

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Université Abderrahmane MIRA de Bejaia

Département Génie Electrique

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master en Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème :

Etude de la fiabilité d'un convoyeur à chaîne à palettes au sein de l'entreprise Cevital

Réalisé par :

- Mr. ADEL Nabil
- Mr. AZZOUG Lounis

Encadré par :

- Mr. M.LARBA
- Mr. H.ASERADJ

Devant les jurys :

Mr. A. AMRI
Mr. F. TAZERART

Promotion 2017-2018

Dédicaces

J'ai l'honneur de dédier ce travail,

*Aux êtres les plus chers de ma vie : père & mère qui m'ont encouragé,
aidé du mieux qu'il leur est possible de faire, et qui avec patience ont
attendu ce joyeux événement. Que Dieu leur prête une très longue vie de
paix et de prospérité.*

*A tout mes frères, à ma sœur, mes belles sœurs et à toute la famille
ADEL,*

A toute la promotion master II spécialité électromécanique (2017/2018)

A tous mes camarades et amis d'ici et d'ailleurs ;

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce
modeste travail ;*

Et à tous ceux qui sèment le bonheur dans mon chemin.

*En ces quelques mots, je leurs exprime toute ma gratitude et mes
sincères salutation.*

ADEL Nabil

Dédicaces

*J'ai l'honneur de dédier ce travail,
A la mémoire de mon père qui est parti très tôt
Aux êtres les plus cher de notre vie : mère, frère et sœurs qui m'ont
encouragé. Que Dieu leur prête une très longue vie de paix et de
bonheur.*

A toute la famille AZZOUG;

A tous mess camarades et amis d'ici et d'ailleurs ;

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce
modeste travail ;*

AZZOUG Lounis

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la force et la patience, et grâce à lui ce Travail a pu être réalisé.

Nos vifs remerciements vont à notre promoteur Mr. LARBA MOHAMED d'avoir accepté de nous encadrer, pour son aide précieux, ses conseils et pour le temps qu'il nous a consacré durant ce long travail.

Nous remercions particulièrement notre encadreur Mr. ASERADJ HALIM pour sa disponibilité, pour l'aide qu'il nous a apporté sur le plan de travail et sur le plan moral.

Nous tenons à remercier aussi les ingénieurs de Cevital en particulier les personnels de l'unité margarinerie.

Nous profitons aussi de cette occasion pour remercier tous nos collègues et amis et tous ceux qui nous ont aidé de près et de loin durant notre cursus trouvent dans ces phrase notre gratitude et nos remerciements les plus sincères.

Nous remercions toutes nos familles pour leur patience et pour leurs soutiens.

Nous tenons aussi à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nomenclatures

Pa : Puissance absorbée par le moteur [w].

Q : puissance réactive [VAR].

S : puissance apparente [VA].

Pjs : Pertes Joule statorique.

Pfer : Pertes Fer.

Pem : Puissance électromécanique fournie au rotor [w].

Pjr : Pertes Joule rotorique.

Pméc : Puissance mécanique fournie à l'arbre du rotor [w].

ΔPméc : Pertes mécaniques.

Pu : Puissance utile fournie à la charge.

η : Rendement du moteur.

g : glissement.

Tu : couple utile.

Ω : vitesse de rotation.

Fp : poids du convoyeur [N].

g₁ : gravité [m²/s].

F : force de traction [N].

μ : coefficient de frottement.

D : coefficient de démarrage.

Φp : Diamètre primitif du pignon [mm].

ηr : Rendement réducteur.

T : couple de charge [N.m].

Cchr : couple de charge ramenée [N.m].

Cd : couple démarrage [N.m].

Ca : couple accélération [N.m].

Cm : couple max [N.m].

Cn : couple nominal [N.m].

i : rapport de réduction.

Vs : vitesse linéaire [m/s].

ws : vitesse angulaire [rd/s].

N : vitesse de rotation [tr/min].

Jch : moment d'inertie [kg/m²].

Jchr : moment d'inertie de la charge ramenée [kg/m²].

Lcon : Longueur du convoyeur (m).

Lch : Longueur totale de la chaîne (m).

Mtch : La masse totale de la chaîne transporteuse (kg).

Mtcon : La masse totale du convoyeur (kg).

Mp : la masse maximale du produit qu'elle peut être déplacée dans un seul tour [kg].

Mte : la masse de la tête d'entraînement [kg].

Mtr : la masse de la tête de renvoie [kg].

Qcon : Le débit du convoyeur [kg/h].

Mt : Masse transportée [kg/m].

Mch : Masse de la chaîne [kg/m].

Abréviations

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leurs Criticité

FMECA: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

FMD : Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité

TBF : Temps du Bon Fonctionnement

MTBF : Moyens Temps du Bon Fonctionnement

MTBF_w : Moyens Temps du Bon Fonctionnement Weibull

MTTF : Moyens Temps Technique de Fonctionnement

MTTR : Moyens Temps Technique de Réparation

MDT : Temps Moyens de Panne

MUT : Temps Moyens de Fonctionnement entre deux défaillances

MTL : Temps Moyens Logistique

Liste des figures

Figure I.1 : situation géographique du complexe Cevital.....	3
Figure I.2 : Organigramme du complexe Cevital.....	5
Figure I.3 : Organigramme du processus de fabrication et conditionnement de margarine	9
Figure II.1 : Convoyeur à bande.....	11
Figure II.2 : Convoyeur à rouleaux	11
Figure II.3 : Convoyeur gravitaire.....	12
Figure II.4 : convoyeur à chaine à palettes.....	12
Figure II.5 : convoyeur de palettes.....	13
Figure II.6 : les palettes du convoyeur	14
Figure II.7 : les dimensionnements de la palette	15
Figure II.8 : Vue latérale de la tête d'entraînement.....	15
Figure II.9 : les dimensionnements de la tête d'entraînement.....	16
Figure II.10 : Vue latérale de la tête du renvoi.....	16
Figure II.11 : support guides	17
Figure II.12 : les dimensionnements du support guides.....	17
Figure II.13 : guidage latéral	18
Figure II.14 : le pied du convoyeur	18
Figure II.15 : profilé de ligne	19
Figure II.16 : courbe 90°	19
Figure II.17 : les dimensionnements de la courbe 90°	20
Figure III.1 : constitution d'un moteur asynchrone.....	22
Figure III.2 : la coupe d'un stator de la MAS.	23
Figure III.3 : Rotor bobiné à bague	23
Figure III.4: Rotor à cage d'écureuil.....	24
Figure III.5 : Caractéristiques d'un moteur asynchrone.....	26
Figure III.6 : Schéma explicatif du principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone.....	27
Figure III.7 : Bilan de puissance d'une machine asynchrone	28
Figure IV.1 : Organigramme des types de maintenance	38
Figure IV.2 : Le contenu de la fonction maintenance	44

Figure IV.3 : organigramme maintenance.....	45
Figure IV.4 : diagramme de Pareto	47
Figure IV.5 : La fonction densité de durée de vie d'un équipement.....	48
Figure IV.6 : Allure de l'évolution du taux de défaillance « courbe en baignoire ».....	50
Figure IV.7 : fonction de densité de probabilité – loi exponentielle.....	52
Figure IV.8 : Variation de l'évolution du taux instantané en fonction de β – loi de weibull...	53
Figure IV.9 : influence du facteur de forme β sur la courbe de fiabilité.....	54
Figure IV.10 : influence du facteur de forme β sur la courbe de taux de défaillance	54
Figure IV.11 : influence du facteur de forme β sur la courbe de densité de probabilité.....	55
Figure IV.12 : papier de weibull	56
Figure IV.13 : redressement de la courbe concave	58
Figure IV.14 : redressement de la courbe convexe	58
Figure IV.15 : Cycle de fonctionnement d'un système réparable.....	59
Figure IV.16 : fiabilité, maintenabilité et disponibilité.....	63
Figure V.1 : Graphe de l'analyse de Pareto	69
Figure V.2 : la courbe d'analyse ABC	69
Figure V.3 : Papier de weibull	72
Figure V.4 : la courbe densité de probabilité	77
Figure V.5 : la courbe de la fonction de répartition	78
Figure V.6 : la courbe de fiabilité et de taux de défaillance.....	78
Figure V.7 : courbe de maintenabilité $M(t)$	81
Figure V.8 : la courbe de disponibilité instantanée.....	82

Liste des tableaux

Tableau II.1 : caractéristiques de la palette.	14
Tableau II.2 : caractéristiques de la tête d'entraînement.....	15
Tableau II.3 caractéristiques de la tête du renvoi.....	17
Tableau II.4 : caractéristiques du profilé de ligne.....	19
Tableau II.5: caractéristiques de courbe 90°.....	20
Tableau II.6 : caractéristiques du convoyeur.....	20
Tableau III.1 : bilan de puissance d'un moteur asynchrone.....	29
Tableau III.2 : caractéristique du moteur.....	33
Tableau IV.1 : les nouveaux TBFic après détermination le paramètre γ	58
Tableau IV.2 : Analogie des analyses de fiabilité et de maintenabilité.....	61
Tableau V.1 : Dossier historique du convoyeur à chaine à palettes.....	65
Tableau V.2: Résultats de l'analyse de Pareto (ABC).....	67
Tableau V.3 : la fonction de répartition réelle.....	71
Tableau V.4: Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	73
Tableau V.5 : les caractéristiques de la loi de weibull.....	75
Tableau V.6 : calcul les temps de réparation TR.....	80
Tableau V.7 : tableau de disponibilité instantané.....	82

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation du complexe Cevital	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Historique du complexe	3
I.3. Situation géographique	3
I.4. Activité et mission	4
I.5. Organigramme du complexe.....	5
I.6. Les produits de Cevital	6
I.6.1. L'huile	6
I.6.2. Margarine	6
I.6.3. Sucre.....	6
I.7. la direction technique	6
I.7.1. Département maintenance mécanique.....	6
I.7.2. Département maintenance électrique	6
I.7.3. Méthode de gestion de la pièce de rechange	6
I.7.4. La direction technique	7
I.8. Présentation de l'unité margarinerie	7
I.8.1. Rez de chaussée.....	7
I.8.2. Le premier étage.....	7
I.8.3. Le deuxième étage.....	7
I.9. Définition de la margarine	7
I.10. Composition.....	8
I.10.1. La phase grasse.....	8

I.10.2. La phase aqueuse.....	8
I.11. Processus de fabrication.....	8
I.12. Conclusion	9

Chapitre II : Convoyeur à chaîne à palettes

II.1. Introduction	10
II.2. Définition.....	10
II.3. Rôle des convoyeurs	10
II.4. Types du convoyeur.....	10
II.4.1. Convoyeur à bande.....	10
II.4.2. Convoyeur à rouleaux	11
II.4.3. Convoyeur gravitaire.....	12
II.4.4. Convoyeur à chaîne à palettes.....	12
II.4.5. Les Convoyeurs de palettes.....	13
II.5. Le choix du convoyeur	13
II.6. Constitution du convoyeur à chaîne à palettes	14
II.6.1. Les palettes.....	14
II.6.2. Tête d'entraînement	15
II.6.3. Tête du renvoi	16
II.6.4. Support guides	17
II.6.5. Guidage latéral	18
II.6.6. Les pieds	18
II.6.7. Profilé de ligne	19
II.6.8. Courbe 90°	19
II.6.9. Caractéristiques du convoyeur	20
II.7. Conclusion	21

Chapitre III : Vérification du choix du moteur

III.1. Introduction	22
III.2. Machine asynchrone.....	22
III.2.1. Définition.....	22
III.2.2. Constitution	22
III.2.2.1. Le stator	23
III.2.2.2. Le rotor.....	23
III.2.2.3. Les organes mécaniques.....	25
III.2.3. Comparaison entre un moteur asynchrone à cage d'écureuil et à rotor bobiné.....	25
III.2.4. Caractéristiques d'un moteur asynchrone.....	26
III.2.5. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone	26
III.2.6. Mode Démarrage des moteurs asynchrones	27
III.2.6.1. Démarrage direct d'un moteur asynchrone	27
III.2.7. Bilan de puissance	28
III.3. Vérification du choix du moteur d'entraînement	29
III.3.1. La largeur et la longueur du convoyeur	29
III.3.2. La largeur et la longueur de la chaîne transporteuse	30
III.3.3. La masse totale de la chaîne transporteuse M_{ch}	30
III.3.4. La masse totale du convoyeur $M_{t_{con}}$	30
III.3.5. Le débit du convoyeur Q_{con}	30
III.3.6. Calcul de la force du poids du convoyeur	30
III.3.7. Calcul de la force de traction (appliquée) $F(N)$	31
III.3.8. Calcul du couple de charge appliqué sur l'axe d'entraînement T	31
III.3.9. Calcul du couple de charge ramenée à l'arbre moteur C_{chr}	31
III.3.10. Calcul du nombre de tour du convoyeur N_c	32
III.3.11. Calcul de la vitesse à l'entrée du réducteur (à la sortie du moteur) ω_1	32
III.3.12. Calcul du moment d'inertie de la charge J_{ch}	34

III.3.13. Calcul du moment d'inertie de la charge ramenée J_{chr}	35
III.3.14. Calcul du moment d'inertie totale J_{tot}	35
III.3.15. calcul de temps de démarrage t_d	35
III.3.16. Calcul de la puissance à la sortie du réducteur P_2 (P_u).....	36
III.3.17. Calcul de la puissance du moteur	36
III.3.18. Calcul du glissement g	36
III.3.19. Calcul de la puissance absorbée par le moteur P_a	37
III.3.20. Calcul de la puissance réactive Q	37
III.3.21. Calcul de la puissance apparente S :.....	37
III.4. Conclusion.....	37

Chapitre IV : Etude théorique de la maintenance et de la FMD

IV.1. Introduction.....	38
IV.2. Maintenance industrielle	38
IV.2.1. Définition.....	38
IV.2.2. Types de maintenance	38
IV.2.2.1. Maintenance préventive	39
IV.2.2.2. La maintenance corrective	39
IV.2.3. Les objectifs de la maintenance préventive.....	40
IV.2.4. Gestion maintenance du système.....	40
IV.2.5. Les opérations de la maintenance.....	40
IV.2.5.1. Opérations de maintenance préventive	40
IV.2.5.2. Opérations de la maintenance corrective	41
IV.2.6. Les objectifs de la maintenance dans l'entreprise	42
IV.2.6.1 Objectifs opérationnels :	42
IV.2.6.2. Objectifs économiques :.....	43
IV.2.7. Les fonctions maintenance	43
IV.2.8. La fonction maintenance dans l'entreprise.....	43
IV.2.9. Coûts de la maintenance	44

IV.2.10. Organisation maintenance au sein du complexe Cevital.....	45
IV.2.11. La méthode AMDEC (FMECA)	45
IV.2.11.1. les étapes de la méthodologie AMDEC	45
IV.2.12. Objectifs d'analyse l'historique de pannes :.....	46
IV.2.13. La loi de Pareto.....	46
IV.2.13.1. Diagramme de Pareto.....	46
IV.2.13.2. La méthode ABC	46
IV.2.13.3. L'objectif de la loi :	47
IV.2.13.4. La méthode pour construire un diagramme de Pareto	47
IV.3. Étude de la FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité).....	48
IV.3.1. La fiabilité	48
IV.3.1.1. Définition.....	48
IV.3.1.2. Les principales fonctions	48
IV.3.1.3. Les différentes phases de cycle de vie d'un produit	49
IV.3.1.4. Indicateurs de (MTBF) et (λ).....	50
IV.3.1.5. Lois de fiabilité	51
IV.3.1.6. La loi exponentielle :	51
IV.3.1.7. Analyse de la fiabilité à partir du modèle de weibull	52
IV.3.1.8. Signification des paramètres de fiabilité de « weibull ».....	53
IV.3.1.9. Échelles utilisées sur le papier de Weibull :	56
IV.3.1.10. Utilisation du Papier graphique weibull « d'Allan plait » :.....	56
IV.3.2. La maintenabilité.....	59
IV.3.2.1. Définition.....	59
IV.3.2.2. Critères de maintenabilité	59
IV.3.2.3. Relations générales	60
IV.3.2.4. Amélioration de la maintenabilité	61
IV.3.3. La disponibilité.....	62
IV.3.3.1. Définition.....	62
IV.3.3.2. Types de disponibilité.....	62
IV.4. Relations entre la fiabilité, maintenabilité et disponibilité	63
IV.5. Conclusion	64

Chapitre V : Analyse de la FMD du convoyeur à chaîne à palettes

V.1. Introduction	65
V.2. Exploitation de l'historique des pannes.....	65
V.3. Application pratique des méthodes d'analyse	67
V.3.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle ABC (Pareto)	67
V.3.2. Etude du modèle de Weibull.....	70
V.3.2.1. détermination des paramètres de weibull.....	70
V.3.2.2. Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV	72
V.3.2.3. Exploitation les parametres de weibull	76
V.3.2.4. La densité de probabilité $f(t)$	77
V.3.2.5. La fonction de répartition $F(t)$	78
V.3.2.6. La fiabilité $R(t)$ et le taux de défaillance $\lambda(t)$	78
V.4. Calcul de la Maintenabilité du convoyeur.....	79
V.5. Calcul de la disponibilité du convoyeur	81
V.5.1. Disponibilité intrinsèque ou asymptotique :.....	81
V.5.2. Disponibilité instantanée	82
V.6. Conclusion.....	83
Conclusion générale et perspective	84

Introduction générale

Actuellement, l'évolution des technologies a permis de contourner la plupart des difficultés rencontrées dans le monde industriel en trouvant des solutions pour le déplacement des objets (cartons, boîtes, sacs, caisses...etc.). Parmi ces découvertes, il y a eu la création des convoyeurs à fonctionnement continue qui rendent l'intervention humaine presque inutile.

Le choix du mode de transport doit privilégier la solution en présentant le meilleur rapport coût/efficacité en fonction du volume du produit transporté. Et dans le but d'étudier le cycle de vie et de conserver le potentiel du matériel il faut l'entretenir et de maintenir des opérations afin d'assurer la continuité de la production.

Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus : Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques...etc.

Des nombreux industriels travaillent à l'évaluation et à l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance. L'objet de la fiabilité c'est son intérêt à tout ce qui permet le fonctionnement correct des équipements sans défaillance.

Pour cela Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Alors que la maintenance, jusqu'à très récemment, était considérée comme un centre de coûts, nous sommes de plus en plus conscients qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise.

Ce mémoire de fin d'étude consiste essentiellement à étudier la fiabilité des équipements d'un convoyeur à chaîne à palettes installé au niveau de l'unité margarinerie au sein de l'entreprise cevital.

Ce présent manuscrit s'articule de la manière suivante :

- Le premier chapitre englobe une présentation générale du complexe cevital.
- Le deuxième chapitre présente les différents convoyeurs existants au niveau de l'unité margarinerie.

- Le troisième chapitre est consacré à la vérification du choix du moteur qui fait entraîner notre convoyeur.
- Le quatrième chapitre comporte l'étude théorique de la maintenance et de la FMD.
- Le cinquième chapitre présente l'analyse de la FMD du convoyeur à chaîne à palettes.

Enfin, une conclusion générale et perspective dans laquelle on fera le point sur le travail réalisé et l'approche adoptée.

I.1. Introduction

L'industrie est l'une des activités les plus importantes par laquelle l'Algérie cherchait à atteindre ses buts fondamentaux durant la période de son développement.

Ce chapitre présente l'historique et les multiples activités industrielles du premier complexe agroalimentaire en Algérie nommé Cevital. L'organigramme de l'unité de margarinerie et ses diverses lignes sont présentées également dans ce chapitre.

I.2. Historique du complexe

Cevital, qui est une société par action (S.P.A), est une entreprise algérienne qui a vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie du marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998. Son complexe de production se situe dans le port de Bejaia et s'étend sur une superficie de 45000m².

Il contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale, et parmi ses objectifs ; être leadeur du marché nationale, notamment par rapport à son concurrent voisin L'ENCG, est cela en offrant une large gamme de qualité [1].

I.3. Situation géographique

Le complexe Cevital est à l'extrême Est à environ 3 km de la commune de Bejaia et à 280km de la capitale, vu son voisinage du port, il jouit d'une place géoéconomique très importante.



Figure I.1 : situation géographique du complexe Cevital [1].

I.4. Activité et mission

Cevital a débuté son activité par le conditionnement en décembre 1998.

En février 1999, les travaux de génie civil de la raffinerie ont débuté, est cette dernière est devenue fonctionnelle en août 1999.

L'ensemble des activités est concentré sur la production des huiles végétales et margarine et sucre dont les quantités sont les suivant :

- Raffinerie de l'huile : 1800 tonnes/j
- Production de margarine : 600 tonnes/j
- Fabrication d'emballage en (PET) : polyéthylène téréphtalique
- Stockage des céréales (capacité totale de stockage 120000tonnes)

Qui fait de CEVITAL un leader africain.

- Minoterie et savonnerie en cour d'études.
- Hydrogénation de l'huile.
- Electrolyseur [1].

I.5. Organigramme du complexe

La figure I.2 représente l'organigramme du complexe

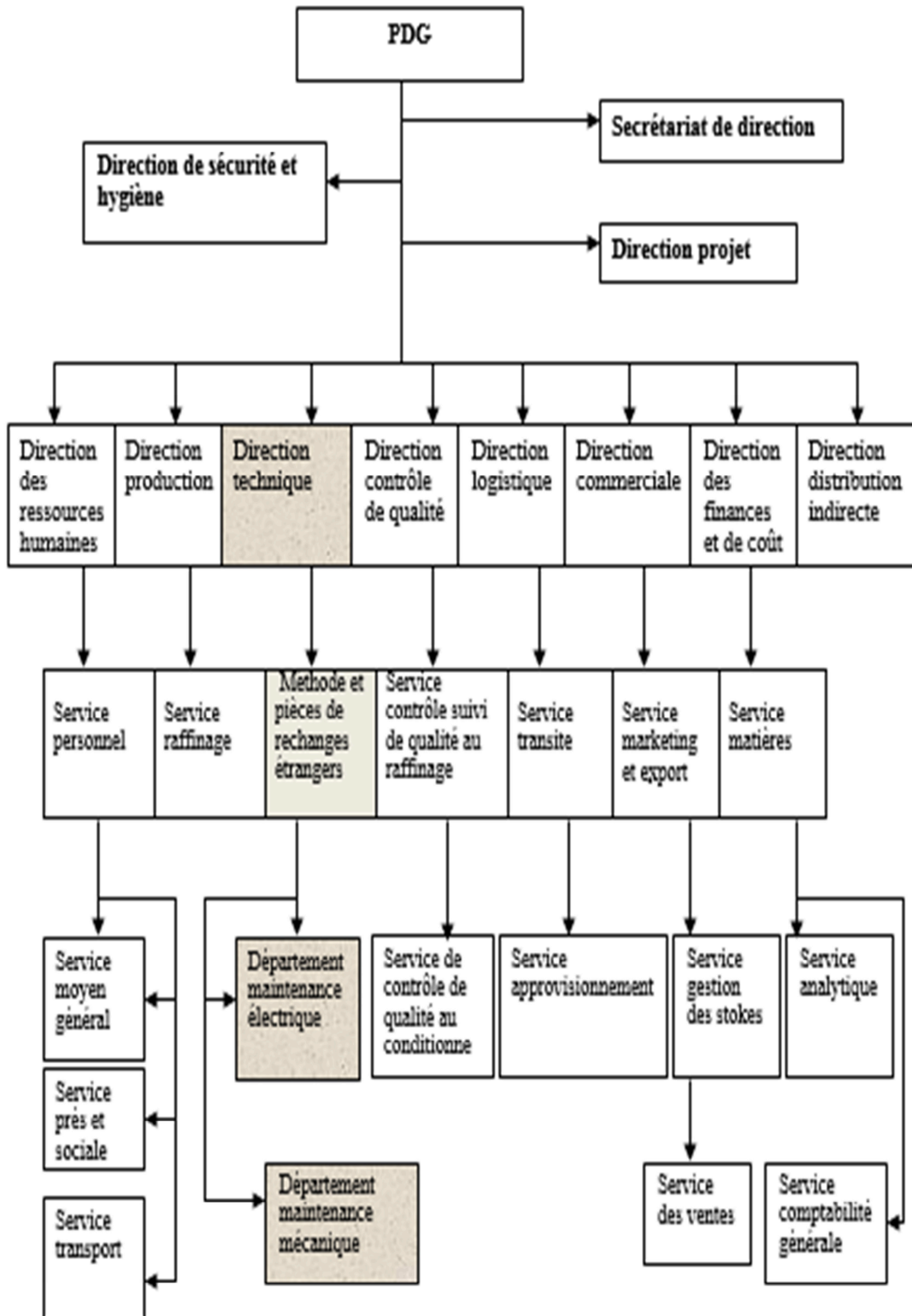


Figure I.2 : Organigramme du complexe Cevital [1].

