

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



PROJET DE FIN DE CYCLE

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Electromécanique
Parcours : Master
Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

Analyse dysfonctionnelle
d'une transmission par courroie
pour une machine industrielle

Préparé par :

BAKHTIL Abdelhadi et BELGHANEM Brahim

Soutenu publiquement le :29/ 06 / 2022, devant le jury composé de :

M. DEBBIH Senouci	Maître-Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. MAZARI Djamel	Maître-Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. ELGUERRI Mohamed	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. GUEMMOUR Mohamed .B	Maître de Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrant

Année universitaire : 2021 - 2022

Remerciements

On tient avant tout à remercier chaleureusement Monsieur **GUEMMOUR Mohamed Boutkhal**, Maître de conférences (B) à l'université Ibn-Khaldoun de Tiaret de nous avoir encadré et assuré le suivi de notre travail. En nous faisant confiance depuis le début de nos travaux, il a su diriger ce travail tout en nous laissant une complète autonomie. On le remercie non seulement pour la qualité de son encadrement mais également pour l'inestimable qualité humaine dont il a toujours fait preuve.

On remercie tout autant Monsieur **DEBBIH Senouci** Maître assistant classe A à l'université Ibn-Khaldoun de Tiaret pour avoir accepté de présider le jury de notre mémoire.

Nos sincères remerciements vont également à Monsieur **ELGUERRI Mohamed** maître de conférences classe "A" à l'université Ibn-Khaldoun de Tiaret et Monsieur **MAZARI Djamel** maître-assistant classe "A" à l'université Ibn-Khaldoun de Tiaret qui nous ont fait l'honneur d'être examinateur de notre mémoire, et qui ont consacré de leur précieux temps à l'examen et à l'évaluation de notre travail. On les remercie vivement pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail afin de l'expertiser avec une grande efficacité et une grande rapidité, ainsi que pour la patience et la pertinence dont ils ont fait preuve à la lecture de ce document.

Enfin, on tient aussi à remercier l'équipe pédagogique, constituée de l'ensemble des enseignants permanents et vacataires qui ont assurés notre formation durant notre cycle de master, ainsi que l'équipe de formation, constituée du responsable de filière et du responsable de la spécialité qui ont assurés la promotion de la spécialité maintenance industrielle, sans oublier le staff administratif du département de génie mécanique qui a veillé à l'organisation, la planification, le contrôle et le suivi des activités pédagogiques et à leur tête Monsieur le chef de département.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

*A mon cher père, à ma chère mère, pour leur tendresse, leurs conseils, leurs sacrifices, leur présence à mes côtés et leur soutien,
auxquels je dois ce que je suis et à qui je souhaite une longue vie
pleine de bonheur et de santé. Qu'ils trouvent ici l'expression
de
mon éternelle reconnaissance et de ma profonde affection.*

A Mes frères.

A Mes sœurs.

A toute ma famille.

*Sans oublier mon binôme **brahim**, sa famille et tous mes Amis(e)*

Bakhtil abd elhadi

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

A mon cher père, à ma chère mère, pour leur tendresse, leurs conseils, leurs sacrifices, leur présence à mes côtés et leur soutien, auxquels je dois ce que je suis et à qui je souhaite une longue vie pleine de bonheur et de santé. Qu'ils trouvent ici l'expression de mon éternelle reconnaissance et de ma profonde affection.

A Mes frères.

A Mes sœurs.

A toute ma famille.

*Sans oublier mon binôme **ABDELHADI**, sa famille et tous mes Amis(e)*

BELGHANEM BRAHIM

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Les phases de l'analyse dysfonctionnelle	4
Figure 1.2 : Attributs de la sûreté de fonctionnement (inspirée de (Moïsis 2016	8
Figure 1.3: Etude d'un système sûr de fonctionnement.....	9
Figure 1.4: Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle pour un système automatisé de production.	10
Figure 1.5: Définir les limites du système(Pare_brise).....	11
Figure 1.6: Diagramme prestation	12
Figure 1.7 : Situations de vie du (Pare-brise)	12
Figure 1.8 : Eléments physiques en relation avec le système Pare-brise en situation de vie.....	13
Figure 1.9 : Diagramme des inter acteurs (Pare-brise)	13
Figure 1.10 : les éléments constitutifs qui composent le système(Pare-brise)	15
Figure 1.11: représente les flux à l'intérieur du système « bloc diagramme fonctionnel ».....	16
Figure 1.12: Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances.	19
Figure 1.13 : Exemple d'arbre des défaillances (VILLEMEUR, 1988).....	20
Figure 1.14 : Aspect du tableau de synthèse de l'AMDEC.....	24
Figure 2.1 : Système de transmission par courroie	27
Figure 2.2 : caractéristiques géométriques poulie courroie	29
Figure 2.3 : Transmission par courroie.	30
Figure 2.4 : Exemples de construction de courroies plates.....	31
Figure 2.5 : Section d'une courroie trapézoïdale	31
Figure 2.6 : Dispositif de mesure d'une courroie.....	32
Figure 2.7 : Comparaison des zones de travail entre une section classique et une section étroite ..	33
Figure 2.8 : Courroie jumelée	33
Figure 2.9 : Courroies enveloppées	34
Figure 2.10 : Exemple de construction d'une courroie à flancs nus (sans enveloppage)	35
Figure 2.11 : Comparaison des largeurs entre une courroie enveloppée et une sans enveloppage .	35
Figure 2.12 : Courroie striée	36
Figure 2.13 : Courroie synchrone	36
Figure 2.14 : Définition d'une courroie synchrone à simple denture	37
Figure 2.15 : Tracé isochromatique des contraintes sur une dent pour deux profils différents	38
Figure 2.16 : Exemple de constitution d'une courroie synchrone	39
Figure 2.17: Courroie hexagonale.....	39
Figure 2.18: Courroie trapézoïdale Agrafable	40
Figure 2.19: Courroie ronde.....	40

Figure 2.20: Poulies pour courroies plates.....	41
Figure 2.21: Poulies pour courroies trapézoïdales.....	41
Figure 2.22: Poulies dites " à gradins ".....	42
Figure 2.23: Poulies pour courroies striées.....	42
Figure 2.24: Poulies pour courroies synchrones.....	43
Figure 2.25 : Tendeur mécanique (a) et hydraulique (b).....	44
Figure 2.26: diagramme de prestation « système poulie-courroie ».....	45
Figure 2.27: Diagramme des inter-acteurs « système poulie-courroie ».....	45
Figure 3.1: Les installations gazières de Hassi R'mel.....	48
Figure 3.2: Schéma du process de module 4.....	50
Figure 3.3: photo d'aéroréfrigérants.....	51
Figure 3.4: Vue partielle du synoptique du module MPP4.....	52
Figure 3.5: Eléments constitutifs d'un aéroréfrigérant.....	53
Figure 3.6: Les éléments constitutifs d'un faisceau tubulaire.....	53
Figure 3.7: photo de ventilation.....	54
Figure 3.8: Eléments constitutifs d'un aéroréfrigérant.....	55
Figure 3.9: défaillance de système poulie courroie.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : le tableau d'analyse fonctionnelle.....	16
Tableau 1.2 : Symboles des évènements dans les arbres de défaillances.....	21
Tableau 1.3 : Symboles des portes dans les arbres de défaillances.....	21
Tableau 2.1 : Cotes d'une courroie synchrone à profil curviligne (d'après doc. Kléber-Industrie).....	37
Tableau 2.2 : Enoncé des fonctions de service.....	46
Tableau 3.1 : des modes de défaillance de système poulie courroie.....	57

SOMMAIRE

Introduction générale	2
CHAPITRE 01 : OUTILS ET TECHNIQUES DE L'ANALYSE DYSFONCTIONNELLE	
1.1 Introduction	4
1.2 Définition	4
1.3 Etapes de l'analyse dysfonctionnelle.....	4
1.4 Sûreté de fonctionnement.....	5
1.4.1 Historique.....	5
1.4.2 Définition	7
1.4.3 Principe de la sûreté de fonctionnement	7
1.4.3.1 Fiabilité (Reliability).....	8
1.4.3.2 Disponibilité (Availability)	8
1.4.3.3 Maintenabilité (Maintainability)	8
1.4.3.4 Sécurité (Safety).....	8
1.4.4 But de la sûreté de fonctionnement.....	9
1.4.5 Etudes de sûreté de fonctionnement.....	9
1.4.6 Outils utilisés en sûreté de fonctionnement	11
1.4.6.1 Analyse fonctionnelle externe (AFE)	11
1.4.6.2 Analyse fonctionnelle interne/ ou technique (AFI / ou AFT).....	15
1.4.6.3 Analyse préliminaire de risques (APR)	17
1.4.6.4 Arbre de défaillances (ADD)	18
1.4.6.5 Outil AMDEC	22
1.5 CONCLUSION.....	25
CHAPITRE 02 : SYSTÈME DE TRANSMISSION DE PUISSANCE POULIE - COURROIE	
2.1 Introduction.....	27
2.2 Présentation de la transmission par poulie-courroie	27
2.2.1 HISTORIQUE.....	27
2.2.2 DEFINITION	27
2.2.3 ROLE	28
2.2.4 AVANTAGES ET INCONVENIENTS	28
2.2.5 CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES	29
2.3 TECHNOLOGIE DU SYSTEME POULIE-COURROIE	30
2.3.1 Les courroies	30
2.3.1.1 Définition	30

2.3.1.2 Classification.....	30
2.3.1.3 Matériaux des courroies.....	40
2.3.2 Les poulies	41
2.3.2.1 Classification.....	41
2.3.2.2 Constitution et matériaux	44
2.3.3 Tendeur de courroie	44
2.4. Analyse fonctionnelle	45
2.5 Conclusion	46

CHAPITRE 03 : ANALYSE DYSFONCTIONNELLE DU SYSTEME POULIE-COURROIE

3.1 Introduction.....	48
3.2 Implantation de la MPP4	48
3.3 Aéroréfrigérants	51
3.3.1 Définition	51
3.3.2 Principe de fonctionnement	51
3.3.3 Constitution des aéroréfrigérants	52
3.3.3.1 Faisceau tubulaire	53
3.3.3.2 Système de ventilation	54
3.4 Identification et résolution des problèmes de performance des aéroréfrigérants	56
3.4.1 Défaillance de système poulie courroie	57
3.5 analyse des modes de défaillance de leurs effets de système poulie courroie	58
3.5.1 AMDE de l'organe moteur	59
3.5.2 AMDE de système poulies-courroie	60
3.5.3 AMDE D'un organe ventilateur.....	61
3.6 L'arbre de défaillance système poulies courroie	62
3.7 Conclusion	63
Conclusion générale	65

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le présent travail s'intègre dans un contexte technologique, en relation avec le secteur de l'industrie et plus particulièrement celui des installations de refroidissement du gaz naturel après son extraction. L'outil dédié à ce type d'activité est composé essentiellement de système de refroidissement destinés à faire subir un refroidissement forcé au gaz naturel qui circule dans des pipes placés dans un faisceaux d'échangeur à chaleur .Parmi les installations à intégrer dans le processus de refroidissement on cite les aéro-réfrigérants.

Le problème traité dans notre travail porte sur la mise en œuvre de l'un des outils de qualité à savoir l'outil AMDE associé à l'arbre des défaillances appliqué à un système de transmission de puissance par poulie_courroie entre un moteur électrique et un ventilateur.

Dans l'optique d'effectuer une analyse dysfonctionnelle d'une transmission de puissance mécanique par le système poulie-courroie, l'outil AMDE sera exploité à cette fin pour dégager les modes, les cause et les effets des défaillances qui peuvent survenir dans ce type de transmission. En outre l'intérêt est donné à l'analyse des causes en utilisant l'outil arbre de défaillance

Pour concrétiser cet objectif, on a traité le cas de la transmission de puissance par poulie-courroie entre le moteur électrique et le ventilateur dans un aéroréfrigérant exploité dans une installation industrielle telle que la MPP4 SONATRACH à Hassi R'mel.

Pour ce faire, notre mémoire a été structuré en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'analyse dysfonctionnelle et les outils de la sûreté de fonctionnement. .Le deuxième chapitre présente le système de transmission de puissance poulie-courroie avec une analyse fonctionnelle pour dégager les fonctions de service. Enfin le troisième chapitre est une étude de cas réservée à la mise en œuvre de l'AMDE pour un aéroréfrigérant suivi par un ADD appliquée au système poulie-courroie.

Chapitre 1

OUTILS ET TECHNIQUES DE L'ANALYSE DYSFUNCTIONNELLE

1.1 INTRODUCTION

L'analyse des dysfonctionnements vise à identifier les différents modes de défaillance et de dégradation composants du système et voir l'impact sur le système. De plus, elle permet d'évaluer le mode de défaillance le plus critique. Pour effectuer une analyse dysfonctionnelle, nous avons besoin d'informations obtenues par analyse fonctionnelle. En d'autres termes, la sortie ou les résultats de l'analyse fonctionnelle constituent l'entrée ou la base de l'analyse dysfonctionnelle. Les principales méthodes utilisées dans l'analyse dysfonctionnelle sont : Analyse Risque préliminaire (APR), analyse du mode de défaillance, son impact et sa gravité (FMECA), Software Error Effects Analysis (AEEL), Fault Trees (AddD), etc.

1.2 DEFINITION

L'analyse prédictive de la défaillance d'un système consiste à identifier les conditions pouvant entraîner une défaillance et à prévoir son impact sur la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité des systèmes en cours de conception ou déjà en fonctionnement. Elle est réalisée à partir de diverses informations dont la classification et l'analyse permettent de concevoir un modèle de système. Les informations nécessaires à l'analyse sont :

- Description du système réel : structure physique et fonctionnelle ;
- Caractéristiques des composants du système et leurs interactions (modes de défaillance et leurs conséquences, etc.) ;
- la relation entre le système et son environnement ;
- Tenir compte de l'erreur humaine dans la phase opérationnelle. [1]

1.3 ETAPES DE L'ANALYSE DYSFONCTIONNELLE

L'analyse dysfonctionnelle regroupe un ensemble de méthodes concrètes qui se réalise à travers trois phases (Figure 1.1) [2]

1. *L'étude descriptive des dysfonctionnements :*
2. *L'étude descriptive des régularisations des dysfonctionnements :*
3. *L'analyse des causes des dysfonctionnements :*

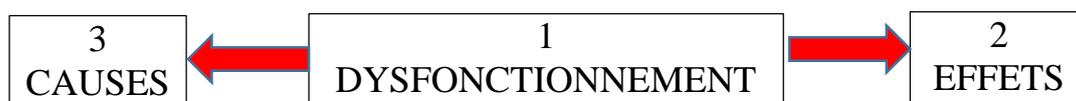


Figure 1.1 : Les phases de l'analyse dysfonctionnelle

Etape 1 : L'étude descriptive des dysfonctionnements.

Il s'agit ici de dresser un inventaire des dysfonctionnements en les classant dans les six domaines de dysfonctionnements cités précédemment. L'ensemble de ces dysfonctionnements est regroupé en cinq indicateurs considérés comme des familles de dysfonctionnements : Absentéisme, Accidents du travail, Rotation du personnel, non-qualité, Ecart de productivité directe.

Etape 2 : L'étude descriptive des régularisations des dysfonctionnements.

Dans cette étape, on va procéder à l'évaluation des effets des dysfonctionnements (régularisations) Les régularisations des dysfonctionnements sont regroupées selon deux types d'activités : Activités humaines et consommations de produits (biens et services).

Etape 3 : L'analyse des causes des dysfonctionnements.

Dans cette phase, on procède par une démarche différente et qui consiste à connaître "l'avis d'expert" des intervenants ce qui nécessite « une prise de recul vis-à-vis des opinions des acteurs et se fonde aussi bien sur les données recueillies par entretiens, par observation directe et par analyse de documents que sur le non-dit »

1.4 SURETE DE FONCTIONNEMENT**1.4.1 Historique**

- **1900-1930** : Les premières démarches de fiabilité dans le domaine du transport ferroviaire (recueils statistiques des pièces mécaniques) et le domaine de la production et distribution électrique (Redondances de transformateurs et de lignes de distribution).
- **1930-1950**: Introduction de la statistique.
 - **Transports aériens** : évaluation de la sécurité opérationnelle des vols d'aéronefs propulsés par un, deux, trois et quatre moteurs. A cette occasion et pour la première fois, on a introduit des objectifs chiffrés en termes de probabilité d'occurrence d'accident par heure de fonctionnement (1 accident pour 100 000 h de vol en 1939).
 - **Industrie militaire** : Fin du concept du maillon le plus faible ; le mathématicien Robert Lusser lors de son étude pour analyser les problèmes de fiabilité de la fusée V1 définit la loi de probabilités de défaillance d'éléments placés en série. Il démontra que pour N éléments mis en série et ayant la même probabilité de défaillance P, la probabilité de défaillance des N éléments en série était égale à P^N .
 - **Industrie aérospatial** : En 1949, le capitaine Murphy énonça sa fameuse loi « If anything can go wrong, it will » (Si un problème risque de se produire, cela arrivera).

- **1950- 1960** : Apparition de la notion de fiabilité en électronique.

L'avènement de l'électronique à tubes dans des équipements techniques de plus en plus complexes fit prendre conscience de l'importance de leur fiabilité. On arriva à des situations telles que de nombreux systèmes n'étaient disponibles qu'environ 30% de leur temps. En vue de quantifier la fiabilité des composants, les premiers indicateurs chiffrés firent leur apparition (temps moyen de fonctionnement entre défaillance (FMED) ou en anglais, MTBF (mean time between failure) pour servir de base aux premières clauses contractuelles de fiabilité.

- **1960- 1970** : Analyse des défaillances

- **Aéronautique/Spatial** : Les programmes de missiles intercontinentaux et la conquête spatiale (programmes Mercury et Gemini) des États-Unis ont formalisé l'essentiel des méthodes d'analyse de la Sûreté de fonctionnement utilisées encore aujourd'hui : analyse des modes de défaillance et de leurs effets (aéronautique et LEM) ; arbres des causes (aéronautique, missile Minute man), méthode des combinaisons de pannes (SNIAS : Concorde, puis Airbus), méthode du diagramme du succès et méthode THERP (Technique for human error rate prédiction).

- **L'académie française** accepta pour la première fois l'usage du terme fiabilité

- **1970- 1980** Evaluation des risques

- **Applications nucléaires** : Diffusion des techniques d'évaluation opérationnelles et prévisionnelles de la fiabilité et acceptation de la notion probabiliste de la sécurité dans les secteurs industriels présentant des risques pour les biens, les personnes et l'environnement. Apparition des arbres de défaillance et arbres de conséquence à cette époque.

- **1980 à nos jours** Formalisation, généralisation de la Sdf dans tous les secteurs d'activité

Les deux dernières décennies avant l'avènement du troisième millénaire ont été marquées par la prise en compte dans les études de Sûreté de fonctionnement de la pénétration de l'informatique industrielle et des facteurs humains, avec l'apparition de nouveaux outils : chaînes de Markov, réseaux de Pétri, simulation... ; HCR, HEART (pour les facteurs humains) ; utilisation de logiciels de calcul de fiabilité ; modélisation et simulation des accidents (dispersion de gaz...). [3]

1.4.2 Définition

La sûreté de fonctionnement ou « la science des défaillances » est une notion générique qui mesure la qualité de service délivré par un système (Avižienis et al. 2004). Elle inclut l'évaluation des risques potentiels, la prévision de l'occurrence des défaillances et la minimisation des conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se présentent, tout en permettant aux utilisateurs de placer une confiance justifiée dans le service délivré par le système. Pour atteindre les objectifs visés par la sûreté de fonctionnement, on distingue deux niveaux (Cauffriez 2005):

Niveau 1 : Il est lié à la sûreté de fonctionnement prédictive et consiste à évaluer au préalable les objectifs de la sûreté. Ceci correspond à une démarche formelle, technique, objective et quantitative qui a pour but de définir les différentes situations possibles et d'évaluer la probabilité de leurs occurrences. Face à une situation déterminée, il est nécessaire de définir les différents chemins conduisant à un événement interdit, les modes d'isolement des défaillances, le calcul de la durée d'occurrence et sa probabilité, l'identification des procédures de sécurité et les conséquences vis-à-vis du matériel, de l'humain et de l'environnement.

