

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1: Présentation de l'entreprise.....	2
1. Introduction .....	3
2. Groupe CMCP-International Paper .....	3
2.1. International Paper .....	3
2.2. Fiche signalétique International Paper .....	3
2.3. Compagnie Marocaine des Cartons et des Papiers (CMCP).....	4
2.4. Fiche signalétique CMCP-International Paper .....	5
2.5. Organigramme CMCP-International Paper .....	6
3. Processus de recyclage du carton .....	6
3.1. Phase de pulpage .....	7
3.2. Phase d'épuration .....	8
3.3. Phase de machine à papier .....	8
4. Cahier des charges.....	9
4.1. Contexte et définition du problème.....	9
4.2. Charte de projet.....	9
5. Conclusion.....	10
CHAPITRE 2: Analyse du problème .....	11
1. Introduction .....	12
2. Phase d'observation.....	12
2.1. Méthode QQQQCP .....	12
3. Phase de compréhension .....	13
3.1. Méthode 5 pourquoi .....	13
3.2. Méthode d'Ishikawa.....	13

4. Phase de décision.....	15
5. Planification du projet .....	15
6. Conclusion.....	17
CHAPITRE 3: Analyse fonctionnelle .....	18
1. Introduction .....	19
2. Analyse du Besoin.....	19
3. Identification du Milieu Extérieur .....	19
4. Identification et classification des Fonctions de Service.....	20
5. Hiérarchisation des Fonctions de Service .....	21
6. Analyse Fonctionnelle Technique .....	23
6.1. Méthode SADT niveau A-0 .....	23
6.2. Méthode FAST.....	23
7. Conclusion.....	24
CHAPITRE 4 : Dimensionnement de l'existant .....	25
1. Introduction .....	26
2. Structure du système coupe feuille.....	26
3. Réducteur mécanique .....	27
4. Chaîne à rouleaux .....	28
5. Moteur asynchrone .....	29
6. Variateur de fréquence .....	30
7. Electrovanne pneumatique .....	31
8. Embrayage pneumatique .....	32
9. Détecteur inductif.....	33
10. Codeur incrémental.....	34
11. Automate programmable industriel .....	36
12. Conclusion .....	37
CHAPITRE 5 : Résolution du problème .....	38

1. Introduction .....	39
2. Commande d'axe.....	39
3. Méthode AMDEC .....	41
4. Actions correctives .....	43
4.1. Protection des signaux .....	43
4.2. Remplacement d'automate programmable .....	45
4.3. Remplacement du variateur de fréquence .....	46
4.4. Remplacement du codeur incrémental .....	47
5. Coûts des solutions proposées .....	47
6. Conclusion.....	48
CONCLUSION GENERALE .....	49
BIBLIOGRAPHIE .....	50
ANNEXES .....	51

# Liste des figures

Figure 1: Logo de l'entreprise International Paper .....	3
Figure 2: Ancien logo de l'entreprise CMCP .....	4
Figure 3: Plan d'usine CMCP-International Paper.....	4
Figure 4: Organigramme CMCP-International Paper .....	6
Figure 5: Processus de recyclage des vieux cartons .....	7
Figure 6: Sections principales d'une machine à papier.....	8
Figure 7: Système coupe feuille .....	9
Figure 8: Charte de projet.....	10
Figure 9: Diagramme QQQQCP .....	12
Figure 10: 5 pourquoi .....	13
Figure 11: Diagramme d'Ishikawa (Diagramme causes-effet) .....	14
Figure 12: Arbre de décision pour choisir la forme de maintenance .....	15
Figure 13: Diagramme de Gantt .....	16
Figure 14 : Schéma du besoin (bête à cornes).....	19
Figure 15: Identification des EME .....	20
Figure 16: Diagramme pieuvre du système coupe feuille .....	21
Figure 17: Histogramme d'hierarchisation des fonctions de service .....	22
Figure 18: Diagramme SADT niveau A-0 pour le système coupe feuille .....	23
Figure 19: Diagramme FAST du système coupe feuille .....	24
Figure 20: Structure du système automatisé coupe feuille.....	26
Figure 21: Réducteur BONFIGLIOLI.....	27
Figure 22: Chaîne à rouleaux simple.....	28
Figure 23: Moteur LANTIER.....	29
Figure 24: Schéma de branchement .....	29
Figure 25: Variateur de fréquence ALTIVAR Télémecanique .....	30
Figure 26: Electrovanne 3/2 normalement fermée .....	31
Figure 27: Principe de fonctionnement de l'embrayage pneumatique.....	32
Figure 28: Principe de fonctionnement d'un détecteur inductif.....	33
Figure 29: Référence du détecteur inductif EFECTOR100 .....	33