I.6. Les produits de Cevital

Les produits de Cevital disponibles sur le marché sont :

I.6.1. L'huile

- Fleurial : 100% tournesol commercialisé depuis août 1999.
- Soja : 100% soja commercialisé depuis décembre 1999.
- Canalia : 100% colza commercialisé depuis septembre 1999.
- Oléol : 100% tournesol commercialisé depuis avril 2000.
- Olivia : l'huile d'olive raffinée.
- Fridor : l'huile végétale 100% équilibrée.

I.6.2. Margarine

- Fleurial
- Mâtina
- La parisienne
- Shortning
- Medina
- Rania

I.6.3. Sucre

- Sucre cristallisé dans les sacs de 50 kg

I.7. la direction technique

Elle comprend un personnel de 60 employés répartis dans ces différents départements :

I.7.1. Département maintenance mécanique

Le département maintenance mécanique s'occupe des installations mécaniques.

I.7.2. Département maintenance électrique

Le département maintenance électrique s'occupe du contrôle des installations électriques et du maintien des biens et des équipements de service.

I.7.3. Méthode de gestion de la pièce de rechange

Cette section s'occupe de la gestion des pièces de rechange des équipements ; elle approvisionne les unités en pièces de rechange étrangères, et en outils de travail.

Elle s'occupe également du lancement des commandes et de la section du fournisseur étranger selon les critères définis [1].

I.7.4. La direction technique

La direction technique regroupe toutes les informations techniques du complexe et les manuels d'utilisation des différents équipements mécaniques, électriques, hydrauliques et pneumatiques.

Les études techniques et les projets d'extension de l'entreprise auront été traités par la direction technique du complexe [1].

I.8. Présentation de l'unité margarinerie

L'unité margarinerie se compose de trois étages.

I.8.1. Rez de chaussée

Au rez de chaussée on trouve les bacs d'émulsifiants (les ingrédients nécessaires à la fabrication de la margarine), il se trouve aussi à ce niveau une chambre froide pour conserver la margarine produite et tout ça se fait à une température entre 6° et 12°.

I.8.2. Le premier étage

Le premier étage sert à conditionner la margarine avec quatre lignes de production.

- Ligne N° 1 : conditionnement de la margarine en pots de 500g.
- Ligne N° 2 : conditionnement de la margarine en plaquettes de 250g et 500g.
- Ligne N° 3 : conditionnement de la margarine de feuilletage.
- Ligne N° 4 : production de graisse 100% végétale (shortning).

Ces produits finaux seront transportés vers l'encartonneuse afin de les stocker dans une chambre froide.

I.8.3. Le deuxième étage

Le deuxième étage est réservé pour la préparation et la fabrication de la margarine ; Des échantillons sont choisis pour le contrôle de qualité [1].

I.9. Définition de la margarine

La margarine s'est définie par la norme du code alimentaire, comme un aliment qui se présente sous la forme d'une émulsion solide ou liquide, malléable principalement du type eau des huiles produits essentiellement à partir de l'huile comestible d'origine animale ou végétale [1].

I.10. Composition

Divers ingrédients sont ajoutés à la margarine afin de lui confier ses caractères. Il n'existe pas une seule margarine mais des margarines destinées à diverses utilisations selon lesquelles les propositions de tels composants varient. Certains indique une composition globale de :

84% au moins de matière grasse

16% on plus d'eau ou de lait

Les adjuvants obligatoires (sel, aromatisant)

I.10.1. La phase grasse

Elle est constituée d'huiles fluides raffinées (tournesol, colzaetc.), et des huiles concrètes affinées hydrogène.

I.10.2. La phase aqueuse

Cevital utilise du lait préalablement pasteurisé [1].

I.11. Processus de fabrication

Lorsque les différents composants de la margarine sont prêts, ils sont réunis pour être mélanger dans un grand bac afin d'obtenir une émulsion (huile + phase aqueuse) c'est celle-ci qui deviendra de la margarine et cela après être passé par les étapes suivantes :

Tout d'abord l'émulsion traverse grâce à une pompe à piston (une pasteurisation).

La première pasteurisation aura lieu pour certains ingrédients avant leurs entrées dans le bac d'émulsion comme le lait par exemple. Une deuxième fois à 83c° afin d'éliminer toute probabilité de présence d'un quelconque micro-organisme. Une fois pasteurisés une pompe à haute puissance refoule l'émulsion vers le combineur, ce dernier s'occupe de la cristallisation. Grâce à des cylindres à double parois dans lesquels circule l'ammoniaque grâce aussi aux porte couteaux qui traversent les cylindres et qui favorisent l'échange thermique en appliquant la margarine contre les parois, notons que l'eau chauffée par des résistances traverse l'arbre porte couteaux et aussi faciliter le transit d'émulsion vers les conditionneuses en passant par un tube de repos selon la margarine. Une fois le produit est conditionné, il sera conduit vers les chambres froides au rez de chaussée [1].

La figure I.3 présente l'organigramme du processus de fabrication et conditionnement de margarine.

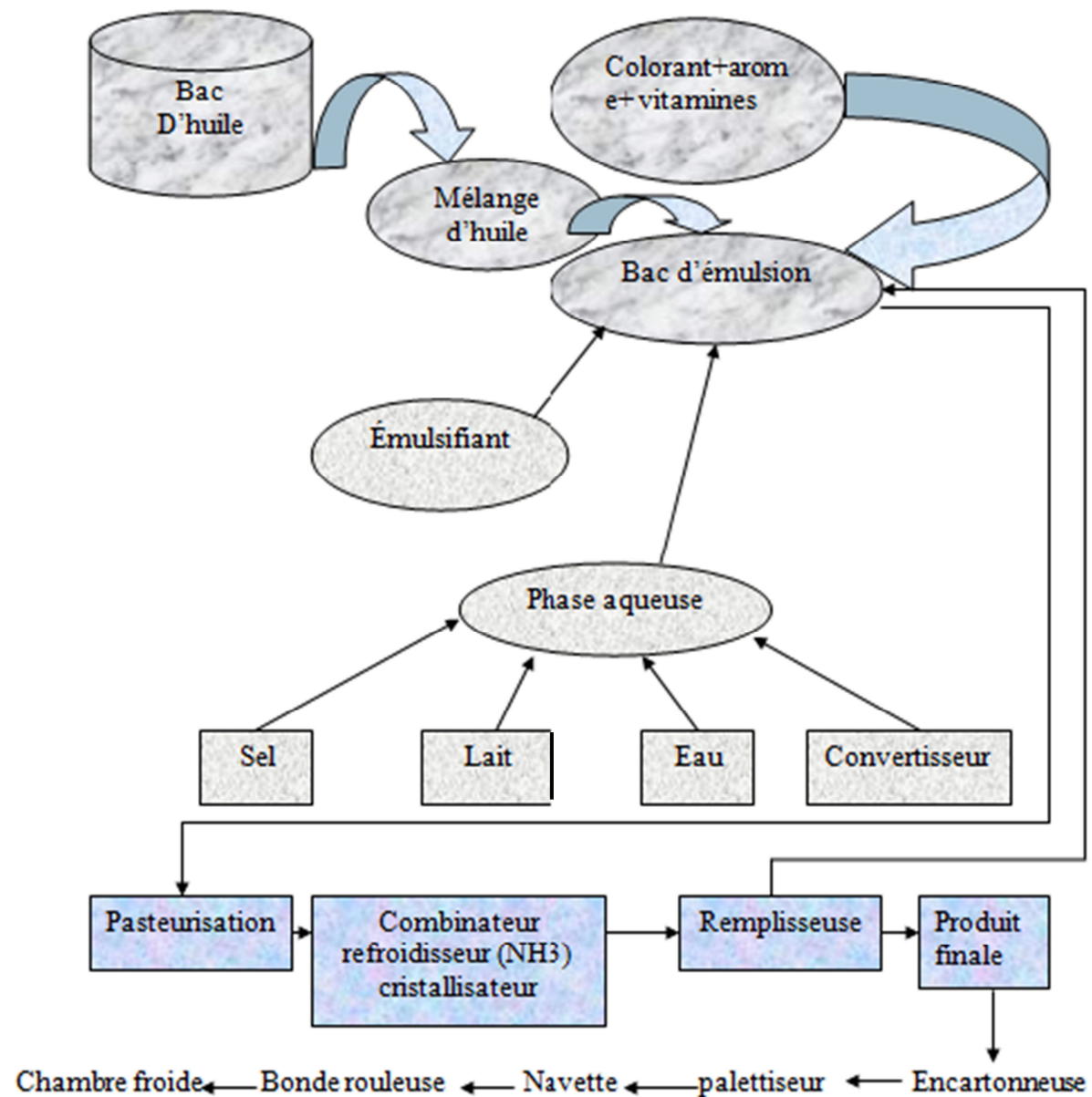


Figure I.3 : Organigramme du processus de fabrication et conditionnement de margarine [1]

I.12. Conclusion

Ce chapitre a décrit brièvement le complexe agro-alimentaire Cevital avec une présentation de ses activités ; après avoir examiné l'unité de margarinerie, on a choisi le convoyeur à chaîne à palettes qui assure le téléchargement des produits finaux afin de les stocker ou marketing.

Le chapitre suivant fera l'objet d'une étude détaillée sur ce convoyeur.

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons définir le convoyeur et son rôle, avec une présentation des différents convoyeurs existants dans l'unité margarinerie, nous allons également présenter les différents éléments du convoyeur à chaîne à palettes.

II.2. Définition

Le convoyeur est un appareil de manutention mécanique, qui permet le déplacement des matériaux ou produits de différentes dimensions d'un poste à un autre, grâce au mécanisme de transmission de puissance d'un arbre moteur vers un autre arbre récepteur, par l'intermédiaire des chaînes ou courroies.

Les convoyeurs sont utilisés dans plusieurs procédés industriels tels que le transfert de pièce, de sable, de sac de ciment, fardeaux, produits alimentaires, bagages de voyageurs....etc.

Le rôle du convoyeur est de remplacer le travail de l'ouvrier qui trouve beaucoup de peine à accomplir ses tâches d'où l'influence sur la productivité [2].

II.3. Rôle des convoyeurs

- Faciliter la mise en continu d'une production.
- Déplacement des charges très importantes qui peuvent atteindre trois tonnes.
- Améliorer les conditions de travail, éviter la pénibilité des tâches manuelles.
- Capacités de travail à des températures auxquelles l'ouvrier ne peut résister.
- Déplacement des charges dans un temps très court.
- Améliorer la production quantitativement.

II.4. Types du convoyeur

Les différents types de convoyeur existants dans l'unité margarinerie sont :

II.4.1. Convoyeur à bande

Les convoyeurs à bande sont caractérisés par le type de bande transporteuse utilisée (matériaux, texture, épaisseur) et par la position du groupe de motorisation (centrale ou en extrémité). Le convoyeur à bande se compose :

- D'un tambour de commande et de son moto réductrice.
- D'un rouleau d'extrémité.
- D'un châssis porteur avec une sole de glissement qui assure le soutien de la bande
- D'une bande transporteuse

Les convoyeurs à bande modulaire permettent, grâce à leur bande rigide en acétal, d'accumuler des charges (avec frottement entre la bande et les objets transportés).

La bande est en fait une chaîne en plastique qui vient s'engrener dans des pignons également en plastique. En terme de maintenance, l'avantage est de ne pas avoir de centrage et de tension de bande à effectuer, contrairement à un convoyeur à bande classique [3].

La figure II.1 représente le convoyeur à bande :



Figure II.1 : Convoyeur à bande

II.4.2. Convoyeur à rouleaux

Dans ce cas, le déplacement des charges se fait à l'aide des rouleaux. Ces derniers sont entraînés généralement soit par des pignons et chaînes, soit par pignons et courroies crantées ou bien par roue et courroie.

Ils sont utilisés pour le transport ou l'accumulation de produits suffisamment longs pour ne pas tomber entre deux rouleaux. Les colis à transporter doivent être également à fond plat et rigide

Ce type de convoyeur accepte des charges considérables. (Figure II.2) [4].

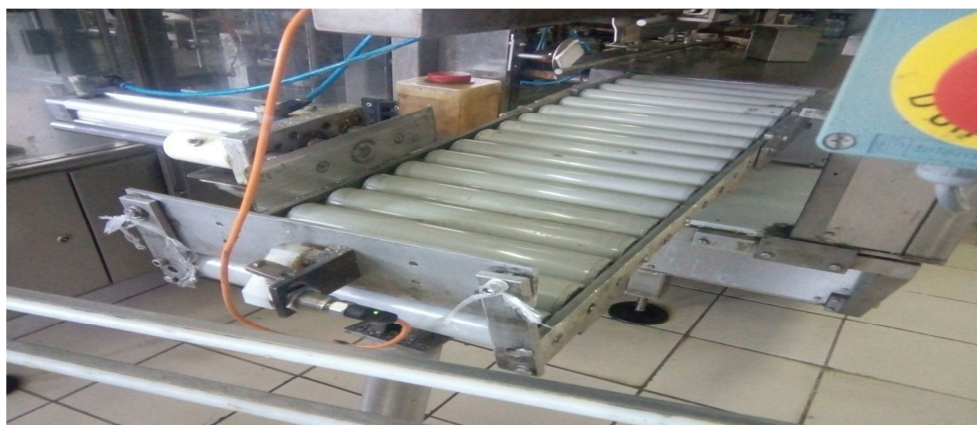


Figure II.2 : Convoyeur à rouleaux

II.4.3. Convoyeur gravitaire

Les Convoyeurs gravitaires Sont des convoyeurs à rouleaux en acier ou en plastique qui permettent le transport et l'accumulation de tout objet à fond plat ou muni de lattes de renforcement (caisses, cartons, casiers, bacs....) jusqu'à 180 kg/m sans utiliser un motoréducteur et ce en préconisant une pente nécessaire.

La figure II.3 représente le convoyeur gravitaire :



Figure II.3 : Convoyeur gravitaire

II.4.4. Convoyeur à chaîne à palettes

Les convoyeurs à chaîne à palettes sont destinés au transport et accumulation des produits spéciaux ; embouteillages, industrie pharmaceutique, conserverie, cosmétique. Ils sont idéals pour les cheminements non linaires, ces convoyeurs sont choisis pour la robustesse des chaînes et la grande latitude dans la conception des courbes, leurs principe de fonctionnement se fait par la transmission par chaîne simple sous carter de protection entre motoréducteur et la roue de tension. [5].

La figure II.4 représente le convoyeur à chaîne à palettes :

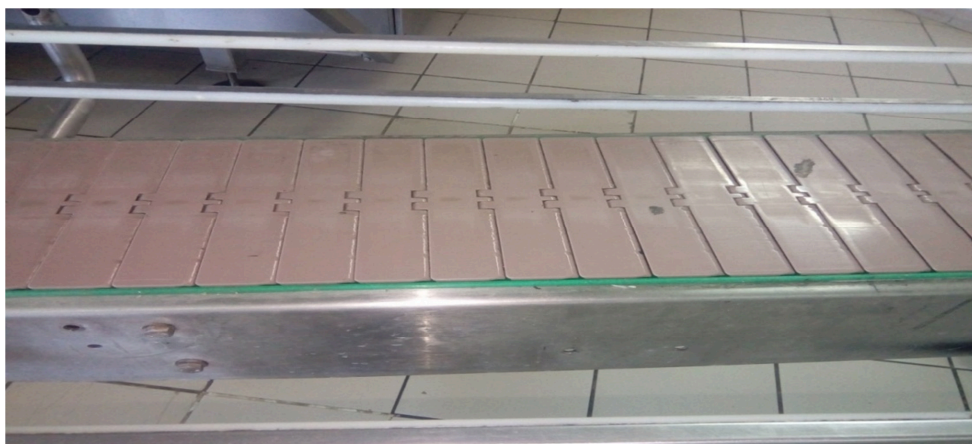


Figure II.4 : convoyeur à chaîne à palettes

II.4.5. Les Convoyeurs de palettes

Les convoyeurs de palettes offrent un large éventail d'applications avec de nombreuses variantes techniques.

Les convoyeurs à rouleaux de palettes permettent de véhiculer des palettes de diverses dimensions et de types (bois, plastique, formats standard).

Un convoyeur motorisé à rouleaux est le système de transport le plus fréquemment utilisé, les rouleaux étant de manière standard en acier galvanisé et l'entraînement étant assuré par des rouleaux qui sont entraînés par des chaînes bouclées.

Le transport motorisé de palettes est privilégié lorsqu'un chariot élévateur n'a pas accès pour acheminer ou décharger des palettes vers la cage ou se trouve un robot ou lorsqu'il s'agit de stations d'emballage entièrement automatiques.

La figure II.5 représente le convoyeur de palettes :



Figure II.5 : convoyeur de palettes

II.5. Le choix du convoyeur

Le choix du convoyeur doit prendre en considération que ce dernier est destiné à transporter des boîtes de margarines, de ce fait, il doit assurer un bon glissement de ces dernières sur la plaque du convoyeur choisi, au moment de l'arrivée des boîtes à la surface de cette dernière.

La nécessité d'un glissement parfait impose l'utilisation d'un convoyeur, ou d'une bande transporteuse, caractérisée par un faible coefficient de frottement avec la matière plastique des boîtes, ainsi on doit prendre en considération la largeur des boîtes, cette dernière doit être inférieure à la largeur de convoyeur afin de passer sans bloqué. Et pour cela ils ont choisi le convoyeur à chaîne à palettes.

II.6. Constitution du convoyeur à chaîne à palettes

Le convoyeur à chaîne à palettes installé dans la chaîne de production de margarinerie est constitué des éléments suivants :

II.6.1. Les palettes

La chaîne transporteuse se compose de plusieurs palettes enchainées qui donnent un bon glissement pour les boîtes de la margarine.

La figure II.6 représente les palettes du convoyeur.

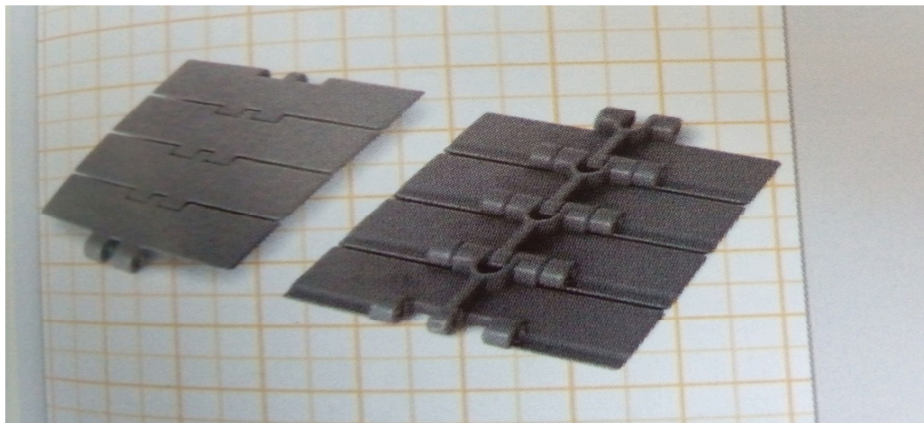


Figure II.6 : les palettes du convoyeur

Les Caractéristiques des palettes sont données par le tableau suivant :

Tableau II.1 : caractéristiques de la palette.

La caractéristique	
Couleur	Marron
Matière	Acétal
Largeur de palette	254 mm
Température d'utilisation	à sec : -40°C à +80°C
	Mouillé : Jusqu'à +65°C
Poids	2.87 kg/m
Section	38.1mm

La figure II.7 représente les dimensionnements d'une palette :

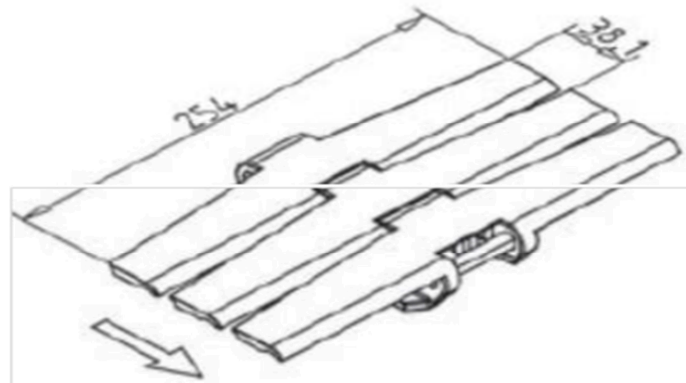


Figure II.7 : les dimensionnements de la palette

II.6.2. Tête d'entraînement

L'entraînement du convoyeur est assuré par une roue qui s'appelle tête d'entraînement, cette dernière est reliée à un arbre de sortie d'un motoréducteur. La tête d'entraînement est illustrée sur la figure II.8 :



Figure II.8 : Vue latérale de la tête d'entraînement

Les Caractéristiques de la tête d'entraînement sont données par le tableau suivant :

Tableau II.2 : caractéristiques de la tête d'entraînement

la caractéristique	
module d'entraînement	En aluminium anodisé
Tenon d'entraînement	20mm
Poids	6.208 kg/m
Longueur de chaîne requise	600mm

Les principaux dimensionnements de la tête d'entraînement sont illustrés sur la figure II.9 :

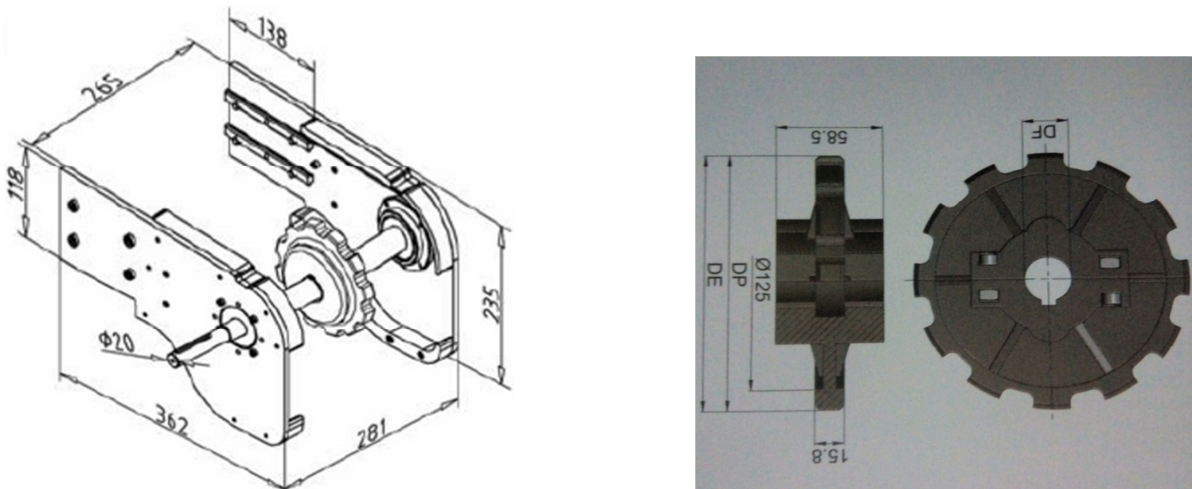


Figure II.9 : les dimensionnements de la tête d'entraînement

$DE = DP = 129 \text{ mm}$;

$DF = 40 \text{ mm}$;

II.6.3. Tête du renvoi

La deuxième roue du convoyeur à chaîne à palettes c'est la tête du renvoi, cette dernière est représentée sur la figure II.10.