Niveau 2 : Il est lié à la gestion des objectifs de la sûreté, il s'agit d'un niveau d'ordre qualitatif, subjectif, et social. Les prises de décisions sont réalisées par rapport à une fonction de coût qui peut être : risque/coût, gain/perte ou risque/coût/ bénéfice. [4]

1.4.3 Principe de la sûreté de fonctionnement

Dans les systèmes automatisés de production ou les systèmes manufacturiers, les préoccupations sont plutôt liées à la **disponibilité**. Dès lors que la **sécurité** ou la disponibilité d'un système est mise en défaut, c'est la **fiabilité** qui est incriminée. Enfin, en cas de dysfonctionnement, il convient de remettre le système dans les conditions de fonctionnement initial, c'est à ce niveau qu'intervient la **maintenabilité**. Ces quatre paramètres Fiabilité Maintenabilité - Disponibilité Sécurité (**FMDS**) constituent les bases de la sûreté de fonctionnement d'un système automatisé de production (figure 1.2). Ils permettent de définir les objectifs attendus d'un système et/ou d'évaluer la qualité du service délivré par le système afin de cibler les points critiques à améliorer (Clarhaut 2009b). La norme européenne NFEN 13306 précise leurs définitions.

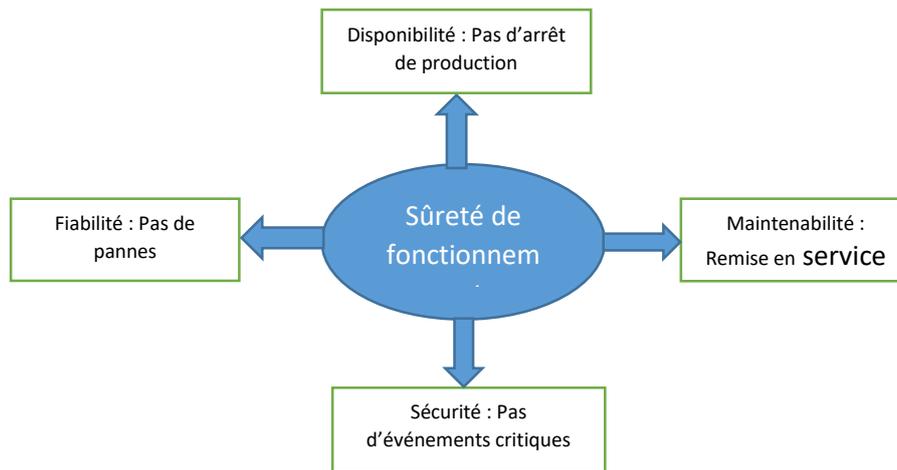


Figure 1.2: Attributs de la sûreté de fonctionnement (inspirée de (Moisio 2016))

1.4.3.1 Fiabilité (Reliability)

La fiabilité $R(t)$ correspond à l'aptitude d'un bien à accomplir dans des conditions données, une fonction requise durant un intervalle de temps déterminé. Selon la norme, un bien signifie au sens large tout composant, élément, sous-système, unité fonctionnelle, système ou équipement qui peut être considéré individuellement. La fonction requise est la ou les fonctions qu'un bien doit accomplir pour remplir pleinement la tâche qui lui est associée.

1.4.3.2 Disponibilité (Availability)

Selon la norme, la disponibilité est l'aptitude d'être dans un état qui permet d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.

1.4.3.3 Maintenabilité (Maintainability)

Dans des conditions données d'utilisation, la maintenabilité est définie par l'aptitude (la probabilité) d'une entité à être maintenue ou remise en service sur un intervalle donné de temps, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits.

1.4.3.4 Sécurité (Safety)

La sécurité est l'aptitude d'une entité à ne pas connaître de pannes considérées comme catastrophiques ou critiques pendant une durée donnée (Tuptuk et Hailes 2018). Pour élaborer la sécurité au sein des SAP, il faut (Durka et Brun 1993) tout d'abord élaborer le référentiel d'évaluation pour ensuite effectuer l'évaluation fonctionnelle et l'évaluation des actions de l'opérateur. [4]

1.4.4 But de la sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement consiste à pour buts :

- 1 Prédire l'occurrence des pannes
- 2 Évaluer les risques potentiels,
- 3 Lorsque des situations catastrophiques surviennent, minimisez leurs conséquences.

1.4.5 Etudes de sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement représente un « outil » indispensable à la conception d'un système industriel sûr. Elle aide à la prise de décision (vérifier et analyser d'une manière rapide les informations afin de pouvoir prendre la décision la plus adaptée à un instant donné) .l'identification des risques, l'optimisation de l'architecture et les moyens de support, la justification et la démonstration des choix adoptés et enfin la vérification des objectifs. La sûreté de fonctionnement est considérée aussi comme un outil d'optimisation qui aide à diminuer les pannes observées durant le cycle de vie d'un système, à rendre la maintenance plus efficace et ciblée, à dimensionner les moyens nécessaires pour le support, et enfin à optimiser les coûts de conception.

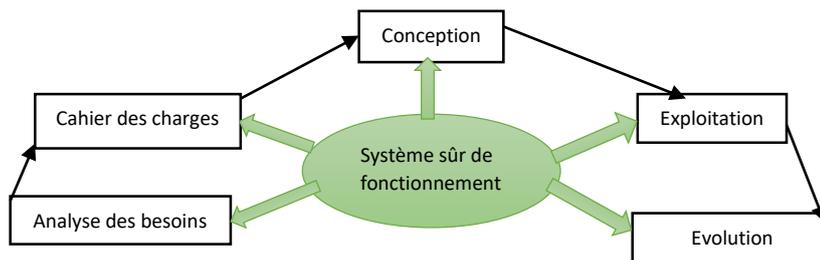


Figure 1.3 : Etude d'un système sûr de fonctionnement

La figure 1.3 illustre les cinq étapes essentielles pour étudier un système sûr de fonctionnement. Avant toute étude, il faut débiter par l'étape d'analyse des besoins. Cette première étape se base sur l'analyse et la compréhension de la situation et du besoin pour identifier et prendre en compte les contraintes et les risques pour assurer un processus répondant aux besoins du client. À ce niveau, les actions suivantes doivent être accomplies :

- Connaître le contexte, c'est-à-dire, comprendre les besoins exprimés par le client. La source principale de l'information étant le client lui-même, des informations supplémentaires peuvent être aussi utiles en documentation
- Déterminer les besoins et les contraintes en les organisant par degré d'importance afin de mieux cerner à quelle étape de la conception, ces besoins doivent être pris en compte.
- Déterminer les paramètres de conception à partir des mesures prises sur le site du processus.

Cette connaissance permet, dans une deuxième étape, la rédaction d'un cahier des charges du système étudié. Il décrit d'une manière claire et précise les tâches et les opérations à effectuer et aussi une évaluation du temps pour les accomplir. Il comporte en général les éléments suivants :

- Mise en situation
- Etat des lieux
- Description détaillée des travaux
- Contraintes techniques particulières
- Clauses administratives
- Mandat
- Description générale du projet
- Spécifications techniques
- Liste des biens livrables

Après l'écriture du cahier des charges du système, il faut passer à la phase de conception en se basant sur les solutions techniques et les architectures proposées dans le cahier des charges. Dans cette phase de conception, les solutions doivent être quantifiées d'un point de vue sûreté de fonctionnement, comparées entre elles et, si nécessaire, optimisées. Une fois les solutions retenues déterminées, l'identification des conditions de leur exploitation devient nécessaire. Il faut spécifier les opérations de maintenance préventive nécessaires pour conserver les caractéristiques souhaitées pour la sûreté de fonctionnement sans aucune dégradation. Cela permettra, par la suite, une évolution sûre de fonctionnement en ajustant la politique de maintenance adoptée, si nécessaire. La conception d'un système sûr de fonctionnement s'effectue grâce à une analyse fonctionnelle et une analyse dysfonctionnelle du système (figure 1.4). [4]

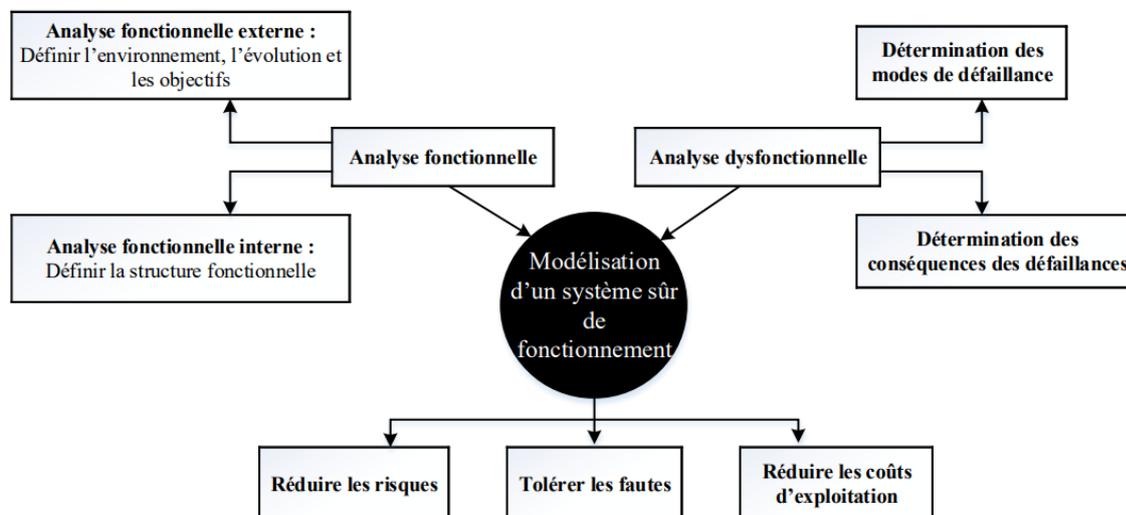


Figure 1.4 : Analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle pour un système automatisé de production

1.4.6 Outils utilisés en sûreté de fonctionnement

1.4.6.1 Analyse fonctionnelle externe (AFE)

- ✓ L'analyse fonctionnelle externe (ou analyse fonctionnelle du besoin) est un outil qui décrit de façon exhaustive les fonctions à réaliser pour satisfaire les besoins réels de l'utilisateur
- ✓ Son principe est de considérer l'objet de l'étude comme une boîte noire, et de le placer dans son environnement d'utilisation pour décrire ce qu'il doit faire, faisant abstraction des solutions
- ✓ Cette approche se déroule en 7 phases
 - Phase 1 : Définir les limites du système
 - Phase 2 : Valider le besoin du système
 - Phase 3 : Rechercher les situations de vie
 - Phase 4 : Lister les environnants au système par situation de vie
 - Phase 5 : Rechercher les relations entre le système et ses environnants (les fonctions)
 - Phase 6 : Libeller ces fonctions
 - Phase 7 : Caractériser ces fonctions.

Phase 1 : Définir les limites du système

- ✓ Cette phase a pour but de définir ce qu'est notre système et ce qui n'en fait pas partie
- ✓ Pour cela, nous pouvons utiliser une décomposition hiérarchique du produit appelée découpage PBS (Product Breakdown Structure). C'est notamment au niveau des interfaces que cette définition des limites est importante

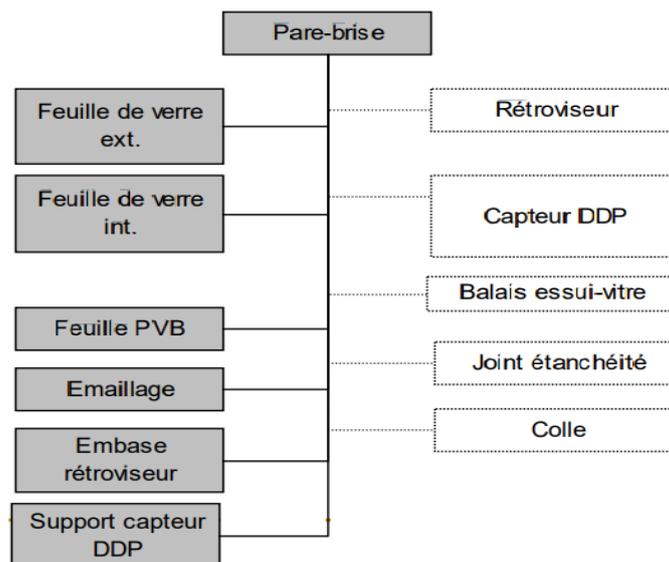


Figure 1.5 : Définir les limites du système(Pare-brise)

Phase 2 : Valider le besoin du système

- ✓ Avant de se lancer dans la conception d'un nouveau système, il est évident qu'il est intéressant de se poser la question de son utilité et de la pérennité de celui-ci.
- ✓ L'outil destiné à valider le besoin d'un système est appelé « bête à cornes » en liaison avec son mode de représentation

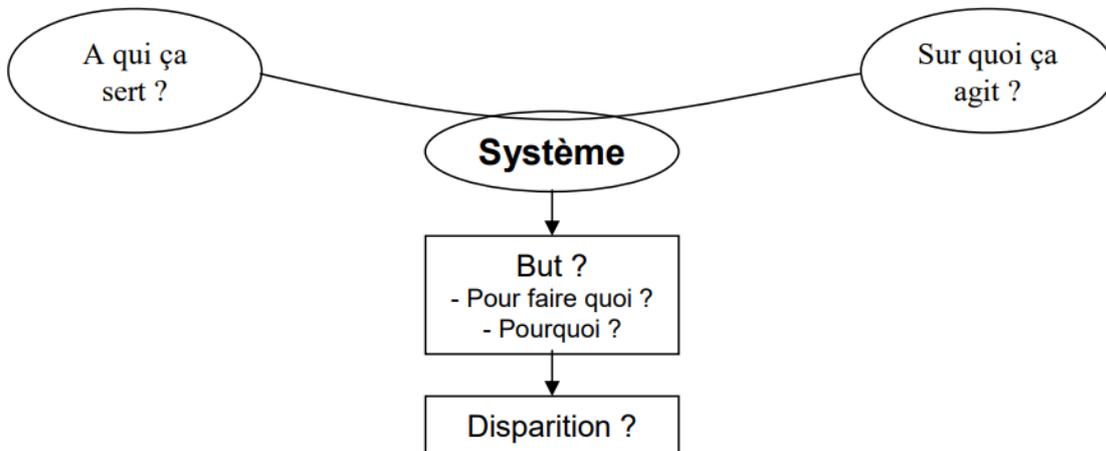


Figure 1.6 : Diagramme prestation

Phase 3 : Rechercher les situations de vie

Les situations de vie représentent les différentes phases dans lesquelles se trouvera le produit tout au long de son existence (allant de sa fabrication jusqu'à sa destruction et recyclage), chacune d'entre elles pouvant influencer sur son design

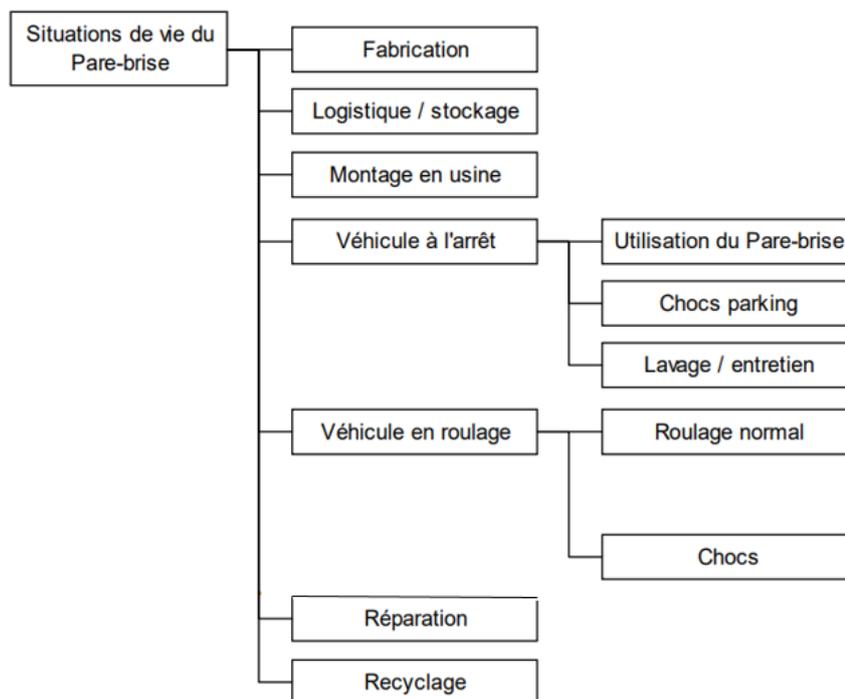


Figure 1.7 : Situations de vie du (Pare-brise)

Phase 4 : Lister les environnants au système par situation de vie

- Cette phase consiste à rechercher les éléments physiques qui sont en relation avec le système dans la situation de vie étudiée.
- Ces éléments peuvent être les autres composants du système de niveau n+1, l'ambiance dans laquelle se trouve le système, l'utilisateur du système ou l'environnant qui doit être modifié.

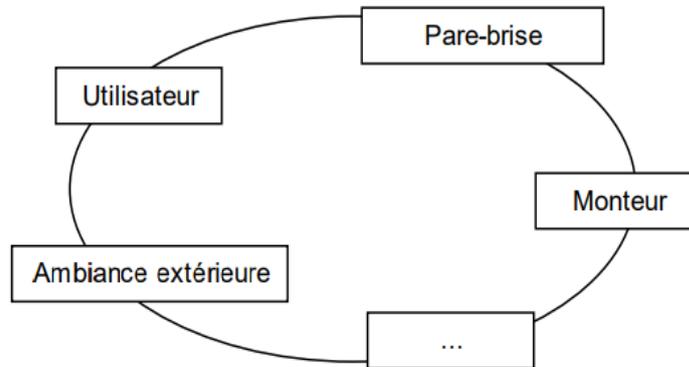


Figure 1.8: Eléments physiques en relation avec le système Pare-brise en situation de vie

Phase 5 : Rechercher les relations entre le système et ses environnants (les fonctions)

- ✓ Les fonctions constituent les relations entre le système et ses environnants
- ✓ Elles sont classées en deux catégories :
 - Fonctions de service (ou principales) : elles représentent l'objet du système. Elles relient deux environnants au travers du système
 - Fonctions contraintes : elles représentent les contraintes auxquelles le système doit résister. Elles ne relient qu'un environnant au système
- ✓ Les fonctions de service et contraintes sont représentées dans un schéma appelé « pieuvre »

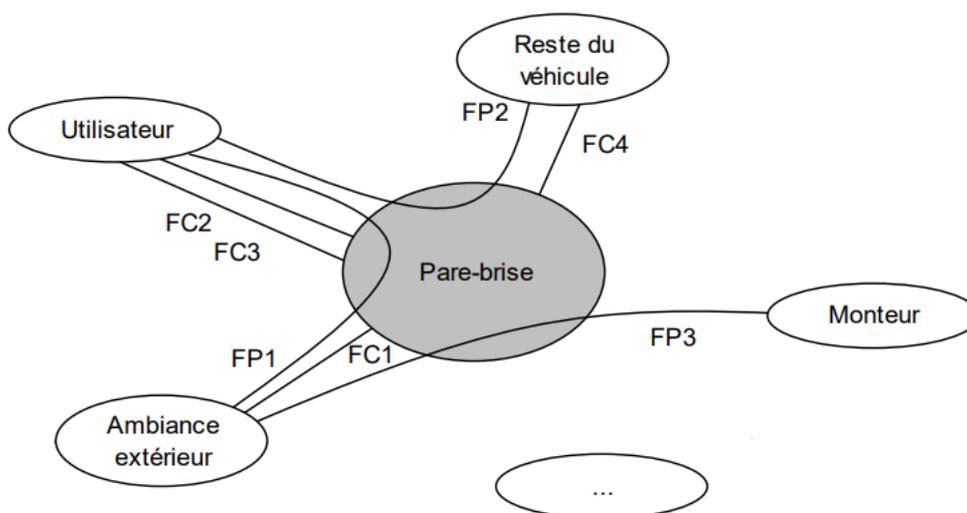


Figure 1.9: Diagramme des interacteurs (Pare-brise)

Phase 6 : Libeller ces fonctions

Le libellé des fonctions est constitué de la construction suivante :

- ✓ Sujet : c'est le système étudié qui se trouve dans la bulle centrale de la pieuvre.
- ✓ Verbe d'action : il transcrit la donnée de sortie de la fonction (ce que le produit doit faire).
- ✓ Compléments : ils reprennent les éléments des bulles environnantes. Cependant, pour simplifier la phrase, le sujet peut être sous-entendu, donc omis dans la phrase.
- ✓ Ce travail doit être effectué pour chaque situation de vie du système
- ✓ En reprenant notre exemple du pare-brise, chacune des fonctions pourra être libellée comme ci-après :
 - FP1 : le PB doit assurer une bonne visibilité du milieu extérieur au conducteur.
 - FP2 : le PB doit plaire à l'utilisateur en s'intégrant esthétiquement au reste du véhicule.
 - FP3 : le PB doit respecter l'intégrité physique du monteur
 - FC1 : le PB doit isoler de l'ambiance extérieure (eau, air...)
 - FC2 : le PB doit respecter l'utilisateur.
 - FC3 : le PB doit résister à l'utilisateur
 - FC4 : le PB doit s'adapter au reste du véhicule.