Figure 30: Principe de fonctionnement d'un codeur incrémental .....	34
Figure 31: Vue d'un disque gradué d'un codeur incrémental .....	34
Figure 32: Automate programmable Twido Télémecanique .....	36
Figure 33: Schéma bloc commande d'axe asservi .....	39
Figure 34: Commande d'axe coupe feuille .....	40
Figure 35: Système coupe feuille .....	40
Figure 36: Poste de commande d'axe .....	41
Figure 37: Hiérarchisation de la criticité des modes de défaillances .....	43
Figure 38: Effet de perturbations électromagnétiques sur les signaux.....	44
Figure 39: Solutions de protection des signaux.....	44
Figure 40: Remplacement de Twido par Modicon.....	45
Figure 41: Caractéristiques principales de Modicon M221 .....	45
Figure 42: Remplacement de ALTIVAR 31 par ALTIVAR 312 .....	46
Figure 43: Bruit électrique à cause du variateur de fréquence .....	47

# Liste des tableaux

Tableau 1: Fiche signalétique International Paper .....	3
Tableau 2: Caractéristiques de la Machine à Papier 1 .....	5
Tableau 3: Caractéristiques de la Machine à Papier 3.....	5
Tableau 4: Fiche signalétique de CMCP-International Paper .....	5
Tableau 5: Tableau de planification .....	16
Tableau 6: Tableau de caractérisation des FS .....	21
Tableau 7: Barème d'hierarchisation des fonctions de service .....	22
Tableau 8: Hierarchisation des fonctions de service .....	22
Tableau 9: Tableau dimensionnel des réducteurs BONFIGLIOLI .....	27
Tableau 10: Tableau dimensionnel des chaînes à rouleaux .....	28
Tableau 11: Caractéristique technique du moteur LANTIER.....	29
Tableau 12: Tableau dimensionnel des variateurs ALTIVAR Télémecanique.....	30
Tableau 13: Tableau dimensionnel des électrovannes Honeywell.....	31
Tableau 14: Tableau dimensionnel des embrayages COREMO .....	32
Tableau 15: Tableau dimensionnel des codeurs HOHNER .....	35
Tableau 16: Tableau dimensionnel des automates Twido Télémecanique .....	36
Tableau 17: Tableau AMDEC standard .....	42
Tableau 18: Echelle de référence pour G, F et D .....	42
Tableau 19: Tableau dimensionnel ATV312.....	46
Tableau 20: Coûts des solutions proposées .....	47

# ABRIVIATIONS

**AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité.

**API** : Automate Programmable Industriel.

**CEM** : Compatibilité ElectroMagnétique.

**CMCP** : Compagnie Marocaine des Cartons et des Papiers.

**EME** : Eléments du Milieu Extérieur.

**FAST** : Fonction Analysis System Technique.

**FP** : Fonctions Principales.

**FS** : Fonction de Service.

**IP** : Indice de Protection.

**PC** : Partie Commande.

**PO** : Partie Opérative.

**PPR** : Pulses Per Revolution.

**QQOQCP** : Quoi? Qui? Où? Quand? Comment? Pourquoi?

**SADT** : Structured Analysis and Design Technique.

**TOR** : Tout Ou Rien.

# INTRODUCTION GENERALE

Le secteur du papier et du carton au Maroc, d'une manière générale, joue un rôle essentiel dans la production, et la commercialisation des produits. C'est grâce à l'emballage que les produits sont protégés, stockés, reconnus et commercialisés. Ces différentes fonctions font de ce secteur l'un des plus importants de l'activité économique.

Ce projet de fin d'étude est réalisé au service d'automation de CMCP-International Paper situé à Kénitra pour étudier un système en défaillance à base d'un actionneur piloté par une commande d'axe. L'objectif de cette étude est de proposer des solutions pour mise en marche le système.

Pour atteindre cet objectif nous avons utilisé la méthode QQQQCP, les 5 pourquoi, le diagramme d'Ishikawa, l'analyse fonctionnelle, le dimensionnement du système et l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

Ainsi pour donner une chronologie, ce projet est divisé en cinq chapitres :

- Le premier chapitre (Présentation de l'entreprise) est consacré à la présentation de l'organisme d'accueil, puis au processus de recyclage des vieux cartons, ensuite à la description du projet.

- Le deuxième chapitre (Analyse de problèmes) est dédié à l'étude de la problématique en utilisant la méthode QQQQCP, les 5 pourquoi, le diagramme d'Ishikawa. Il présente aussi la forme de maintenance à mettre en œuvre et la planification à suivre.

- Le troisième chapitre (Analyse fonctionnelle) est destiné à l'analyse de l'installation coupe feuille en passant d'abord par l'analyse du besoin, puis l'identification et la classification des fonctions de service, ensuite l'analyse fonctionnelle technique à l'aide des méthodes SADT et FAST.