Figure II.10 : Vue latérale de la tête du renvoi

Les principales caractéristiques de la tête du renvoi sont données par le tableau suivant :

Tableau II.3 caractéristiques de la tête du renvoi

La caractéristique	
La matière	Aluminium anodisé
Poids	5.992 kg
Longueur de chaîne requise	600 mm

II.6.4. Support guides

Le support guides sert à fixer le tube du guidage latéral, ce dernier peut également être utilisé comme guide dans des combinaisons avec porte-guide approprié.

La figure II.11 représente le support guides :



Figure II.11 : support guides

La figure II.12 représente les dimensionnements du support guides.

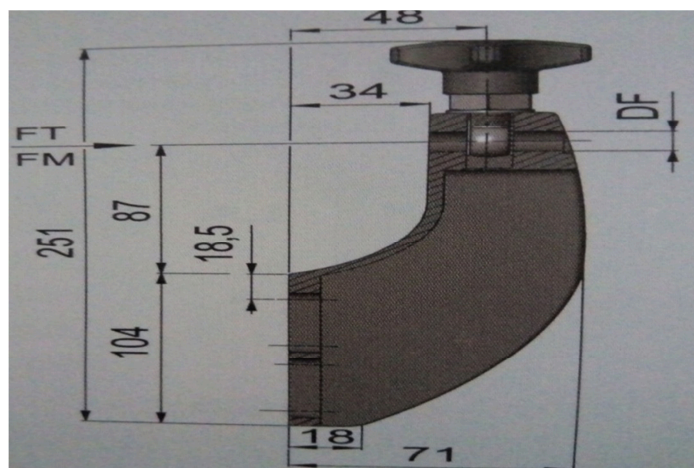


Figure II.12 : les dimensionnements du support guides

II.6.5. Guidage latéral

Le guidage latéral sert à tenir les boîtes de la margarine pour ne pas tomber.

La figure II.13 présente le guidage latéral.



Figure II.13 : guidage latéral

II.6.6. Les pieds

Les pieds servent à soulever le tapis à une hauteur désirée.

La figure II.14 représente le pied du convoyeur :



Figure II.14 : le pied du convoyeur

II.6.7. Profilé de ligne

Le profilé de ligne et le début de la Construction d'une ligne de convoyage, c'est sur ce profilé qu'on met la chaîne transporteuse.



Figure II.15 : profilé de ligne

Les caractéristiques du profilé ligne sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau II.4 : caractéristiques du profilé de ligne

La caractéristique	
La matière	Aluminium anodisé
Poids	12.31 kg
Longueur	6m

II.6.8. Courbe 90°

La courbe 90° a pour objectif de changer la direction du déplacement.

La figure II.16 représente la courbe 90.

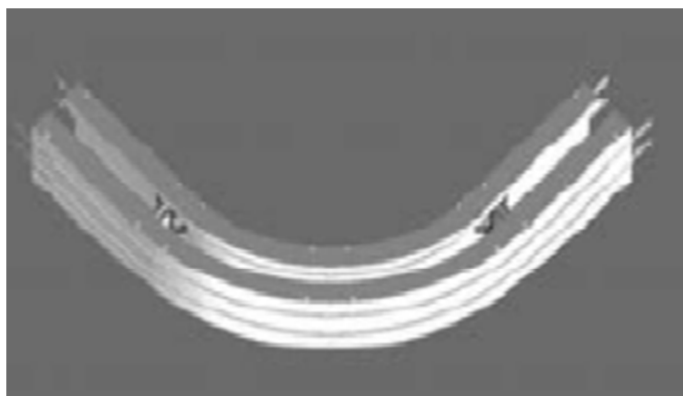


Figure II.16 : courbe 90°

Les caractéristiques de la courbe sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.5: caractéristiques de courbe 90°

Caractéristique	
Matière	Aluminium anodisé
Rayon de la courbe	700mm
Poids	26.16 kg

La figure II.17 représente les différents dimensionnements de la courbe 90.

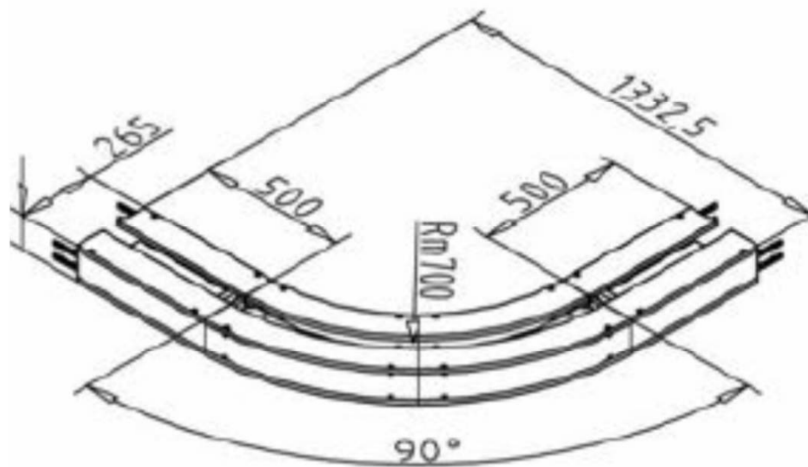


Figure II.17 : les dimensionnements de la courbe 90°

II.6.9. Caractéristiques du convoyeur

Le tableau II.6 représente les caractéristiques du convoyeur :

Tableau II.6 : caractéristiques du convoyeur

la caractéristique	La valeur
Type	265 ACETAL 610
Vitesse linéaire	25 m/min
Le débit	5832 kg/h
Largeur de la chaîne	254 mm
Longueur de la chaîne	6.34m
La force de rupture	10000 N
Poids	126.01 kg/m
Section	38.1 mm

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les convoyeurs existants à l'unité margarinerie du complexe cevital, en particulier la constitution du convoyeur à chaîne à palettes ; ce type de convoyeur est très important pour le téléchargement des produits finaux.

Afin de vérifier le choix du moteur d'entraînement du convoyeur à chaîne à palettes, le chapitre suivant sera l'objectif de cette vérification.

III.1. Introduction

La machine asynchrone est très utilisée dans les entraînements industriels, elle représente 80% du parc électrique, grâce à son faible coût, à son faible encombrement, à son bon rendement et à sa excellente fiabilité, en plus de ça, cette machine est très robuste.

Afin de faire les calculs nécessaires pour la vérification du choix du moteur d'entraînement, nous présentons dans ce chapitre les deux types de moteur les plus répandus à l'entraînement mécanique lourd, c'est le moteur asynchrone à cage d'écurie et le moteur asynchrone à rotor bobiné nommé parfois moteur à bague.

III.2. Machine asynchrone

III.2.1. Définition

La machine asynchrone est la machine électrique la plus utilisée dans le domaine des puissances supérieures à quelques watts car elle offre le meilleur rapport qualité / prix. Surtout depuis l'apparition des variateurs dans les années 1980 qui permettent de faire varier la fréquence de rotation du moteur dans une large gamme. Bien que réversible, la machine asynchrone est principalement utilisée en moteur.

III.2.2. Constitution

La figure III.1 représente la constitution de la machine asynchrone [7].

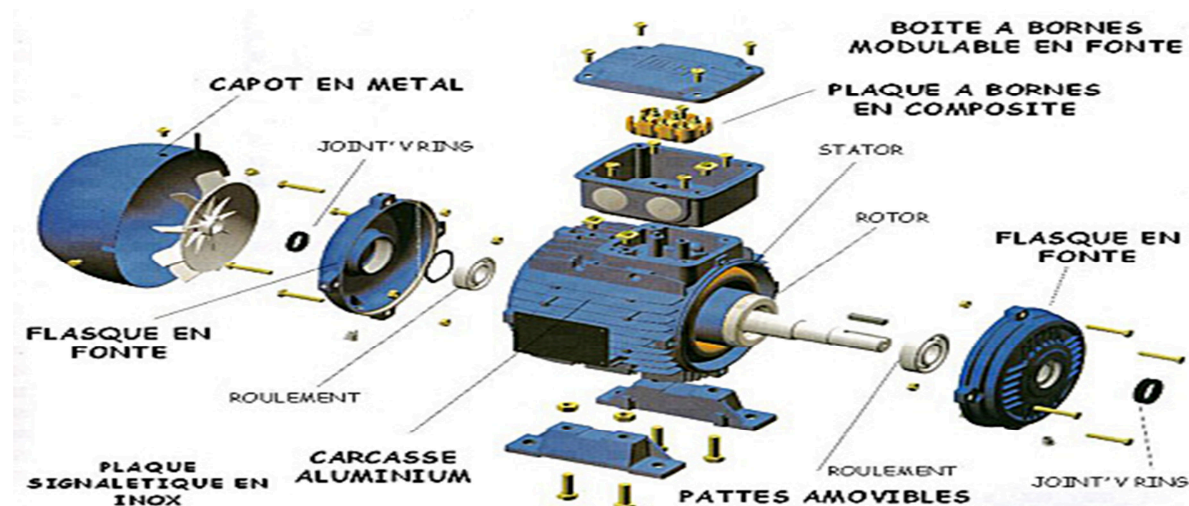


Figure III.1 : constitution d'un moteur asynchrone

La machine asynchrone est composée de trois parties :

III.2.2.1. Le stator

Le stator se constitue de trois enroulements (bobines) parcourus par des courants alternatifs triphasés et possède p paires de pôles (nombre de bobinage triphasé dans le stator).

Le stator présente une forme comme le montre la figure III.2 :



Figure III.2 : la coupe d'un stator de la MAS.

III.2.2.2. Le rotor

Le rotor est la partie mobile (tournante) du moteur, se constitue de bobinage triphasé, on distingue deux types de rotor :

III.2.2.2.1. Rotor bobiné (à bagues)

Dans un rotor à bague, le champ du rotor est fabriqué par des enroulements (bobines) qui sont alimentés par des balais.

L'enroulement semblable à celui du stator, comporte p paires de pôles par phase ; les trois paires sont reliées à trois bagues qui permettent d'insérer un rhéostat dans le circuit rotorique.

La figure III.3 représente le rotor bobiné à bague :

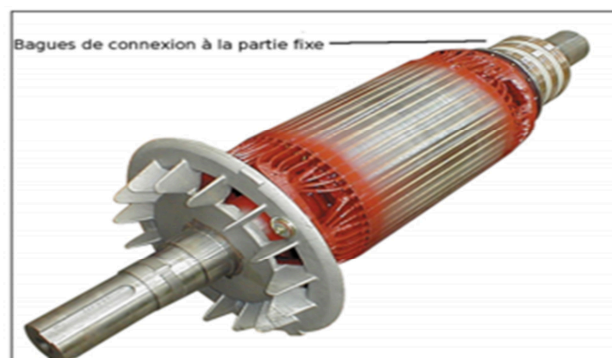


Figure III.3 : Rotor bobiné à bague

Avantages

- Obtenir des couples élevés pour des courants relativement faibles.
- Permet d'ajuster au mieux le couple moteur au couple résistant, en jouant sur les valeurs des pointes et le nombre de crans.
- Grande souplesse pour les démarrages.
- Permet le réglage de la vitesse.

Inconvénients

- Les moteurs à bagues sont plus coûteux que les moteurs à cage.
- Nécessitent un appareillage de court-circuit rotorique [8].

III.2.2.2.2. Rotor à cage d'écureuil

Le rotor est constitué de barres de cuivre ou d'aluminium reliées aux deux extrémités par deux couronnes conductrices.

Généralement, ces barres sont inclinées afin de réduire les harmoniques de dentures.

Dans un moteur à cage, il n'y a pas de balais pour amener l'énergie au rotor contrairement au rotor à bague

Dans un rotor à cage, le champ magnétique du rotor est induit par le champ magnétique du stator.

Par comparaison avec les moteurs à bagues, les moteurs à cage ont l'avantage d'être robuste et de coût beaucoup plus faible.

La figure III.4 représente le rotor à cage d'écureuil :



Figure III.4: Rotor à cage d'écureuil

Avantages

- Coût peu élevé.
- Simplicité de la constitution du rotor.
- Couple croissant pendant l'accélération.

Inconvénients

- Forte intensité du courant [8].

III.2.2.3. Les organes mécaniques

Le stator autoporteur reçoit de chaque côté un flasque sur lequel le rotor sera positionné grâce à des roulements à billes ou à rouleaux suivant le type de charge (axiale ou radiale). Un ventilateur est placé au bout d'arbre sur le rotor pour le refroidissement de la machine. Il peut être remplacé par une ventilation forcée motorisée pour le refroidissement aux vitesses lentes.

III.2.3. Comparaison entre un moteur asynchrone à cage d'écureuil et à rotor bobiné

La différence entre le moteur asynchrone à cage et à rotor bobiné :

- Le rotor bobiné a un noyau cylindrique avec des fentes parallèles, et chaque fente consiste en chaque barre. La fente du moteur à cage d'écureuil n'est pas parallèle l'une à l'autre.
- La construction du moteur à rotor bobiné est compliquée car elle consiste des anneaux et balais/collecteurs alors que la construction du moteur à cage d'écureuil est simple.
- Le moteur à rotor bobiné est constitué d'un circuit de résistance externe, alors que dans le moteur à cage d'écureuil ne permet pas possible d'ajouter un circuit de résistance externe car les barres de leur rotor sont court circuitées.
- Pour démarrer le moteur à cage, on utilise le démarreur à résistance de rotor, alors que le moteur à bague ne nécessite aucun démarreur.
- Le couple de démarrage du moteur à bague est élevé, alors que dans le moteur à cage est faible.
- Le coût de maintenance du moteur à rotor bobiné est élevé par rapport au moteur à cage d'écureuil, car le moteur à rotor bobiné comprend des balais et des anneaux.
- La perte de cuivre dans le moteur à rotor bobiné est élevée par rapport à celle du moteur à cage.
- L'efficacité du moteur à rotor bobiné est faible, alors que le moteur à cage d'écureuil a un rendement élevé.

Le champ tournant statorique vient induire des courants dans le rotor. Leur interaction entraîne la rotation du rotor à une fréquence légèrement inférieure à celle du champ tournant. La figure III.6 explique le principe de fonctionnement du moteur [8].

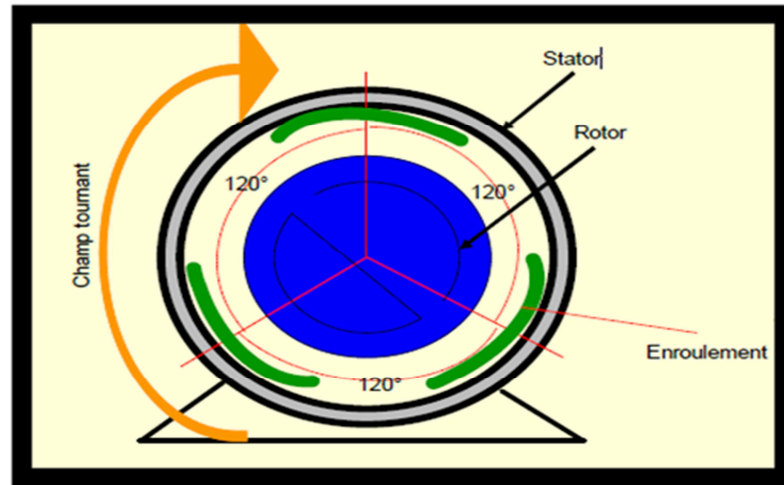


Figure III.6 : Schéma explicatif du principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

III.2.6. Mode Démarrage des moteurs asynchrones :

Le mode de démarrage du moteur installé pour faire entrainé le convoyeur à chaine à palettes est le démarrage direct.

III.2.6.1. Démarrage direct d'un moteur asynchrone

Le démarrage direct est le démarrage le plus simple. Le moteur démarre sur ces caractéristiques "naturelles". Au démarrage, le moteur se comporte comme un transformateur dont le secondaire (rotor) est presque en court-circuit, d'où l'intensité de courant du démarrage est à sa valeur maximale (5 à 8 fois le courant nominal).

Ce type de démarrage est appliqué dans le cas où la puissance du moteur est relativement faible devant celle du réseau.

Avantages :

- Simplicité du branchement de l'appareillage.
- Temps du démarrage minimal pour un moteur à cage.

Inconvénients :

- Appel du courant très important au démarrage.
- Couple assez élevé, la puissance absorbée étant surtout réactive [11].

III.2.7. Bilan de puissance

Lorsqu'on alimente un moteur asynchrone, une partie P_{js} de la puissance qu'il reçoit P_a est dissipée sous forme des pertes Joule dans les enroulements du stator et une autre partie P_f est dissipée dans le fer. Le reste de la puissance est transportée au rotor par induction à travers l'entrefer.

Une troisième partie P_{jr} est dissipée par effet Joule dans les enroulements du rotor et ce qui reste c'est la puissance mécanique $P_{méc}$, si on soustrait les pertes $\Delta P_{méc}$ dues aux frottements et la ventilation, on obtient P_u la puissance utile fournie à la charge mécanique.

Et pour mieux comprendre le cheminement des puissances on donne le diagramme ci-dessous :

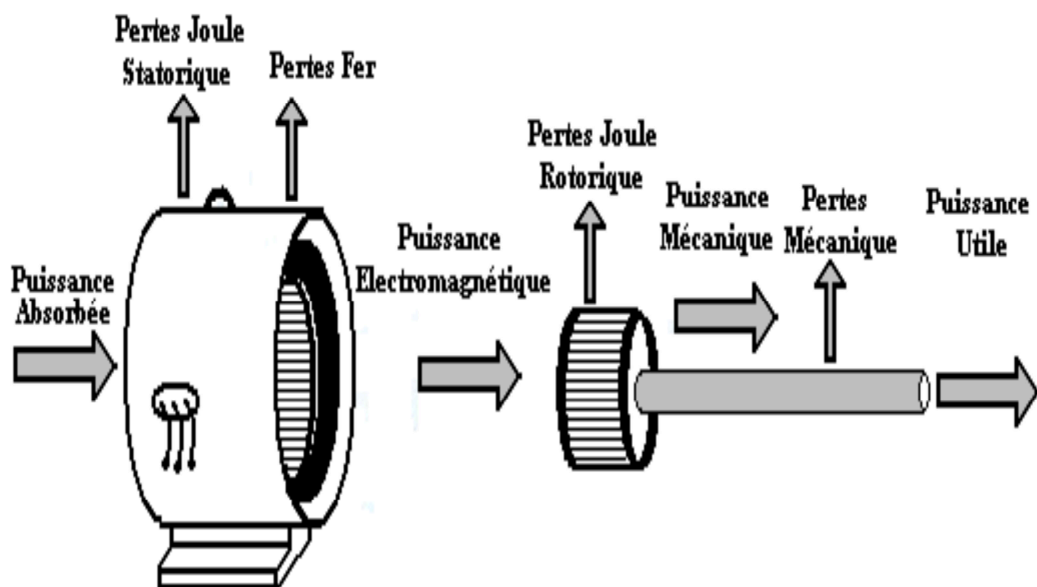


Figure III.7 : Bilan de puissance d'une machine asynchrone

Le tableau III.1 représente le bilan de puissance d'un moteur asynchrone:

Tableau III.1 : bilan de puissance d'un moteur asynchrone

Notation Désignation	Signification	Relation
Pa	Puissance absorbée par le moteur	$P_a = \sqrt{3} * U_s * I_s * \cos\varphi$ $= 3 * V_s * I_s * \cos\varphi$
Pjs	Pertes Joule statorique	$P_{js} = 3 * R_s * I_s^2$
Pf	Pertes Fer	
Pem	Puissance électromécanique fournie au rotor	$P_{em} = P_a - P_{js} - P_f = C_{em} * \Omega_s$
Pjr	Pertes Joule rotorique	$P_{jr} = 3 * R_r * I_r^2 = g * P_{em}$
Pméc	Puissance mécanique fournie à l'arbre du rotor	$P_{méc} = P_{em} - P_{jr}$
$\Delta P_{méc}$	Pertes mécaniques	
Pu	Puissance utile fournie à la charge	$P_u = P_{méc} - \Delta P_{méc}$ $= T_u * \Omega$
η	Rendement du moteur	$\eta = P_u / P_a = P_u / (P_u + \Sigma \text{Pertes})$

g : glissement.

Tu : couple utile [Nm].

Ω : vitesse de rotation [rd/s] [10].

III.3. Vérification du choix du moteur d'entraînement

Le moteur installé pour l'entraînement du convoyeur à chaîne à palettes est le moteur asynchrone à cage d'écureuil, ce choix a été opté à partir de la référence et les avantages et les inconvénients de chaque type. Afin de vérifier le choix de ce moteur d'entraînement nous avons fait les calculs suivants :

III.3.1. La largeur et la longueur du convoyeur

Le convoyeur à chaîne à palette a les dimensionnements suivants :

Largeur du convoyeur = 26.5 cm (mesuré).

Longueur du convoyeur (la distance de déplacement) $L_{con} = \text{nombre de palette} * \text{la largeur d'une palette}$

$$AN \quad L_{con} = 151 * 4.2 \text{ cm} = 6.34\text{m} \quad (III.1)$$

III.3.2. La largeur et la longueur de la chaîne transporteuse

La chaîne transporteuse a les dimensionnements suivants :

Largeur de la chaîne = 25.4cm (mesuré).

Longueur totale de la chaîne L_{ch} :

$$L_{ch} = 151 * 2 * 4.2 = 12.68m. \quad (III.2)$$

III.3.3. La masse totale de la chaîne transporteuse M_{ch} :

$$M_{tch} = L_{ch} * 2.87kg = 36.4kg. \quad (III.3)$$

La masse de la chaîne par mètre : 2.87kg/m.

III.3.4. La masse totale du convoyeur M_{tcon}

La masse totale du convoyeur ne comporte que de la masse de ces éléments mobiles (les éléments qui sont en mouvement).

$$M_{tcon} = M_{tch} + M_{te} + M_{tr} + M_p.$$

M_p = le poids d'une barquette * nombre de barquettes maximales peuvent être transportées par tour.

AN:

$$M_p = 1.8kg * 42 = 75.6kg \quad (III.4)$$

$$M_{tcon} = 36.4kg + 6.218kg + 5.992kg + 75.6kg \quad (III.5)$$

$$M_{tcon} = 124.21kg.$$

M_{tcon} : masse totale du convoyeur [kg].

M_{te} : la masse de la tête d'entraînement [kg].

M_{tr} : la masse de la tête de renvoie [kg].

M_p : la masse maximale qu'elle peut être déplacée dans un seul tour [kg].

III.3.5. Le débit du convoyeur Q_{con}

$$Q_{con} = N_b * P_b = 54 * 1.8 = 5832 \text{ kg/h.} \quad (III.6)$$

N_b : Nombre de barquettes transportées par minute.

P_b : le poids d'une barquette [kg].

III.3.6. Calcul de la force du poids du convoyeur

$$F_p = M_{tcon} * g = 124.21 * 9.81 = 1218.5 \text{ N} \quad (III.7)$$

III.3.7. Calcul de la force de traction (appliquée) F(N) :

L'effort de traction F(N) dépend des valeurs suivantes :

- Masse transportée M_t (kg/m) = 12kg/m
- Masse de la chaîne M_{ch} (kg/m) = 2.87kg/m
- La longueur totale de la chaîne L_{ch} (m) = 12.68m
- Coefficient de frottement entre la chaîne et son supportage $\mu_1=0.24$
- Coefficient de frottement entre la chaîne et le produit transporté en cas d'accumulation $\mu_2=0.22$ [annexe A]
- Un coefficient $D_1=0.2$ de démarrage en l'absence de démarrage progressif.
- Un coefficient $D_2=0.2$ de démarrage à pleine vitesse en accumulation.