Phase 7 : Caractériser ces fonctions

- ✓ Cette dernière phase consiste à déterminer des critères de performance pour chacune des fonctions définies ci-avant, d'en préciser les niveaux attendus ainsi qu'une flexibilité (niveau de négociation possible)
- ✓ Les critères de performance correspondant à la partie verbale qualifient les données de sortie de la fonction (ce que l'on attend du système). A contrario, les critères de performance associés aux parties nominales servent à qualifier l'environnant correspondant, ils décrivent donc les données d'entrée de la fonction
- ✓ A chaque critère de performance est associé un niveau qui doit être toléré pour permettre au concepteur d'évaluer sa capacité.
- ✓ Enfin, à chaque critère est également associé un niveau de négociation possible entre le spécificateur et le concepteur (appelé niveau de flexibilité) :
 - F0 : flexibilité nulle : niveau impératif
 - F1 : flexibilité faible : niveau peu négociable
 - F2 : flexibilité bonne : niveau négociable
 - F3 : flexibilité forte : niveau très négociable. [3]

1.4.6.2 Analyse fonctionnelle interne/ ou technique (AFI / ou AFT)

- ✓ L'objet de cette analyse est de décrire comment les composants du système participent à la réalisation des fonctions.
- ✓ Evidemment, à ce stade, il faut avoir défini le nombre de composants et le mode de fonctionnement du système.
- ✓ Cette analyse comporte deux étapes principales : la décomposition du système et l'identification des flux à l'intérieur du système.

Décomposition du système

L'objet de cette décomposition est de définir les éléments constitutifs qui composent le système. Cette décomposition va constituer la nomenclature produit .

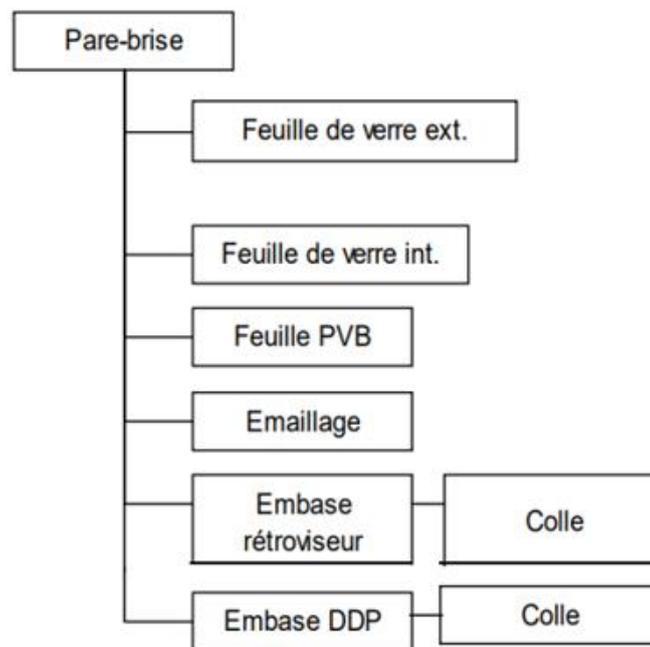


Figure 1.10: les éléments constitutifs qui composent le système(Pare-brise)

Identification des flux à l'intérieur du système

- ✓ L'objet de cette étude est de déterminer comment chaque fonction définie lors de l'analyse fonctionnelle externe, est réalisée par les différents composants.
- ✓ En intégrant les composants dans la bulle centrale de la pieuvre, on illustre le chemin suivi par chacune des fonctions. Ce chemin représente les flux à l'intérieur du système, flux qui sont de trois types : matière, énergie ou information.
- ✓ Les fonctions sont alors matérialisées dans le dessin par des traits représentant les contacts entre les éléments eux-mêmes et entre les éléments et les différents environnants. Ce schéma est classiquement appelé « bloc diagramme fonctionnel »

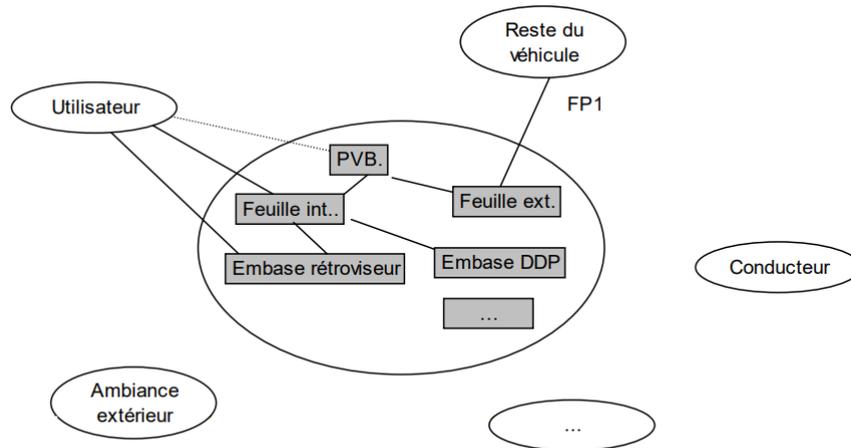


Figure 1.11: représente les flux à l'intérieur du système « bloc diagramme fonctionnel »

- ✓ Pour des systèmes complexes, on préférera plutôt le tableau d'analyse fonctionnelle, qui synthétise la participation des composants à la réalisation des fonctions, à la place du bloc diagramme fonctionnel (Tableau 1.1).
- ✓ Ainsi, selon les produits étudiés, on pourra utiliser soit le bloc diagramme fonctionnel, plus intuitif et plus imagé mais plus compliqué à dessiner avec un ordinateur, soit le tableau d'analyse fonctionnelle, plus facile à réaliser avec un tableur type Excel.
- ✓ Ce genre de représentation est peut-être plus sûr pour ne rien oublier. En effet : toute fonction doit être affectée à un composant au moins ; tout composant doit participer au moins à une fonction

Tableau 1.1 : le tableau d'analyse fonctionnelle

Fonctions Composants	FP1	FP2	FP3	FC1	FC2	...
Feuille ext.	X	X	X			
PVB	X	X	X			
Feuille int.	X		X			
Emballage	X		X			
Embase DDP	X		X			
Embase Rétroviseur		X	X			
Joint			X			
Colle						
...						

- ✓ Pour des raisons visuelles et d'efficacité on préférera une fois l'AFE terminée basculer directement sur un outil riche de l'AFI : le FAST.

- ✓ FAST= Analyse Fonctionnelle des systèmes techniques (Fonction Analyses System Technique)
 - ✓ Cet outil permet une fois le recensement et l'identification des fonctions faites de construire une décomposition fonctionnelle qui aboutira sur l'établissement de solutions techniques.
- [3]

1.4.6.3 Analyse préliminaire de risques (APR)

1° Description de l'analyse préliminaire de risques

Une analyse préliminaire de risque (APR) est une technique dérivée des exigences du « U.S. Military Safety Program MIL-STD882D ». Une analyse préliminaire de risque, dans l'industrie chimique par exemple, s'attarde aux substances dangereuses et aux procédés principaux de l'usine. L'analyse préliminaire de risque s'applique aussi à des systèmes et à des ouvrages n'utilisant pas de substances dangereuses. Elle comporte, dans ces cas, une identification des dangers par un processus systématique d'analyse y incluant une analyse détaillée du matériel et des logiciels, de l'environnement (dans lequel le système existe), ainsi que des utilisations et des applications anticipées.

L'APR est généralement réalisée tôt dans le développement d'un projet. À ce moment, peu d'information est disponible sur les détails de conception et, par exemple, sur les procédures d'exploitation et d'entretien. En conséquence, l'APR est souvent le précurseur d'autres analyses de dangers plus élaborées. C'est une méthode qui offre un bon rapport coût/bénéfice.

L'APR dresse une liste de dangers et de situations dangereuses typiques en considérant les caractéristiques suivantes de l'ouvrage :

- Matières premières, produits intermédiaires et finaux, et leur réactivité ;
- Matériaux de construction utilisés ;
- Équipements utilisés ;
- Plan d'aménagement du site et des équipements ;
- Environnement où se situe l'ouvrage ;
- Activités d'exploitation de l'ouvrage (essais, entretien, activités humaines, etc.) ;
- Interfaces entre les diverses composantes du système.

Un (ou plusieurs) analyste(s) évalue(nt) l'importance des dangers applicables à l'ouvrage et assigne(nt) une cote de classification tenant compte de la probabilité et de la gravité de chaque situation de danger. Cette cotation est utilisée pour hiérarchiser les recommandations de l'équipe d'analystes visant l'amélioration de la situation.

2°. Objectifs de l'analyse préliminaire de risques

L'APR, souvent utilisée pour évaluer les dangers au début de la vie d'un ouvrage, est appliquée lors des phases de conception ou de R&D et peut être très utile lors de la sélection d'un site pour son installation. Elle est aussi utilisée lors des phases préliminaires des projets pour effectuer les revues de conception avant le développement des plans et devis détaillés de l'ouvrage.

3°. Application de l'analyse préliminaire de risques

Bien que la technique d'APR soit normalement utilisée dans les phases préliminaires de conception d'un système ou d'un ouvrage où peu d'information est disponible sur les risques potentiels, elle peut aussi être utilisée pour analyser les grandes installations déjà en exploitation ou pour hiérarchiser les dangers lorsque les circonstances empêchent l'utilisation de techniques plus élaborées.

4°. Principe de l'analyse préliminaire de risques

- Identifier des situations de dangers (fuites de matières dangereuses toxiques, explosion, incendie, affaissement de barrage, erreurs humaines, conditions climatiques extrêmes, séismes, pannes électriques, pandémie, etc.).
- Déterminer les causes et les conséquences d'une situation de dangers.
- Mettre en lumière les barrières de sécurité existantes de prévention et/ou de protection (c.-à-d. les mesures de traitement des risques) et proposer des améliorations au besoin. [5]

1.4.6.4 Arbre de défaillances (ADD)

1°. Définition

L'arbre de défaillance (ADD) est une méthode déductive, qui fournit une démarche systématique pour identifier les causes d'un événement unique intitulé « événement redouté : ER ». Il consiste en une représentation graphique des combinaisons possibles d'événements qui permettent la réalisation d'un événement indésirable prédéfini en mettant en évidence les relations de causes à effets. Il est complété par un traitement mathématique qui permet la combinaison de défaillances simples ainsi que de leur probabilité d'apparition et de quantifier la probabilité d'occurrence d'un événement indésirable. Il est nécessaire que les événements soient indépendants entre eux. Leurs probabilité d'occurrence doit pouvoir être quantifiée (condition nécessaire seulement dans le cas où l'arbre est destiné à une analyse quantitative). [6]

2°. Élaboration de l'arbre

La construction de l'arbre des défaillances vise à déterminer les enchaînements d'évènements pouvant conduire à l'évènement final retenu. Cette analyse se termine lorsque toutes les causes potentielles correspondent à des évènements élémentaires. L'élaboration de l'arbre des défaillances suit le déroulement présenté en Figure 1.12.

La recherche systématique des causes immédiates, nécessaires et suffisantes (INS) est donc à la base de la construction de l'arbre. Il s'agit probablement de l'étape la plus délicate et il est souvent utile de procéder à cette construction au sein d'un groupe de travail pluridisciplinaire. De plus, la mise en œuvre préalable d'autres méthodes d'analyse des risques de type inductif facilite grandement la recherche des défaillances pour l'élaboration de l'arbre, en particulier en cas de système complexe.

Afin de sélectionner les évènements intermédiaires, il est indispensable de procéder pas à pas en prenant garde à bien identifier les causes directes et immédiates de l'évènement considéré et se poser la question de savoir si ces causes sont bien nécessaires et suffisantes. Faute de quoi, l'arbre obtenu pourra être partiellement incomplet voire erroné.

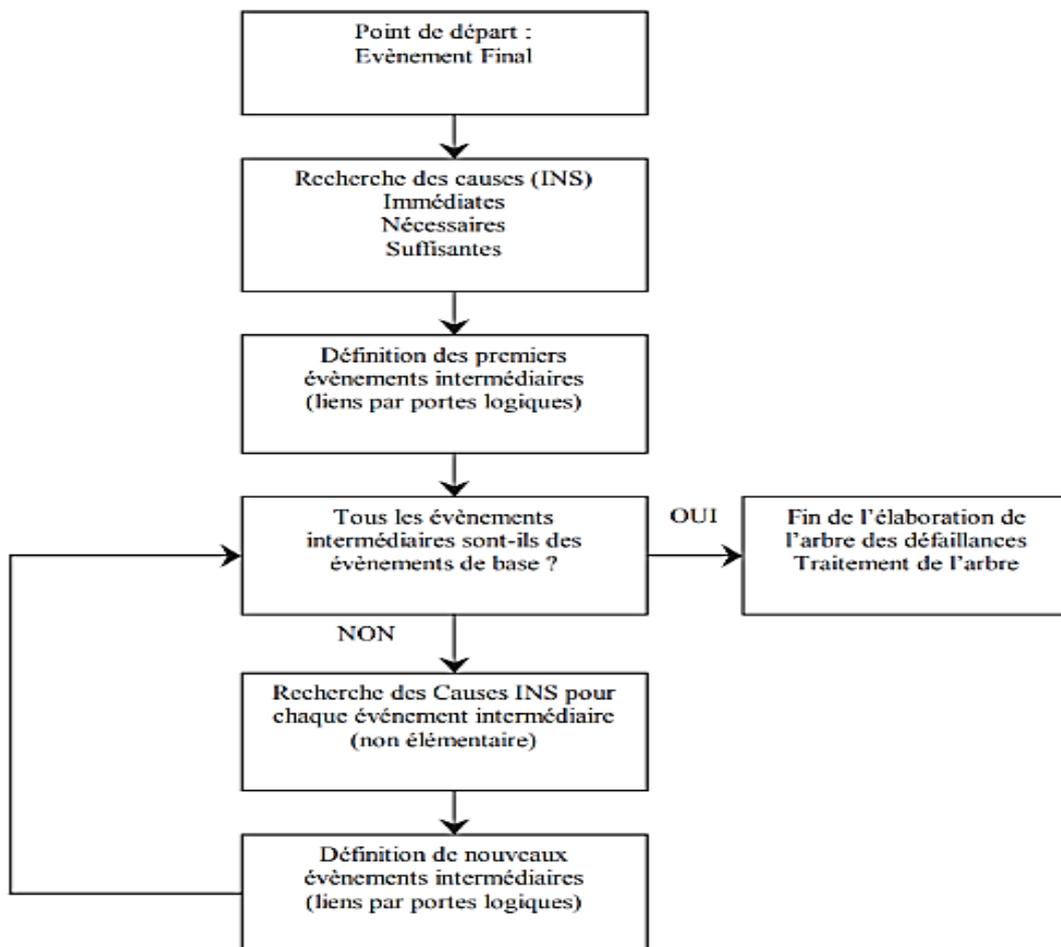


Figure 1.12 : Démarche pour l'élaboration d'un arbre des défaillances.

Enfin, il est nécessaire de respecter certaines règles supplémentaires à observer durant la construction de l'arbre à savoir (4) :

1. Vérifier que le système est cohérent, c'est-à-dire que :
 - La défaillance de tous ses composants entraîne la défaillance du système,
 - Le bon fonctionnement de tous ses composants entraîne le bon fonctionnement du système,
 - Lorsque le système est en panne, le fait de considérer une nouvelle défaillance ne rétablit pas le fonctionnement du système,
 - Lorsque le système fonctionne correctement, la suppression d'une défaillance ne provoque pas la défaillance du système. Il peut en effet arriver qu'une défaillance survenant sur un composant annule les effets d'une défaillance antérieure et permette ainsi le fonctionnement du système. Dans un tel cas de figure (système non cohérent), le deuxième composant doit être supposé, dans l'analyse, en fonctionnement lorsque la première défaillance survient.
2. S'assurer que tous les événements d'entrée d'une porte logique ont bien été identifiés avant d'analyser leurs causes respectives,
3. Éviter de connecter directement deux portes logiques,
4. Ne sélectionner que les causes antérieures à l'existence de l'événement considéré.

En définitive, l'application de ces règles aux réflexions menées au sein d'un groupe de travail conduit à la construction d'un arbre de la forme suivante. [7]

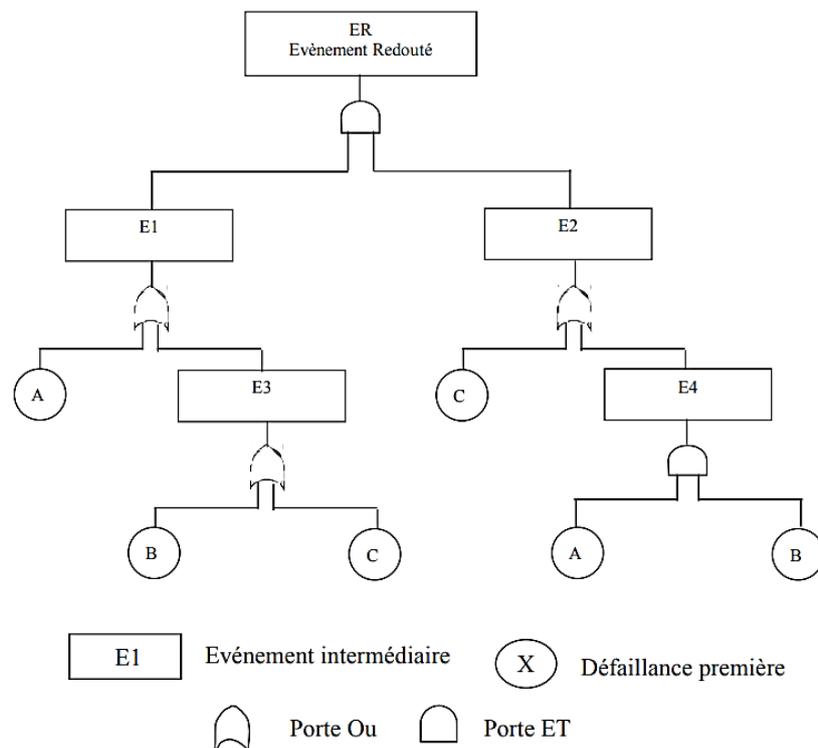


Figure 1.13: Exemple d'arbre des défaillances (VILLEMEUR, 1988)

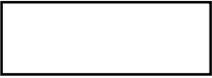
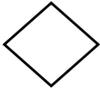
3°. Représentation graphique

La représentation graphique de l'arbre de défaillance se fait à travers une symbolisation graphique classée en deux types : Evènements ; Portes logiques

a. Evènements

La symbolisation des évènements a pour but de faciliter la désignation entre les différents types d'évènements. (Tableau 1.2)

Tableau 1.2: Symboles des évènements dans les arbres de défaillances

Symbole	Nom	Description
	Evènement Intermédiaire ou final	<i>Evènement du plus haut niveau: sommet d'arbre « évènement redouté », ou évènement intermédiaire résultant d'un évènement redouté.</i>
	Evènement de base	<i>Evènement du plus bas niveau pour lequel la probabilité d'apparition ou d'information est disponible.</i>
	Evènement non développé	<i>Le développement de cet évènement n'est pas terminé, soit parce que ses conséquences sont négligeables, soit par manque d'information.</i>
	Evènement maison	<i>Evènement qui doit se produire avec certitude lors de la production ou de la maintenance. On peut aussi le définir comme un évènement non- probabilisé ou (P=1).</i>

b. Portes logiques

Les portes logiques (ou connecteurs logiques) sont les liaisons entre les différents branches et/ou évènements. Les plus classiques sont ET et OU (Tableau 1.3). Les portes fonctionnent comme suit :

- OU : l'évènement en sortie/supérieur survient si, au moins, un des évènements en entrée/inférieur survient/est présent ;
- ET : l'évènement en sortie/supérieur survient seulement si tous les évènements en entrée/inférieur surviennent/sont présents [8]

Tableau 1.3: Symboles des portes dans les arbres de défaillances

Symbole	Nom	Description	Nombre d'entrées
	OU (OR)	<i>L'évènement de sortie apparait si au moins un des évènements d'entrées apparait</i>	>1
	ET (AND)	<i>L'évènement de sortie apparait si tous les évènements apparaissent</i>	>1
	SI (IF)	<i>Sortie générée si l'évènement entrée est présent et si la condition X est réalisée</i>	= 1

1.4.6.5 Outil AMDEC

1°. Définition et historique de l'AMDEC

On entend par AMDEC, l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité. C'est une méthode, une démarche, visant à identifier les défaillances ou dysfonctionnements pouvant affecter un système ou un processus, ainsi que les situations y conduisant et d'éventuelles actions préventives ou correctives. Elle consiste à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences.