- Le quatrième chapitre (Dimensionnement de l'existant) comporte le dimensionnement des équipements du système coupe feuille.

- Le cinquième chapitre (Résolution de problèmes) comporte une présentation de la commande d'axe du système coupe feuille, ainsi l'application de la méthode AMDEC sur ce système et finalement les solutions proposées pour mise en marche la commande d'axe.

---

## CHAPITRE 1: Présentation de l'entreprise

---

## 1. Introduction

Cette partie présente l'entreprise d'accueil et l'environnement où le projet de fin d'étude s'est déroulé. Elle contient également les différentes phases du processus de recyclage des vieux cartons et la charte de projet.

## 2. Groupe CMCP-International Paper

### 2.1. International Paper

International Paper est un leader mondial du papier et de l'emballage dont les sites de fabrication se situent en Amérique du Nord, Amérique Latine, Europe, Russie, Asie et Afrique du Nord. Ses activités comprennent l'emballage industriel et de vente, ainsi que les papiers non couchés et la pâte. Le siège se trouve aux Etats-Unis, à Memphis, Tennessee.

International Paper emploie près de 55 000 personnes et dispose de sites stratégiques dans plus de 24 pays. En 2015, son chiffre d'affaires net s'est élevé à 22 milliards de dollars. La figure 1 représente le logo de l'entreprise. [1]



Figure 1: Logo de l'entreprise International Paper

### 2.2. Fiche signalétique International Paper

Le tableau 1 illustre des informations sur le siège de l'entreprise à l'échelle internationale. [2]

INTERNATIONAL  PAPER	
Nom de l'entreprise	International Paper
Création	1898
Fondateurs	Hugh J. Chisholm
Forme juridique	Société par actions
Siège social	Memphis, Tennessee (États-Unis)
Activité	Industrie papetière
Effectif	58 000 (2014)
Chiffre d'affaires	24 milliards de \$ (2014)

Tableau 1: Fiche signalétique International Paper

### 2.3. Compagnie Marocaine des Cartons et des Papiers (CMCP)

Le groupe CMCP a été créé en 1949 et est acheté à 100% par International Paper en 2007. Il devient CMCP-International Paper. Aujourd'hui, il recycle sur le site de Kénitra près de 70% des vieux papiers du Maroc et il est le plus grand fournisseur de boîtes en carton ondulé au Maroc. Bénéficiant de plus de 60 ans d'expérience, est l'un des plus grands producteurs d'emballages pour fruits et légumes, et il est reconnu comme un partenaire fiable et novateur par les multinationales de divers segments, tels que l'agroalimentaire, les boissons, l'automobile, l'électronique, la céramique, les produits chimiques et le textile. [3]

La figure 2 nous montre l'ancien logo de l'entreprise.



Figure 2: Ancien logo de l'entreprise CMCP

L'usine de Kénitra a une superficie de 19 hectares et emploie 400 personnes. Comme nous présente la figure 3, l'usine a deux machines pour la fabrication, deux zones d'expédition, un parc de matière première, une station d'épuration, un décanteur des effluents et un stock de produits finis.



Figure 3: Plan d'usine CMCP-International Paper

La machine à papier 1 produit 35 000 tonnes de papier carton blanc par ans, à partir de papier recyclé (96%) et pâte noble (4%). La machine à papier 3 produit 70 000 tonnes de papier carton par ans, à partir de papier carton recyclé. Les caractéristiques des deux machines sont présentées dans les tableaux 2 et 3.

<b>Largeur utile</b>	<b>3.65 m</b>
<b>Vitesse</b>	<b>140 m/min</b>
<b>Grammage</b>	<b>140 à 700 g/m<sup>2</sup></b>
<b>Production moyenne</b>	<b>140 tonnes/jour</b>

Tableau 2: Caractéristiques de la Machine à Papier 1

<b>Largeur utile</b>	<b>2.54 m</b>
<b>Vitesse</b>	<b>400 m/min</b>
<b>Grammage</b>	<b>70 à 230 g/m<sup>2</sup></b>
<b>Production moyenne</b>	<b>200 tonnes/jour</b>

Tableau 3: Caractéristiques de la Machine à Papier 3

#### 2.4. Fiche signalétique CMCP-International Paper

Le tableau 4 présente des informations sur l'entreprise d'accueille.

