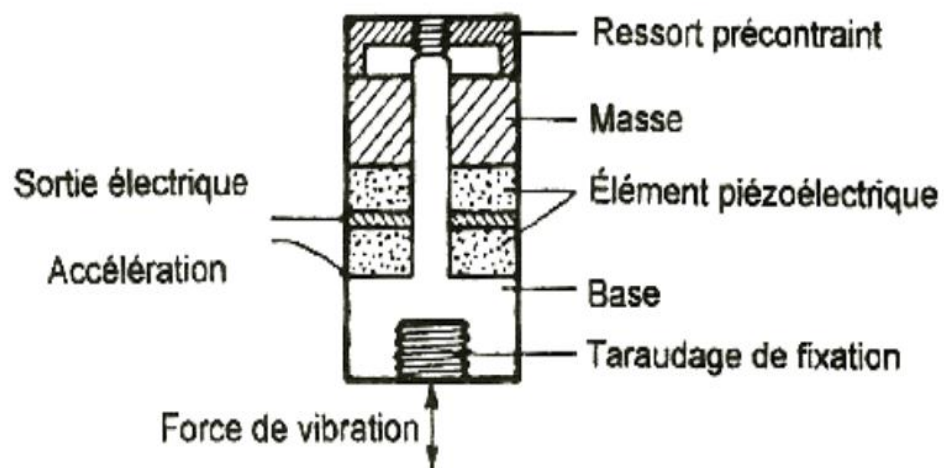


Figure IV.5.

Quand la masse se déplace sous l'effet d'une accélération, elle exerce sur le disque piézoélectrique des contraintes, induisant à la surface de ce dernier une charge électrique proportionnelle à cette accélération.

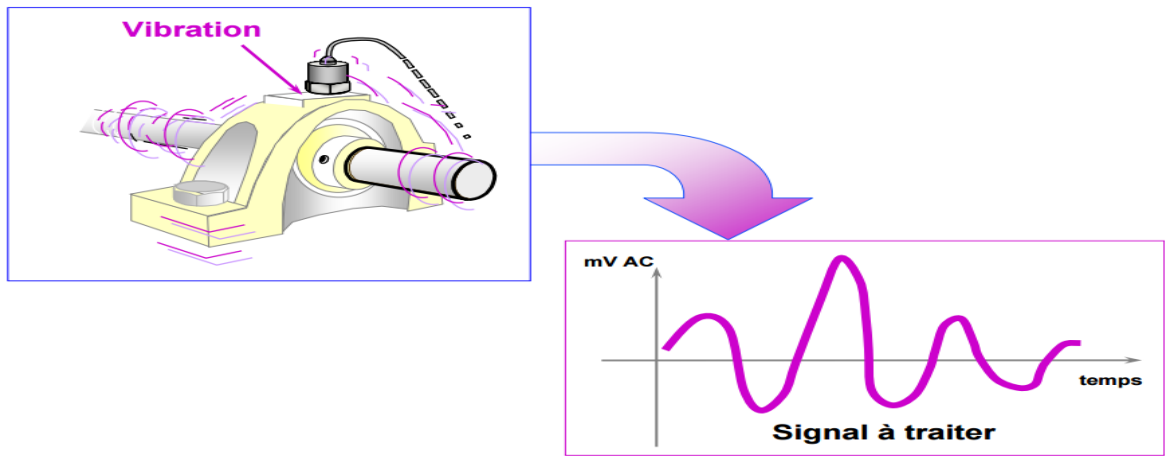


Figure IV.6.

### Pourquoi l'accéléromètre piézo-électrique ?

- ✓ Utilisable sur de très grandes gammes fréquentielles.
- ✓ une excellente fiabilité dans le temps puisqu'aucun élément n'est mobile.
- ✓ un faible encombrement.
- ✓ une gamme dynamique très étendue, etc....

Selon la direction de travail de l'élément piézoélectrique à l'intérieur du capteur, on parlera de capteur à compression ou de capteur à cisaillement, plus sensible aux forces multidirectionnelles susceptibles de l'actionner.