L'AMDEC a été créée aux Etats-Unis par la société Mc Donnell Douglas (constructeur aéronautique) en 1966. La méthode a été mise au point par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et le secteur de l'armement sous le nom de FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) pour évaluer l'efficacité d'un système. Dans un contexte spécifique, cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes où l'on doit respecter des objectifs de fiabilité et de sécurité. A la fin des années soixante-dix, la méthode fut largement adoptée par Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler et d'autres grands constructeurs d'automobile. [9]

2°. Les informations nécessaires pour l'AMDEC

- ✓ La définition du système, ses fonctions et ses composants,
- ✓ L'ensemble des modes de défaillances des composants doit être établi,
- ✓ Pour chaque mode de défaillance, sont recherchées ensuite les causes possibles de son apparition,
- ✓ Une étude des effets sur le système et/ou sur l'opérateur est faite pour chaque combinaison (cause, mode de défaillance). [10]

3°. But de l'AMDEC

La méthode AMDEC vise les objectifs suivants :

- ✓ Réduire le nombre des défaillances ;
- ✓ Prévenir les pannes ;
- ✓ Améliorer la maintenance préventive ;
- ✓ Réduire les temps d'indisponibilité ;
- ✓ Améliorer la maintenance corrective ;
- ✓ Améliorer la sécurité.

3° Types d'AMDEC

Globalement, il existe trois types d'AMDEC :

- ✓ **AMDEC procédé** : on identifie les défaillances du procédé de fabrication dont les effets agissent directement sur la qualité du produit fabriqué ;
- ✓ **AMDEC machine (ou moyen)** : on identifie les défaillances du moyen de production dont les effets agissent directement sur la productivité de l'entreprise. Il s'agit donc de l'analyse des pannes et de l'optimisation de la maintenance ;
- ✓ **AMDEC produit** : elle est utilisée pour évaluer les défauts potentiels d'un nouveau produit et leurs causes.

5° Principe de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'étude a priori des défaillances d'un dispositif. Elle consiste à analyser les modes de défaillance un à un, à hiérarchiser les causes à l'origine de la défaillance, et à définir et mettre en œuvre des actions préventives ou correctives en fonction de la criticité observée. Elle permet d'améliorer la fiabilité d'un produit, d'un processus, d'un service existant ou d'un moyen de production, et de prévenir les défaillances lors de la conception. La hiérarchisation des causes à l'origine du mode de défaillance s'établit par la définition de trois notes :

- ✓ la gravité, « G », qui quantifie, suite à l'apparition de défaillances, les conséquences de l'effet,
- ✓ la fréquence « F », qui quantifie la fréquence d'apparition de la défaillance,
- ✓ La détection, « D », qui quantifie la probabilité de détecter la défaillance.

Pour chaque cause ayant entraîné le mode de défaillance, l'Indice de Probabilité de Risque (IPR) ou Criticité est calculé selon la formule :

Criticité = Fréquence* Gravité* Détectabilité (4)

L'AMDEC est réalisé en plusieurs phases qui sont résumées comme ci-dessous :

- **Phase 1** : analyse structurelle c'est-à-dire décomposition du système en sous-systèmes et composants ;
- **Phase 2** : l'analyse fonctionnelle : la détermination des fonctions des sous-systèmes et composants du système ;
- **Phase 3** : la mise à jour des modes de défaillance qui s'appuie sur l'analyse fonctionnelle ;
- **Phase 4** : l'attribution d'un niveau de criticité à chaque mode défaillance ;
- **Phase 5** : la détermination d'actions préventives ou correctives pour chaque mode de défaillance en fonction de leur niveau de criticité. [9]

4° Terminologie de l'AMDEC

Un certain nombre de notions sont utilisées dans l'AMDEC. Il est important de les connaître parfaitement afin de comprendre précisément le fonctionnement de l'AMDEC et d'en assurer la meilleure application possible.

Date de l'analyse :	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement :	page : ..			
	Machine :		Organe :				Nom : ...			
Pièce/Élément	Fonction de service	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action Corrective
						F	G	D	C	

Figure 1.14: Aspect du tableau de synthèse de l'AMDEC

- **Mode de défaillance :** Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif n'arrive plus à remplir sa fonction.
- **Cause de défaillance :** Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance. Plusieurs causes peuvent être associées à un même mode de défaillance. Une même cause peut provoquer plusieurs modes de défaillance.
- **Effet de la défaillance :** Les effets d'une défaillance sont les effets locaux sur l'élément étudié du système et les effets sur le système lui-même.
- **Criticité (C):** C'est le produit mathématique de l'évaluation de la fréquence d'apparition d'une défaillance, de sa gravité et sa détectabilité.
- **Fréquence (F):** Elle présente deux nuances distinctes permettant de l'estimer. La première étant la probabilité d'apparition de la défaillance et la seconde étant la fréquence d'apparition.
- **Gravité (G):** Appelé aussi sévérité, elle est une évaluation de l'importance de l'effet de la défaillance potentielle sur le temps d'arrêt de production
- **Détection (D):** Le mode de détection est la manière par laquelle une défaillance est détectée.

1.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous nous sommes attachés à présenter les outils et techniques de l'analyse dysfonctionnelle. Cette dernière a été abordée à travers sa définition, ses étapes ainsi que les outils qui lui sont dédiés. A cet effet, la notion de sûreté de fonctionnement a été présentée comme notion importante pour traiter les problèmes de dysfonctionnement d'un système. Les outils utilisés pour mener une étude en sûreté de fonctionnement sont : l'analyse fonctionnelle, l'analyse préliminaire des risque, l'arbre de défaillances et l'analyse des modes de défaillance leurs effets et leurs criticités.

Chapitre 2

Système de transmission de puissance poulie- courroie

2.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'un des systèmes de transmission de puissance, à savoir le système poulie courroie. Nous allons aborder sa définition, son rôle, ses avantages et inconvénients et sa technologie et ses caractéristiques techniques. Le chapitre sera divisé en deux parties : En premier lieu, on présentera l'élément courroie et en deuxième lieu l'élément poulie et tendeur. Sans oublier de rappeler leurs propriétés en termes de matériaux leur procédés de fabriqués. A la fin du chapitre, nous allons mener une analyse fonctionnelle globale et externe afin de dégager les fonctions de services.

2.2 PRESENTATION DE LA TRANSMISSION PAR POULIE-COURROIE

2.2.1 Historique

D'après Gates Rubber Company, la transmission de puissance par courroie est utilisée depuis plus de deux cents ans. Le premier type de courroie apparu est la courroie plate s'enroulant sur des poulies à jante lisse. Plus tard, le coton ou les cordes en chanvre rond furent utilisés avec des poulies à rainures trapézoïdales dans le but de réduire la tension dans la courroie. Ceci a conduit au développement de la vulcanisation du caoutchouc pour produire la première courroie trapézoïdale en 1917. Plus tard, dans l'idée de transmettre un mouvement avec synchronisme dans les machines à coudre, la compagnie L. H. Gilmer lance sa première courroie synchrone 1 dans les années 1940. Le progrès fut ralenti par la deuxième guerre mondiale mais fut poursuivi juste après pour que l'association des manufacturiers du caoutchouc (RMA)² lance son premier catalogue de standardisation des courroies-V et synchrones en 1949. Ce n'est qu'en 1960 que les courroies synchrones remplacent les chaînes pour trouver leur application dans la distribution des véhicules afin de synchroniser le mouvement entre l'arbre à cames, les soupapes et le vilebrequin. [11]

2.2.2 Définition

Les courroies et les poulies permettent la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre menant à un arbre mené relativement éloignés l'un de l'autre. Le glissement qui résulterait du fonctionnement d'une transmission par friction exclut les courroies plates ; seules les courroies crantées sont utilisées en robotique. [12]

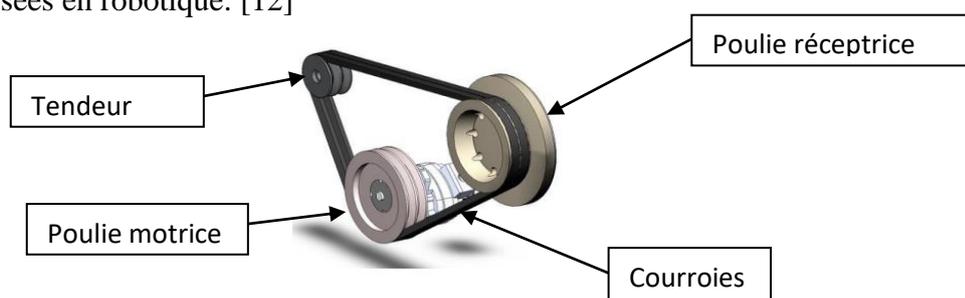


Figure 2.1 : Système de transmission par courroie

2.2.3 Rôle

Le système de transmission est celui de la poulie–courroie. Elle transmet le mouvement de l'arbre moteur de l'arbre récepteur situé à une distance donnée (entraxe). Les poulies (motrice et réceptrice) sont chaussées par la courroie convenablement tendue. Lorsque la poulie motrice (ou poulie menant) tourne, elle entraîne la courroie par adhérence et la courroie entraîne f son tour la poulie réceptrice (ou poulie menée) de la même façon.

Le système formé par la courroie et les deux poulies permet donc de transformer le mouvement circulaire continu de l'arbre moteur en mouvement circulaire continu de l'arbre récepteur et, simultanément de transmettre la puissance du moteur [13]

2.2.4 Avantages et Inconvénients

a. Avantage des courroies

Voici une liste non exhaustive des avantages des transmissions par courroies :

- Système d" entraînement très propre comparativement aux chaînes.
- Fonctionnement sans lubrification.
- Amortit et absorbe les chocs dus aux surcharges grâce à l'élasticité du matériau.
- Permet une large sélection de rapports de transmission.
- fonctionnement silencieux par rapport aux engrenages et aux chaînes.
- Rendement mécanique supérieur à 95%.
- Transmet la puissance avec des entraxes de poulies variables.

b. Inconvénients

- Nécessité de tendre la courroie périodiquement pour ajuster la tension statique.
- Détérioration si la courroie est exposée aux agents extérieurs tels que les hydrocarbures, les huiles, les acides. etc.
- Ne peut pas être réparée et doit être remplacée en cas de bris ou d'usure excessive. [14]

2.2.5 Caractéristiques géométriques [15]

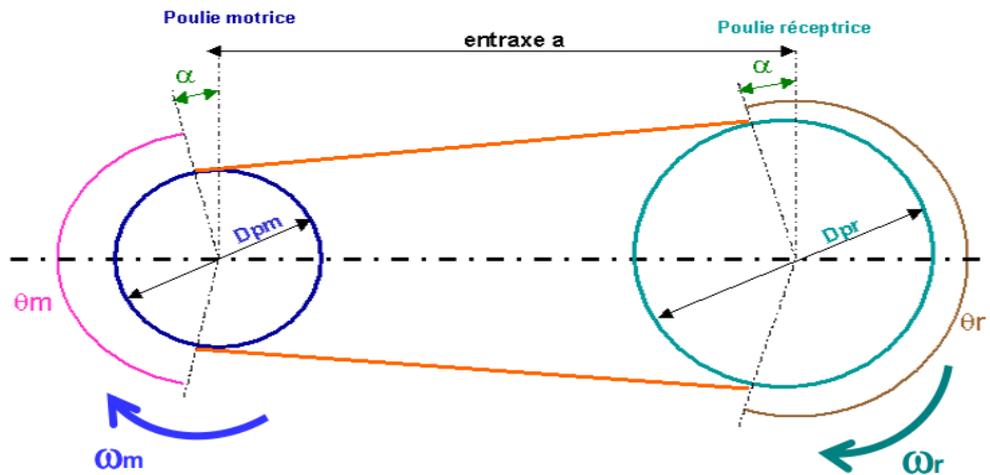


Figure 2.2 : caractéristiques géométriques poulie courroie

Avec:

- D_{pm} : diamètre primitif de la poulie motrice
- D_{pr} : diamètre primitif de la poulie réceptrice
- Rapport de transmission :

$$K_t = \frac{\omega_r}{\omega_m} \quad (2.1)$$

Angles d'enroulement

$$\theta_m = \pi - 2 \cdot \arcsin \left[\frac{(D_{pr} - D_{pm})}{2a} \right] \quad (a) \quad (2.2)$$

$$\theta_r = \pi + 2 \cdot \arcsin \left[\frac{(D_{pr} - D_{pm})}{2a} \right] \quad (b)$$

Longueur de la courroie

$$L = \left[4a^2 - (D_{pr} - D_{pm})^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{2} (\theta_r \cdot D_{pr} + \theta_m \cdot D_{pm}) \quad (2.3)$$

2.3 TECHNOLOGIE DU SYSTEME POULIE-COURROIE

La courroie est une pièce utilisée pour la transmission du mouvement. Elle est construite dans un matériau souple. Par rapport à d'autres systèmes, elle présente l'avantage d'une grande souplesse de conception (le concepteur a une grande liberté pour placer les organes moteur et récepteur), d'être économique, silencieuse et d'amortir les vibrations, chocs et à-coups de la transmission. [16]

2.3.1 Les courroies

2.3.1.1 Définition

Une courroie est un élément de machine flexible permettant de transmettre une puissance par adhérence lorsque l'arbre moteur et l'arbre entraîné sont éloignés l'un de l'autre. La tension initiale des courroies est indispensable pour garantir l'adhérence et assurer la transmission du mouvement, un système à entraxe réglable ou un dispositif annexe de tension (gilet enrouleur, etc.) est souvent nécessaire pour régler cette tension et compenser l'allongement des courroies au cours du temps et aussi on augmente l'angle d'enroulement. La qualité et le rendement d'une transmission par courroie sont étroitement liés à la précision de position des poulies lors du montage. [17]

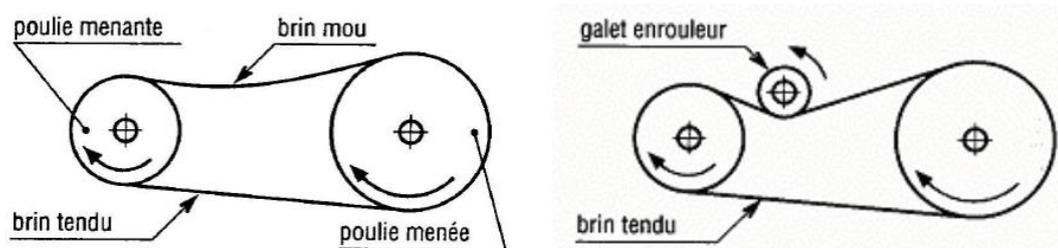


Figure 2.3: Transmission par courroie.

2.3.1.2 Classification

1°. Courroie plate

Les courroies plates peuvent être divisées en deux catégories (figure 2.4) :

- **les courroies dites sans fin** : caractérisées par leur largeur, leur épaisseur et leur longueur intérieure mesurée sous tension normale de montage (norme ISO 63) ; (ISO :Organisation internationale de normalisation)
- **les courroies jonctionnables**: coupées à la longueur voulue mesurée à plat, et dont les extrémités sont réunies par un joint de précision soudé, par une couture, par collage ou par une agrafe en métal. Dans tous ces cas, la jonction constitue un point faible et les agrafes présentent un danger permanent pour les utilisateurs ; c'est pour ces raisons que les courroies fabriquées en sans fin (ou jonctionnées par collage ou soudure) sont utilisées de préférence ; on évite ainsi les trépidations, le bruit et le glissement dus aux passages de l'agrafe sur la poulie

Traditionnellement, le cuir a été à l'origine le matériau favori pour la fabrication des courroies plates avec, comme autres matériaux, le coton et le crin tissés. Ces matériaux anciens ont été largement supplantés, pour la majorité des courroies, par des matériaux composites. Actuellement, les courroies plates sont en règle générale constituées par :

- Une surface de frottement en tissus imprégnés d'élastomère ;
- Un élément de traction (carcasse ou armature) fait de matériaux synthétiques tels le polyamide, le polyester ou, dans les transmissions très sévères, les fibres aramides ; ce sont des tissus dans le cas des courroies jonctionnables et des câbles enroulés en hélice dans le cas des courroies sans fin.

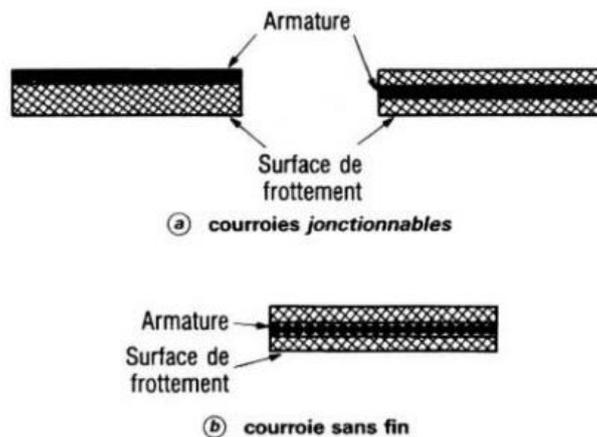


Figure 2.4 : Construction de courroies plates

2°. Courroies trapézoïdales

Une courroie trapézoïdale est une courroie dont la section transversale a la forme générale d'un trapèze isocèle (figure 5). Sur une section droite de la courroie maintenue rectiligne, le trapèze est défini par la base, les flancs et le sommet de la courroie.

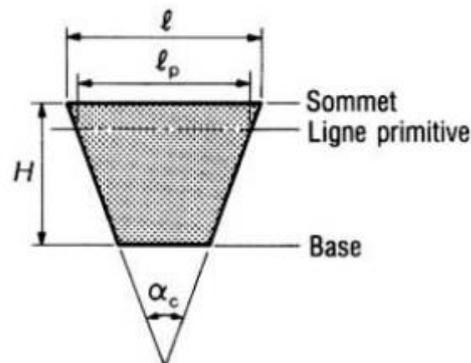


Figure 2.5 : Section d'une courroie trapézoïdale

- Ligne primitive d'une courroie : toute ligne circonférentielle qui, dans la courroie (non chargée), conserve la même largeur quand celle-ci est courbée perpendiculairement à la base.

- Zone primitive : lieu géométrique de l'ensemble des lignes primitives.
- Largeur primitive ℓ_p : largeur de la courroie au niveau de sa zone primitive.
- Largeur au sommet ℓ : grande base du trapèze définie sur une section droite
- Hauteur H : hauteur du trapèze définie sur une section droite.
- Hauteur relative h_r : grandeur sans dimension telle que $h_r = H / \ell_p$

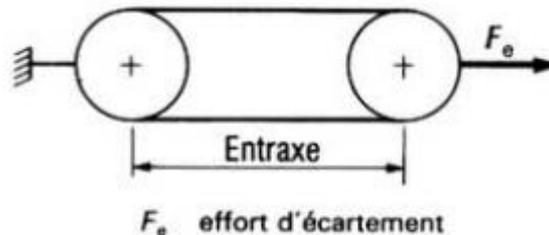


Figure 2.6: Dispositif de mesure d'une courroie

La plupart des courroies trapézoïdales sont réalisées en sans fin, constituées d'élastomère qui assure un bon coefficient de frottement et de fibres synthétiques pour l'armature (ou élément de traction). Deux types de courroies existent suivant qu'elles sont enveloppées ou non sur les quatre faces

a. Courroies classiques

Les courroies classiques sont telles que la hauteur relative h_r est voisine de 0,7 et que l'angle du trapèze α (figure 2.7) est de l'ordre de 40° . Ce sont les premières courroies trapézoïdales à être apparues sur le marché ; leur utilisation est aujourd'hui celle du marché de remplacement.

b. Courroies étroites

C'est une évolution de la courroie classique : l'encombrement est réduit ($h_r \approx 0,9$) pour de meilleures performances grâce à un moindre échauffement en flexion.

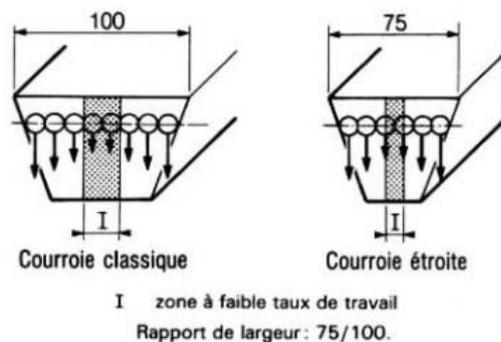


Figure 2.7 : Comparaison des zones de travail entre une section classique et une section étroite

c. Courroies larges

Elles sont utilisées pour les variateurs de vitesse industriels : le rapport i_r est de l'ordre de 0,3 et leur angle α_c est ramené à une valeur de l'ordre de 26° . Pour augmenter la plage de variation de vitesse. Dans la plupart des cas, elles sont crantées sur la petite base afin de diminuer le diamètre d'enroulement.

d. Courroies semi-larges

Elles sont utilisées pour les variateurs de vitesse en machinisme agricole : le rapport i_r est voisin de 0,5 et, dans ce cas également, l'angle α_c est de l'ordre de 26° pour augmenter la plage de variation de vitesse.

e. Courroies jumelées

Dans un jeu de courroies, l'allongement de chacune est différent de l'une à l'autre ; certaines courroies travaillent tandis que d'autres battent et sont peu sollicitées. Le rendement d'une telle transmission est amélioré en jumelant les courroies par une nappe de liaison sur leur sommet (figure 2.8).