 	
Raison sociale	CMCP-International Paper
Forme juridique	S.A.
Siège sociale	Quartier Industriel B.P. 94 Kénitra Maroc
Date de création	1949
Activités	Transformation d'emballages en carton ondulé et fabrication de papier.
Effectif	400 personnes
Numéro Téléphone	Tél.: +212 5 37 39 99 00 Tél.: +212 5 37 37 85 41
Certifications	ISO-9001

Tableau 4: Fiche signalétique de CMCP-International Paper

### 2.5. Organigramme CMCP-International Paper

L'organigramme s'agit d'une structure qui se trouve au niveau des organisations de grande taille, CMCP-International Paper supporte la structure divisionnelle qui vise essentiellement à diviser l'entreprise en des unités relativement autonome, comme nous présente la figure 4, dont chacune se spécialise dans une activité précise, afin de mieux maîtriser son domaine d'activité.

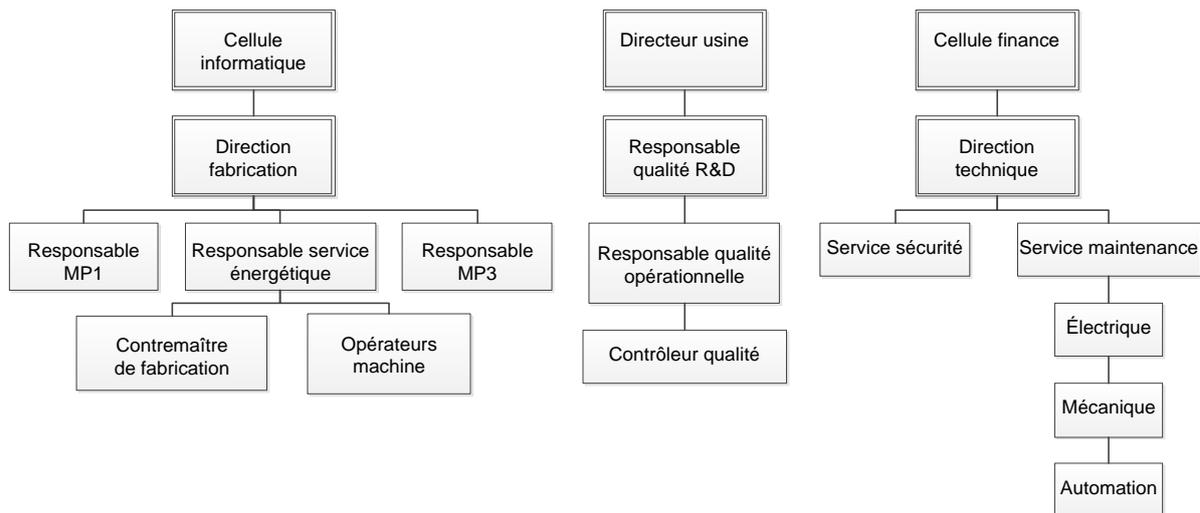


Figure 4: Organigramme CMCP-International Paper

### 3. Processus de recyclage du carton

La récupération du papier-carton permet non seulement de limiter la déforestation mais aussi de réaliser des économies considérables du temps, d'énergie et d'argent. On peut recycler le papier cinq à sept fois sans en affecter la qualité. Quant au carton, il peut accepter jusqu'à 10 recyclages de ses fibres.

La figure 5 donne un aperçu général sur le processus de recyclage des vieux cartons, ce processus commence par la transformation des vieux papiers en pâte passant par un pulpeur, puis la pâte est séparée de déchets de recyclage en passant par un épurateur et finalement la pâte à papier passe à la machine à papier pour la production des bobines de papiers cartons.

Le recyclage se compose de trois phases principales :

- Phase de pulpage.
- Phase d'épuration.
- Phase de machine à papier.