Formule de calcul simplifiée :

$$F = \left((M_t + 2 * M_{ch}) * (\mu_1 + D_1) + (M_t * (\mu_2 + D_2)) \right) * 9.81 * L_{ch} \quad [6] \quad (III.8)$$

AN :

$$F = \left((12 + 2 * 2.87) * (0.24 + 0.2) + (12 * (0.22 + 0.2)) \right) * 9.81 * 12.68$$

$$F = 1597.87 \text{ N}$$

III.3.8. Calcul du couple de charge appliqué sur l'axe d'entraînement T :

Le couple de charge (Cch) se calcule à partir de :

- ϕ_p = diamètre primitif du pignon (mm).
- F = effort de traction (N).

$$C_{ch} = T = F * \phi_p * 10^{-3} / 2 \quad (III.9)$$

$$T = 1597.87 * 60.8 * \frac{10^{-3}}{2} = 48.58 \text{ N.m}$$

III.3.9. Calcul du couple de charge ramenée à l'arbre moteur Cchr :

Ce couple se calcul à partir de la formule suivante :

$$C_{chr} = \frac{C_{ch}}{\eta_r * i} \quad (III.10)$$

$\eta_r = 82\%$: Rendement réducteur

$i=16.33$: rapport de réduction.

AN :

$$C_{chr} = \frac{48.58}{0.82 * 16.33} = 3.63 \text{ N.m}$$

III.3.10. Calcul du nombre de tour du convoyeur N_c :

Le nombre de tour du convoyeur signifie la vitesse à la sortie du réducteur.

$$V_c = \omega_c * R = \frac{2 * \Pi * N_c}{60} * \frac{D}{2} = 25 \text{ m/min} \quad (\text{III. 11})$$

AN:

$$N_c = \frac{V_c * 60}{\Pi * \phi_p} = \frac{\left(\frac{25}{60}\right) * 60}{\Pi * 0.0608} = \frac{25}{\Pi * 0.0608} = 130.88 \text{ tr/min}$$

$$\omega_2 = \omega_c = 13.71 \text{ rd/s}$$

Avec :

$V_c = 25\text{m/min}$: la vitesse linéaire du convoyeur (la chaine transporteuse).

ω_c : La vitesse angulaire rd/s (la vitesse à la sortie du réducteur).

$\phi_p = 60.8\text{mm}$: le diamètre primitif du pignon.

$N_c = N_2$: nombre de tour du convoyeur tr/min.

III.3.11. Calcul de la vitesse à l'entrée du réducteur (à la sortie du moteur) ω_1 :

Le rapport de réduction est défini par l'expression suivante :

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (\text{III. 12})$$

à partir de l'équation III.12 on détermine la vitesse ω_1

$$\Rightarrow \omega_1 = \omega_2 * i = 13.71 * 16.33 = 223.88 \text{ rd/s}$$

$$\Rightarrow N_1 = \frac{\omega_1 * 60}{2 * \Pi} = 2137.94 \text{ tr/min}$$

ω_1 : la vitesse à la sortie du moteur.

$i = 16.33$: Le rapport de réduction.

D'après les résultats obtenus précédemment (vitesse, couple) on constate que le moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil à une paire de pôle est totalement vérifiée.

Le tableau III.2 représente les caractéristiques du moteur :

Tableau III.2 : caractéristique du moteur

Désignation	Valeurs/références
Numéro de série	05.1716639101.0001.11
Le degré de protection	IP 55
La tension nominale	230/400 V
Le courant nominal	4,1 / 2,35 A
La puissance nominale	1.1 kw
Le couple nominal	3.7 N.m
Le facteur de puissance	0.88
La vitesse	2840 tr/min
La fréquence	50 Hz
La vitesse à la sortie de réducteur	174 tr/min
Le rapport de réduction	16.33
Le rendement de moteur	76.5 %
Le rendement de réducteur	82 %
La masse	16.621 kg
Mode de service	S1 (24/24H)
Courant de démarrage	6 A
Cd/Cn	2.7 N.m
Ca/Cn	2.5 N.m
Cm/Cn	2.8 N.m

Cd : couple démarrage

Ca : couple d'accélération

Cm : couple maximal

Cn : couple nominal

On a :

$$\frac{C_d}{C_n} = 2.7$$

$$\Rightarrow C_d = 2.7 * C_n$$

$$\Rightarrow C_d = 9.99 \text{ N. m}$$

On a :

$$\frac{C_a}{C_n} = 2.5$$

$$\Rightarrow C_a = 9.25 \text{ N. m}$$

On a :

$$\frac{C_m}{C_n} = 2.8$$

$$\Rightarrow C_m = 10.36 \text{ N. m}$$

III.3.12. Calcul du moment d'inertie de la charge Jch :

$$J_{ch} = M_{tcon} * \frac{\phi_p^2}{4} \quad (\text{III. 13})$$

Avec :

$\phi_p = 60.8\text{mm}$: le diamètre primitif

M_{tcon} : masse totale du convoyeur

J_{ch} : moment d'inertie de la charge

AN :

$$J_{ch} = 124.21 * \frac{(0.0608)^2}{4} = 0.115 \text{ kg. m}^2$$

$$J_{ch} = 0.115 \text{ kg. m}^2$$

III.3.13. Calcul du moment d'inertie de la charge ramenée Jchr :

$$J_{chr} = \frac{J_{ch}}{\eta_r * i^2} \quad (III.14)$$

Jchr : moment d'inertie la charge ramenée.

Jch : moment d'inertie la charge.

i : rapport de réduction.

η_r : rendement du réducteur.

A.N:

$$J_{chr} = \frac{0.115}{0.82 * 16.33^2} = 5.26 * 10^{-4} \text{ kg. m}^2$$

III.3.14. Calcul du moment d'inertie totale Jtot

$$J_{tot} = J_{chr} + J_m + J_r \quad (III.15)$$

Jtot : moment d'inertie total.

Jchr : moment d'inertie la charge ramenée.

Jm : Inertie de moteur = 0.00217 kg. m²

Jr : Inertie de réducteur = 0.34*10⁻⁴ kg. m²

AN:

$$J_{tot} = 5.26 * 10^{-4} + 0.00217 + 0.34 * 10^{-4} = 0.0027 \text{ kg. m}^2$$

$$J_{tot} = 27 * 10^{-4} \text{ kg. m}^2$$

III.3.15.calcul de temps de démarrage t_d

La mise en vitesse de l'ensemble moteur+charge se fera en un temps que l'on peut calculer par la formule simplifiée suivante :

$$t_d = \frac{\pi * N * J_{tot}}{30 * C_a} \quad (III.16)$$

A.N

$$t_d = \frac{\pi * 2840 * 27 * 10^{-4}}{30 * 9.25}$$

$$t_d = 0.087 \text{ s}$$

III.3.16. Calcul de la puissance à la sortie du réducteur P2 (Pu)

$$P2 = Pu = Cch * \omega_2 \quad (\text{III. 17})$$

Pu : la puissance utile.

AN :

$$P2 = 48.58 * 13.71 = 0.666 \text{ kw}$$

III.3.17. Calcul de la puissance du moteur

La puissance se calcul à partir de :

- L'effort de traction F(N).
- La vitesse linéaire de la chaîne V (m/mn).
- Le rendement du motoréducteur η_m .

$$P1 (w) = F * \frac{V}{\eta_m} \quad (\text{III. 18})$$

AN :

$$P1(w) = 1597.87 * \frac{25}{0.765} = 870.3$$

$$P1 = 0.8703 \text{kw}$$

III.3.18. Calcul du glissement g

$$N_s = \frac{60 * f}{p}$$

/ p=1 (nombre de pair de pole) ; f=50 Hz

$$g = \frac{N_s - N_n}{N_s} \quad (\text{III. 19})$$

AN :

$$g = \frac{3000 - 2840}{3000} = 0.053$$

III.3.19. Calcul de la puissance absorbée par le moteur Pa

La puissance du moteur se calcule à partir de ces formules suivantes :

$$P_a = \sqrt{3} * U_n * I_n * \cos\varphi \quad (\text{III. 20})$$

AN :

$$P_a = \sqrt{3} * 400 * 2.35 * 0.88 = 1432.75 \text{ w}$$

III.3.20. Calcul de la puissance réactive Q

$$Q = \sqrt{3} * U_n * I_n * \sin\varphi \quad (\text{III. 21})$$

AN :

$$Q = \sqrt{3} * 400 * 2.35 * 0.47 = 765.22 \text{ VAR}$$

III.3.21. Calcul de la puissance apparente S :

On a :

$$S = \sqrt{((Q)^2 + (P_a)^2)} \quad (\text{III. 22})$$

AN :

$$S = \sqrt{((765.22)^2 + (1432.75)^2)} = 1628.92 \text{ VA}$$

III.4. Conclusion

Après avoir examiné l'installation de l'unité margarinerie, nous avons vérifié le choix du moteur d'entraînement du convoyeur à chaîne à palettes à partir des calculs précédents. Le moteur qui répond à ces conditions est le moteur asynchrone à cage d'écureuil.

IV.1. Introduction

Le concept de fiabilité et de maintenance sont les plus utilisés dans le monde scientifique technique. Ils sont souvent utilisés pour évaluer la durée de vie d'un composant ou d'un système simple ou complexe. La fiabilité d'un composant exprime la probabilité qu'il fonctionne correctement sans défaillance pendant un temps déterminé dans des conditions fixées de manière précise, et que la maintenance est considérée comme étant le centre des coûts. De même dans l'industrie les problèmes de maintenabilité et de la disponibilité sont capitaux.

Ce chapitre contient deux parties, la première partie présente une généralité sur la maintenance industrielle et leurs opérations et la deuxième partie sera consacrée à une étude théorique sur la FMD dont nous examinons la loi de Weibull et la de Pareto.

IV.2. Maintenance industrielle

IV.2.1. Définition

La maintenance est un ensemble des travaux destinés à soutenir l'aptitude au travail ou la réparation d'un matériel pendant son utilisation, son stockage, ou son transport, dans le but de conserver l'état de la machine et d'assurer la qualité de la production avec un coût global optimal [12].

IV.2.2. Types de maintenance

Les différents types de maintenance sont résumés par l'organigramme suivant :

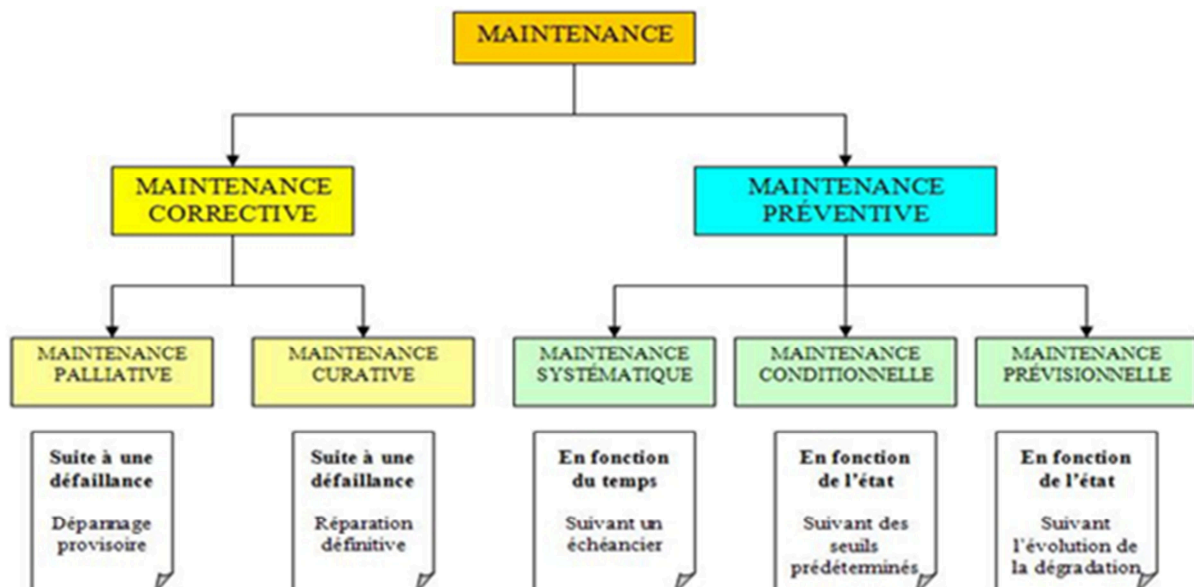


Figure IV.1 : Organigramme des types de maintenance [13]

IV.2.2.1. Maintenance préventive

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon :

- Un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.
- Et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation d'un bien ou d'un service [14].

IV.2.2.1.1. Maintenance préventive systématique

Maintenance préventive effectuée suivant un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (« nombre prédéterminé d'unités d'usage »). Ce type de maintenance s'adresse à des éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles classés comme important pour l'entreprise [15].

IV.2.2.1.2. Maintenance préventive conditionnelle

Maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.) révélateur de l'état de dégradation du bien. Elle convient pour des matériels coutants chers en remplacement. Il s'agit de mesurer et d'analyser des paramètres opérationnels de fonctionnement d'un équipement pour éviter sa défaillance en utilisant des méthodes non destructives (analyse de vibration, de la température) [15].

IV.2.2.1.3. Maintenance préventive prévisionnelle

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions [15].

IV.2.2.2. La maintenance corrective

Maintenance réalisée après la défaillance. Autrement dit : l'ensemble des activités effectuées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

La maintenance corrective comprend en particulier : la localisation de la défaillance et son diagnostic, la mise en état avec ou sans modification et le contrôle du bon fonctionnement [14].

IV.2.2.2.1. Maintenance curative

Activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.

Le résultat doit présenter un caractère permanent. Les activités peuvent être des modifications, réparations ou améliorations ayant pour but d'éliminer les défaillances [14].

IV.2.2.2.2. Maintenance palliative

Activité de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou une part d'une fonction requise.

La maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives [14].

IV.2.3. Les objectifs de la maintenance préventive

Les objectifs de la maintenance préventive sont :

- Améliorer la fiabilité du matériel.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux.
- Améliorer la gestion des stocks.
- Garantir la qualité du produit.
- Améliorer le climat de relation humaine.
- Assurer la sécurité humaine.

IV.2.4. Gestion maintenance du système

La politique de maintenance à appliquer pour le mécanisme de traction de notre convoyeur est la maintenance préventive qui qualifie la maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien, ou la dégradation d'un service rendu.

IV.2.5. Les opérations de la maintenance

IV.2.5.1. Opérations de maintenance préventive

IV.2.5.1.1. Mise en service :

La remise en service du système, il faut satisfaire certaines conditions :

- Vérifier l'état de la bande transporteuse (la chaîne à palettes).
- Vérifier l'état du réducteur.
- Elimination de tous les dangers pouvant provenir de l'unité d'entraînement de motoréducteur.

- Conformité de la tension et fréquence du réseau avec les valeurs indiquées sur la plaque signalétique.
- Lubrifier le réducteur.
- Graisser le pignon d'entraînement (la tête d'entraînement).

IV.2.5.1.2. Contrôle durant la mise en service

Pendant la mise en service en doit contrôler les points suivants :

- Pas de fortes vibrations.
- Pas de bruit élevé.
- Bon fonctionnement du moteur.
- Pas de fluctuations de vitesse de rotation.
- Surveiller la chaîne s'il n'a pas de problème.

IV.2.5.1.3. Entretien

Le convoyeur ne doit pas être mis en service ou doit être mis hors service si des défauts ou problèmes de fonctionnement sont détectés. Il peut seulement être remis en service après la suppression des défauts.

L'entretien du convoyeur se fait chaque trois mois de fonctionnement en suivant les étapes suivantes :

- Relever les valeurs d'intensité du moteur à vide et en charge.
 - Vérifier l'alignement du groupe de commande.
 - Vérifier l'état de la chaîne.
 - Contrôler les branchements électriques et les vis sont bien serrés.
 - Lubrifier le réducteur.
 - Nettoyer, graisser tous les paliers (pieds, les têtes du renvoi et d'entrainements...)
- [16].

IV.2.5.2. Opérations de la maintenance corrective

Ces opérations peuvent être classées en deux groupes d'actions :

IV.2.5.2.1. La remise en état :

La remise en état de fonctionnement peut consister à réaliser l'une des opérations suivantes :

a) Le dépannage

C'est une action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats

provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

b) La modification

C'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'améliorer le fonctionnement, ou de changer les caractéristiques d'emplois.

IV.2.5.2.2. La localisation de défaillance :

C'est l'action qui conduit à chercher précisément les éléments par lesquels la défaillance manifeste, on distingue :

a) Le diagnostic

L'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test.

Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective.

b) Le test

Opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte.

c) La détection

L'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.

d) Le dépistage

Action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement [16].

IV.2.6. Les objectifs de la maintenance dans l'entreprise

Les objectifs de la maintenance sont :

IV.2.6.1 Objectifs opérationnels :

- Exécution des travaux de maintenance préventive et corrective.
- Réalisation des modifications.
- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions et dans un état acceptable.
- Assurer la production prévue

- Assurer la disponibilité maximale de l'outil de production à un prix raisonnable.
- Augmenter à la limite la durée de vie de l'outil de production.
- Assurer une performance de haute qualité.
- Obtenir un rendement maximal [16, 17].

IV.2.6.2. Objectifs économiques :

- Moindres coûts de défaillance.
- Moindres coûts directs de prestations.
- Économie de l'énergie.
- Recherche des coûts optimaux [16, 17].

IV.2.7. Les fonctions maintenance

Le service maintenance doit assurer trois fonctions principales :

Méthodes : analyse du travail, préparation du travail, documentation technique.

Réalisation : interventions et rondes, compte rendu d'activité.

Ordonnement : prévisions et programmation, répartition et suivi du travail [17].

IV.2.8. La fonction maintenance dans l'entreprise

La fonction maintenance est l'une des trois fonctions techniques principales de l'industrie : fonction étude (du produit), fonction production, et fonction maintenance, elle occupe une place importante dans le processus général de production et a des responsabilités qui lui sont proposées, cette place est d'autant plus importante que l'automatisation est présente.

Le graphe suivant montre que cette dernière est une fonction intégrée dans la vie de l'entreprise car elle est constamment en contact avec les différents services de l'entreprise (direction, personnel, commercial, production, études, ...) [17].

Figure IV.2 représente Le contenu de la fonction maintenance :

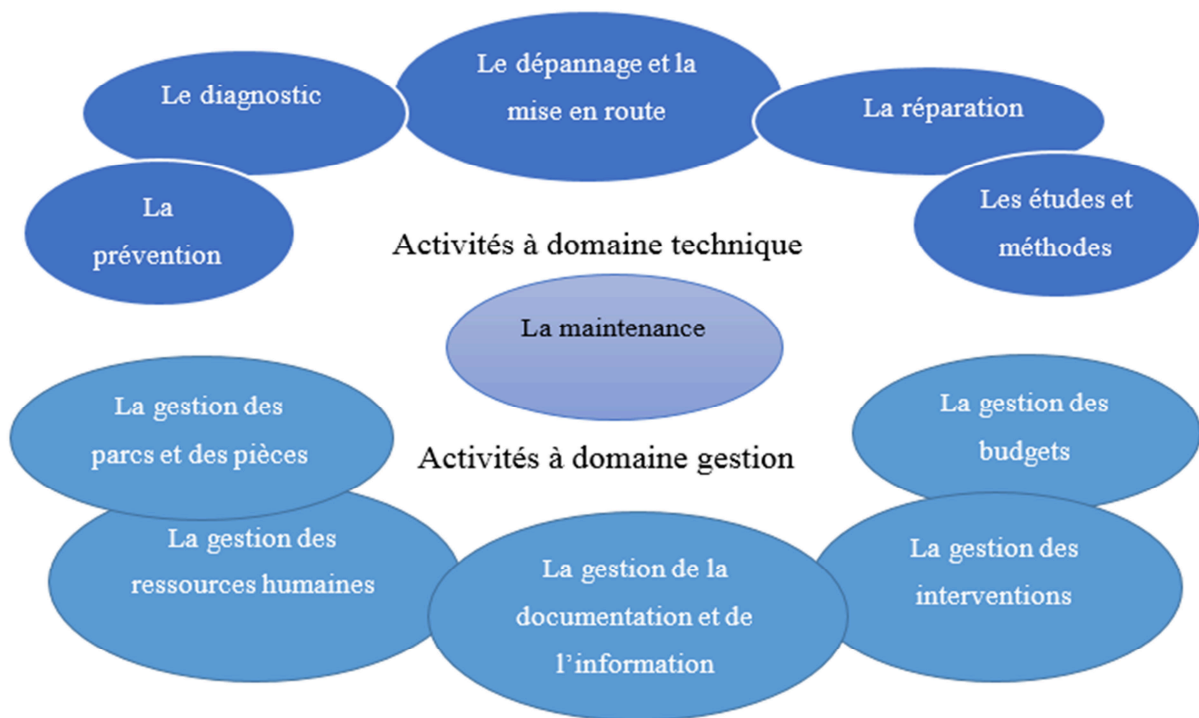


Figure IV.2 : Le contenu de la fonction maintenance [18]

IV.2.9. Coûts de la maintenance

Les coûts de la maintenance représentent l'ensemble des dépenses engagées pour maintenir en état de fonctionnement un système ou un équipement. Il existe trois types de coûts :

- Le coût de maintenance direct qui comprend : le prix de la pièce de rechange et la main d'œuvre.
- Le coût de maintenance indirect qui comprend : le coût du personnel non imputable avec certitude à une tâche de maintenance, les dépenses d'entretien, de réparation des outillages spécifiques ou non, les dépenses d'infrastructure.
- Le coût d'indisponibilité ou de défaillance lié à l'action de la maintenance à effectuer, ce dernier correspond à une perte sèche d'exploitation. [19]

Coût de maintenance = pièces de rechanges consommées + main d'œuvre + production perdue

IV.2.10. Organisation maintenance au sein du complexe Cevital

L'organigramme suivant montre l'organisation du service maintenance au sein du complexe.

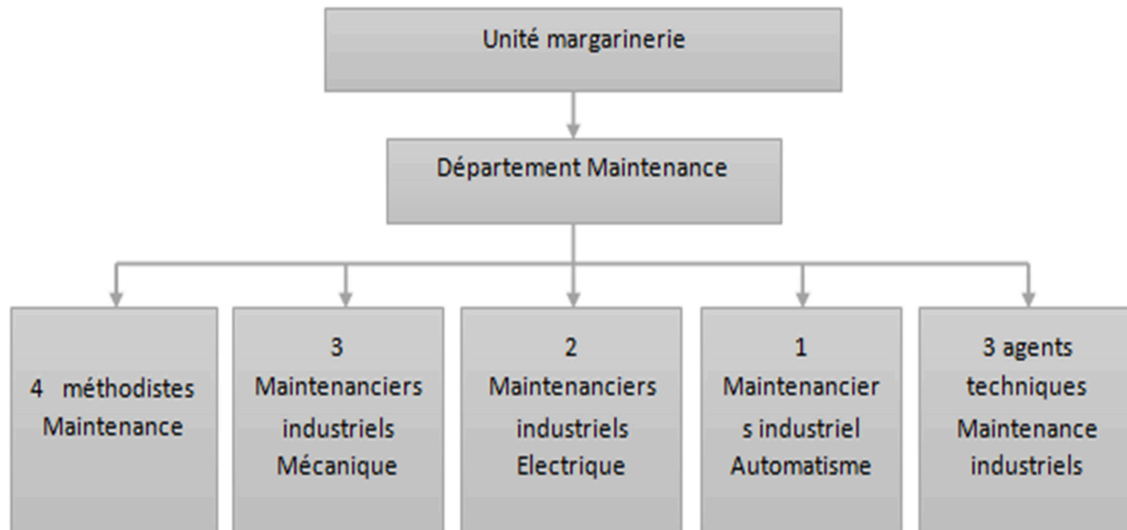


Figure IV.3 : organigramme maintenance

IV.2.11. La méthode AMDEC (FMECA)

L'AMDEC est une méthode rigoureuse et préventive visant à recenser les défaillances potentielles d'un système et/ou d'un élément. Il faut définir des actions pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et détecter et empêcher les causes. Cette méthode permet de structurer le processus du développement.