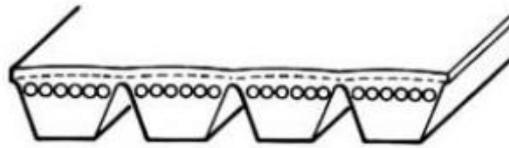


Figure 2.8: Courroie jumelée

f. Courroies enveloppées

Afin de protéger les éléments internes de la courroie contre les agressions externes, la courroie est enrobée de tissu caoutchouté qui résiste à l'abrasion ainsi qu'aux agents chimiques présents sur certaines transmissions.

■ **Courroie multicorde (figure 2.9a)** : premier type de courroie trapézoïdale apparu sur le marché, elle est constituée d'un empilage de tissu cord (nappe câblée) noyé dans un mélange à base d'élastomère. L'irrégularité des contraintes dans les différentes nappes, une mauvaise tenue à la fatigue et une trop grande rigidité à la flexion ont provoqué l'abandon de ce type de courroie au profit de la courroie Grommet, puis de la courroie monocorde

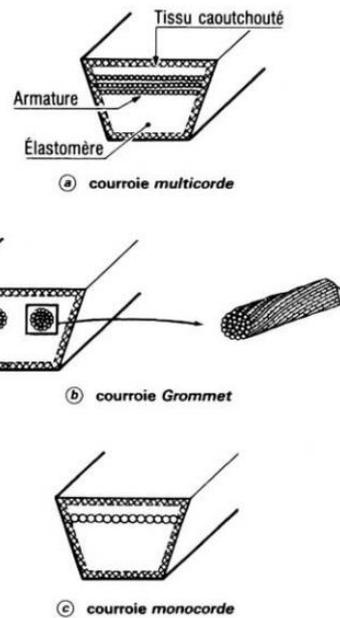


Figure 2.9 : Courroies enveloppées

■ **Courroie Grommet (figure 2.9b)** : l'armature est formée par deux anneaux constitués d'un câble enroulé sur lui-même. Le rendement a été augmenté, mais cette courroie a de faibles possibilités d'enroulement sur de petits diamètres lorsque la section des anneaux est importante (diamètre supérieur à 5 mm). La courroie Grommet est susceptible de supporter plus d'à-coups, mais transmet moins de puissance qu'une courroie monocorde. Ce type de construction se rencontre surtout dans les grosses sections (C, D et E en courroies classiques).

■ **Courroie monocorde (figure 2.9c)** : c'est le type de courroie le plus fabriqué actuellement. Un seul câble enroulé en hélice forme une seule nappe ; ce câble, à l'origine en coton, puis en rayonne, est remplacé à ce jour par des fibres synthétiques telles que les polyesters (câbles les plus employés), les polyamides (appréciés pour leurs facultés d'allongement) ou les fibres aramides (module d'élasticité semblable à celui de l'acier).

g. Courroies à flancs nus (ou sans enveloppage)

À flancs nus signifie que la courroie ne comporte pas d'enveloppage sur tout son pourtour et que ses côtés ne sont donc pas recouverts. La surface de frottement (les flancs) est donc non protégée : c'est pour cette raison que la structure interne de la courroie est plus complexe que dans le cas d'une courroie enveloppée. Leur structure est toujours du type monocorde, le mélange de base est très souvent renforcé par des fibres limitant l'abrasion de l'élastomère ; il peut également exister une stratification transversale sous l'armature constituée d'un ou plusieurs plis de tissu cord assurant une bonne rigidité de l'ensemble et limitant l'usure (figure 2.10).

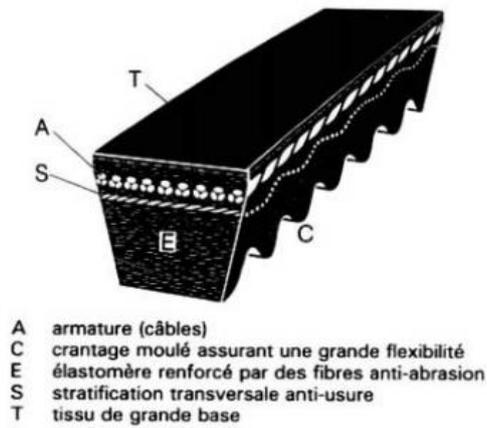


Figure 2.10 : Exemple de construction d'une courroie à flancs nus (sans enveloppage)

Les performances d'une courroie sans enveloppage sont améliorées par rapport à celles d'une courroie enveloppée par un meilleur coefficient de frottement et une meilleure utilisation de l'armature (20 % de zone utile en plus) (figure 2.11).

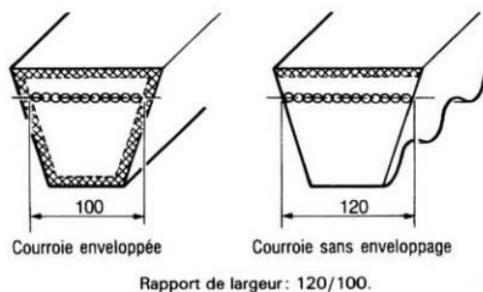


Figure 2.11 : Comparaison des largeurs utiles de l'armature entre une courroie enveloppée et une sans enveloppage

3°. Courroies striées

La courroie striée est une courroie généralement caoutchoutée, sans fin, rainurée dans le sens de la longueur par des dents de section triangulaire (figure 2.12) ; ces dents peuvent être tronquées (diminution du diamètre minimal d'enroulement) ou non.

L'armature est constituée d'une seule nappe de câble (généralement en polyester).

Les courroies, fabriquées en manchons de grande largeur, sont découpées ultérieurement au nombre de dents nécessaires correspondant au nombre de gorges de la poulie, ce qui génère une courroie unique transmettant la puissance attendue

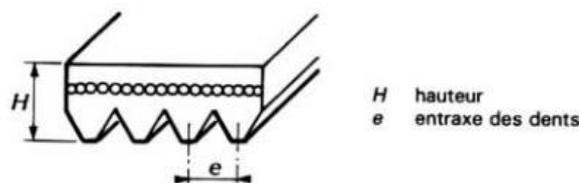


Figure 2.12 : Courroie striée

4°. Courroies crantées ou synchrones

Courroie synchrone : courroie dont la section droite a la forme générale d'un rectangle mais qui comporte à intervalles réguliers des dents transversales sur sa face intérieure (figure 2.13). Des dents peuvent se trouver également sur sa face extérieure : courroie synchrone à double denture.

Dent : un des éléments transversaux faisant saillie sur la face intérieure de la courroie et ayant le profil adéquat pour engrener avec les dents d'une poulie synchrone.

Pas P_b : distance entre les axes de symétrie de deux dents consécutives, dans une portion rectiligne de courroie supportant l'effort de mesurage prescrit (figure 2.14).

Ligne primitive : toute ligne circonférentielle de courroie qui conserve sa longueur lorsque la courroie est pliée perpendiculairement à sa base.

Longueur primitive L : longueur développée de la ligne primitive. Le mesurage des courroies est l'objet d'une norme.

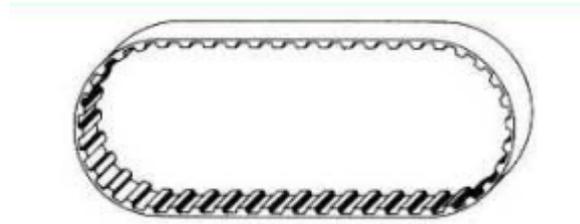


Figure 2.13 : Courroie synchrone

Une courroie synchrone (figure 2.14) est définie par :

- Sa hauteur totale : H pour une simple denture
 H_c pour une double denture
- Sa hauteur de dent H_r
- Son rayon en tête de dent r_2
- Son rayon en pied de dent r_1
- Sa largeur au pied de dent B_g
- Son angle de dent α_d

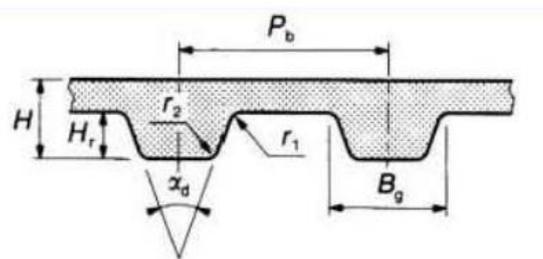


Figure 2.14 : Définition d'une courroie synchrone à simple denture

Pour suivre l'évolution de ses applications, la courroie a dû évoluer pour en arriver, actuellement, à une multitude de formes et de tailles. On distingue plus particulièrement les dents à profils trapézoïdaux et les dents à profils curvilignes. Plusieurs pas (ou modules) existent et on distingue les pas en pouces et les pas métriques; ces deux familles coexistent, donnant lieu chacune à de nombreuses variantes.

Profils trapézoïdaux : les courroies à profils trapézoïdaux sont les premières courroies synchrones apparues sur le marché. Elles existent, pour les applications industrielles, en six pas différents normalisés NF et ISO en pouces: profils MXL, XL, L, H, XH et XXH et un pas objet d'un projet de normalisation : profil XXL. Nous pouvons également citer, à titre d'information, les pas métriques normalisés DIN : T2,5, T5, T10 et T20.

Le profil L existe également pour les applications automobiles mais celui-ci n'est pas compatible avec le profil L de l'industrie, le développement primitif n'étant pas défini de la même manière.

Profils curvilignes : ils sont une évolution des profils trapézoïdaux, le but recherché étant d'optimiser la répartition des contraintes sur la dent de la courroie (figure 2.15). Ils existent en plusieurs pas dont, pour l'industrie, les quatre principaux sont métriques : 3, 5, 8 et 14 mm . Les cotes sont données dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Cotes d'une courroie synchrone à profil curviligne (d'après doc. Kléber-Industrie)

P_b (mm)	H (mm)	H_r (mm)
3	2,40	1,20
5	3,80	2,10
8	5,60	3,40
14	10,00	6,10

Il n'existe à ce jour aucune norme définissant ces profils. Les cotes indiquées ne sont qu'approximatives et varient d'un fabricant à l'autre. Seul le pas est respecté afin d'assurer l'interchangeabilité d'une courroie de construction différente à une autre sur une même transmission. Un projet de normalisation est en cours.

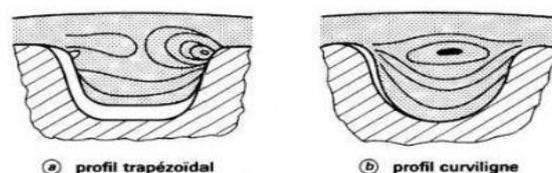


Figure 2.15: Tracé isochromatique des contraintes sur une dent pour deux profils différents

Toutes les courroies synchrones sont constituées :

- D'une **armature** (ou élément de traction), elle-même constituée d'une nappe de câbles à fort module d'élasticité. L'acier, le seul utilisé à l'origine, est de plus en plus remplacé par les fibres de verre ou aramide ;
- D'un **élastomère** ou d'un **matériau thermoplastique** enrobant l'armature et formant les dents et le dos de la courroie. Les deux principaux matériaux employés sont le polyuréthane et un caoutchouc à base de polychloroprène ;
- D'un **tissu** (généralement en polyamide) protégeant les dents lorsque celles-ci sont à base de polychloroprène.

La figure (2.16) donne un exemple de constitution correspondant à la majorité des réalisations. L'armature est constituée de fibres de verre formant des fils torsadés dans les deux sens. Les câbles de torsions inverses permettent d'équilibrer la courroie et évitent ainsi son déplacement latéral lors du fonctionnement de la transmission. Un câble sur deux est toronné de sens Z, l'autre étant de sens S. Cette armature a sensiblement le même module d'élasticité que l'acier mais présente une plus grande flexibilité.

L'élastomère employé est du polychloroprène, ce qui confère à la courroie une bonne résistance à l'abrasion et au cisaillement ainsi qu'une faible déformation de la dent. Les dents sont protégées par un tissu polyamide ayant un faible coefficient de frottement et une bonne résistance à l'usure.

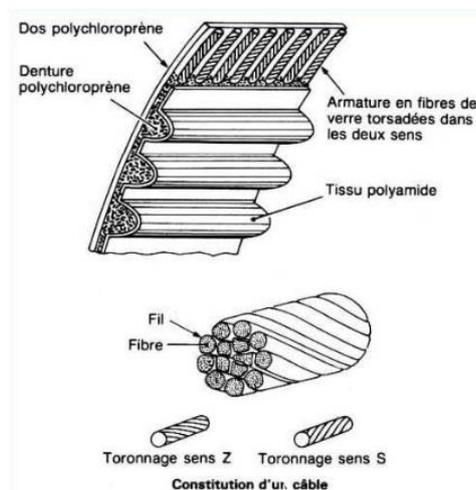


Figure 2.16: Exemple de constitution d'une courroie synchrone

5° Autres types de courroies

a Courroies hexagonales

Ces courroies sont utilisées pour des transmissions polygonales, c'est-à-dire pour un entraînement de plusieurs poulies de sens de rotation inversés. Leur section est constituée de deux trapèzes opposés par leur grande base (figure 2.17). Elles peuvent être fabriquées en sans fin ou à bouts libres.

Les matériaux entrant dans leur constitution sont les mêmes que ceux pour les courroies trapézoïdales

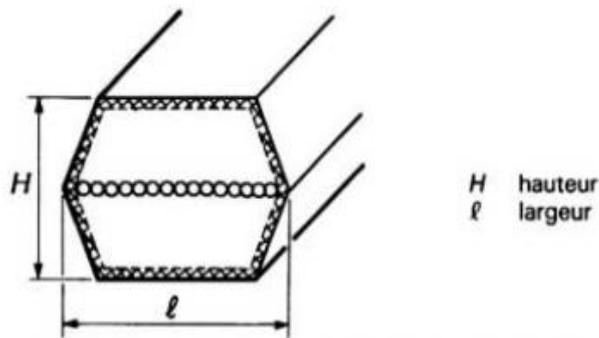


Figure 2.17 : Courroie hexagonale

b. Courroies trapézoïdales à bouts libres

Ces courroies peuvent être constituées dans différents matériaux tels que le cuir (courroies à maillons, par exemple), le caoutchouc armé par des plis de textile (type multi corde, figure 2.18) dont la jonction se fait à l'aide d'une agrafe, ou les matières plastiques ou thermoplastiques dont la jonction se fait par soudure. Le principal avantage est la liberté de placer la transmission de façon la mieux adaptée possible, en fonction de la machine, sans que la disposition soit soumise aux nécessités d'accès d'une courroie sans fin. Cependant, la capacité de transmission de puissance se trouve réduite de plus de 50 % par rapport à une courroie sans fin qui serait réalisée dans les mêmes matériaux de base. [18]

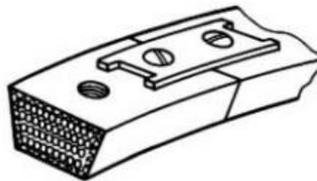


Figure 2.18: Courroie trapézoïdale Agrafable

c. Courroies Rondes

Les courroies rondes sont surtout utilisées pour les petits mécanismes car leur capacité de transmettre une puissance est très limitée. Elles se montent dans des poulies à gorge (voir figure 2.19). On obtient une forte adhérence par coincement de la courroie dans les gorges des poulies [19]



Figure 2.19: Courroie ronde

2.3.1.3 Matériaux des courroies

1) Cuir (auparavant) :

- Sensible aux conditions d'opération
- Exemple moulin à scie ou Scie horse power

2) Composites cuir-perlon, cuir-nylon, etc.

- Grande durabilité
- Vitesses petites et moyennes

3) Tissus caoutchoutés :

- Fibres de coton, nylon ou autres imprégnées de caoutchouc, augmentent le coefficient de friction.
- Disponible en rouleaux, il faut relier par un joint (chauffé et meulé)

4) Caoutchoucs ou élastomères renforcés :

- PVC, uréthane, nylon avec les renforts : fibres de verre ou de carbone, acier :
- $P = 30 \text{ kW/cm de largeur (100 hp/po)}$, $V = 20 \text{ m/s (40 000 tpm)}$
- Courroies sans fin ou en rouleaux[20]

2.3.2 Les poulies

2.3.2.1 Classification

a. Poulies pour courroies plates

Soit un tambour conique sur lequel s'enroule une courroie (figure 2.20a). Comme la partie la plus tendue est sur le bord situé du côté du grand diamètre, on comprend que la rotation du tambour va avoir pour effet de déplacer la courroie vers la grande base du cône. De ce fait, les poulies pour courroies plates sont bombées. Effectivement, une poulie bombée peut être considérée comme la limite vers laquelle tend une poulie biconique. Chaque moitié de la courroie placée sur une telle poulie va tendre à se rapprocher de la base commune, ce qui a pour effet de placer l'axe de la courroie dans le plan du grand diamètre.

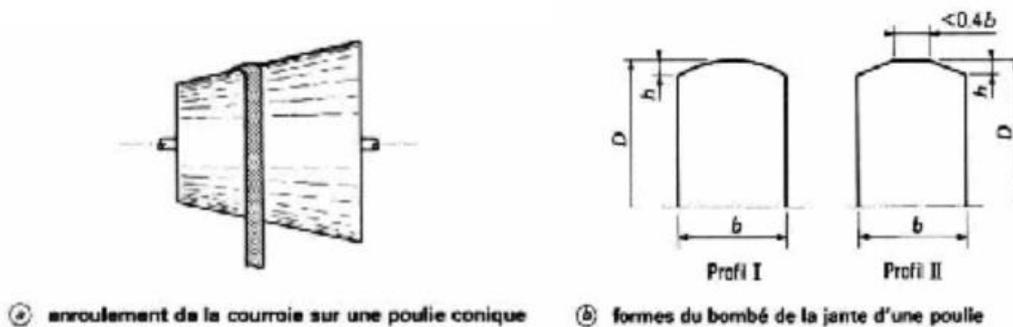


Figure 2.20 : Poulies pour courroies plates

b. Poulies pour courroies trapézoïdales

La poulie se caractérise par sept paramètres (figure 2.21) :

- Son diamètre de référence D_d (anciennement appelé diamètre primitif)
- Sa largeur de référence l_d (anciennement appelée largeur primitive)
- Son angle de gorges β
- L'entraxe des gorges e_g
- Les hauteurs h_p et b_p

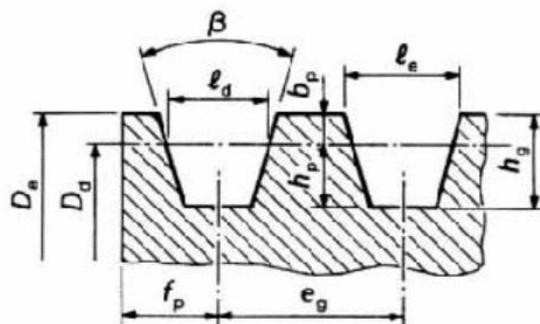


Figure 2.21: Poulies pour courroies trapézoïdales

Lorsque sur une transmission on veut obtenir des rapports de vitesse échelonnés, on peut utiliser des poulies dites « à gradins »

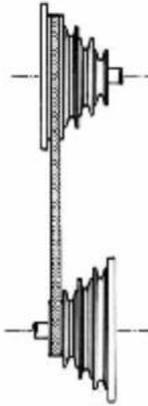


Figure 2.22: Poulies dites " à gradins "

c. Poulies pour courroies striées

De telles poulies se caractérisent par 7 paramètres (figure 2.23) :

- Leur diamètre de référence D_d
- L'angle de gorges β
- L'entraxe des gorges e_g
- Les rayons de tête et de fond de gorges r_a et r_i
- La hauteur h_p
- La distance f_p entre l'axe de la première gorge et le bord de la poulie

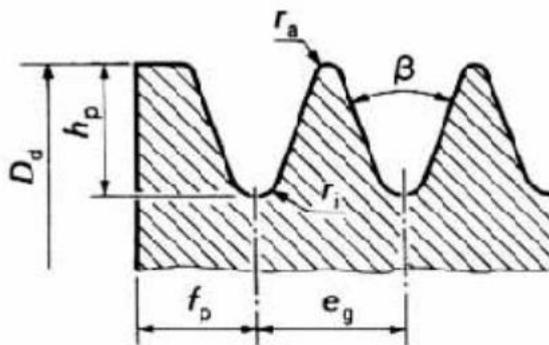


Figure 2.23: Poulies pour courroies striées

d. Poulies pour courroies synchrones

Une poulie synchrone est une poulie plate munie à sa périphérie de dents transversales équidistantes assimilable à un pignon d'engrenage. La poulie peut être munie de flasques afin de guider la courroie sur la transmission. En règle générale, sur une transmission, **il y a toujours au moins une poulie flasque**.