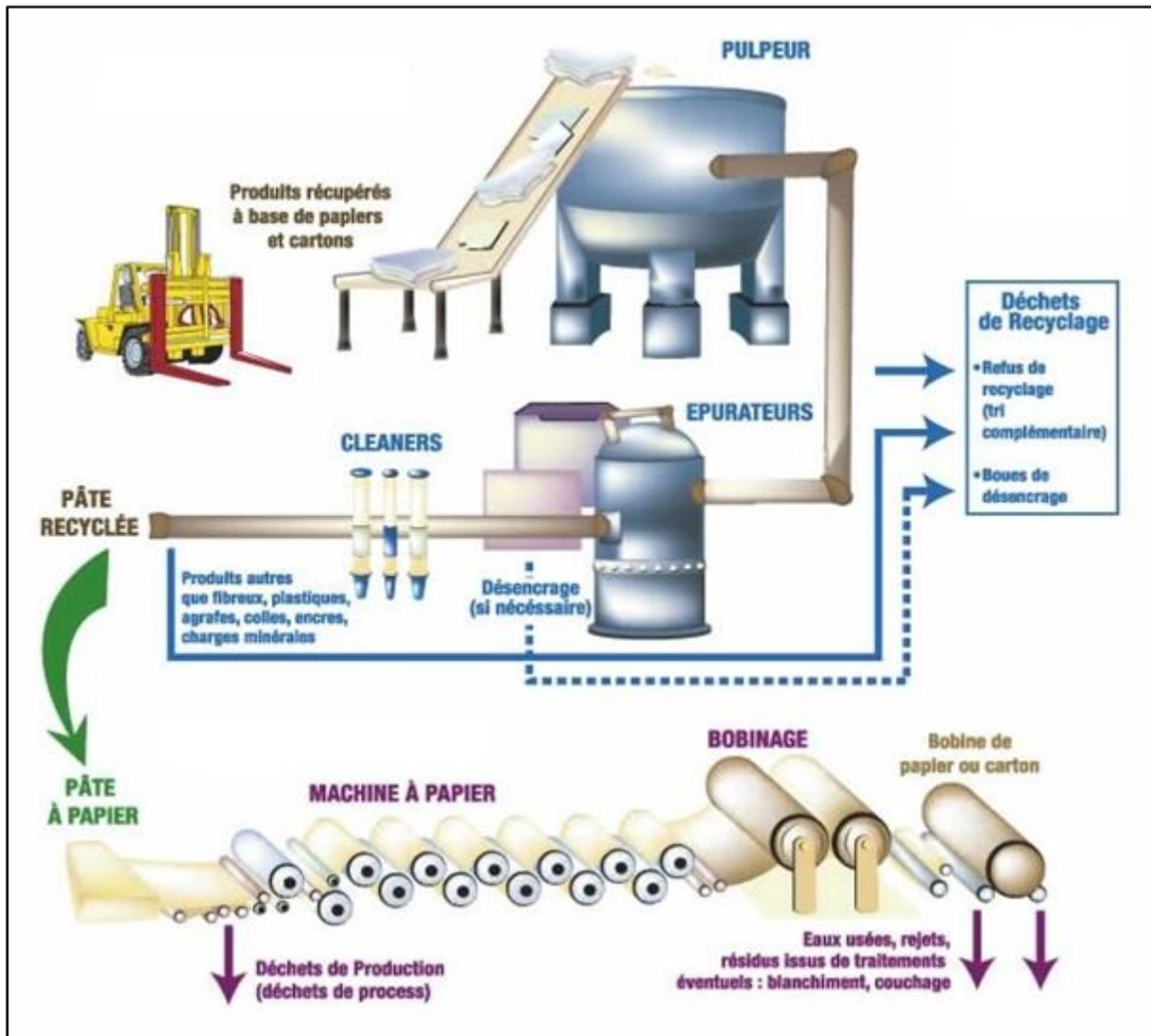


Figure 5: Processus de recyclage des vieux cartons

### 3.1. Phase de pulpage

Pour la première phase de plupage les papiers cartons usagés sont d'abord placés dans un pulpeur. Ce brassage dans de l'eau permet de rompre les liaisons entre les fibres de cellulose et de les séparer des produits résiduels qu'elles pourraient contenir. En effet, les fibres de cellulose ont la propriété de se lier entre elles par liaisons multiples de faibles énergies lors de l'élimination de l'eau au cours du séchage du papier. L'eau est une agitation dans le pulpeur permettront de les séparer sans dommage lors de la première étape du recyclage. Les fibres sont maintenant prêtes à passer à l'épuration. [4]

### 3.2. Phase d'épuration

La seconde phase d'épuration consiste à séparer les fibres de tous les autres éléments qu'elles peuvent contenir : vernis, peinture, colle, agrafes ou autres. Ces fibres, une fois épurées, deviendront la base de la pâte à papier. [4]

### 3.3. Phase de machine à papier

Avant de devenir feuille de papier carton, la pâte à papier passera par plusieurs étapes à travers la machine à papier qui servira à la fabrication de nouveaux produits à base de papier-carton:

- **La table de formation:** la pâte à papier est déposée sous forme de jet sur la table de formation. La toile est animée par un mouvement saccadé, qui facilite la formation de la feuille et son égouttage.
- **Les presses:** la feuille est comprimée entre deux cylindres recouverts de feutre absorbant.
- **La sécherie:** la feuille est séchée contre des tambours de fonte chauffés intérieurement à la vapeur.
- **La finition:** la surface de la feuille est recouverte de matières améliorant ses propriétés.
- **L'enrouleuse:** la feuille est enroulée en bobines. Elle peut être ensuite découpée en feuilles ou refendue en bobines plus petites. Le papier est prêt à être livré.