L'AMDEC est un outil qui consiste à prévoir pour ne pas être obligé de revoir. Il existe plusieurs sortes d'AMDEC : l'AMDEC du concept, produit, procédé, moyen, de la machine...etc. [20]

IV.2.11.1. les étapes de la méthodologie AMDEC

La méthodologie AMDEC à quatre grandes étapes :

- a) La réparation : étude des besoins et analyse fonctionnelle à travers un groupe de travail.
- b) L'analyse des défaillances : on obtient une liste des défaillances, de leurs causes et de leurs effets que l'on réunit sur une grille AMDEC adaptée.
- c) La réalisation de la grille AMDEC et cotation de la criticité : après avoir validé des grilles de criticité, le groupe évalue la criticité de chaque défaillance et hiérarchise ces défaillances.

- d) La réalisation et le suivi des actions : des actions sont menées pour diminuer la criticité des défaillances les plus critiques ; une nouvelle cotation est réalisée. [20]

IV.2.12. Objectifs d'analyse l'historique de pannes :

L'analyse de l'historique de pannes permet de déterminer les actions de maintenance préventive sur les matériels qui sont sujet aux pannes les plus récurrentes et celles qui causent le plus de conséquences en termes de fiabilité et de coût de maintenance, et dans le même ordre d'importance. [21]

IV.2.13. La loi de Pareto

La loi de Pareto a été inventée par un économiste Italien Vilfredo Pareto qui mit ce principe en évidence au début du 20^{ème} siècle en analysant les données fiscales de différents pays (Italie et autres pays d'Europe) en vue de connaître la répartition des richesses. Il constatera que 80% des richesses étaient détenues par 20% de la population. Cette loi peut s'appliquer à beaucoup de problèmes, c'est un outil simple et efficace de visualisation, d'analyse et d'aide à la prise de décision. [21]

IV.2.13.1. Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto est un histogramme particulier, un moyen simple pour classer les phénomènes par ordre d'importance dans une liste d'enregistrements, en comparant leur fréquence d'apparition.

La loi de Pareto ou encore règle des 80/20, est un phénomène empirique révélant que 80 % des effets sont le produit de 20 % des causes. Ce diagramme se représente sous forme d'un graphique représentant l'impact des causes sur un phénomène donné. [22]

IV.2.13.2. La méthode ABC

Reprenant le principe du diagramme de Pareto, la méthode ABC propose de distinguer trois classes A, B et C qui se distribuent de la manière suivante :

- Classe A : Les items accumulant 80% de l'effet observé.
- Classe B : Les items accumulant les 15% suivants.
- Classe C : Les items accumulant les 5% restants.

Dans le graphique ci-dessous, les deux premiers items accumulent 80% des effets, c'est la classe A.

Les quatre items suivants font monter les pourcentages cumulés à 95, soit à eux seuls 15%. Selon la convention, ils représentent la classe B.

Les quatre derniers items accumulent les cinq derniers pourcents, donc c'est la classe C [23]. La Figure IV.4 représente le diagramme de Pareto :

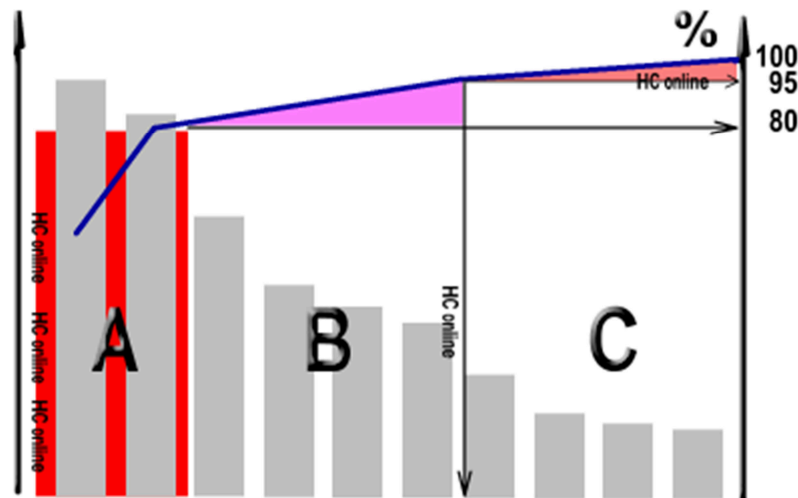


Figure IV.4 : diagramme de Pareto

IV.2.13.3. L'objectif de la loi :

La loi ABC a pour but de :

- Déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets.
- Diminution des coûts de la maintenance.
- Amélioration de la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

IV.2.13.4. La méthode pour construire un diagramme de Pareto

La loi de Pareto suppose obligatoirement que l'on est un historique de pannes, et la définition de l'objectif de l'étude et de ses limites, les éléments étudiés peuvent être des matériels, des causes de pannes, des natures de pannes... etc.

La mise en œuvre consiste à bâtir un graphique représentant un classement de données.

La démarche est la suivante :

- Définir le sujet à analyser.
- Préparation du tableau de données :
 1. Recense les données observées en ordre décroissant.
 2. Déterminer le pourcentage de chacune par rapport au total.
 3. Calculer le cumul des pourcentages.
- Représenter les données sous forme d'un graphe combiné (histogramme et courbe) [21].

IV.3. Étude de la FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)

IV.3.1. La fiabilité

IV.3.1.1. Définition

La fiabilité est définie comme étant la science des défaillances. Autrement-dit la probabilité pour une pièce primaire, un dispositif ou un équipement complet soit utilisé sans défaillance pendant une période de temps déterminée, dans des conditions opérationnelles spécifiées. La fiabilité s'exprime par une durée qui correspond au temps moyen entre deux pannes successives, ou MTBF (Temps Moyens du Bon Fonctionnement).

Ou bien aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné [24].

Le concept de fiabilité est de plus en plus utilisé dans le monde scientifique et technique. Il est souvent utilisé pour évaluer la durée de vie d'un composant, d'un Système simple ou complexe.

IV.3.1.2. Les principales fonctions

IV.3.1.2.1. Fonction de fiabilité et de répartition

La fonction de fiabilité $R(t)$, est définie comme étant la probabilité de fonctionnement sans défaillance pendant la période $[0, t]$. Et la fonction de répartition $F(t)$ représente la probabilité d'avoir au moins une défaillance avant le temps t [17].

$$R(t) = 1 - F(t) = P \quad (\text{IV.1})$$

P : La durée de vie du système.

IV.3.1.2.2. La densité de probabilité

La densité de probabilité $f(t)$ est la fonction dérivée de la fonction $F(t)$. Elle représente la probabilité de défaillance d'un élément à l'instant (t) [17].

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{IV.2})$$

La fonction de densité est donnée par la figure suivante :

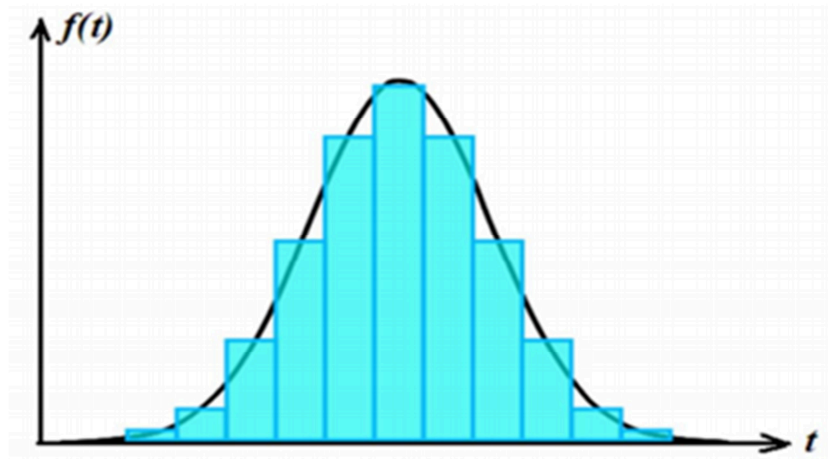


Figure IV.5 : La fonction densité de durée de vie d'un équipement [25]

IV.3.1.2.3. Taux de défaillance

Le taux de défaillance (de panne, de hasard ou de mortalité) $\lambda(t)$ instantané il est défini comme étant la probabilité conditionnelle que l'équipement tombe en panne entre l'instant t et $(t+dt)$ sachant qu'il a survécu jusqu'à l'instant t .

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{IV. 3})$$

La connaissance de $\lambda(t)$ permet de connaître $R(t)$ ou $F(t)$. En effet :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(u) du} \quad (\text{IV. 4})$$

Donc à partir de cette équation on peut dire que la fiabilité est une fonction décroissante de l'usage fait de l'équipement. Elle est reliée au taux de panne $\lambda(t)$ [24].

IV.3.1.3. Les différentes phases de cycle de vie d'un produit

La courbe en baignoire est définie par le taux de défaillance $\lambda(t)$, elle présente l'évolution du taux de panne en fonction de l'âge t du matériel. On y distingue trois périodes différentes selon l'âge du matériel (la période de jeunesse ; période de vie utile et la période de vieillissement).

Ces trois phases de la vie d'un dispositif sont communes en mécanique et en électronique, mais n'ont pas la même durée. De plus la période à taux de panne constant ne serait que la juxtaposition de la période de jeunesse avec celle de l'usure normale (vieillesse).

La figure IV.6 représente la courbe en baignoire :

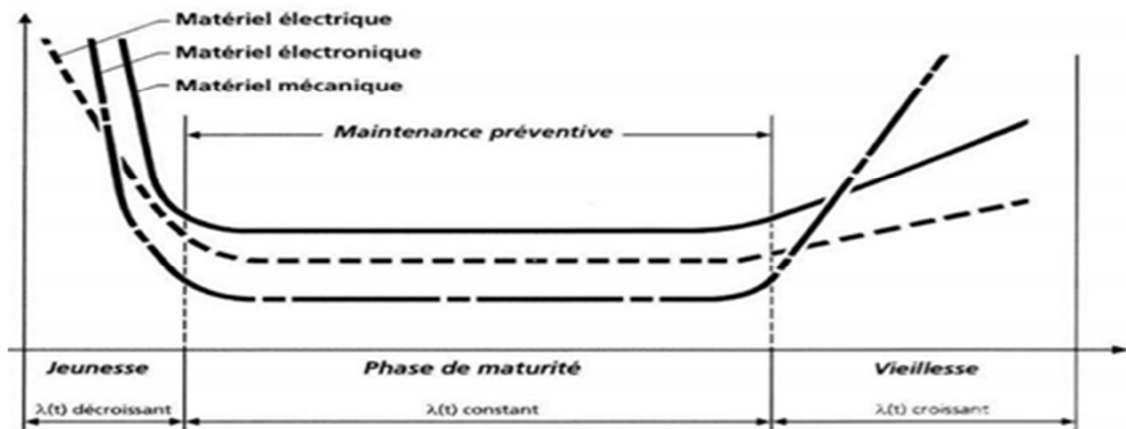


Figure IV.6 : Allure de l'évolution du taux de défaillance « courbe en baignoire » [19]

➤ Période de jeunesse

La période de jeunesse est dite aussi période de mortalité infantile ou période des défaillances précoces, se caractérise par un taux de panne relativement important, mais en décroissance, correspondant à l'élimination des défauts de jeunesse et de rodage.

➤ Période de vie utile (ou maturité)

La période de vie utile correspond à la maturité du matériel durant laquelle les défaillances sont aléatoires et le taux de défaillance sensiblement faible et constant. Les différents composants ont prouvé leur robustesse aux défauts de jeunesse, l'équipement est dans sa phase de maturité.

➤ Période de vieillesse (ou l'usure)

A cette période, le composant commence à vieillir et le taux de panne augmente en fonction du temps. Les données de fiabilité ou de mortalité des composants durant les différentes périodes sont fournies par des études statistiques. La forme caractéristique de cette courbe lui donne le nom "en baignoire" [26].

IV.3.1.4. Indicateurs de (MTBF) et (λ)

MTBF : c'est l'espérance mathématique de la valeur aléatoire t . Son expression est donnée par la relation suivante :

$$MTBF = MTTF = E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (IV.5)$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps.

$$MTBF = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement entre les défaillances}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement}} \quad (\text{IV. 6})$$

$$\text{Si } \lambda \text{ est constant : } \quad MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{IV. 7})$$

Précédemment le taux de défaillance $\lambda(t)$ a été défini par des expressions mathématiques à travers un calcul de probabilité. On peut également l'exprimer par une expression physique. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. La durée du bon fonctionnement est égale à la durée totale en service moins la durée des défaillances [24].

$$\lambda = \frac{\text{Nombre totale de défaillance pendant le service}}{\text{Durée totale de bon fonctionnement}} \quad (\text{IV. 8})$$

IV.3.1.5. Lois de fiabilité

IV.3.1.5.1. Les lois discrètes

Parmi les lois discrètes on peut citer :

La Loi Uniforme, loi de Bernoulli, loi Binomiale, loi binomiale négative, loi géométrique, loi Hypergéométrique et loi de poisson [27].

IV.3.1.5.2. Les lois continues

Les lois continues sont : Loi de Khi deux, loi de Birnbaum-Saunders, loi gamma, loi inverse gamma, loi logistique, loi log-logistique, loi de Cauchy, loi de Student, loi Bêta, loi exponentielle, loi de Fisher, loi normal, loi log-normal et loi de weibull.

Les lois les plus utilisées pour étudier la fiabilité sont la loi exponentielle et la loi de weibull [24]. Nous nous intéresserons dans ce mémoire par la loi de Weibull.

IV.3.1.6. La loi exponentielle :

La loi exponentielle est la loi suivie par la variable aléatoire T lorsque le taux d'avarie est constant.

Les caractéristiques d'une variable aléatoire T distribuées suivant une loi exponentielle sont [28] :

IV.3.1.6.1. Fonction de défaillance

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{IV.9})$$

IV.3.1.6.2. La fonction de fiabilité

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{IV.10})$$

IV.3.1.6.3. Densité de probabilité

$$f(t) = \lambda * R(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{IV.11})$$

Figure IV.7 représente la fonction de densité de probabilité :

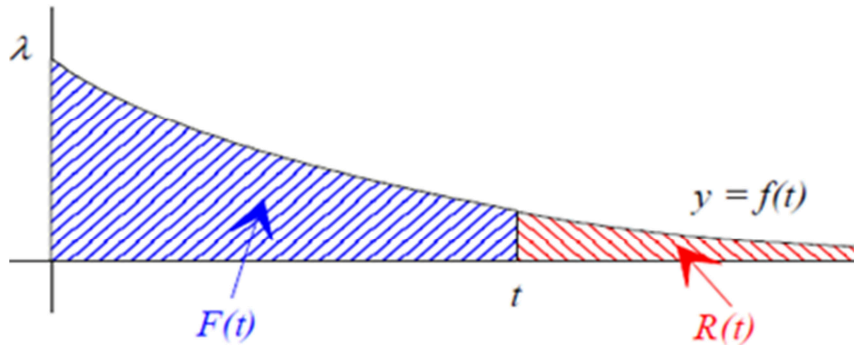


Figure IV.7 : fonction de densité de probabilité – loi exponentielle

IV.3.1.6.4. Le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{constant} \quad (\text{IV.12})$$

IV.3.1.7. Analyse de la fiabilité à partir du modèle de weibull

Weibull a choisi une loi sous forme de puissance avec trois (3) paramètres qui permettent d'obtenir les diverses situations : décroissante, constante et croissante. Elle couvre un grand nombre de distribution et permet notamment de modéliser alternativement les trois phases de la vie d'un dispositif [28].

On dit que la variable aléatoire T suit la loi de weibull lorsque son taux d'avarie est [17] :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad t > \gamma \quad (\text{IV.13})$$

γ, β et η Sont les paramètres de weibull (des constants). Avec $\beta > 0, \eta > 0$.

γ : Est le paramètre de repérage qui fixe l'instant à partir duquel on étudie la fiabilité.

Si $\gamma = 0$: on étudie la fiabilité dès la première utilisation de la machine.

Si $\gamma > 0$: on étudie la fiabilité en certain temps après la première utilisation de la machine.

Conséquences : on trouve pour $t \geq \gamma$:

IV.3.1.7.1. Fonction de fiabilité

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad t \geq \gamma \quad (\text{IV.14})$$

IV.3.1.7.2. Fonction de défaillance

$$F(t) = 1 - R(t) \quad t \geq \gamma \quad (\text{IV.15})$$

IV.3.1.7.3. Densité de probabilité

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta} \right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} * R(t) = \left(\frac{\beta}{\eta} \right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} * \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad t \geq \gamma \quad (\text{IV.16})$$

* β est le paramètre de forme. Il est le plus important car il influe sur la variation du taux de défaillance et permet ainsi de modéliser alternativement les trois phases de la courbe en baignoire [27].

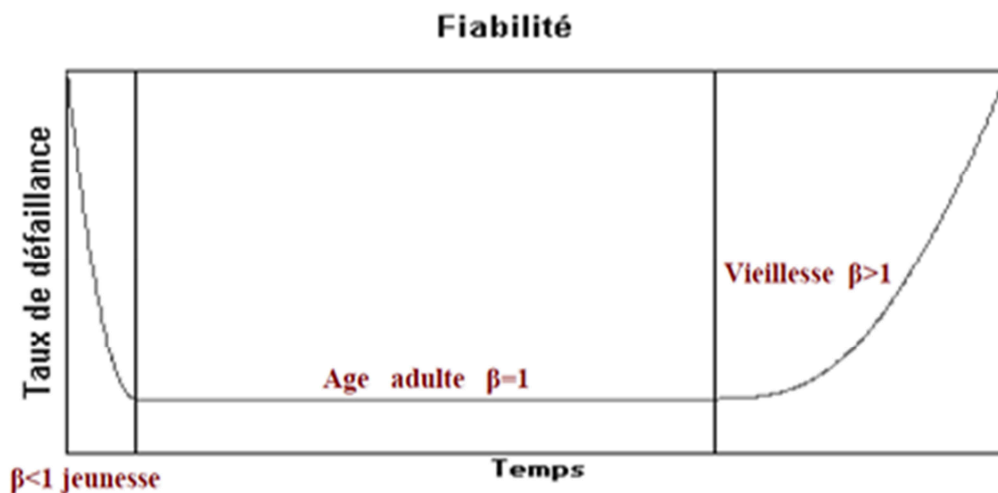


Figure IV.8 : Variation de l'évolution du taux instantané en fonction de β – loi de weibull

IV.3.1.8. Signification des paramètres de fiabilité de « weibull »

➤ Paramètre de forme β :

Le paramètre β est un nombre sans dimension, il définit l'allure de la distribution de weibull.

Si $\beta < 1$, le taux de défaillance décroît, donc le dispositif est en rodage.

Si $\beta = 1$, le taux de panne est constant, le dispositif est en vie utile, on retrouve la loi exponentielle.

Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant. Pour améliorer la fiabilité on procède à des améliorations de construction ou on pratique une politique de maintenance préventive plus rigoureuse.

Si $1 < \beta < 2$, le taux de défaillance fort au début et faible ensuite.

Si $\beta = 2$ le taux de défaillance est linéaire.

Si $\beta > 2$ le taux de défaillance croît faiblement au départ mais plus fortement à la fin.

Si $\beta \rightarrow 3,6$, la loi de weibull à une allure voisine mais distincte de la loi normale.

Les graphes ci-dessous montrent le polymorphisme de la loi de « weibull » sous l'influence du paramètre de $\beta (\eta = 1, \gamma = 0)$ [14] :

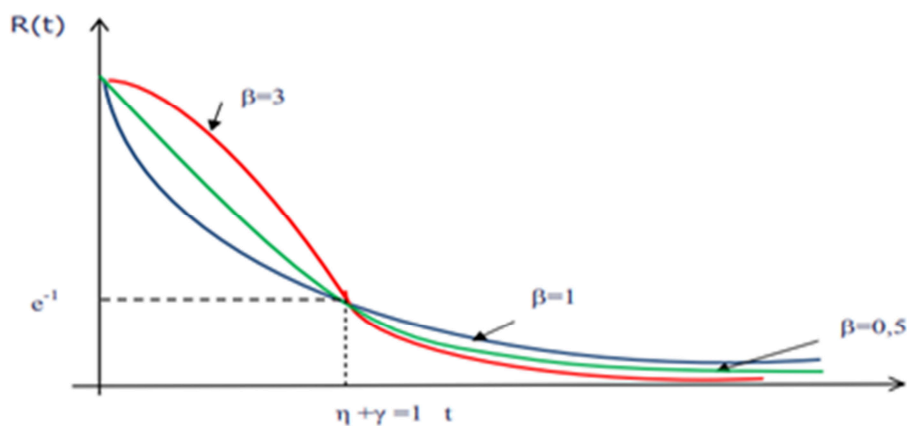


Figure IV.9 : influence du facteur de forme β sur la courbe de fiabilité [19]

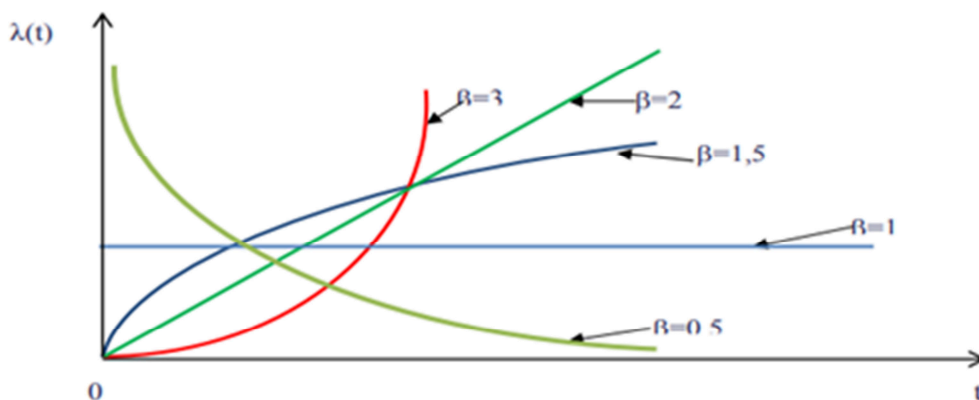


Figure IV.10 : influence du facteur de forme β sur la courbe de taux de défaillance [19]

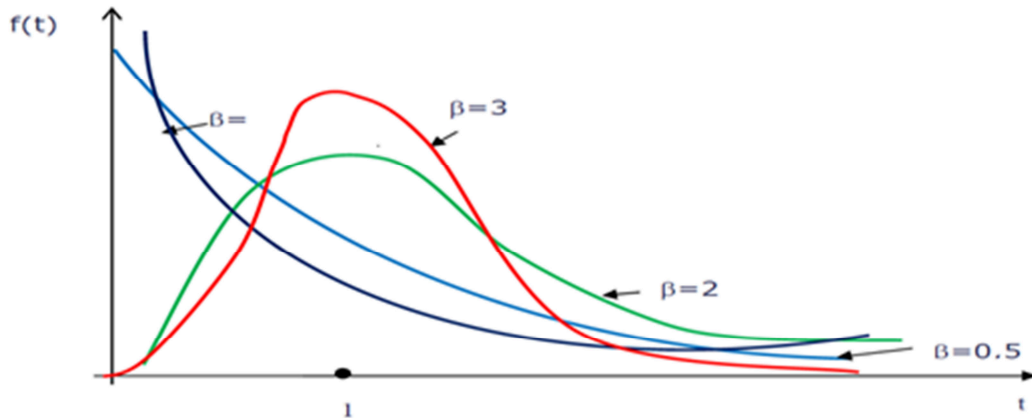


Figure IV.11 : influence du facteur de forme β sur la courbe de densité de probabilité [19]

➤ **Paramètre d'échelle η :**

η : est un simple paramètre d'échelle de temps appelé aussi durée de vie caractéristique. Lorsque $-\gamma = \eta$, alors $F(t) = 63\%$, (fonction de défaillance) [17].