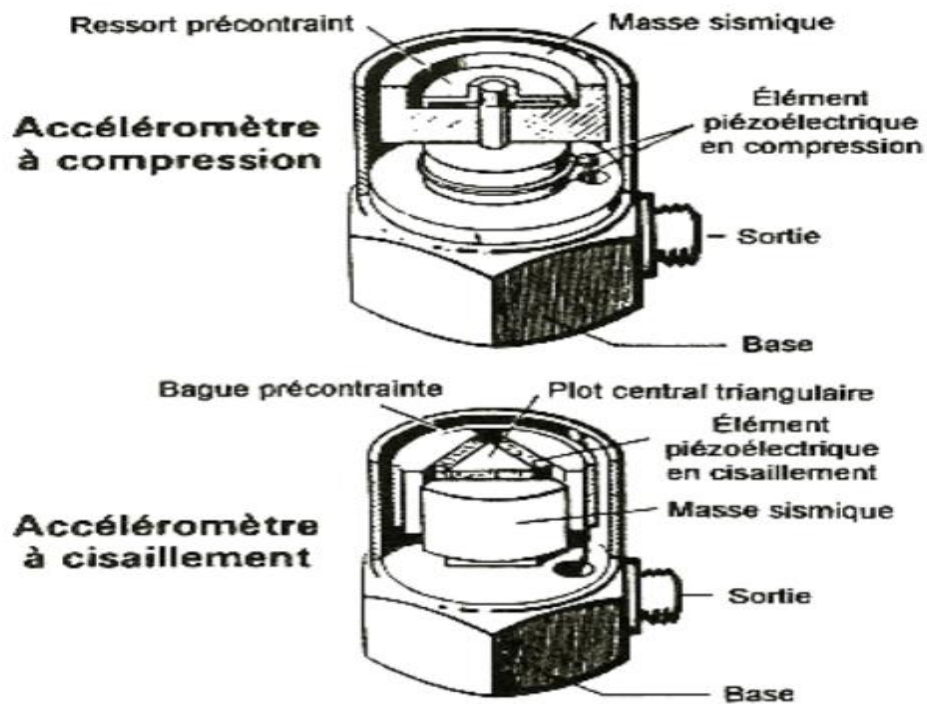


Figure IV.7.

### La fixation des capteurs :

Les capteurs doivent être placés en liaison aussi directe que possible avec les paliers, en limitant au strict minimum le nombre de pièces assurant l'interface entre l'élément mobile et le capteur.

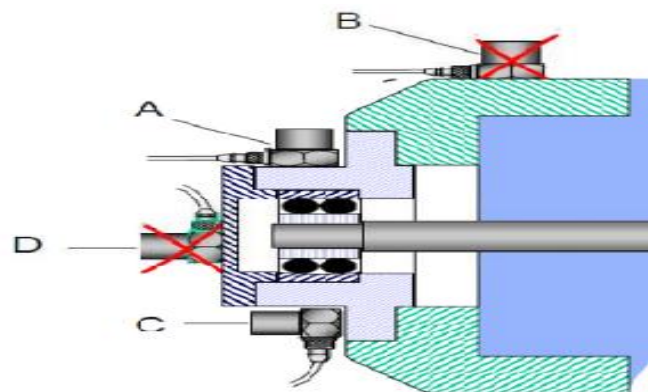


Figure IV.8.

L'emplacement des points de mesure doit être propre (pas de traces de graisse ou de peinture) et les surfaces de contact avec les capteurs lisses, planes et perpendiculaires à la direction de mesure.

## **b) Les conditionneurs:**

Les conditionneurs d'accéléromètre piézo-électrique proposent soit une simple conversion charge/tension ou tension/tension. De plus, des gains d'amplification et d'atténuation sont souvent disponibles. Des intégrations simples et doubles permettent également d'obtenir en sortie les signaux de vitesse ou de déplacement. Enfin, des fonctions de pré-filtrage du signal permettent souvent d'optimiser le signal avant enregistrement et/ou analyse.

**Les préamplificateurs :** ils jouent, pour tout type de capteurs, un rôle essentiel dans la conversion du signal, autorisant, par la transformation de l'impédance, sa transmission à distance vers les instruments de mesures et d'analyses.

**Les intégrateurs :** ils permettent, à partir d'un signal délivré par un accéléromètre, d'obtenir les signaux représentant la vitesse ou le déplacement du mouvement vibratoire.

**Les filtres :** ils sont souvent utiles de réduire la bande passante de l'appareil de mesure pour éliminer les effets de résonance du capteur ou de réduire la dynamique du signal pour effectuer des mesures dans une plage de fréquences bien définie. L'insertion de filtre peut aussi permettre de suivre l'évolution de composantes induites par une famille restreinte de défauts ou d'éliminer des composantes de fréquences indésirables susceptibles de masquer certains phénomènes vibratoires que l'on veut surveiller.