La figure 6 présente les sections principales d'une machine à papier. [5]

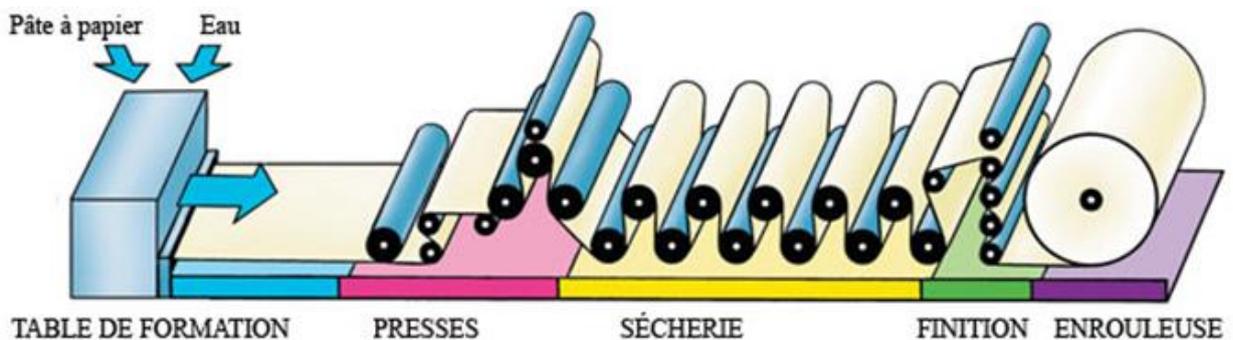


Figure 6: Sections principales d'une machine à papier

## 4. Cahier des charges

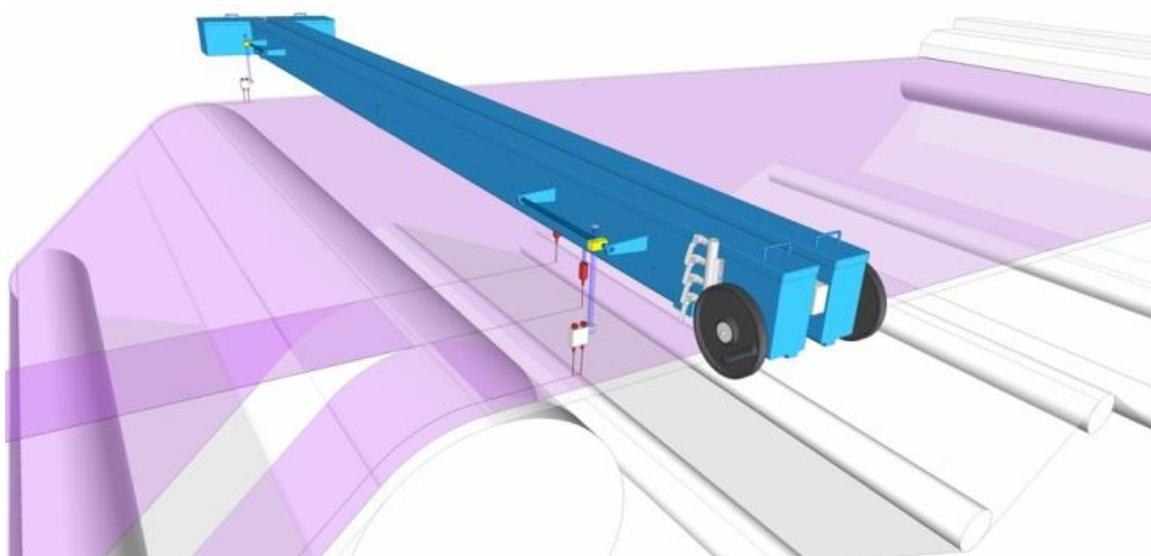
### 4.1. Contexte et définition du problème

Le système coupe feuille est un appareil conçu pour réaliser la coupe de la feuille de papier et pour exécuter la pointe d'embarquement, au moyen d'un jet d'eau, de façon automatique ou manuelle sur la table de fabrication, comme nous présente la figure 7.

La coupe de la feuille se réalise en répondant aux ordres donnés par le conducteur depuis les différentes boîtes de commande.

Dans n'importe quelle situation, l'équipement est en mesure d'être utilisé manuellement, en commandant le volant qu'il incorpore dans ce but ou automatiquement depuis un terminal tactile ou bien depuis deux boutonnières.

Actuellement le système est utilisé manuellement par un volant manuel à cause d'une défaillance au niveau de la commande d'axe.



*Figure 7: Système coupe feuille*

### 4.2. Charte de projet

La charte du projet comme nous présente la figure 8 est un énoncé de haut niveau décrivant sur quoi portera le projet, ce qu'il devrait livrer, c'est-à-dire les principaux résultats attendus, les diverses parties partenaires et les conditions dans lesquelles il se déroulera.