➤ **Paramètre de localisation (position) :** $(-\infty < \gamma < +\infty)$

Le paramètre de localisation nommé parfois paramètre de décalage ou de position il s'exprime en unité de temps. IL indique la date de l'apparition du mode défaillance caractérisé par β .

Remarque : souvent on choisit $\gamma = 0$ et la loi de weibull est ramenée à deux paramètres.

Pour calculer le MTBF et les paramètres β, η, γ par le modèle de weibull, voici les expressions correspondantes suivant le nombre d'échantillons N [18].

Si $N < 20$, méthode des rangs médians :

$$F(t_i) = \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \quad (\text{IV. 17})$$

Si $N \geq 20$, méthode des rangs moyens :

$$F(t_i) = \frac{i}{N + 1} \quad (\text{IV. 18})$$

$$\text{MTBF}_w = A * \eta + \gamma \quad (\text{IV. 19})$$

MTBF_w : le temps moyen de bon fonctionnement réel (weibull).

L'écart type σ :

$$\sigma = B * \eta \quad (\text{IV. 20})$$

Remarque : A et B sont déterminé à partir de la table de weibull pour une valeur de β (voir l'annexe B) ce qui confirme l'influence de ce paramètre de forme β .

IV.3.1.9. Échelles utilisées sur le papier de Weibull :

- L'axe horizontal « A1 » est l'axe des temps sur lequel on porte les valeurs (t_i) des durées de fonctionnement.
- L'axe vertical « B1 » sur lequel on porte les valeurs "F(t)" calculées par approximation.
- L'axe « a' » correspond à "ln t" (horizontal) partie supérieure.
- L'axe « b' » correspond à l'axe « B1 » correspond " $\ln \ln(\frac{t}{1-F(t)})$ ". Cet axe permettra d'évaluer la valeur de(β) [27].

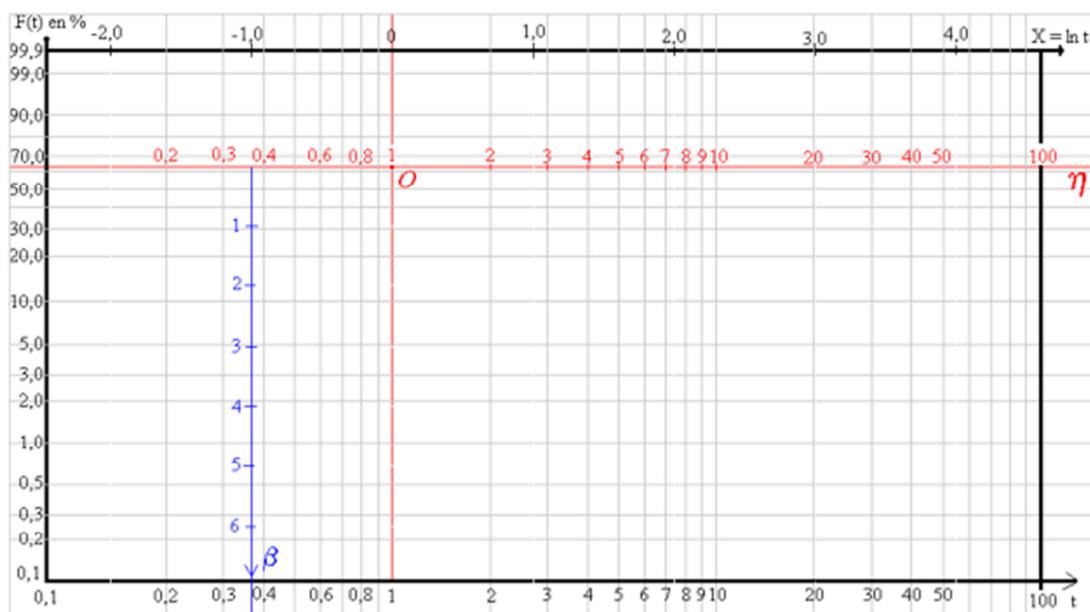


Figure IV.12 : papier de weibull

IV.3.1.10. Utilisation du Papier graphique weibull « d'Allan plait » :

Le papier de weibull sert à déterminer les paramètres de la loi, dans le cas où :

- **Distribution linéaire $\gamma = 0$** : on dit que c'est une distribution linéaire lorsque les nuages des points (t_i ; $f(t_i)$) sont sous forme d'une droite.

Et pour déterminer les deux autres paramètres voici la démarche :

- η : L'intersection de la droite avec l'axe horizontal (a').
- β : L'intersection de la droite avec l'axe vertical (b') après la translation en parallèle de la droite passant obligatoirement par l'origine(O).

En effet, la fonction de répartition associée à cette loi de weibull de paramètres β , η et $\gamma = 0$ comme suite [27] :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{IV. 21})$$

$$\Rightarrow \ln \ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right) = \ln\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) = \beta \ln t - \beta \ln \eta = \beta(\ln t - \ln \eta) \quad (\text{IV. 22})$$

En pose : $\ln t = X$; $\ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = Y$;

$$\Rightarrow Y = \beta X - \beta \ln \eta \quad (\text{IV. 23})$$

En pose aussi : $\beta = A$; $\beta \ln \eta = B$

$$\Rightarrow Y = AX + B \quad (\text{équation d'une droite}).$$

IV.3.1.10.2 Distribution non linéaire $\gamma \neq 0$

Les nuages des points $(t_i ; F(t_i))$ correspondent à une courbe ($\gamma \neq 0$), donc la détermination des paramètres de weibull sera un peu compliquée. Mais l'objectif sera toujours le même c'est-à-dire on essaye de redresser la courbe à une droite pour faciliter la tâche. Dans les deux formes on cherche toujours à déterminer le paramètre(γ).

➤ Ajustement du nuage de points par une courbe concave $\gamma < 0$

On obtient sur papier de Weibull une courbe tournée vers le haut. Une translation des points de la courbe d'une valeur de (γ) vers la droite redresse la courbe [19].

Le cas où le paramètre est déterminé à partir de cette formule :

$$\gamma = X_{\text{moy}} * \frac{(X_{\text{max}} - X_{\text{moy}})(X_{\text{moy}} - X_{\text{min}})}{(X_{\text{max}} - X_{\text{moy}}) - (X_{\text{moy}} - X_{\text{min}})} \quad (\text{IV. 24})$$

$$X_{\text{moy}} = t_2$$

$$X_{\text{max}} = t_3$$

$$X_{\text{min}} = t_1$$

t_1 , t_2 et t_3 sont présentés dans la figure IV.13 :

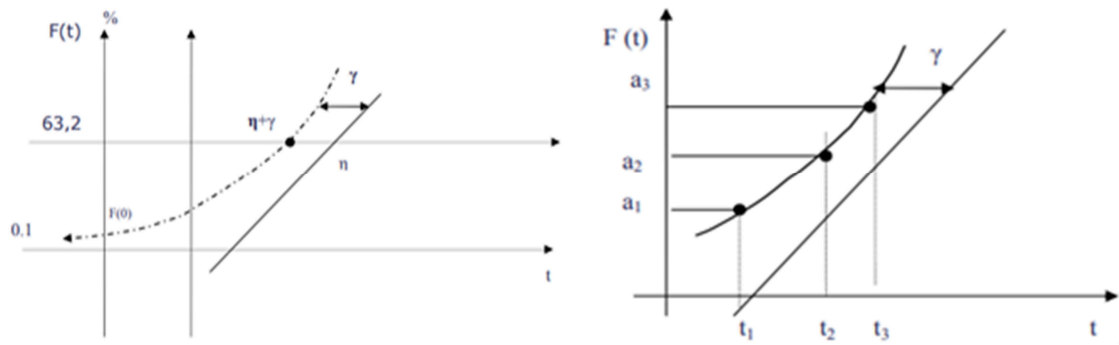


Figure IV.13 : redressement de la courbe concave [19]

➤ **Ajustement du nuage de points par une courbe convexe $\gamma > 0$**

Le paramètre η peut le déterminer directement à partir de l'asymptote de la courbe comme le montre la figure ci-dessous :

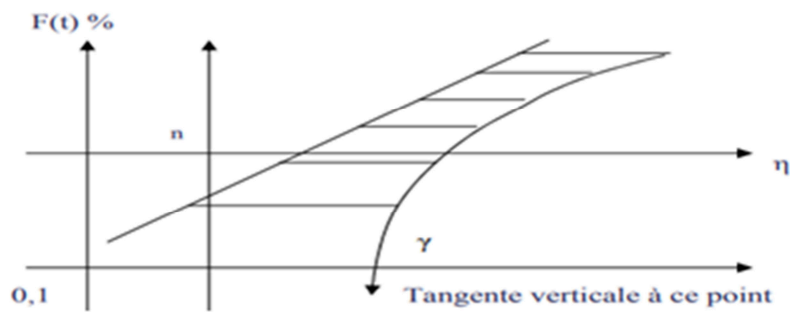


Figure IV.14 : redressement de la courbe convexe

Après avoir déterminé ce paramètre on calcule les nouveaux temps corrigés (TBFc), comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 : les nouveaux TBFic après détermination le paramètre γ

Ordre i	TBFi	$TBFic = TBFi + \gamma$ $\gamma < 0$	$TBFic = TBFi - \gamma$ $\gamma > 0$	F(ti)
1	/	/	/	/
2	/	/	/	/
N	/	/	/	/

Après on trace le graphe $F(ti) = f(TBFic)$. Et si on n'arrive pas à avoir une droite on refait la même démarche jusqu'à ce qu'on atteigne notre objectif.

Remarque : une fois on est arrivé à avoir une droite, la valeur c 'est celle qu'on a déterminé à partir des courbes précédentes (tout dépend de la forme), et pour les deux autres paramètres c 'est la même démarche que celle qu'on a définie au par-avant.

IV.3.2. La maintenabilité

IV.3.2.1. Définition

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bonne état de fonctionnement, cette notion ne peut s'appliquer que sur du matériel maintenable, donc réparable.

IV.3.2.2. Critères de maintenabilité

➤ **Indicateur de compétence MTTR et μ :**

La maintenabilité peut s'exprimer à l'aide du **MTTR** (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation, et le taux de réparation μ .

$$\text{MTTR} = \frac{\text{la somme des temps de réparations}}{\text{nombre de réparations}} \quad (\text{IV. 25})$$

MTTR : le Temps Moyens de Réparation

La figure ci-dessous (cycle de fonctionnement) schématise les états successifs que peut prendre un système réparable :

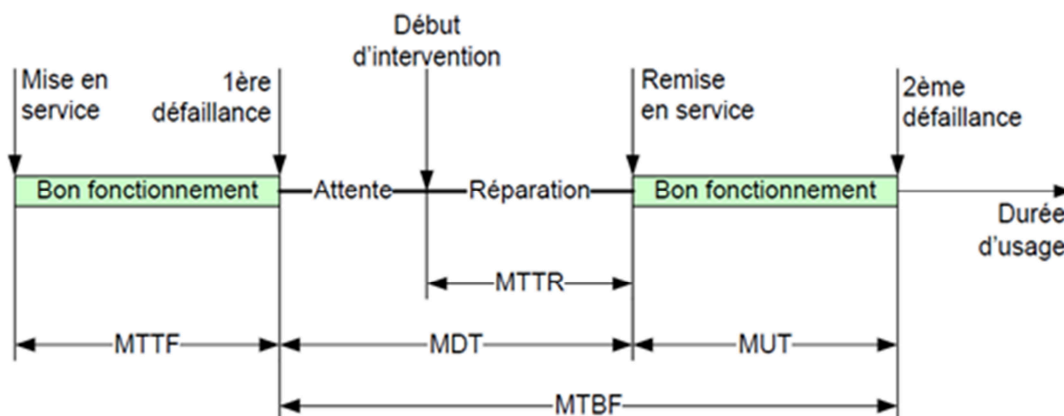


Figure IV.15 : Cycle de fonctionnement d'un système réparable [27]

La vie utile d'un composant comporte des cycles de fonctionnement. Au cours d'un cycle, l'état du composant passe de l'état en fonction à l'état hors d'usage. Ce cycle est composé de la moyenne du temps du bon fonctionnement (MTBF) qui comporte la moyenne de temps de fonctionnement MUT (Mean Up Time) et la MDT (Mean Down Time) qui est la moyenne de temps de panne. Cette dernière est composée de la moyenne de temps technique de réparation (MTTR) [27].

IV.3.2.3. Relations générales

IV.3.2.3.1. Maintenabilité

La maintenabilité $M(t)$ est la probabilité de durée d'une réparation, elle est définie par la fonction suivante

$$M(t) = \int_0^t g(t)dt = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t)dt} \quad (IV.26)$$

Si μ est constant (loi exponentielle) alors :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (IV.27)$$

IV.3.2.3.2. Temps moyens de réparation (MTTR)

$$MTTR = \int_{-\infty}^{+\infty} t * g(t)dt \quad (IV.28)$$

Si μ est constant (loi exponentielle) alors :

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (IV.29)$$

IV.3.2.3.3. Taux de réparation $\mu(t)$

Le taux de réparation est souvent considéré comme constant dans les études de disponibilité :

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)} \quad (IV.30)$$

$$g(t) = \mu(t) * e^{-\int_0^t \mu(t)dt} \quad (IV.31)$$

Si μ est constant (loi exponentielle) alors :

$$g(t) = \mu * e^{-\mu t} \quad (IV.32)$$

Donc après ces équations précédentes en trouve une très forte analogie entre les notions de fiabilité λ , $R(t)$, MTBF et $f(t)$ respectivement avec celles de maintenabilité μ , $M(t)$, MTTR et $g(t)$ [14]. Le tableau IV.2 montre cette analogie :

Tableau IV.2 : Analogie des analyses de fiabilité et de maintenabilité [27]

<u>MAINTENABILITE</u>	<u>FIABILITE</u>
Probabilité de « durée de réparation »	Probabilité « durée de bon fonctionnement »
Variable aléatoire : temps de réparation	Variable aléatoire : temps de fonctionnement
Maintenabilité : $M(t) = \int_0^t g(t)dt = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t)dt}$	Fiabilité : $R(t) = \int_t^{+\infty} f(t)dt = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$
Taux de réparation : $\mu(t)dt = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$ MTTR= Mean Time To Repair: $MTTR = \int_0^{+\infty} t * g(t)dt$	Taux de défaillance : $\lambda(t)dt = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$ MTBF: Mean Time Between Failures: $MTBF = \int_0^{+\infty} t * f(t)dt = \int_0^{+\infty} R(t)dt$
Relation fondamentale : $g(t) = \mu(t) * e^{-\int_0^t \mu(t)dt}$	Relation fondamentale : $f(t) = \lambda(t) * e^{\int_0^t \lambda(t)dt}$
Applications : systèmes réparables	Applications : systèmes réparables ou non

IV.3.2.4. Amélioration de la maintenabilité

L'amélioration de la maintenabilité passe par :

- Le développant des documents d'aide à l'intervention.
- L'aptitude de la machine au démontage (modification risquant de coûter chère).
- L'accessibilité.
- La facilité de remplacement.
- L'aide au diagnostic.
- Disponibilité de la documentation tenue à jour du matériel [12].

IV.3.3. La disponibilité

IV.3.3.1. Définition

La disponibilité est « l'aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées ».

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production,
- Être rapidement remis en état s'il est défaillant [12].

Comme on peut définir l'indisponibilité :

Indisponibilité : l'indisponibilité du dispositif est le contraire de la disponibilité, elle est définie par :

$$\text{Indisponibilité} = 1 - \text{Disponibilité} = 1 - D \quad (\text{IV.33})$$

IV.3.3.2. Types de disponibilité

Il en existe plusieurs mais les deux plus communément utilisés sont :

IV.3.3.2.1. Disponibilité intrinsèque (ou asymptotique) D_i

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes du bon fonctionnement et les moyennes de réparation, ce qui donne [12] :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (\text{IV.34})$$

Où

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1/\lambda}{1/\lambda + 1/\mu} = \frac{1/\lambda}{\lambda + \mu/\lambda * \mu} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (\text{IV.35})$$

IV.3.3.2.2. Disponibilité opérationnelle D_o

Probabilité qu'un système ou un équipement fonctionne de façon satisfaisante à tout instant durant le temps d'utilisation opérationnelle, dans des conditions déterminées le temps comprend le temps de fonctionnement, le temps de maintenance corrective ou préventive et le détail aussi bien administratif que logistique. Réf mémoire choix d'une politique de maintenance par la fiabilité opérationnelle pour le complexe ceval.

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL} = \frac{\mu}{\mu + \lambda + MTL} \quad (\text{IV.36})$$

MTL=Moyens des Temps Logistique.

IV.3.3.2.3. Disponibilité instantanée

Pour un système avec l'hypothèse d'un taux de défaillance λ constante et d'un taux de réparation μ constant, la disponibilité instantanée est [12]:

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (\text{IV.37})$$

La disponibilité liée aux notions de la fiabilité et de la maintenabilité.

Pour augmenter la disponibilité on passe par :

- L'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité).
- La notion de le MTTR (action sur la maintenabilité) [29].

IV.4. Relations entre la fiabilité, maintenabilité et disponibilité

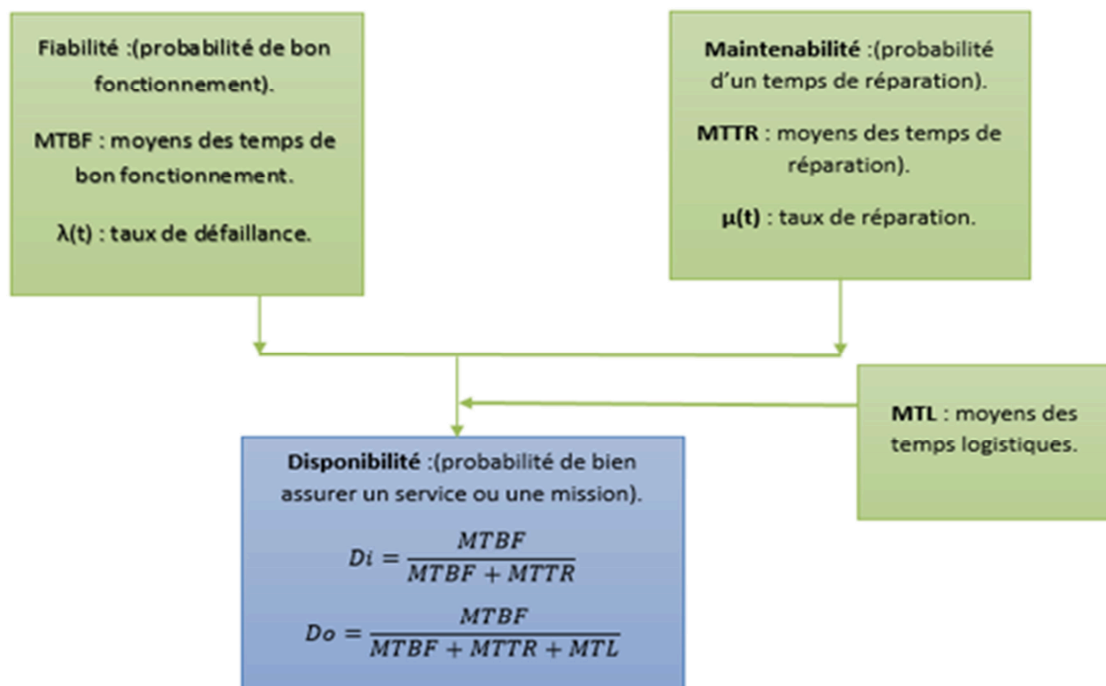


Figure IV.16 : fiabilité, maintenabilité et disponibilité

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons entamé l'analyse des différentes lois de probabilité utilisées en fiabilité dans le domaine maintenance en particulier la loi exponentielle qui est le modèle de base des composants électroniques, et la loi de weibull qui représente bien la fiabilité des composants mécanique dans les diverses périodes de fonctionnement. Ainsi les différentes lois et méthodes exploitées dans la politique maintenance dont l'objectif est d'analyser et de recenser les défaillances d'un système ou d'un élément afin de minimiser les coûts de maintenance.

V.1. Introduction

Ce chapitre présente l'étude de la fiabilité du convoyeur à chaîne à palettes au niveau de l'unité margarinerie au sein du complexe Cevital.

Cette étude comporte 4 parties :

1. La première partie concerne les données recueillies au sein du service de maintenance.
2. La deuxième partie consiste à l'analyse de Pareto (analyse ABC) dont le but de déterminer les actions de maintenance préventives sur le matériel qui est sujet aux pannes les plus récurrentes et celles qui causent le plus de conséquences en terme de fiabilité et du coût de maintenance.
3. La troisième partie concerne la modélisation paramétrique (weibull) de la fiabilité de ce convoyeur et le test de KOLMOGOROV SMIRNOV pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé.
4. La quatrième partie est consacrée sur la maintenabilité et la disponibilité du convoyeur à chaîne à palettes.

V.2. Exploitation de l'historique des pannes

L'historique des pannes du convoyeur à chaîne à palettes est résumé sur le tableau suivant.

Tableau V.1 : Dossier historique du convoyeur à chaîne à palettes

Données					
Rang	Catégories des pannes	Temps d'arrêts (h) TA	Temps d'attente (h) Ta	Temps de bon fonctionnement (h) TBF	La date
1	Rupture de la chaîne convoyeuse	0.25	0.05	23.75	17/01/2018
2	Problème de poids	0.8	0.2	22.5	16/01/2018
3	Problème tapis (tourneur)	11.69	1	12.31	14/03/2018
4	Vitesse réduite	8.62	0.6	15.38	27/01/2018
5	Décalage plaque chaîne	7.46	0.5	16.54	22/03/2018

6	Changement câble et photocellule	1.5	0.3	20	12/01/2018
7	Roue d'entraînement cassé	4.38	0.4	19.62	14/02/2018
8	Problème électrique	2.77	0.15	19.23	27/03/2018
9	Nettoyage tapis	0.25	0.1	23.75	13/01/2018
10	Coupure électrique	6.69	0.9	17.31	04/03/2018
11	Réglage détecteur barquettes	2.5	0.25	20	12/01/2018
12	Manque de graisse	0.7	0.05	22.5	16/01/2018
13	Intervention maintenance pour améliorer le rendement	2	0.1	19.23	27/03/2018
14	Défaillance photocellule	5.15	0.8	18.85	19/01/2018
15	Défaut capteur de présence barquettes	3.37	0.16	20.63	11/01/2018
16	Nettoyage après écrasement	2.75	0.2	21.25	09/03/2018
17	Cadence réduite	10.15	1.5	13.85	09/01/2018
18	Ecrasement de barquettes	0.87	0.03	23.13	17/01/2018
19	Guide L4	5.54	0.04	18.46	13/03/2018

V.3. Application pratique des méthodes d'analyse

V.3.1. Méthodes d'analyse prévisionnelle ABC (Pareto)

Pour les besoins de l'application de la loi, nous avons procédé à un classement des temps d'arrêts du convoyeur par rapport à leur type de pannes. Elle donne des priorités sur les interventions enregistrées durant les trois premiers mois de l'année 2018.

Pour la maintenance du convoyeur, la méthode ABC permet de classer les éléments de ce dernier selon leur défaillance en trois zones.

Les éléments appartenant à la zone A seront prépondérants, ceux de la zone B devront faire l'objet d'études moins approfondies, alors que ceux de la zone C feront principalement l'objet d'une politique de maintenance corrective.