Le matériau utilisé est principalement la **fonte** ou l'**acier**. Les matières plastiques ou les alliages d'aluminium peuvent être employés sur des transmissions où la fonction de la courroie est plus de transmettre un mouvement qu'une puissance.

Une poulie d'une largeur donnée est définie par :

- Son pas P_b équivalent à celui de la courroie correspondante
- Son nombre de dents z
- Son diamètre primitif D . Cette valeur correspond au diamètre d'un cylindre fictif (cylindre primitif) coaxial à la poulie et servant à définir les cotes des dents de la poulie et le pas tel que :

$$D = \frac{P_b \cdot Z}{\pi} \quad (2.4)$$

- Sur une transmission, la ligne primitive de la courroie se trouve sur : son diamètre extérieur D_e ou diamètre en tête de dent ;

Son déport de ligne primitive d_p tel que :

$$d_p = \frac{D - D_e}{2} \quad (2.5)$$

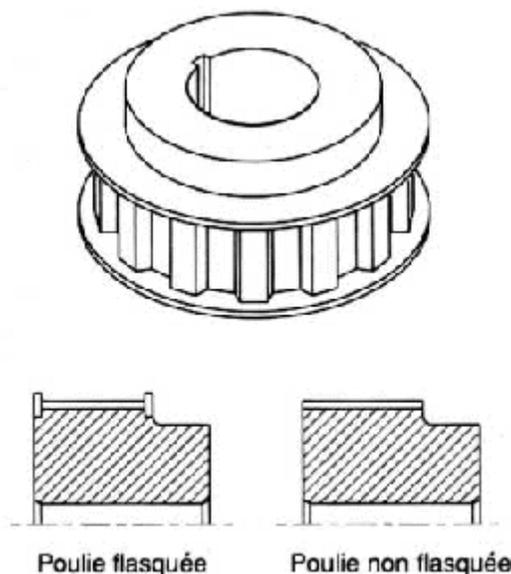


Figure 2.24: Poulies pour courroies synchrones

2.3.2.2 Constitution et matériaux

Le matériau utilisé est principalement la fonte, bien que l'acier puisse être utilisé pour des tailles plus petites ou quand une solidité plus grande ou une masse plus faible sont nécessaires. Un alliage d'aluminium peut être également utilisé ; toutefois, l'emploi de l'alliage est limité à des transmissions légères, l'usure étant en général élevée. Les poulies en matières plastiques ont une limitation similaire. Les poulies peuvent être monoblocs, assemblées ou en deux parties. Cette dernière solution présente l'avantage d'un démontage et d'un remontage faciles en séparant les deux parties boulonnées ensemble.

Il existe également des poulies dites « à moyeu amovible », qui diffèrent par le fait que ce sont des poulies monoblocs et que seul le moyeu est démontable et fixé par des vis. Cela sert à rendre la poulie solidaire de son arbre.

Les poulies peuvent être fixées sur leur arbre par frettage à chaud ou emmanchement à la presse, par clavetage, par vis de pression, ou bien par une combinaison de ces méthodes. Le montage par moyeu amovible est très largement répandu pour les nombreux avantages qu'il procure, en particulier pour la facilité de montage et de démontage ainsi que pour la réduction des usinages.

Il existe une normalisation de l'état de surface des poulies. Les valeurs de rugosité R_a maximale (définie par la norme ISO 468) sont données par la norme NF T 47-142:

- Jante de poulie plate : $R_a \leq 6,3 \mu\text{m}$;
- Flanc de gorge de poulie pour courroies trapézoïdales : $R_a \leq 3,2 \mu\text{m}$. [19]

2.3.3 Tendeur de courroie [21]

Les tendeurs mécaniques sont constitués d'un ressort de torsion et d'éléments de friction sèche et les tendeurs hydrauliques d'un ressort de compression et d'un circuit hydraulique où un fluide est forcé par un orifice calibré, voir Figure 2.25.

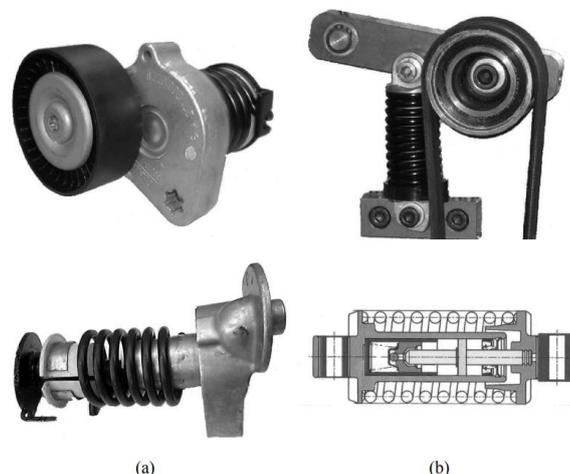


Figure 2.25: Tendeur mécanique (a) et hydraulique (b)

2.4. ANALYSE FONCTIONNELLE

Dans le but de mener une analyse dysfonctionnelle pour le système poulie-courroie, une analyse fonctionnelle du même système s'impose pour dégager les fonctions de services (fonctions principales et fonctions contraintes) Nous avons mis en œuvre l'analyse fonctionnelle du système poulie-courroie à travers deux analyse : une analyse fonctionnelle globale (Figure 2.26) et une analyse fonctionnelle externe (Figure 2.27).

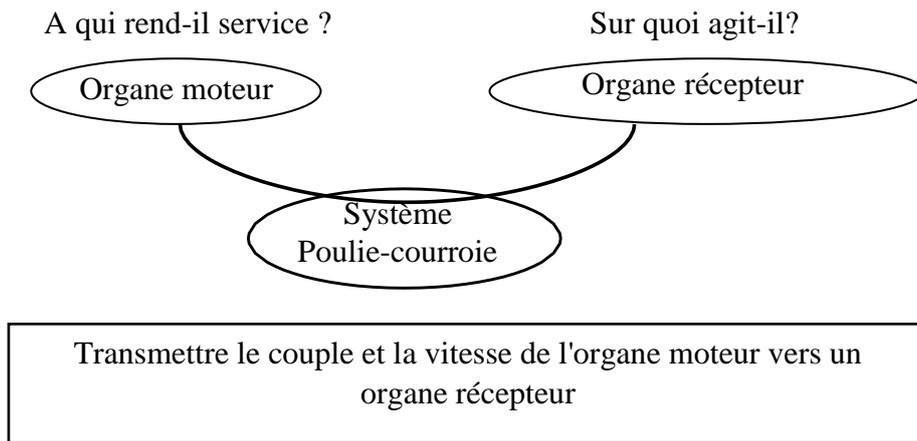


Figure 2.26 : diagramme de prestation « système poulie-courroie ».

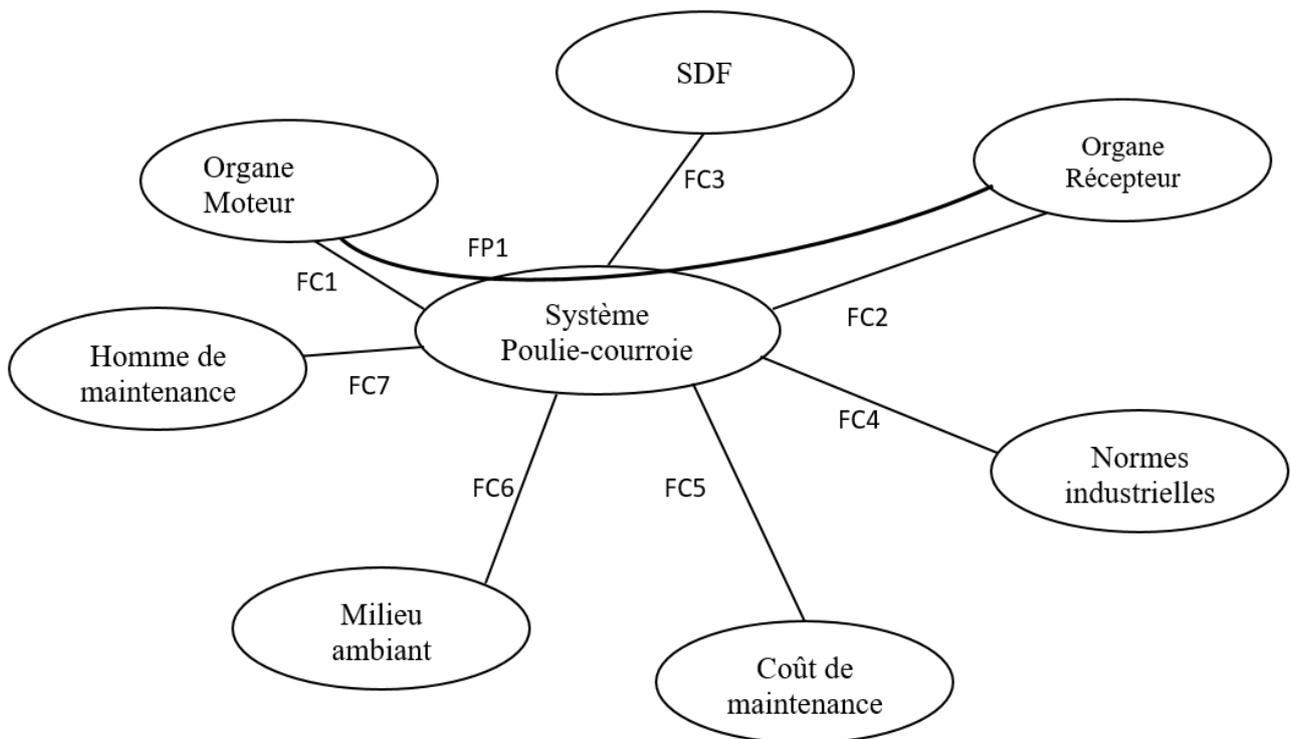


Figure2.27 : Diagramme des inter-acteurs « système poulie-courroie ».

Tableau 2.2 : Enoncé des fonctions de service

Fonction	Repère	Enoncé
Fonctions d'interaction	FP1	transmettre la puissance mécanique de [l'organe moteur] vers un [organe récepteur]
Fonctions d'adaptation	FC ₁	Doit s'adapter au régime de fonctionnement de [l'organe moteur]
	FC ₂	Doit s'adapter au régime de fonctionnement de [l'organe récepteur]
	FC ₃	Doit répondre aux exigences de la [sûreté de fonctionnement]
	FC ₄	Respecter les [normes industrielles]
	FC ₅	Avoir un [coût de maintenance] optimisé
	FC ₆	S'adapter au [milieu ambiant]
	FC ₇	Doit être suivi par un [homme de maintenance]

2.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons conclu que le système poulie courroie est l'une des bases de la transmission de puissance mécanique, car il présente de nombreux avantages par rapport au reste des autres systèmes, dont les plus importants sont le faible coût, les faibles vibrations et la transmission rapide.

Nous avons également conclu que pour mener une étude de qualité sur les dysfonctionnements de ce système on doit faire appel à l'analyse fonctionnelle pour lister les fonctions de service pour pouvoir par la suite les lier aux défaillances.

Chapitre 3

Analyse dysfonctionnelle du système poulie-courroie

3.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons présenter le système de refroidissement du gaz naturel au niveau de l'unité de traitement de MPP4 Sonatrach, Hassi R'mel. Le système en question est un aéroréfrigérant qui permet d'assurer le transfert de chaleur par convection forcée entre l'air ambiant et le gaz qui circule dans un faisceau de pipe. L'aéroréfrigérant fera l'objet d'une identification de ses dysfonctionnements et en particulier le système poulies-courroie qui fera l'objet d'un diagnostic en utilisant l'arbre des défaillances.

3.2 IMPLANTATION DE LA MPP4 [22]

a. Installations gazières à Hassi R'mel

Le plan d'ensemble des installations gazières implantées sur le champ de Hassi R'Mel est élaboré de façon à avoir une exploitation rationnelle du gisement et pouvoir récupérer le maximum de liquide. Les cinq modules de traitement de gaz (0, 1, 2, 3, et 4) sont disposés d'une manière alternée par rapport aux deux stations de compression (station nord et sud), pour la raison d'un meilleur balayage du gisement (figure 3.1).

Les installations mises en œuvre sont comme suit:

- **secteur center** :comporte les module 0,1et 4, le centre de stockage et tranfert par Facilité(CSTF)et le centre national de dispatching de gaz (CNDG).
- **Ssecteur nord** :Comporte le module 3et la station de compression nord (SCN)
- **secteur sud** :comport le module 2,la station de compression sud (SCS), le centre de traitement de gaz CTG de Djebel-Bissa et centre de traitement de gaz CTG de Hassi R'mel sud.

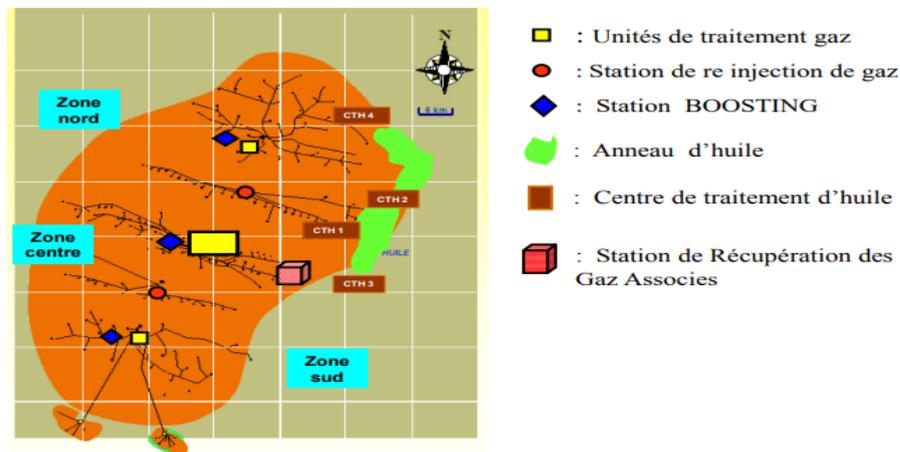


Figure 3.1: Les installations gazières de Hassi R'mel

b. Description du module 4

L'unité de traitement de gaz, Module 4, est constituée essentiellement de trois trains identiques d'une capacité de production de 20 millions m³/jour de gaz chacun, chaque train comporte deux sections: section séparation à haute pression et section stabilisation et fractionnement. Le but de cette section est de récupérer le maximum des hydrocarbures liquides et de produire du gaz sec en respectant les spécifications. Le gaz brut issu des puits est acheminé à travers des collecteurs au Module 4 en phase mixte sous des conditions de pression de 92 kg/cm² et température de 60 °C. A son entrée au train, le gaz est séparé en trois courants de même débits à travers un appareil appelé diffuseur D001.

Ensuite chacun des trois courants est refroidi à travers l'aéro-réfrigérant E101 à la température 31 °C, après il passe à la première séparation dans le séparateur à trois phases D101 à 92 kg/cm². L'eau libre quittant le séparateur est drainée vers le séparateur huile /eau, tandis que les hydrocarbures liquides sont flashés à 32,03 kg/cm² et 30,3 °C dans le ballon séparateur riche en condensât D105. Le gaz généré du séparateur à haute pression D101 est refroidi à travers les échangeurs Gaz-Gaz E102 et E103 de type tube - calandre à la température -10,1 °C, à ce niveau l'injection du glycol MEG à 80 % concentré est nécessaire pour éviter la formation des hydrates qui peuvent provoqués le bouchage des tubes du moment que le gaz est saturé en eau. L'injection du MEG est assurée par des injecteurs, système de pulvérisation placé en amont des échangeurs à haute pression. Quittant les deux échangeurs, le Gaz est détendu une fois isenthalpiquement à travers la vanne Joule-Thomson (PRCV 108) à la température et pression -12,1 °C et 92 kg/cm², puis séparé des hydrocarbures liquides dans le ballon séparateur D102 et ensuite détendu une deuxième fois isentropiquement dans le turboexpander K101 côté turbine à la pression 70 kg/cm² et -25 °C

Le gaz en fin de détente est séparé du condensât dans le séparateur D103 puis utilisé comme fluide réfrigérant du gaz chaud entrant les échangeurs E102, ainsi le procédé produit ses propres frigories et le système devient autonome. Le Gaz sortant de l'échangeur E102 à 25 °C du côté calandre, est comprimé à la pression 72 kg/cm² dans le Turbo-Expander K101 du côté compresseur.

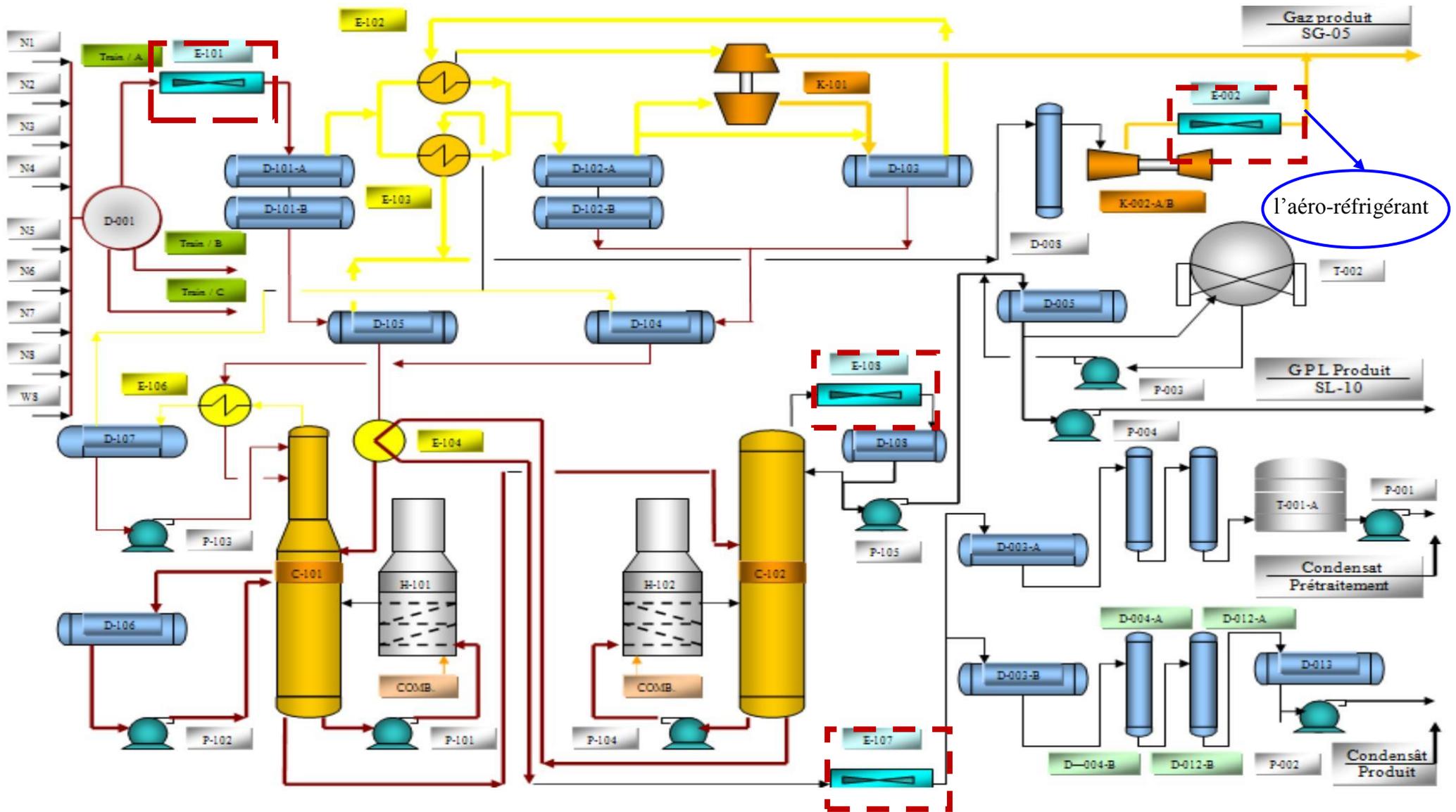


Figure 3.2: Schéma du process de module 4

3.3 AEROREFRIGERANTS

3.3.1 Définition [23]

Est un procédé utilisé pour évacuer, à partir d'un puits froid, la chaleur contenue dans un fluide chaud. Le puits froid utilisé dans la réfrigération atmosphérique est l'air ambiant. Dans cette application dite directe, le puits froid échange directement avec le fluide à refroidir sans utilisation d'un circuit avec fluide caloporteur intermédiaire. De plus, la réfrigération est qualifiée de sèche car le fluide à refroidir ne peut être mis en contact avec le fluide de refroidissement à cause de sa pression, sa toxicité ou son impact sur l'environnement par exemple. Il est important de noter que les appareils de réfrigération atmosphérique fonctionnent en général en circuit ouvert compte tenu du fait que l'air chaud est rejeté après échange directement dans l'atmosphère et n'est pas recyclé.