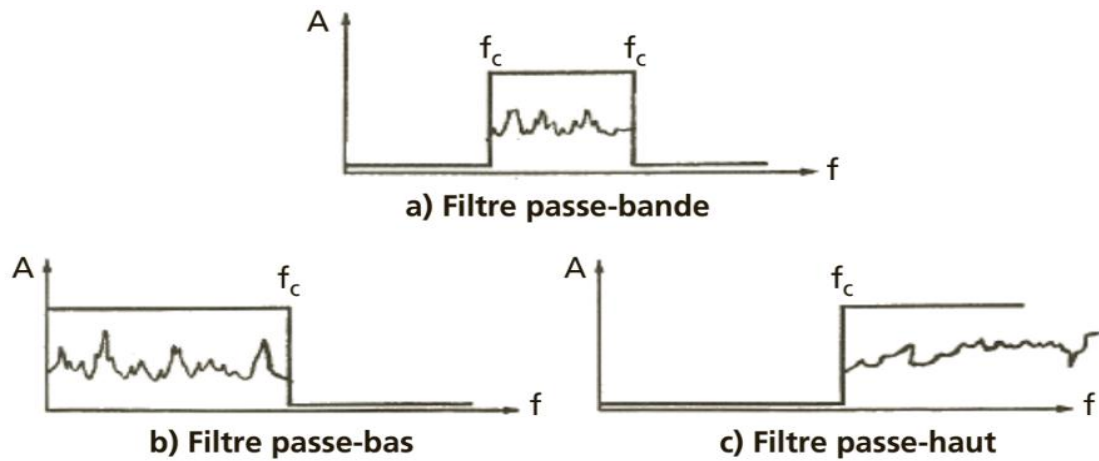


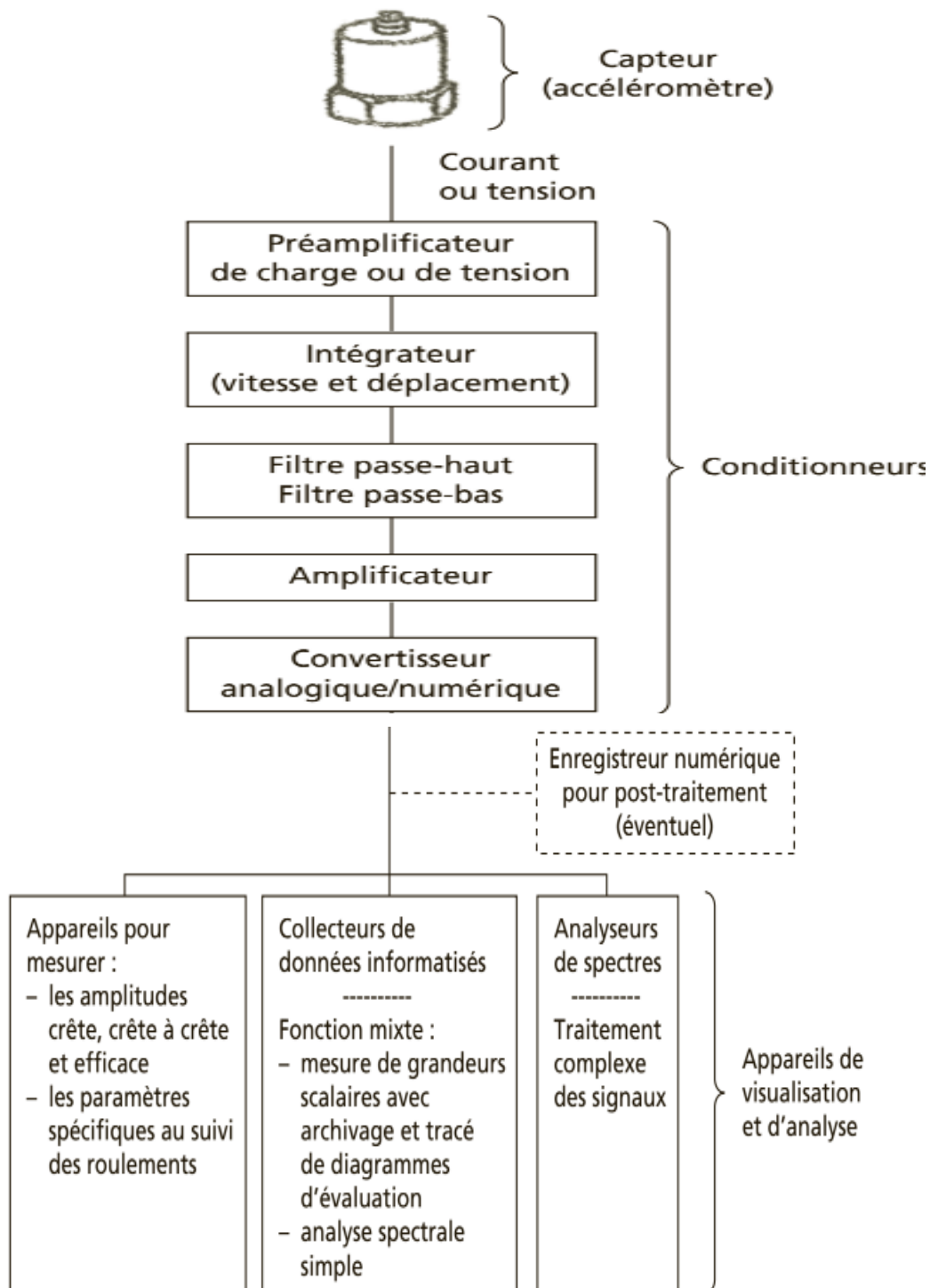
Figure IV.4.9

### L'amplificateur :

Son rôle est, une fois le filtrage effectué, d'amplifier le signal de façon automatique (auto range) ou manuelle, et d'adapter sa dynamique à celle de la chaîne d'acquisition dans le but de réduire le bruit et de transmettre l'information de façon exploitable.

### Convertisseur analogique numérique :

Ce dispositif est un montage électronique dont la fonction est de traduire une grandeur analogique en une valeur numérique (codée sur plusieurs bits), proportionnelle au rapport entre la grandeur analogique d'entrée et la valeur maximale du signal.



#### 4-Stratégies de surveillance vibratoire :

##### a) Mesure vibratoire en niveau global:

Cette stratégie de surveillance consiste à mesurer, à l'aide de capteurs, le niveau global d'un ou de plusieurs indicateurs (déplacement, vitesse ou accélération), à suivre son évolution dans le temps et à le

comparer a des normes ou des mesures précédentes. Certes, toute évolution est due à une dégradation de la machine. Cela permet de mettre en évidence l'existence d'une anomalie à un stade précoce et de faire une première idée des types de défauts qui affectent la machine, mais ne permet pas d'établir un diagnostic précis.

#### **b) Analyse temporelle :**

Cette stratégie consiste à suivre, au cours du temps, le comportement vibratoire d'une machine en fonction de ces paramètres de fonctionnement (étude de la vibration d'une turbine lors de son accélération ou sa décélération). Ce type de suivi est simple à exploiter lorsque le signal est simple mais il devient inexploitable lorsque le signal a pour origine des sollicitations multiples.