D'après le tableau V.2, on peut appliquer la démarche citée dans le chapitre précédent pour faire notre analyse.

Les résultats du traitement sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.2: Résultats de l'analyse de Pareto (ABC)

Catégories des pannes	TA (h)	TA %	Cumul des %TA	Cumule des TA	% cumule des TA	ABC	Rang en %
Problème tapis (tourneur)	11,69	15,10	15,1	11,69	15,10	A	5,26
Cadence réduite	10,15	13,11	28,21	21,84	28,20	A	10,53
Vitesse réduite	8,62	11,13	39,34	30,46	39,33	A	15,79
Décalage plaque chaîne	7,46	9,63	48,97	37,92	48,97	A	21,05
Coupure électrique	6,69	8,64	57,61	44,61	57,61	A	26,32
Guide L4	5,54	7,15	64,76	50,15	64,76	A	31,58
Défaillance photocellule	5,15	6,65	71,41	55,3	71,41	A	36,84
Roue d'entraînement cassée	4,38	5,66	77,07	59,68	77,07	A	42,11
Défaut capteur de présence barquettes	3,37	4,35	81,42	63,05	81,42	B	47,37
Problème électrique	2,77	3,58	85,00	65,82	84,99	B	52,63

Nettoyage après écrasement	2,75	3,55	88,55	68,57	88,55	B	57,89
Réglage détecteur barquettes	2,5	3,23	91,78	71,07	91,77	B	63,16
Intervention maintenance pour améliorer le rendement	2	2,58	94,36	73,07	94,36	B	68,42
Changement câble et photocellule	1,5	1,94	96,30	74,57	96,29	C	73,68
Écrasement barquettes	0,87	1,12	97,42	75,44	97,42	C	78,95
Problème de poids	0,8	1,03	98,45	76,24	98,45	C	84,21
Manque de graisse	0,7	0,90	99,36	76,94	99,35	C	89,47
Rupture de la chaîne convoyeuse	0,25	0,32	99,68	77,19	99,68	C	94,74
Nettoyage tapis	0,25	0,32	100,00	77,44	100,00	C	100,00
Total	77,44	100,00					

D'après ces calculs on constate que le tapis tourneur présente la panne la plus longue du temps d'arrêt par rapport aux autres pannes, ce qui nécessite une surveillance spécifique.

Les figures (V.1) et (V.2) présentent respectivement le diagramme de Pareto et la courbe ABC :

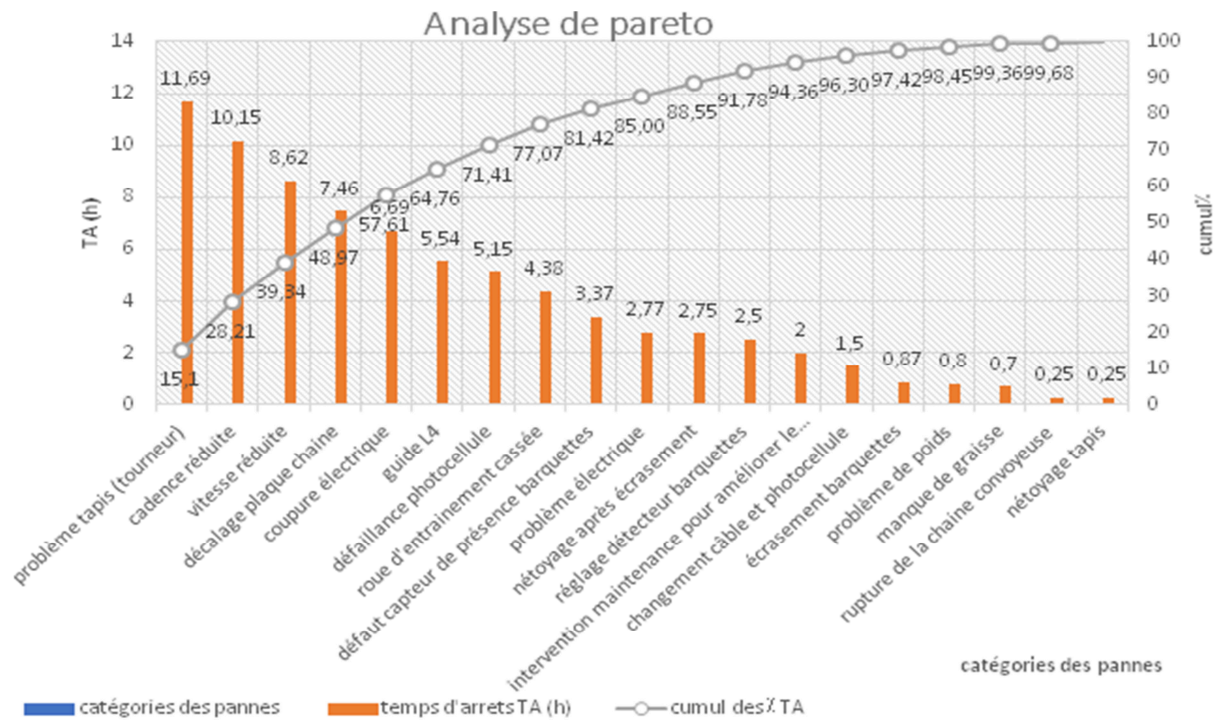


Figure V.1 : Graphe de l'analyse de Pareto

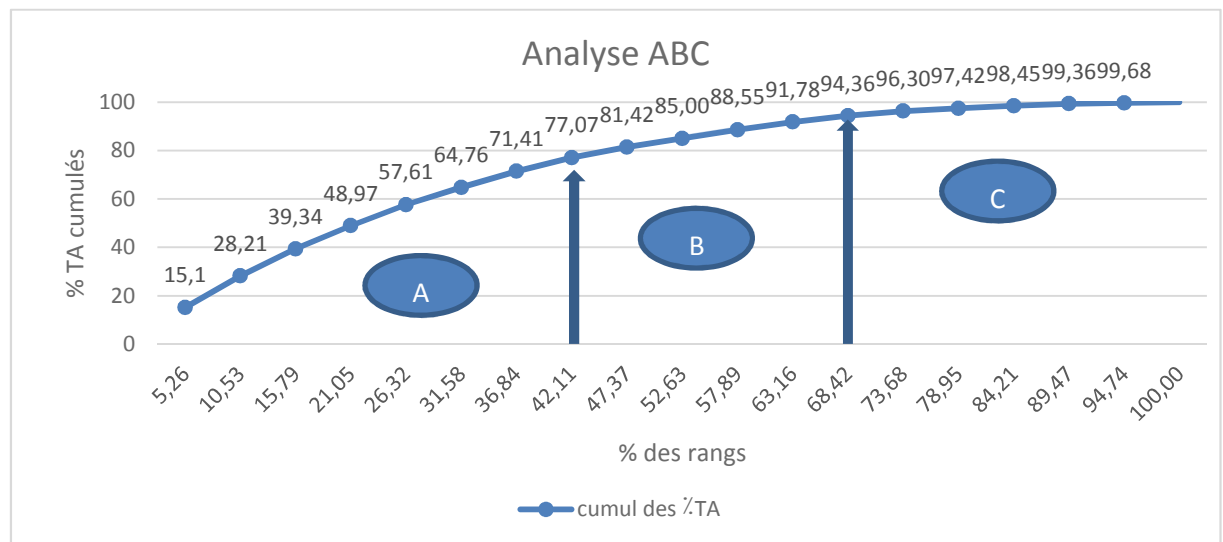


Figure V.2 : la courbe d'analyse ABC

Remarque :

1. La détermination des zones A, B et C se fait à partir de deux démarches identiques : Les cumuls des % TA Ou bien à partir les % cumuls des TA.
2. Le classement des temps d'arrêts obligatoirement en ordre décroissant.

3. Représentation graphique combiné :
 - En abscisse : les types de pannes suivant la valeur décroissante des heures d'arrêts qui leur sont affectées.
 - En ordonné principale : les temps d'arrêts en ordre décroissant.
 - En ordonné secondaire : les % des TA cumulés.
4. Représentation la courbe ABC :
 - En abscisse : les % des rangs, et en ordonné : les % des TA cumulés.
- **Interprétation de la courbe :**
 - Zone A : 42.11% des rangs représentent 77.07% des heures d'arrêts (pannes). C'est dans cette zone qu'il faut agir en priorité. Il serait bon d'intensifier la maintenance préventive, et voir éventuellement pour une maintenance améliorative.
 - Zone B : 26.31% des rangs représentent 17.29% des heures d'arrêts. Il faut relever le niveau de la maintenance préventive.
 - Zone C : 31.58% des rangs représentent 5.64% des heures d'arrêts. On peut considérer que ces composantes sont fiables et que la maintenance adoptée pour ce système est correcte.

V.3.2. Etude du modèle de Weibull

V.3.2.1. détermination des paramètres de weibull

V.3.2.1.1. Méthodologie de l'analyse de fiabilité

- Préparation des données
- Tracé du nuage des points ($t_i, F_i(t_i)$).
- Tracé de la courbe dite de " Weibull".
- Déterminations des valeurs des trois paramètres β, η et γ .
- Équation de la loi de "Weibull" (représentation graphique)
- Détermination de la " MTBFw"
- Exploitation des résultats.

Pour l'application de cette méthodologie on utilisant les données du (Tableau V.1).

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les $F(t_i)$ calculés par la méthode des rangs médians. Et on trace la courbe de weibull.

$$F(t_i) = (i-0.3)/(N+0.4)$$

Dans notre cas $N = 19 \leq 20$

Tableau V.3 : la fonction de répartition réelle

Ordre i	TBF=ti	Ni	$\sum ni$	F(ti)	F(ti) %
1	12.31	1	1	0.0361	3.61
2	13.85	1	2	0.0876	8.76
3	15.38	1	3	0.1392	13.92
4	16.54	1	4	0.1907	19.07
5	17.31	1	5	0.2423	24.23
6	18.46	1	6	0.2938	29.38
7	18.85	1	7	0.3454	34.54
8	19.23	2	9	0.3969	39.69
9	19.23	2	11	0.4485	44.85
10	19.62	1	12	0.5	50
11	20	2	14	0.5515	55.15
12	20	2	16	0.6031	60.31
13	20.63	1	17	0.6546	65.46
14	21.25	1	18	0.7062	70.62
15	22.5	2	20	0.7577	75.77
16	22.5	2	22	0.8093	80.93
17	23.13	1	23	0.8608	86.08
18	23.75	2	25	0.9124	91.24
19	23.75	2	27	0.9639	96.39

La figure V.3 représente le papier de weibull :

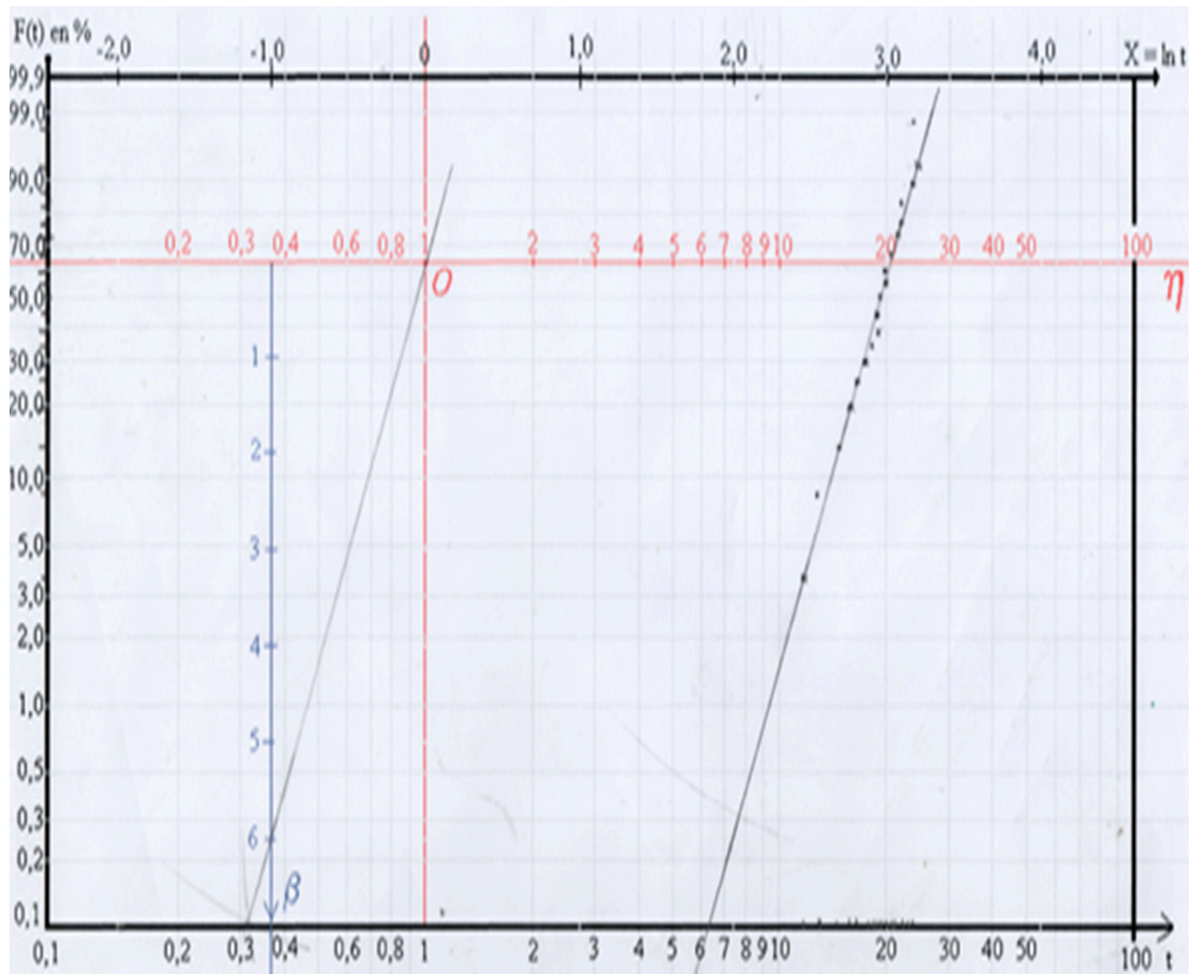


Figure V.3 : Papier de weibull

A partir du papier de weibull « d'Allen plait », (figure V.3) :

$\beta=6$; $\eta = 20.625$; $\gamma = 0$ (la courbe est une droite donc $\gamma = 0$)

A partir de ces résultats et d'après la courbe de baignoire, $\beta>1$, le convoyeur est en période de vieillissement.

V.3.2.2. Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

Avant la validation de toutes les lois de fiabilité, il est nécessaire de tester l'hypothèse pour savoir si nous devons accepter ou rejeter le modèle proposé par le test de K-S avec un seuil de confiance de $\alpha= 5\%$. Ce test consiste à calculer l'écart point par point entre la fonction théorique $F(t)$ et la fonction réelle $F(t_i)$ obtenue par la méthode des rangs médiane set, on prend le maximum en valeur absolue $Dn.max$.

Cette valeur est comparée avec $Dn.\alpha$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov (voir annexe C). Si $Dn.max. > Dn.\alpha$ On refuse l'hypothèse du modèle. [12]

Tableau V.4: Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV

Ordre i	TBF	F(ti)	F(t)	Dn.max= F(ti) – F(t)
1	12.31	0.0361	0.0442	0.0081
2	13.85	0.0876	0.0876	0
3	15.38	0.1392	0.1580	0.0188
4	16.54	0.1907	0.2335	0.0428
5	17.31	0.2423	0.2949	0.0526
6	18.46	0.2938	0.4019	0.1081
7	18.85	0.3454	0.4417	0.0963
8	19.23	0.3969	0.4816	0.0847
9	19.23	0.4485	0.4816	0.0331
10	19.62	0.5	0.5234	0.0234
11	20	0.5515	0.5646	0.0131
12	20	0.6031	0.5646	0.0385
13	20.63	0.6546	0.6327	0.0219
14	21.25	0.7062	0.6976	0.0086
15	22.5	0.7577	0.8147	0.057
16	22.5	0.8093	0.8147	0.0054
17	23.13	0.8608	0.8632	0.0024
18	23.75	0.9124	0.9028	0.0096
19	23.75	0.9639	0.9028	0.0611

D'après le Tableau V.4 nous avons :

$$Dn.max = |F(t_i) - F(t)| = 0.1081$$

Et d'après la table de K-S (Annexe C) : $D_{19} ; 0.05 = 0.301$

Donc : $Dn.max < Dn,\alpha \Rightarrow$ l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

A partir des paramètres de Weibull, les caractéristiques d'une variable T distribuée suivant la loi de Weibull sont dans le tableau V.5 :

Les caractéristiques sont :

- La fonction de fiabilité R(t) :

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] = \exp \left[- \left(\frac{t_i}{20.625} \right)^6 \right]$$

- La densité de probabilité f(t) :

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta} \right) \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} * \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] = \frac{6}{20.625} \left(\frac{t_i}{20.625} \right)^5 * \exp \left[- \left(\frac{t_i}{20.625} \right)^6 \right]$$

- Le taux instantané de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{6}{20.625} \left(\frac{t_i}{20.625} \right)^5$$

- La fonction de répartition F(t) :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t_i}{20.625} \right)^6 \right]$$

Tableau V.5 : les caractéristiques de la loi de weibull

Ordre i	TBF=ti	R(t)	F(t)	f(t)	$\lambda(t)$
1	12.31	0.9558	0.0442	0.0211	0.0220
2	13.85	0.9124	0.0876	0.0362	0.0397
3	15.38	0.8420	0.158	0.0565	0.0671
4	16.54	0.7665	0.2335	0.0740	0.0965
5	17.31	0.7051	0.2949	0.0854	0.1211
6	18.46	0.5981	0.4019	0.0999	0.1670
7	18.85	0.5583	0.4417	0.1036	0.1856
8	19.23	0.5184	0.4816	0.1063	0.2051
9	19.23	0.5184	0.4816	0.1063	0.2051
10	19.62	0.4766	0.5234	0.1080	0.2266
11	20	0.4354	0.5646	0.1086	0.2494
12	20	0.4354	0.5646	0.1086	0.2494
13	20.63	0.3673	0.6327	0.1070	0.2913
14	21.25	0.3024	0.6976	0.1021	0.3376
15	22.5	0.1853	0.8147	0.0833	0.4495
16	22.5	0.1853	0.8147	0.0833	0.4495
17	23.13	0.1368	0.8632	0.0706	0.5161
18	23.75	0.0972	0.9028	0.0572	0.5885
19	23.75	0.0972	0.9028	0.0572	0.5885

V.3.2.3. Exploitation des paramètres de weibull

1. Le MTBF :

Le tableau du weibull (MTBF) donne $A=0.92772$, $B=0.17977$ (voir l'annexe B).

$$MTBF_w = A * \eta + \gamma = 0.92772 * 20.625 = 19.13 \text{ heures.} \quad \gamma = 0$$

2. L'écart type σ :

$$\sigma = B * \eta = 0.17977 * 20.625 = 3.71$$

3. La densité de probabilité en fonction de MTBF :

$$\begin{aligned} f(ti = MTBF) &= \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * \exp \left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta} \right] \\ &= \frac{6}{20.625} \left(\frac{ti}{20.625}\right)^5 * \exp \left[-\left(\frac{ti}{20.625}\right)^6 \right] \end{aligned}$$

$$f(MTBF) = 0.1056 = 10.56 \%$$

4. La fonction de fiabilité en fonction de MTBF :

$$R(ti = MTBF) = \exp \left[-\left(\frac{ti}{20.625}\right)^6 \right]$$

$$R(MTBF) = 52.9 \%$$

On remarque que la fiabilité du convoyeur est légèrement faible (fiabilité moyenne).

5. La fonction de répartition en fonction de MTBF :

$$F(t) = 1 - R(t) = 47.09 \%$$

6. Le taux de défaillance en fonction de MTBF :

$$\lambda(ti = MTBF) = \frac{6}{20.625} \left(\frac{ti}{20.625}\right)^5$$

$$\lambda(ti = MTBF) = 0.1996 \text{ pannes /heures}$$

V.3.2.4. La densité de probabilité $f(t)$

La variation de la densité de probabilité en fonction du temps est représentée sur la figure V.4.

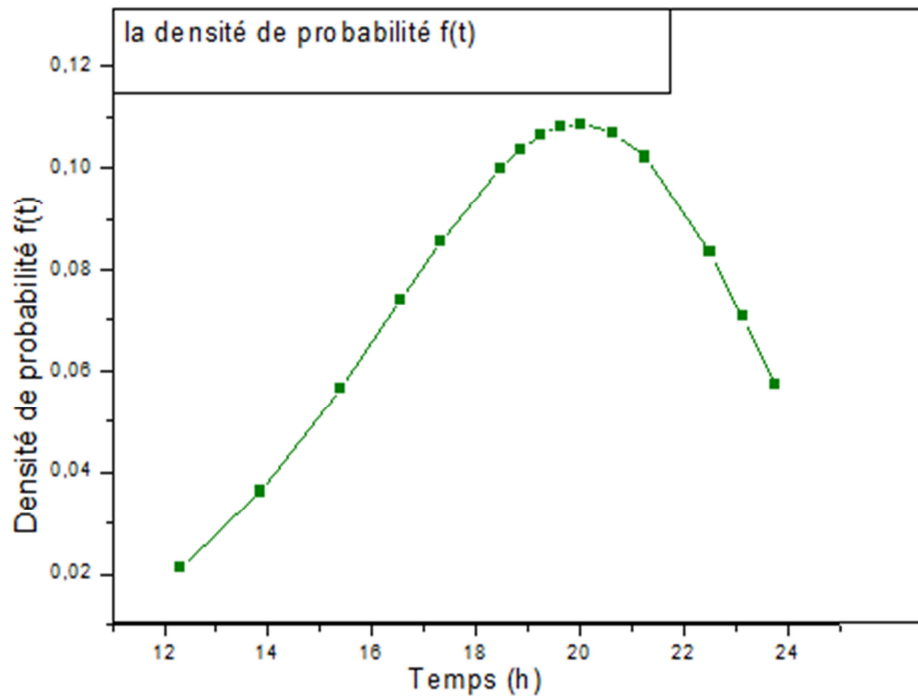


Figure V.4 : la courbe densité de probabilité

D'après cette courbe on remarque que la fonction $f(t)$ (densité de probabilité) augmente à un certain temps, et après elle diminue.

V.3.2.5. La fonction de répartition F(t)

La variation de la fonction de répartition F(t) en fonction du temps est représentée sur la Figure V.5.

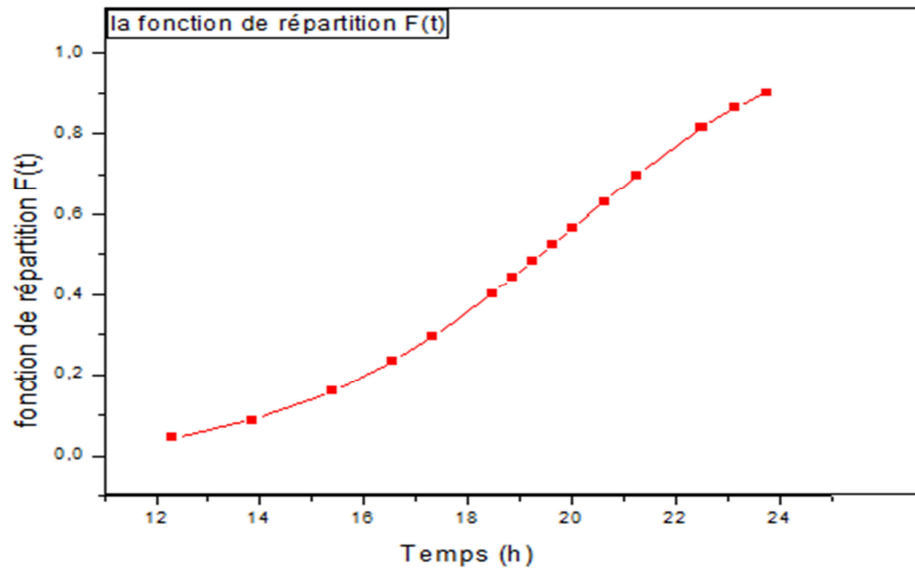


Figure V.5 : la courbe de la fonction de répartition

La fonction de défaillance croissant en fonction du temps, et pour $t=MTBF$, $F(MTBF)=47.09\%$.