Figure 3.3 : photo d'aéroréfrigérants

3.3.2 principe de fonctionnement [24]

- Les aéroréfrigérants installés au niveau de la MPP-4, sont des échangeurs de chaleur permettant la récupération de l'énergie thermique d'un fluide par un autre. Tel que le flux thermique traverse la paroi de séparation des différents fluides.
- En effet, la chaleur peut être caractérisée comme un transfert d'énergie d'un système à un autre due à une différence de température.
- Selon la deuxième loi de la thermodynamique, ce transfert d'énergie s'effectue de la température la plus importante vers la plus faible.
- Il s'arrête donc lorsque les deux milieux sont de températures identiques. La chaleur peut être transférée par trois modes différents : la conduction, la convection et le rayonnement.

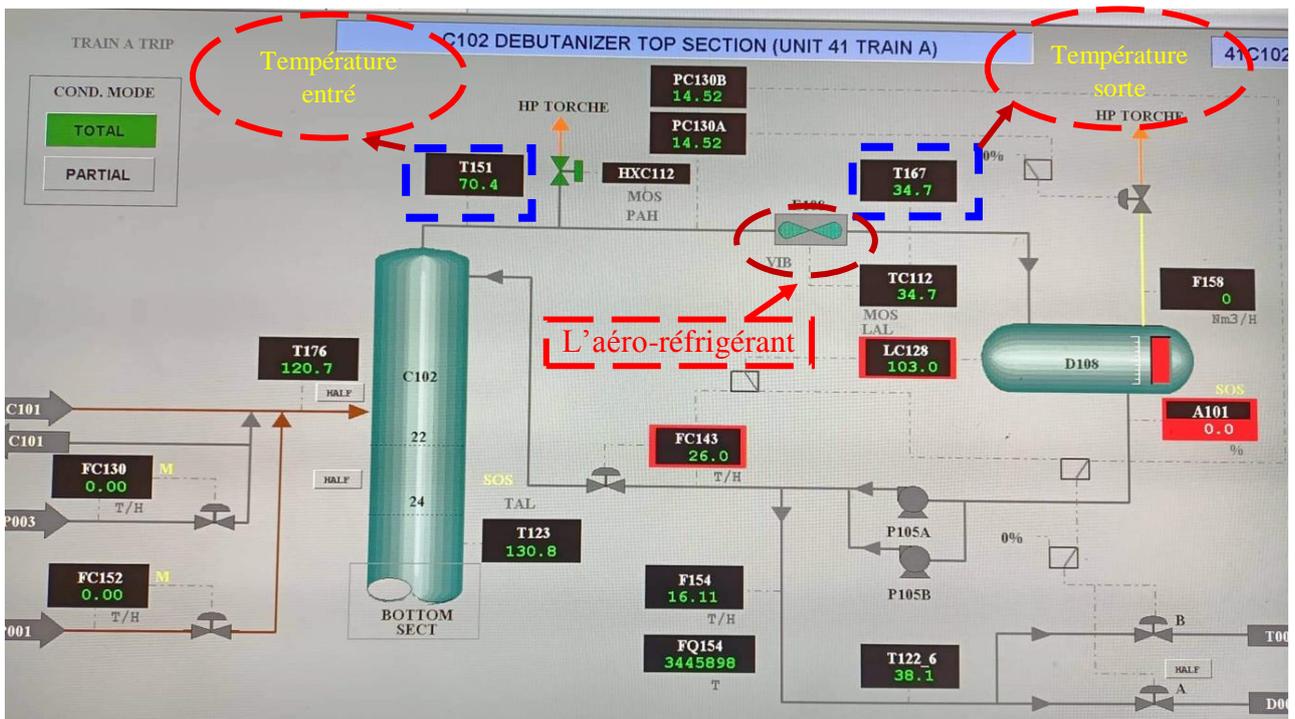


Figure 3.4 : Vue partielle du synoptique du module MPP4

3.3.3 Constitution des aéroréfrigérants

Les aéroréfrigérants sont des appareils de construction simple et peuvent fonctionner pendant de longues périodes sans incidents. Ils sont constitués des éléments suivants (figure 3.5):

1. Faisceau tubulaire.
2. Collecteur ou système de distribution du fluide chaud
3. Systèmes de ventilation d'air (des ventilateurs).
4. Boite de distribution d'air (persienne).
5. Système de régulation.
6. Structure métallique de soutien.

La source principale de pannes est le moto-ventilateur parce qu'il constitue un système en mouvement. Ce sont les paliers, les courroies, les enroulements et boîtes à vitesses qui représentent les pannes les plus fréquentes. Dans ce qui suit, on s'intéressera au faisceau tubulaire et au système de ventilation,

3.3.3.1 Faisceau tubulaire

Les faisceaux tubulaires sont constitués de tubes généralement à ailettes, de boîtes de distribution (collecteurs) et de châssis assurant la rigidité de l'ensemble. (figure 3.6)

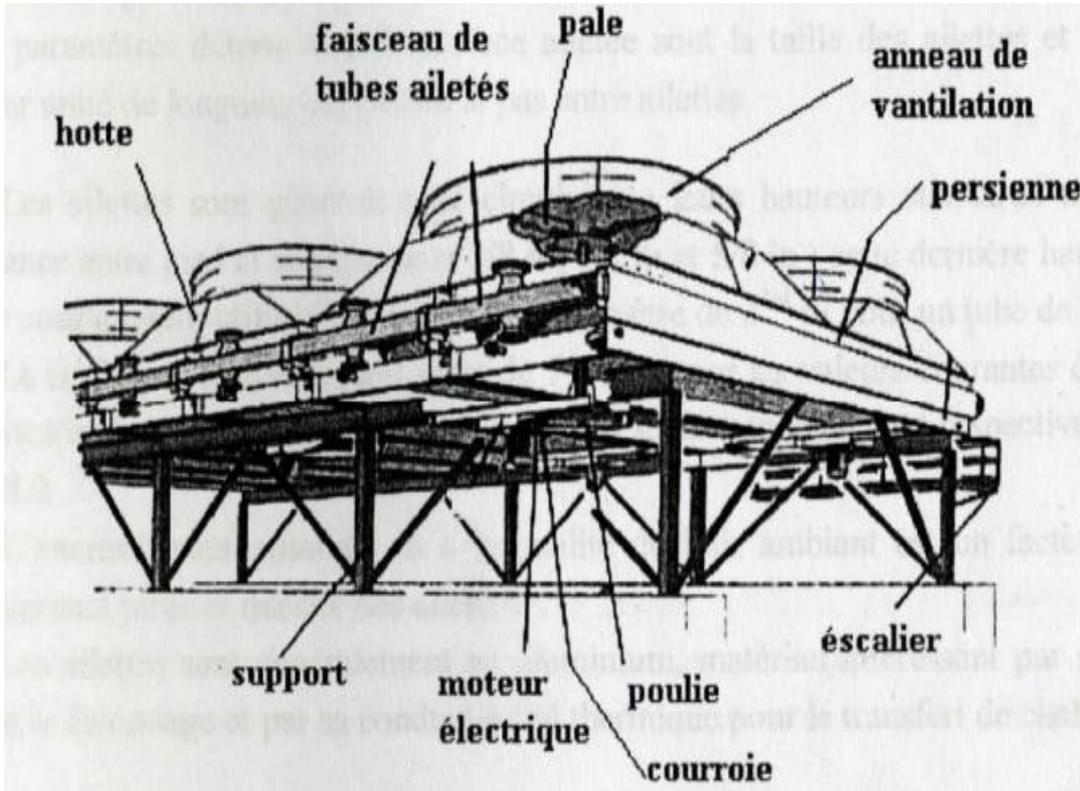


Figure 3.5: Eléments constitutifs d'un aéroréfrigérant

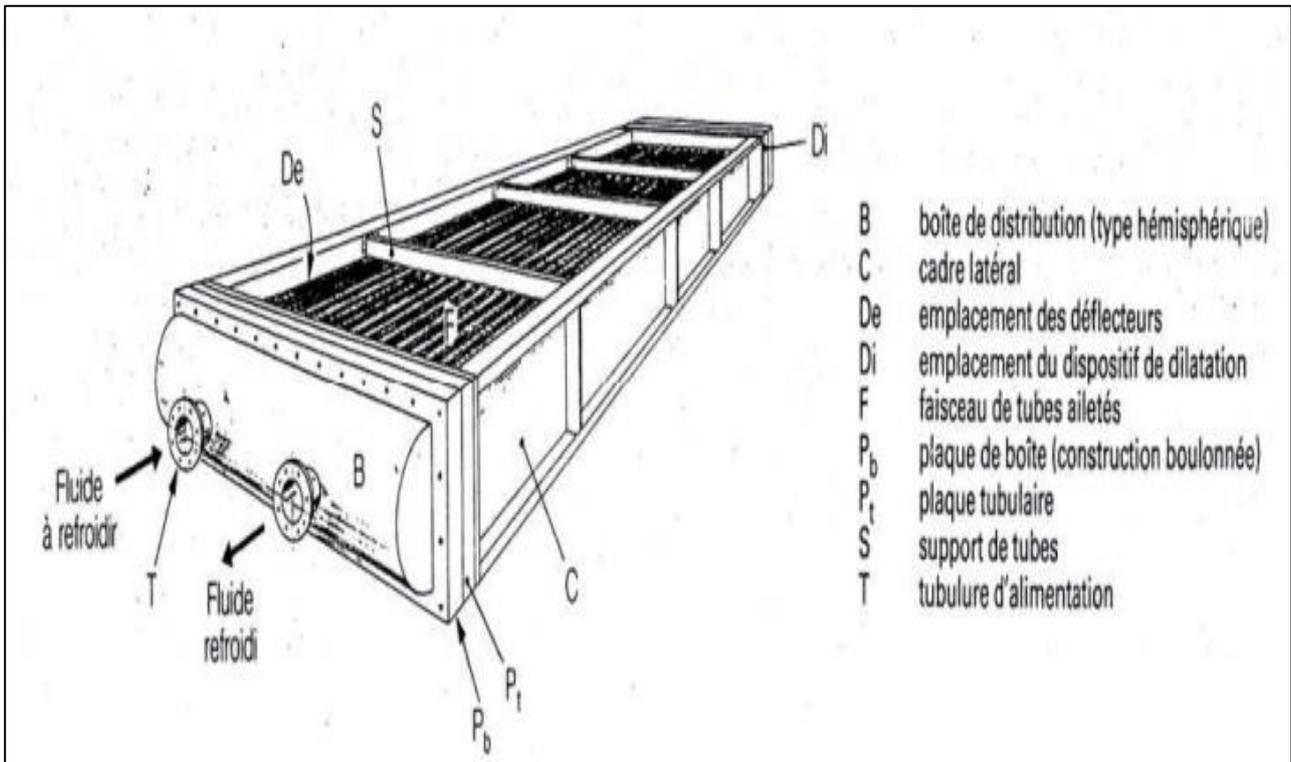


Figure 3.6 : Les éléments constitutifs d'un faisceau tubulaire

3.3.3.2 Système de ventilation

Les ventilateurs peuvent soit souffler l'air à travers les tubes (tirage forcé), soit rejeter l'air (tirage induit) selon leur place au-dessous des tubes.

Le nom de vitesse faciale est donné à la vitesse de l'air avant son entrée dans le faisceau sur toute la surface offerte par le devant du faisceau. Elle est aussi appelée surface faciale.

La vitesse faciale correspond souvent à une température de 21°C.

Afin d'assurer une bonne distribution de l'air à travers le faisceau, le ventilateur devra être situé à une distance égale à la moitié de son diamètre, et la surface ventilée ne doit pas être inférieure à 40% de la surface faciale du faisceau.

Les ventilateurs utilisés sont donc de grand diamètre (jusqu'à 5m) et de vitesse de rotation faible.

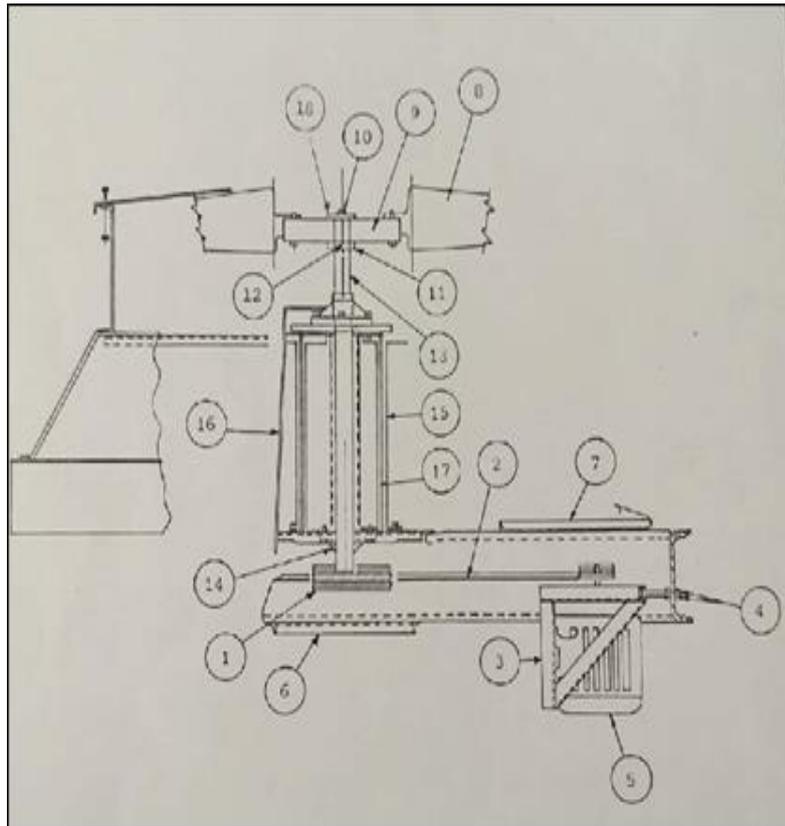
Les pales sont soit en alliage léger ou en résines polyesters renforcées de fibre de verre.

Les ventilateurs sont pour la plupart du type à moteur électrique.

Le taux de régulation des ventilateurs est obtenu en modifiant le pas soit en condition de marche, soit en arrêt, ou par un dispositif de vitesse variable. [24]



Figure 3.7: photo de ventilation



N°	description	N°	description
1	poulie	10	boulon de serrage
2	courroie trapézoïdale	11	Collier -verrou
3	assemble de support de moteur	12	Ecrou
4	Boulon fileté	13	Arbre
5	moteur	14	palier
6	Couvercle supérieur pour carter de courroie	15	support de ventilateur
7	Couvercle inférieur pour carter de courroie	16	tuyau de graissage
8	ailette ventilateur	17	support de ventilateur amovible
9	moyeu de ventilateur	18	Fixation du moyeu

Figure 3.8: Eléments constitutifs d'un aéroréfrigérant [25]

3.4 Identification et résolution des problèmes de performance des aéroréfrigérants

Plus de 80 % des aéroréfrigérants opèrent avec des paramètres inférieurs à ceux spécifiés dans leurs conceptions ou aux besoins de l'exploitant. Ceci impose une nécessité de diminuer le débit de production durant les jours d'été pour atteindre la température et pression requises du produit. Les pertes de production durant ces jours peuvent atteindre 20-40 %. Causant ainsi l'entreprise des pertes considérables par ans pour une seule unité critique d'aéroréfrigérants. Comment identifier donc les causes de la dégradation de la performance ?

La section suivante offre un guide pratique permettant aux organisations d'identifier les problèmes basiques des aéroréfrigérants et propose des optimisations pour tirer mieux des aéroréfrigérants existants sans nécessité de nouveaux aéroréfrigérants ou ajout de baies supplémentaire. Les aéroréfrigérants, utilisés dans les secteurs de la pétrochimie, le raffinage, gaz et électricité, ont principalement un mode opératoire assez simple. Le fluide de procédé chaud passe à travers les tubes à ailettes de la baie réfrigérantes où l'air passe à travers les tubes à ailettes de la baie pour refroidir le fluide de procédé à l'intérieur des tubes. La chaleur du fluide de procédé est évacuée vers l'air. Quand cela paraît comme un concept simple, il n'est pas toujours facile à identifier et maintenir proprement les performances des aéroréfrigérants sur site.

Les raisons les plus courantes responsables pour la sous-performance des aéroréfrigérants sur site sont :

1. L'encrassement extérieur sur les tubes à ailettes qui réduit l'écoulement de l'air et le transfert thermique.
2. L'encrassement intérieur dans les tubes à ailettes provoquant des pertes dans les performances.

Manque des joints

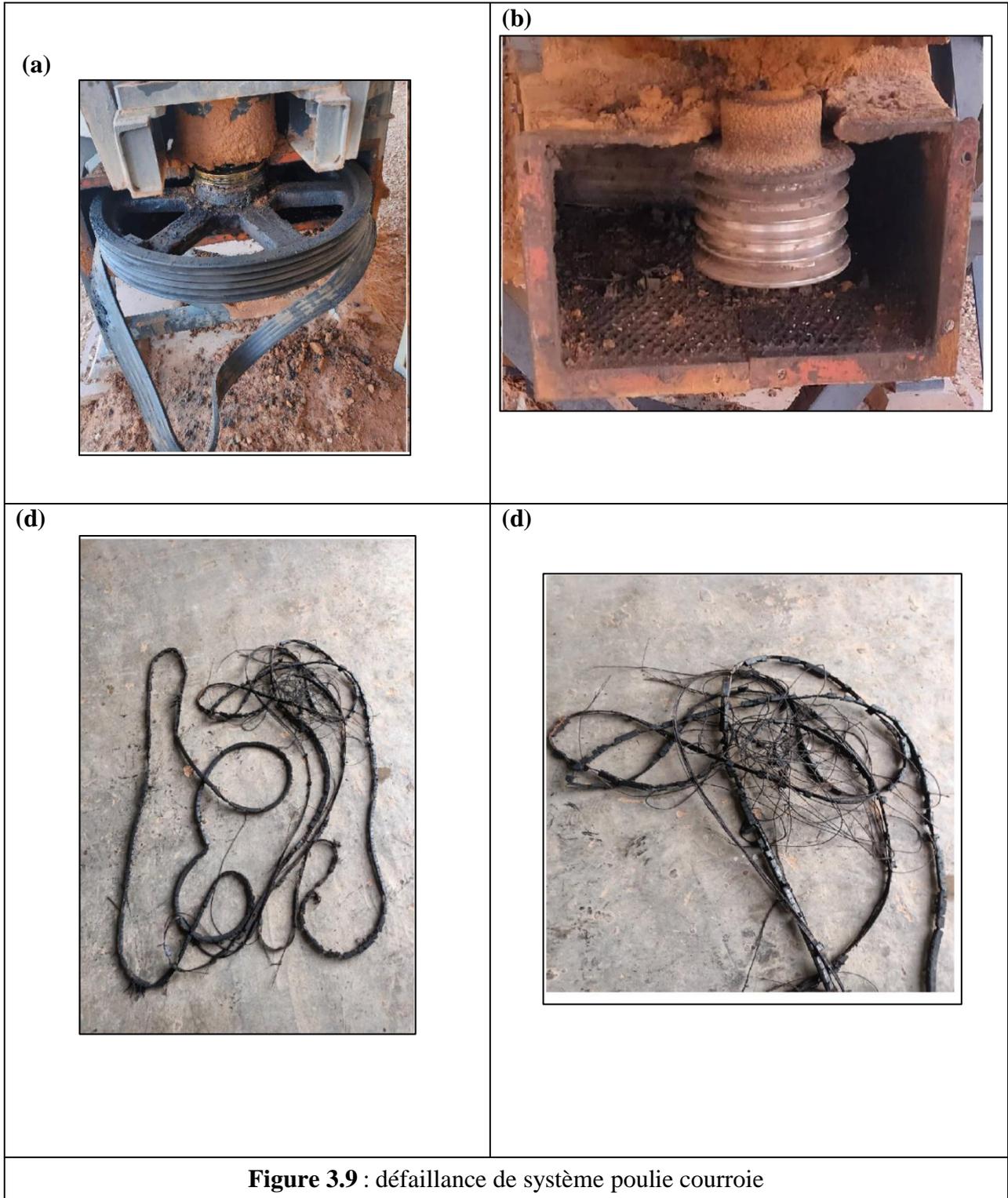
3. Problèmes de fiabilité (parties mécaniques)
4. Problèmes de des transmissions par poulie Courroies

3.4.1 Défaillance de système poulie courroie

Pour L'aéroréfrigérant considérée, les modes de défaillance sont d'une part fonction de leurs interactions avec leur environnement immédiat, et d'autre part fonction de leurs propriétés et de leurs caractéristiques intrinsèques. Dans, la phase de fonctionnement retenue, on peut identifier les modes de défaillance de l'élément en relation avec les fonctions à assurer. Le tableau 3.1 liste générique des modes de défaillance.