Charte Projet	
Présentation du projet	
Nom du projet	Etude et réalisation d'un système à base d'un actionneur piloté par une commande d'axe pour le système coupe feuille partie humide MP3
Entités bénéficiaires	CMCP-IP (Kénitra)
Délai estimé	4 mois
Contexte du projet	
<p>Ce projet est réalisé dans le cadre de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme ingénieur d'état en ingénierie mécatronique.</p> <p>L'élève ingénieur doit mettre en œuvre de manière innovante ce qu'il a appris pendant ses années du cycle ingénieur dans un PFE, et faire preuve de ses connaissances et compétences.</p>	
Objectifs du projet	
<p>Etude de l'installation existante.</p> <p>Proposition des solutions techniques.</p>	
Description du projet	
<p>Le projet vise l'étude du concept commande d'axe pour corriger le problème de défaillance du système coupe feuille en proposant des solutions techniques selon cette étude.</p>	
Bénéfices attendus	
<p>Mise à niveau du système automatisé.</p> <p>Correction du problème de défaillance.</p>	
Organisation du projet	
Encadrant à l'usine	Mourad CHAKOUR
Encadrante à FST Fès	Mouna ABARKAN
Membres de l'équipe projet	Mohamed-Saad EL MSYAH

Figure 8: Charte de projet

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné une image globale sur l'entreprise d'accueil et sur le secteur de l'industrie de papiers et cartons au Maroc à travers l'entreprise CMCP-International Paper. Ainsi, une illustration sur le processus de recyclage et de production du papier.

Le chapitre suivant focalise sur l'analyse de problème de ce projet en se basant sur des méthodes de résolution de problème afin de diagnostiquer les sources de problème, les méthodes de travail et d'action pour un tel sujet.

---

## **CHAPITRE 2: Analyse du problème**

---

## 1. Introduction

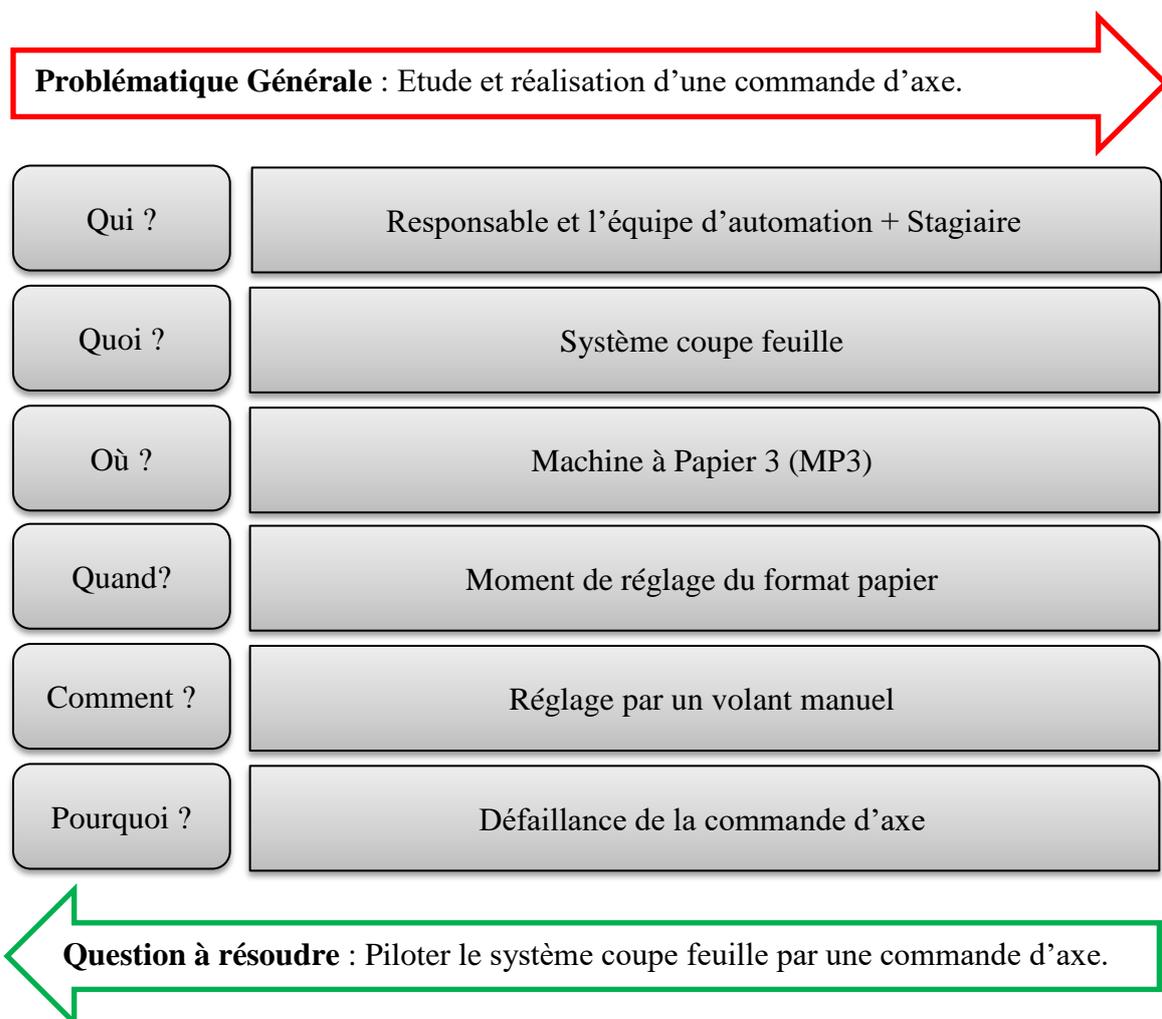
Ce chapitre consiste à définir la nature, les causes et les conséquences spécifiques du problème visé afin de déterminer comment on pourra s'attaquer au problème et quels aspects de la situation à modifier. Pour analyser et comprendre le sujet on va faire appel à des outils comme le QOOQCP, les 5 pourquoi, le diagramme causes/effet et l'arbre de décision.