V.3.2.6. La fiabilité R(t) et le taux de défaillance $\lambda(t)$:

La variation de la fiabilité R(t) et de taux de défaillance en fonction du temps sont représentées sur la Figure V.6.

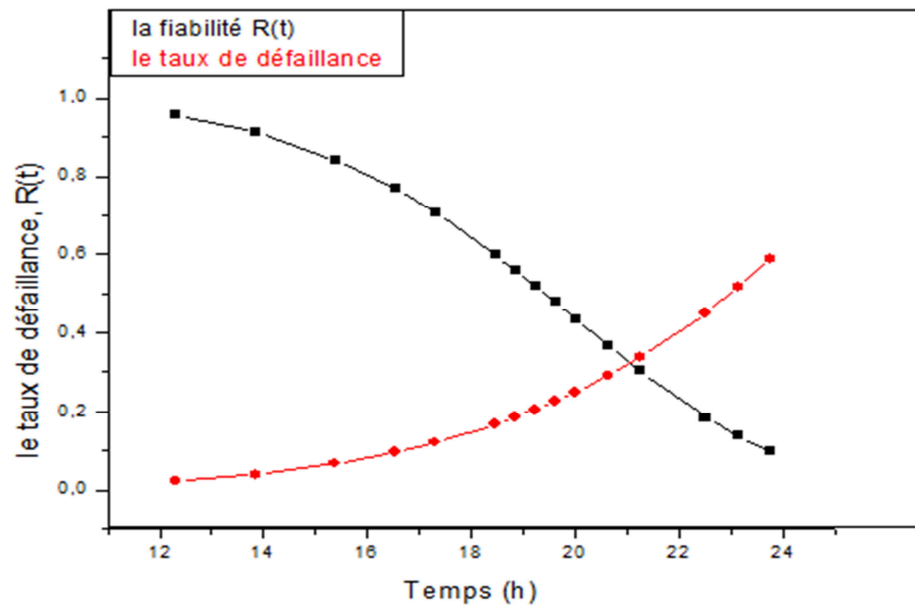


Figure V.6 : la courbe de fiabilité et de taux de défaillance

La fiabilité $R(t)$ décroît en fonction du temps, ça peut être expliqué par le phénomène de dégradation comme par exemple l'usure. L'amélioration de la fiabilité du convoyeur passe obligatoirement par une analyse des défaillances avec une étude détaillée de leurs causes de leurs modes et de leurs conséquences.

Par contre le taux de défaillance croît faiblement au départ mais croît plus fortement en fonction du temps. Cela correspond à la période de vieillissement ($\beta > 1$), donc la maintenance préventive est obligatoire pour notre convoyeur.

V.4. Calcul de la Maintenabilité du convoyeur

D'après le tableau d'historique des pannes du convoyeur, nous pouvons calculer les temps de réparation du convoyeur, les résultats sont dans le tableau V.6 :

- La maintenabilité $M(t)$: $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$
- La densité $g(t)$: $g(t) = \mu * e^{-\mu t}$
- Le taux de réparation $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$$

Tableau V.6 : calcul les temps de réparation TR

Ordre i	Temps de réparation TR (h)= TA-Ta	M(t) %	g(t) %	$\mu(t)$
1	0,15	0.0397	0.2593	0.27
2	0,2	0.0526	0.2558	0.27
3	0,6	0.1496	0.2296	0.27
4	0,65	0.1609	0.2265	0.27
5	0,84	0.2029	0.2152	0.27
6	1,2	0.2767	0.1953	0.27
7	1,9	0.4013	0.1616	0.27
8	2,25	0.4553	0.1471	0.27
9	2,55	0.4977	0.1356	0.27
10	2,62	0.5071	0.1331	0.27
11	3,21	0.5797	0.1135	0.27
12	3,98	0.6586	0.0922	0.27
13	4,35	0.6910	0.0834	0.27
14	5,5	0.7735	0.0612	0.27
15	5,79	0.7906	0.0565	0.27
16	6,96	0.8473	0.0412	0.27
17	8,02	0.8853	0.0309	0.27
18	8,65	0.9032	0.0261	0.27
19	10,69	0.9442	0.0151	0.27

- Le MTTR et le taux de réparation μ :

$$MTTR = \frac{\sum TR}{N} = \frac{70.11}{19} = 3.69 \text{ h}$$

$$\mu = \text{cste} = \frac{1}{MTTR} = 0.27 \text{ intervention/heure}$$

Le tableau V.6 confirme que le taux de réparation est constant.

La figure V.7 représente la fonction de maintenabilité $M(t)$ en fonction du temps (h).

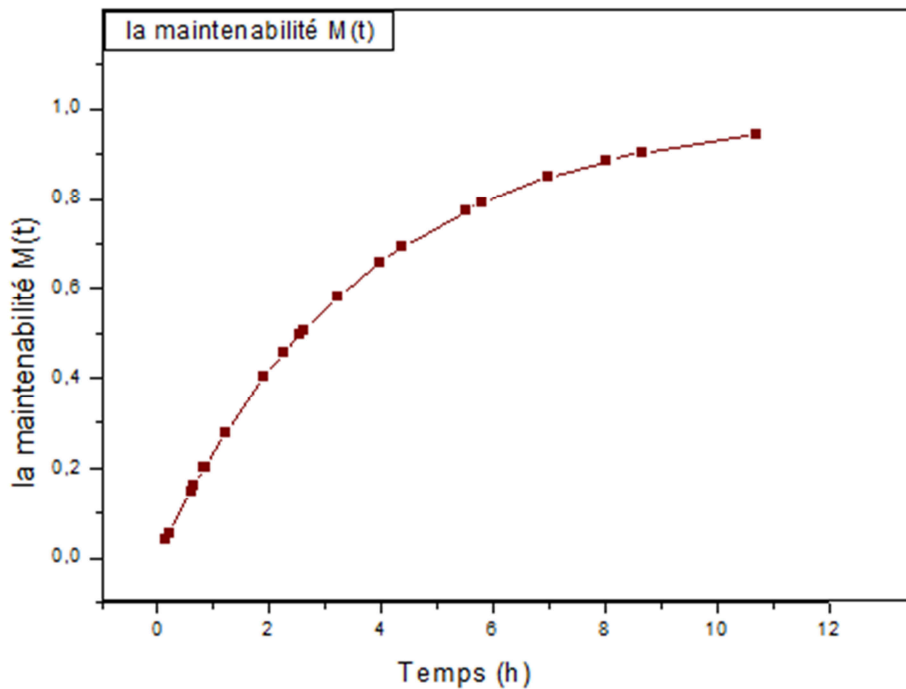


Figure V.7 : courbe de maintenabilité $M(t)$

La Maintenabilité croit avec la chronologie du temps. Pour raison l'équipement est toujours exposé à des pannes. Pour cela on doit lui porter des réparations adéquates.

V.5. Calcul de la disponibilité du convoyeur

V.5.1. Disponibilité intrinsèque ou asymptotique :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{19.13}{19.13 + 3.69} = 83.83 \%$$

V.5.2. Disponibilité instantanée

$$D(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0523$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 0.27 \text{ interventions/heures}$$

$$D(t) = 0.84 + 0.16e^{-(0.3223)t}$$

Le tableau V.7 représente la disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation TR :

Tableau V.7 : tableau de disponibilité instantané

TR(h)	0.15	0.2	0.6	0.65	0.84	1.2	1.9	2.25	2.55	2.62
D(t) %	99.24	99	97.19	96.98	96.21	94.87	92.67	91.75	91.03	90.88
TR(h)	3.21	3.98	4.35	5.5	5.79	6.96	8.02	8.65	10.69	
D(t) %	89.69	88.44	87.93	86.72	86.48	85.70	85.21	84.98	84.51	

La figure V.8 représente la disponibilité instantanée en fonction du temps (h).

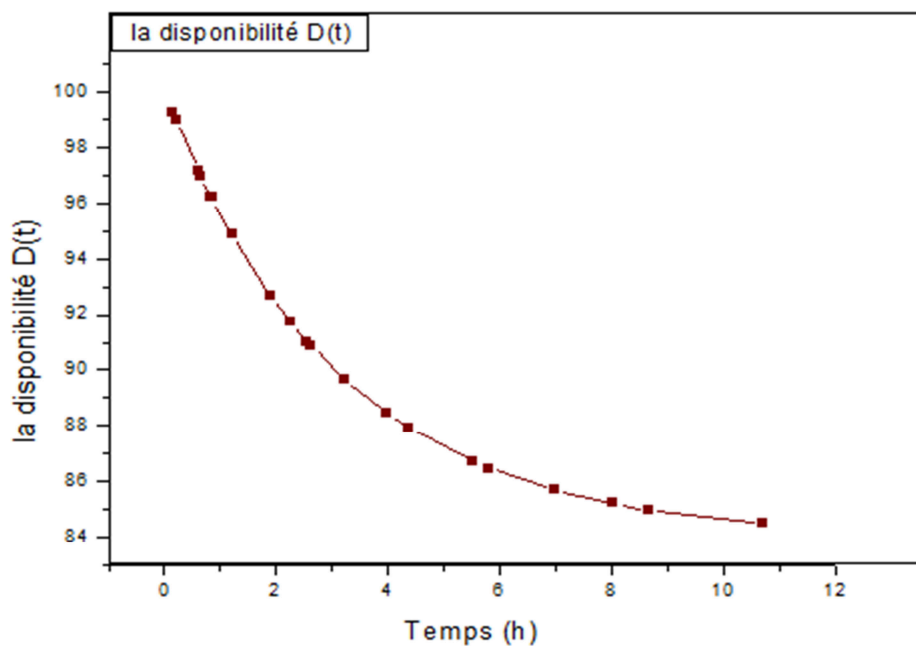


Figure V.8 : la courbe de disponibilité instantanée

La disponibilité est décroissante en fonction du temps, pour augmenter la disponibilité du convoyeur il suffit de diminuer le nombre de ses arrêts (augmenter sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci (augmenter sa maintenabilité).

V.6. Conclusion

Au terme de notre étude, nous avons montré l'importance de l'utilisation de la loi de weibull et de la loi de Pareto comme modèle pour d'écrire le comportement des systèmes mécaniques avec une étude détaillée des problèmes qu'on peut rencontrer dans les différents éléments du convoyeur. Ainsi une étude détaillée de la FMD qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts et l'indisponibilité.

Conclusion générale et perspective

Ce travail de fin d'étude a été réalisé au service de maintenance au sein de l'entreprise Cevital de Bejaïa. Il a été dédié complètement à l'étude de la fiabilité du convoyeur à chaîne à palettes.

Dans un premier temps, nous avons présenté les différents convoyeurs existants dans l'unité margarinerie. En cas particulier, nous avons pris le choix de convoyeur à chaîne à palettes. Tout en satisfaisant les conditions de services imposées, l'utilisation des convoyeurs est suffisamment répondue dans l'industrie mécanique grâce aux nombreux avantages qu'ils assurent tel que :

- Déplacement des charges dans un temps très court.
- Déplacement des charges très importantes qui sont de l'ordre de tonnes.
- Capacité de travailler à des températures que l'ouvrier ne peut pas supporter.

Dans un deuxième temps, nous avons recensé toutes les pannes attribuées le convoyeur pendant le premier trimestre de l'année 2018 dans le but d'analyser la fonction fiabilité.

Au terme de notre étude, nous pouvons constater et conclure qu'il est très important de définir les pannes et comprendre le phénomènes de défaillance du matériel, ainsi que l'étude de la fiabilité qui permet de choisir une meilleure politique de maintenance, ce qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance est tous ça pour concrétiser la meilleure organisation de la maintenance.

Pour cela il n'y a pas de méthode unique ou normalisée pour déterminer la fiabilité des systèmes mécaniques, donc le choix de la méthode à appliquer dans ce type d'équipement se fait en fonction de données recueillies.

Dans notre tâche, nous avons étudié les principales lois utilisées en fiabilité ainsi que les différentes méthodes de détermination des paramètres de fiabilité qui caractérisent le degré de défaillance et qui permettent de bien suivre l'état des équipements et de choisir le type de la maintenance à appliquer.

En termes de perspective, nous envisageons la détermination des paramètres de fiabilité et la période optimale de maintenance préventive par simulation numérique afin de pouvoir traiter beaucoup plus de données dans un délai très court et de mettre en place une maintenance prévisionnelle gérer par modélisation et simulation numérique par les modèles déterministes.

Ce travail de fin d'étude nous a permis d'améliorer nos connaissances scientifiques et pratiques dans le terrain industriel, et d'apprendre également une méthodologie rationnelle à suivre pour l'élaboration des projets d'électromécanique.

Bibliographie

- [1] : Document interne de cevital Bejaia.
- [2] : BERRAKI N, BENMOUNA A, « étude d'un convoyeur et installation d'une navette automatisée de transport de palettes » mémoire de fin d'étude master, promotion 2015-2016.
- [3] : BENIDIRI Khoudir, AMGHAR Aghilas « Etude et dimensionnement d'un convoyeur à bande », En vu de l'obtention du diplôme master en Génie mécanique option génie mécanique, Université ABDERRAHMANE Mira-Bejaia, 2012
- [4] : LATRECHE Kaddour, BOUMAGOUDA Loubna « conception d'un convoyeur à bande », conception et fabrication assistée par ordinateur MASTER II, Université Larbi Tébessi de Tébessa, 2015-2016.
- [5] : Constructeur des convoyeurs : 61 boulevard Saint germain, 42240 Saint Etienne cedex 06, site internet : www.rulmeca.com
- [6] : Calcul des efforts de traction et de puissance, prédimensionnement des axes « Guide technique pour la construction des convoyeurs à tapis » page 65,66 Edition de 07/05/2013.
- [7] : Claude CHEVASSU, Grégory VALENTIN « machines asynchrones, cours et problèmes », version du 21 septembre 2014.
- [8] : communication technique « le moteur asynchrone triphasé leçon 6 », BEP Métiers de l'électrotechnique LP Descartes 76400 FECAMP.
- [9] : THEMELT « Electrotechnique, Différence entre le moteur asynchrone à cage et à rotor bobiné, électromécanique simplifié 2016-2017 www.electromecanique-simplifie.tk
- [10] : Lycée P. Mendès France Epinal, « cours machine asynchrone », spé génie électrique page 2.
- [11] : A.LAIFAOU, « cours schémas et appareillages électriques », (3eme LAGE) Université A. MIRA, Bejaia 2012/2013
- [12] : KADDI Mohammed / GANA Djamel Eddine « ETUDE ET AMELIORATION FMD D'UNE MOTOPOMPE CENTRIFUGE » Mémoire Master Professionnel, Université KASDI Merbah – Ouargla, 2013/2014.

- [13] : site internet : [https://www.google.dz/search?q=types de maintenance](https://www.google.dz/search?q=types+de+maintenance)
- [14] : LAGGOUNE R. « Généralités sur la sureté de fonctionnement (FMDS), université de Bejaia 2008/2009.
- [15] : LYONNET P. « la maintenance mathématique et méthode. 4Ed Technique de documentation (Lavoisier) », 1996.
- [16] : MOUHLI Toufik, Meziane Ridha « étude mécanique et électrique d'un convoyeur à bande afin d'augmenter sa charge » en vue d'obtention du diplôme de master en électrotechnique, université Abderrahmane mire de Bejaïa, promotion 2013.
- [17] : LAGGOUNE R. « organisation, méthodes et technique de la maintenance, généralités sur la fiabilité industrielle. », cours université de Bejaia 2006/2007.
- [18] : Ali BELHAMRA « Amélioration des Conditions d'exploitation des Convoyeurs à Bande », thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat d'état, université BADJI Mokhtar Annaba.
- [19] : BOUMEDDANE Abdelkrim « impact de la fiabilité sur les équipements industrielles (étude de cas au niveau denitex) » mémoire de magister, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM, 2011-2012.
- [20] : www.innovation.public.lu/fr/innover/gestion-innovation/resolution.../amdec-fr.pdf
- [21] : Nassim YOUSFI « optimisation de la maintenance par la fiabilité » Mémoire de fin d'étude, En vue de l'obtention du diplôme de Master en électromécanique, Université A. Mira – Bejaia, 2013/2014
- [22] : blog-ux.com/definition-loi-de-pareto-principe-de-pareto-ou-regle-des-8020
- [23] : ©Christian HOHMANN - <http://chohmann.free.fr/> Dernière mise à jour : 3 Novembre 2009
- [24] : site internet : [<http://www.larousse.fr/dictionnaires/français/fiabilité/3>]
- [25] : W. BENZAOUI « fiabilité, disponibilité et maintenabilité » cours Sûreté de Fonctionnement, Master Académique. Automatique – S3, Université KASDI Merbah-Ouargla Année universitaire : 2014/2015.

[26]: [Christian.hohmann.free.fr > index. Php.](http://christian.hohmann.free.fr/index.php)

[27] : Pr. Ahmed BELLAOUR, M.A. Salima BELEULMI, « FMD » université Constantine, Année Académique 2013-2014.

[28] : N. MAKNI, « fiabilité d'un matériel », [lycee-oiselet.fr, 11218_fiabilitex.pdf](http://lycee-oiselet.fr/11218_fiabilitex.pdf)

[29] : Site internet : [www.graczyk.fr > lycée > IMG > pdf > 0...](http://www.graczyk.fr/lycée/IMG/pdf/0...) (S115-Organisation et suivi de la maintenance – CH2

Annexe A

Tableau des coefficients de frottement

Formule de calcul simplifiée : $F = ((Mf + 2Mk) \times (\mu_1 + D1) + (Mf \times (\mu_2 + D2))) \times 9,8 \times L$

Glissement sur	μ_1 glissement sur		μ_2 produit en accumulation (sinon $\mu_2=0$)			
	inox	PE	Verre	Métal	Plastique	Carton
POM Acétal à sec	0,30	0,24	0,18	0,24	0,22	0,27
POM + eau claire	0,23	0,20	0,16	0,21	0,19	
PP à sec	0,28	0,15	0,19	0,32	0,17	0,22
PP + eau claire	0,26	0,13	0,17	0,30	0,15	
PE à sec	0,16	0,32	0,10	0,13	0,10	0,15
PE + eau claire	0,14	0,30	0,09	0,11	0,09	

Annexe B

Tableau de weibull

0,05	2,43290E+18	9,03280E+23	1,75	0,89062	0,52523	3,45	0,89907	0,28822	5,15	0,91974	0,20505
0,1	3,62880E+06	1,55977E+09	1,8	0,88929	0,51123	3,5	0,89975	0,28473	5,2	0,92025	0,20336
0,15	2,59357E+03	1,21993E+05	1,85	0,88821	0,49811	3,55	0,90043	0,28133	5,25	0,92075	0,20170
0,2	1,20000E+02	1,90116E+03	1,9	0,88736	0,48579	3,6	0,90111	0,27802	5,3	0,92125	0,20006
0,25	2,40000E+01	1,99359E+02	1,95	0,88671	0,47419	3,65	0,90178	0,27479	5,35	0,92175	0,19846
0,3	9,26053E+00	5,00780E+01	2	0,88623	0,46325	3,7	0,90245	0,27164	5,4	0,92224	0,19688
0,35	5,02914E+00	1,99761E+01	2,05	0,88589	0,45291	3,75	0,90312	0,26857	5,45	0,92272	0,19532
0,4	3,32335E+00	1,04382E+01	2,1	0,88569	0,44310	3,8	0,90379	0,26558	5,5	0,92320	0,19379
0,45	2,47859E+00	6,46009E+00	2,15	0,88561	0,43380	3,85	0,90445	0,26266	5,55	0,92368	0,19229
0,5	2,00000E+00	4,47214E+00	2,2	0,88562	0,42495	3,9	0,90510	0,25980	5,6	0,92414	0,19081
0,55	1,70243E+00	3,34530E+00	2,25	0,88573	0,41652	3,95	0,90576	0,25701	5,65	0,92461	0,18935
0,6	1,50458E+00	2,64514E+00	2,3	0,88591	0,40848	4	0,90640	0,25429	5,7	0,92507	0,18792
0,65	1,36627E+00	2,17887E+00	2,35	0,88617	0,40080	4,05	0,90704	0,25162	5,75	0,92552	0,18651
0,7	1,26582E+00	1,85117E+00	2,4	0,88648	0,39345	4,1	0,90768	0,24902	5,8	0,92597	0,18512
0,75	1,19064	1,61077	2,45	0,88685	0,38642	4,15	0,90831	0,24647	5,85	0,92641	0,18375
0,8	1,13300	1,42816	2,5	0,88726	0,37967	4,2	0,90894	0,24398	5,9	0,92685	0,18240
0,85	1,08796	1,28542	2,55	0,88772	0,37319	4,25	0,90956	0,24154	5,95	0,92729	0,18107
0,9	1,05218	1,17111	2,6	0,88821	0,36696	4,3	0,91017	0,23915	6	0,92772	0,17977
0,95	1,02341	1,07769	2,65	0,88873	0,36097	4,35	0,91078	0,23682	6,05	0,92815	0,17848
1	1,00000	1,00000	2,7	0,88928	0,35520	4,4	0,91138	0,23453	6,1	0,92857	0,17721
1,05	0,98079	0,93440	2,75	0,88986	0,34963	4,45	0,91198	0,23229	6,15	0,92898	0,17596
1,1	0,96491	0,87828	2,8	0,89045	0,34427	4,5	0,91257	0,23009	6,2	0,92940	0,17473
1,15	0,95170	0,82971	2,85	0,89106	0,33909	4,55	0,91316	0,22793	6,25	0,92980	0,17351
1,2	0,94066	0,78724	2,9	0,89169	0,33408	4,6	0,91374	0,22582	6,3	0,93021	0,17232
1,25	0,93138	0,74977	2,95	0,89233	0,32924	4,65	0,91431	0,22375	6,35	0,93061	0,17113
1,3	0,92358	0,71644	3	0,89298	0,32455	4,7	0,91488	0,22172	6,4	0,93100	0,16997
1,35	0,91699	0,68657	3,05	0,89364	0,32001	4,75	0,91544	0,21973	6,45	0,93139	0,16882
1,4	0,91142	0,65964	3,1	0,89431	0,31561	4,8	0,91600	0,21778	6,5	0,93178	0,16769
1,45	0,90672	0,63522	3,15	0,89498	0,31135	4,85	0,91655	0,21586	6,55	0,93216	0,16657
1,5	0,90275	0,61294	3,2	0,89565	0,30721	4,9	0,91710	0,21397	6,6	0,93254	0,16547
1,55	0,89939	0,59252	3,25	0,89633	0,30319	4,95	0,91764	0,21212	6,65	0,93292	0,16439
1,6	0,89657	0,57372	3,3	0,89702	0,29929	5	0,91817	0,21031	6,7	0,93329	0,16332
1,65	0,89421	0,55635	3,35	0,89770	0,29550	5,05	0,91870	0,20853	6,75	0,93366	0,16226
1,7	0,89224	0,54024	3,4	0,89838	0,29181	5,1	0,91922	0,20677	6,8	0,93402	0,16121

Annexe C

Table de KOLMOGOROV-SMIRNOV

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,180}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

Chapitre I

Présentation du complexe Cevital

Chapitre II

Convoyeur à chaine à palettes

Chapitre III

Vérification du choix du moteur

Chapitre IV

Etude théorique de la maintenance et de la FMD

Chapitre V

Analyse de la FMD du convoyeur à chaîne à palettes