Tableau 3 .1 des modes de défaillance de système poulie courroie

Mode de défaillance	Paramètre de suivi
Alignement	Vibration
Sifflement courroie	Bruit
Courroie détériorée	Couple de vitesse augmente
Glissement de la courroie	Température (échauffement)
Bris de poulie	Vibration
Voilage de la poulie	Vibration
Usure de la courroie	Jeux (vibration)
Corrosion de poulie	
Usure du clavette de poulie	vibration
Usure de poulie	Vibration
Desserrage de poulie	Vibration
Relâchement de courroie	Vibration



3.5 AMDE DU SYSTEME POULIE-COURROIE

3.5.1 AMDE DE L'ORGANE MOTEUR

Date de l'analyse :		AMDE MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS			
		Machine /Installation : l'aéro-réfrigérant	Organe : Moteur		
Élément	Fonction de service	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	Cause de la défaillance	Détection
MOTEUR ELECTRIQUE	TRANSFORMER L'ENERGIE ELECTRIQUE EN ENERGIE MECANIQUE	Moteur ne démarre pas	Pas de puissance motrice Pas entrainement	Pas de tension Grippage de roulement Défaut de stator Bobinage grillé	Visuel
		Puissance faible	Fonctionnement dégradé	Phase dégradée	Relais de phase
		échauffement	Chute de couple de force	Grippage de roulement Casse ventilateur Surcharge	Capteur de température
		Balourd	Vibration	Défaut Roulement Dévisage de champ magnétique Défaut des palie Défaut Statorique	Capteur vibration

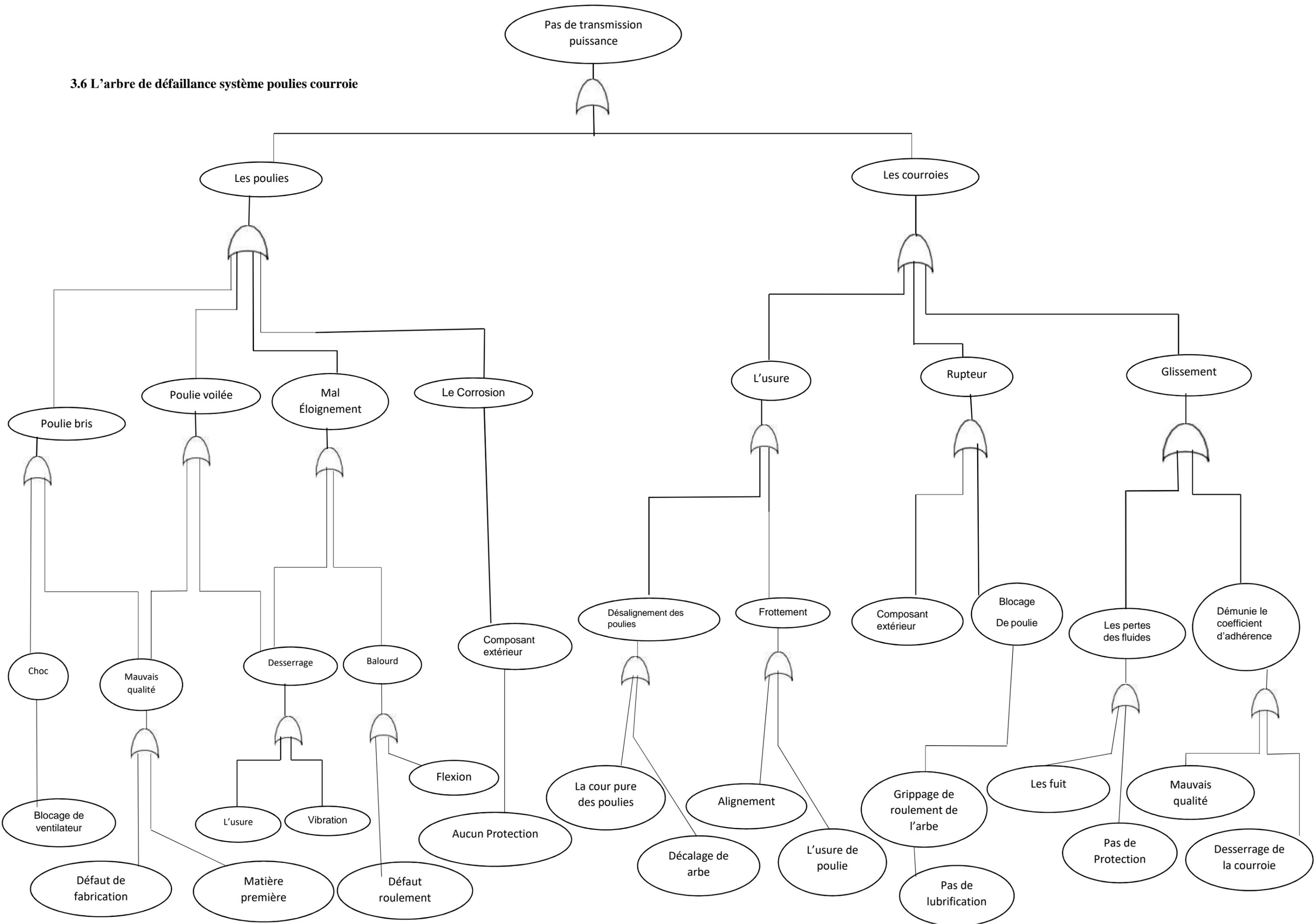
3.5.2 AMDE de système poulies-courroie

Date de l'analyse :		AMDE MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS			
		Machine /Installation : l'aéro-réfrigérant	Organe : système poulie courroie		
Elément	Fonction de service	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	Cause de la défaillance	Détection
Poulie	Transmettre la puissance	Bris	Pas de transmission	Blocage Mauvais qualité Grippage	Visuel
		Desserrage		Desserrage de clavette	
		Voilage de poulie	Mauvais tension Echauffement	Balourd Usure gorge Flexion de l'arbo	Visuel
		Alignement des poulies			
		Le Corrosion	Echauffement	Composant extérieur	visuel
		usure du poulie	Mauvais tension Echauffement	Alignement Mauvais qualité	visuel
Courroie	Transmettre la puissance	Rupture de la courroie	Système arrêt Pas de transmission	Bloqué Composant extérieur Tension excessive Choc Mauvais qualité	visuel
		Sifflement courroie	Echauffement Tension anormale	Mauvais tension Démunie le coefficient d'adhérence Les pertes des fluide (l'huile, grasse ...)	Visuel
		Grincement courroie.	Manque de coupelle	Désalignement des poulies ou tendeur Frottement (rugueuse de surface poulie)	Visuel
		Desserrer la courroie	Manque de coupelle	Tendeur lâché Facteur externes	Visuel
		Arrachement	Tension anormale	Usure des poulies Température trop élevée	Visuel

3.5.3 AMDE D'un organe ventilateur

Date de l'analyse :	AMDE MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS				
	Machine /Installation : l'aéro-réfrigérant		Organe : ventilateur		
Élément	Fonction de service	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	Cause de la défaillance	Détection
Paliers de roulement	Guidé l'arbre en rotation	Usure Desserrage	Arbre Ploqué Bruit de roulement	Mauvais graissage Manque d'étanchéité	Vibration
Arbre	Transmettre le mouvement	Bris	Pas de transmission	Fatigue	visuel
		Flexion Usure	Manque de coupelle	Grippage de roulement de palie	Vibration
Ventilateur	Refroidisse le système	Bris Alignement	Manque de refroidissement	Mauvais qualité L'usure de l'arbre Flexion de l'arbre	Visuel

3.6 L'arbre de défaillance système poulies courroie



3.7 CONCLUSION

Nous avons conclu dans ce chapitre que la transmission de puissance au moyen d'une poulie courroie a un rôle essentiel dans le fonctionnement du l'aéroréfrigérant. Pour garantir la sureté de fonctionnement de la transmission de puissance, le système de poulie courroie doit faire l'objet d'une surveillance accrue et d'un diagnostic précis.

Pour éviter l'interruption du processus industriel du traitement du gaz naturel, l'aéroréfrigérant doit être garanti du point sûreté de fonctionnement. A cet effet, des outils tels que l'AMDE et ADD ont été mis en œuvre pour qualifier et quantifier cette sûreté de fonctionnement.

**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

Conclusion générale

Au terme de ce mémoire, qui synthétise le projet de fin d'études de notre cursus universitaire au sein du département de génie mécanique de la faculté des sciences appliquées de l'université de Tiaret, le fait de traiter une problématique issue du milieu professionnel et industriel nous a donné l'occasion d'acquérir et de renforcer nos connaissances sur les réalités économiques et techniques du pays. En outre, le thème traité par notre projet de fin d'études nous a facilités en tant qu'étudiants l'intégration progressive dans notre future cadre de travail.

Nous pouvons dire et juger que les objectifs fixés et suivis dans notre plan d'action ont été atteints parce que nous avons pu identifier les actions à entreprendre. En d'autres termes, nous avons pu d'abord fournir le contenu des analyses fonctionnelles et fournir une description et une analyse des éléments de sûreté de fonctionnement. Deuxièmement, nous introduisons et définissons le mode de transmission de puissance qui est la transmission par courroie et poulie. Pour cela, nous avons appliqué une méthode basée sur l'arbre de défaillance et AMDE, qui nous a permis de présenter les éléments critiques de transmission de puissance par poulie -courroie, et de proposer des mesures pour minimiser les défaillances.

Au regard des résultats obtenus, notre analyse l'arbre de défaillance et AMDE et lest présentée à la suite des procédures qui viendront compléter notre formation pratique. Il est à noter que le manque de données pratiques ainsi que l'indisponibilité d'un dossier complet, rend les résultats obtenus sujets à de réelles comparaisons et réexamens.

Afin de maintenir une bonne transmission de puissance mécanique, une continuité du mouvement et améliorer la qualité et l'efficacité du service maintenance, les résultats de nos travaux peuvent servir de référence pour une future étude du système poulie-courroie

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Sdf 1/ ubma/fsi/delm/fhsi| noureddine amiar partie 7
 - [2] h.savall et v.zardet « maitriser les couts caches et les performances caches » op cite. page183.
 - [3] Youness el attabi , sûreté de fonctionnement (sdf) , qualité, logistique industrielle et organisation , iutlumiere lyon02 , novembre 2011 .
 - [4] Imane tahiri, contribution à la conception d'une commande reconfigurable et tolérante aux fautes pour les systèmes automatisés de production, thèse de doctorat université de reims champagne-ardenne école doctorale sciences du numérique et de l'ingénieur , le 28 août 2020 .
 - [5] U.S. military safety program mil-std882d, guidelines for hazard evaluation procedures, , american institute of chemical engineers, new york, ny, 1992, norme iso 31010:2009
 - [6] E. vesely, f.f.goldberg, n.h. roberts, d.f. haasl, "fault tree handbook", nureg report 0492, 1981.
 - [7] ineris - dra - 2006-p46055-cl47569:127 : méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle
 - [8] o. silaire, “ingénieurs maintenance « gestion de la maintenance et de la fiabilité des équipements » ”, formation professionnalisant ifp training, hassi messaoud / base24, 14 mai 18--- 23 avril 2015.
 - [9] Eléonore gbevoun,“ application de la (AMDC) a l'autoclave matachana 21ex du centre hospitalier departemental (chd) mono-couffo “ rapport de stage ,université d'abomey-calavi, 2017-2018 .
 - [10] Belfarhi nedjoua , conception d'un outil d'aide a la detection et diagnostic des defaillances dans un système de production , mémoire de magister, université hadj-lakhdar-batna , 2011-2012
 - [11] abdelmajid lajmi .mémoire de maîtrise présenté à l .école de technologie supérieure (conception d.l.tn appareil de mesurede tension dt 'ne courroie a trois points de déflexion
 - [12] Oulmi tassa dit ,Merzouki zina , conception et étude d'une fraiseuse à commande numérique mocn , mémoire master ,université de mouloud mammeri de tizi ouzou , 2014/2015.
 - [13] Cessou yannick ,conception et realisation d'un etude conception et realisation d'un variateur continu de vitesse, memoire ,université d'abomey- universite d'abomey-calavi, 2009-2010
 - [14] Abdelmajid lajmi, conception d.l.tn appareil de mesure de tension dt 'ne courroie a trois points de deflexion, mémoire, école de technologie supérieure université du québec, montréal le 10 juillet 2002.
 - [15] cours construction des systemes techniques – sts cpi, transmission de puissance : systeme poulies courroies ,lycee louis armend negent sure marne ,page 6.
 - [16] Guenouna djemaia, bouteldja elhadja, étude de reducteur de vitesse pour convoyeur a sel, , universite abdelhamid ibn badis _mostaganem année universitaire : 2018 / 2019
 - [17] Mr. slimane abdelkader, construction et calcul des éléments de machines , polycopie université des sciences et de la technologie d'oran mohamed boudiaf , 2018/2019.
-

- [18] Roland farges ingénieur de l'institut national des sciences appliquées de lyon responsable technique des courroies industrielles de la société caoutchouc manufacturé et plastiques - kléber industrie, poulies et courroies de transmission entraînement par adhérence.
 - [19] document isat 3a les courroies , drouelle nicolas, grand-clement loïc, guegen mickaël, harmance jérôme, lecomte jérôme, pasquet julien, percheron jonas, roulois guillaume, staimesse jean-marc & stubbe etienne sous la supervision de lilian faure, 23.10.2016
 - [20] cours de courroies - transmission de puissance - éléments de machines,
 - [21] guilhem michon, lionel manin, didier remond, régis dufour, laboratoire de dynamique des machines et des structures, umr cnrs 5006,insa de lyon, bât. jean d'alembert, 8 rue des sciences, 69 621 villeurbanne ,france .valeo systèmes electriques, 2 rue a. boulle, 94 000 créteil, france.
 - [22] Smahi fatima ,Morsli hanane . l'impacte économique et environnementale généré à travers l'optimisation des paramètres de fonctionnement d'une colonne de distillation, mémoire du diplôme de master , université ahmed draïa adrar,2020/2021 .
 - [23] bdirina abdelatif , dimensionnement et étude de l'influence d'un aéroréfrigérant sur une unité de séparation de gaz, mémoire de master ,université m'hamed bougara-boumerdès ,2020/2021.
 - [24] abbas thilelli et al, en génie mécanique option énergétique ,mémoire de master, universite mouloud mammeri tizi-ouzou , 2016.
 - [25] sonatrach rigion de hassi r'mel ,guide de maintenance systeme mms de l'aéroréfrigérant, décembre 1982.
-

ANNEXES

ANNEXES

Situation du mode de défaillance :

❖ Courroie détériorée des l'historiques

Evenement	Type	Description	Type OT	Date achevemnt	Date cible	Dept	Unite d	Der	PMP	OH_OBJE
718564	PPM	CONTROLE CONDITIONS	PRD-C	01/07/2019 18:30	01/01/2019 00:00	T25	HRS	3E+05	742E86C1	42-EF101F
727786	JOB	REVISION GENERALE	PRD-A	12/31/2018 8:35:35	12/21/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05		42-EF101F
701088	PPM	INSPECTION PREVENTIVE	PRV-P	12/22/2018 18:45:0	11/04/2018 00:00	T25		3E+05	917R16P2	42-EF101F
706420	PPM	GRAISSAGE PALIERS MOTEUR.	PRV-G	10/22/2018 14:43:29	10/15/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05	742E86G1	42-EF101F
715877	JOB	REVISION MOTEUR	PRV-H	10/18/2018 13:22:12	9/19/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05		42-EF101F
707809	PPM	CONTROLE CONDITIONS	PRD-C	10/18/2018 7:44:18	10/15/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05	742E86C1	42-EF101F
667607	PPM	INSPECTION PREVENTIVE MOTEUR	PRV-P	10/02/2018 18:30	8/30/2018 0:0:0	T25		3E+05	742E86P1	42-EF101F
468877	PPM	REVISION GENERALE	PRV-H	9/22/2018 18:30:0	09/05/2018 00:00	T25		3E+05	917R16H2	42-EF101F
712999	JOB	Revision moteur	COR-3	9/18/2018 18:30:0	9/30/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05		42-EF101F
710017	JOB	Courroie détériorée	COR-4	9/18/2018 14:59:39	8/29/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05		42-EF101F
694095	PPM	GRAISSAGE	PRV-G	09/12/2018 18:30	6/16/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05	917R16G2	42-EF101F
702975	PPM	CONTROLE CONDITIONS	PRD-C	08/07/2018 18:30	08/01/2018 00:00	T25	HRS	3E+05	742E86C1	42-EF101F
707004	JOB	Courroie déterriorée	COR-4	7/25/2018 18:45:0	7/25/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05		42-EF101F
686476	PPM	GRAISSAGE PALIERS MOTEUR.	PRV-G	7/25/2018 18:30:0	6/16/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05	742E86G1	42-EF101F
697886	JOB	Courroie détériorée	COR-4	6/22/2018 18:30:0	6/19/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05		42-EF101F
691602	PPM	CONTROLE CONDITIONS	PRD-C	6/19/2018 16:30:4	6/16/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05	742E86C1	42-EF101F
665934	PPM	INSPECTION PREVENTIVE	PRV-P	06/02/2018 07:30	05/06/2018 00:00	T25		3E+05	917R16P2	42-EF101F
699264	JOB	Courroie deteriorée	COR-4	5/25/2018 18:30:0	5/25/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05		42-EF101F
675844	PPM	GRAISSAGE	PRV-G	04/04/2018 18:30	02/01/2018 00:00	T25	HRS	3E+05	917R16G2	42-EF101F
689932	PPM	CONTROLE CONDITIONS	PRD-C	3/20/2018 18:30:0	3/15/2018 0:0:0	T25	HRS	3E+05	742E86C1	42-EF101F
674790	PPM	CONTROLE CONDITIONS	PRD-C	03/08/2018 18:30	12/02/2017 00:00	T25	HRS	3E+05	742E86C1	42-EF101F

ملخص:

تحتوي هذه الأطروحة على عمل يتمثل في إجراء تحليل مختل في نظام حزام البكرة. تم تضمين التحليل المختل في مفهوم اعتمادية الأنظمة التقنية، الجزء الأول من عملنا يتعلق بعرض هذا المفهوم بالإضافة إلى الأدوات والتقنيات المخصصة له. الجزء الثاني ركز على النظام المراد دراسته وهو نظام نقل القدرة الميكانيكية بواسطة حزام البكرة. كمركز اهتمام، اخترنا ناقل الحركة ذو البكرة الذي يحرك مروحة نظام تبريد الغاز الطبيعي عن طريق مبردات الهواء على مستوى وحدة MPP4 التابعة لشركة Sonatrach Hassi R'mel. تم استخدام أداة AMDE وشجرة الأعطال لتحديد أوضاع وأسباب وتأثيرات الأعطال التي قد تحدث في هذا النوع من

المعدات

Résumé

Ce mémoire contient un travail qui consiste à mener une analyse dysfonctionnelle sur le système poulie-courroie. l'analyse dysfonctionnelle étant incluse dans le concept de la sûreté de fonctionnement des systèmes technique, la première partie de notre travail a concernait la présentation de cette notion ainsi que les outils et les techniques qui lui y sont dédiés.

La deuxième partie a porté sur le système à étudier à savoir le système de transmission de puissance mécanique par poulie-courroie. comme centre d'intérêt on a choisi la transmission par poulie-courroie qui entraine le ventilateur du système de refroidissement du gaz naturel au moyen d'aéroréfrigérants au niveau de l'unité MPP4 de la société Sonatrach Hassi R'mel. l'outil AMDE ainsi que l'arbre de défaillance ont été utilisés pour identifier les modes, les causes et les effets des défaillances pouvant survenir sur ce type d'équipement.

Abstract

This thesis contains a work which consists in carrying out a dysfunctional analysis on the pulley-belt system. Dysfunctional analysis being included in the concept of dependability of technical systems, the first part of our work concerned the presentation of this concept as well as the tools and techniques dedicated to it. The second part focused on the system to be studied, namely the mechanical power transmission system by pulley-belt. as a center of interest, we chose the pulley-belt transmission which drives the fan of the natural gas cooling system by means of air coolers at the level of the MPP4 unit of the Sonatrach Hassi R'mel company. the FMEA tool and the fault tree were used to identify the modes, causes and effects of failures that may occur on this type of equipment.