#### **c) Analyse spectrale:**

L'analyse spectrale consiste à relever le signal vibratoire mesuré sur la machine et de procéder à une analyse systématique pour rechercher la présence d'images vibratoires de l'ensemble des défauts susceptibles d'affecter l'installation considérée. Cela permet d'accéder au diagnostic, c'est à dire, d'identifier avec précision la nature de l'anomalie et si possible en préciser la gravité.

# Conclusion

Notre stage de fin d'études a été une expérience enrichissante dans le métier industriel. Il a été très formateur, et il nous a permis d'élargir notre expérience en entreprise. En effet, nous avons découvert l'organisation et le processus des minoteries et ses principales machines.

L'objectif de notre projet était de faire une maintenance conditionnelle à l'aide d'une étude vibratoire sur les machines tournantes de la minoterie. En effet, nous avons fait un suivi pour avoir des informations sur les problèmes de chaque machine.

A partir de ce dernier nous avons pu calculer les indicateurs de la méthode TDPC (méthode de classification) que nous avons utilisée pour classer les machines selon leur degré de criticité et pour avoir les machines qui nécessitent une surveillance par analyse vibratoire. Ainsi nous avons établi des plans de maintenance pour garantir le bon fonctionnement des machines.

Dans la partie d'analyse vibratoire, nous étions obligées de la traiter théoriquement à cause de l'absence des outils et matériels nécessaires pour mesurer certaines grandeurs. C'est pour cela nous avons traité les principales anomalies que l'entreprise peut constater, et qu'elle peut traiter à l'aide de cette étude. Et Pour réaliser cette dernière, elle est nécessaire d'avoir une chaîne de mesure précise où nous avons traité les principaux outils (capteur, conditionneur, ...).

Finalement, nous avons défini trois types de stratégies de surveillance qu'il faut choisir en tenant compte des opérations que nous voulons effectuer.