## 2. Phase d'observation

### 2.1. Méthode QOOQCP

La méthode QOOQCP (Quoi? Qui? Où? Quand? Comment? Pourquoi?) permet d'avoir sur toutes les dimensions du problème, des informations élémentaires suffisantes pour caractériser une situation en la décrivant selon un angle bien défini, en fonction du but recherché.

La figure 9 illustre le résultat de poser ce type de questions en regroupant tous les réponses à repérer afin de donner une image sur la problématique générale et la question à résoudre.



### 3. Phase de compréhension

#### 3.1. Méthode 5 pourquoi

La méthode 5 pourquoi est un outil de questionnement systématique qui permet de remonter aux causes premières d'un dysfonctionnement ou d'une situation observée. Le nombre 5 est symbolique, ce peut être plus ou moins. L'important est de mener une investigation le plus en profondeur possible. Il faut cesser de se poser la question «pourquoi», dès lors que n'est plus en mesure d'agir sur la cause proposée.

L'application de cette méthode sur notre cas permet d'élaborer l'illustration comme nous présente la figure 10 a permet d'identifier que l'humidité peut être la cause racine de la défaillance de la commande d'axe de la coupe feuille.

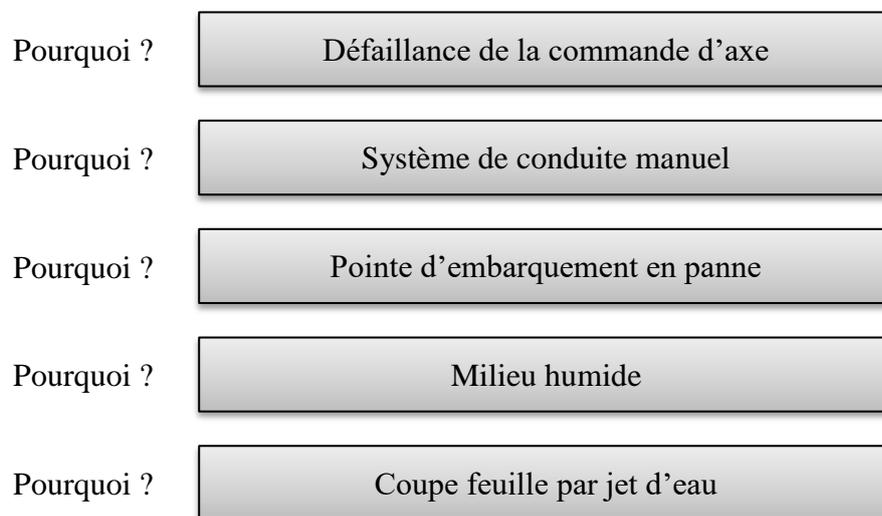


Figure 10: 5 pourquoi

#### 3.2. Méthode d'Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa (appelé aussi diagramme causes/effet) consiste à classer par famille les causes susceptibles d'être à l'origine d'un problème afin de rechercher des solutions pertinentes.

Ce diagramme, sous l'aspect d'une arête de poisson, est composé d'un tronc principal au bout duquel est indiqué l'effet étudié et de 5 branches correspondant à 5 familles de causes qui sont:

- **Main d'œuvre:** connaissances, compétences, comportement...
- **Milieu:** environnement, température, luminosité, humidité, pression, ambiance...
- **Matière:** matière première, référence d'un acier, huile, papier...
- **Méthode:** marche à suivre, document de description...
- **Moyens:** machines, outils...

Le résultat de l'application de cette méthode sur la problématique de ce sujet mène à un diagramme causes/effet présenté dans la figure 11 afin de donner une image sur les causes possible pour une telle défaillance.

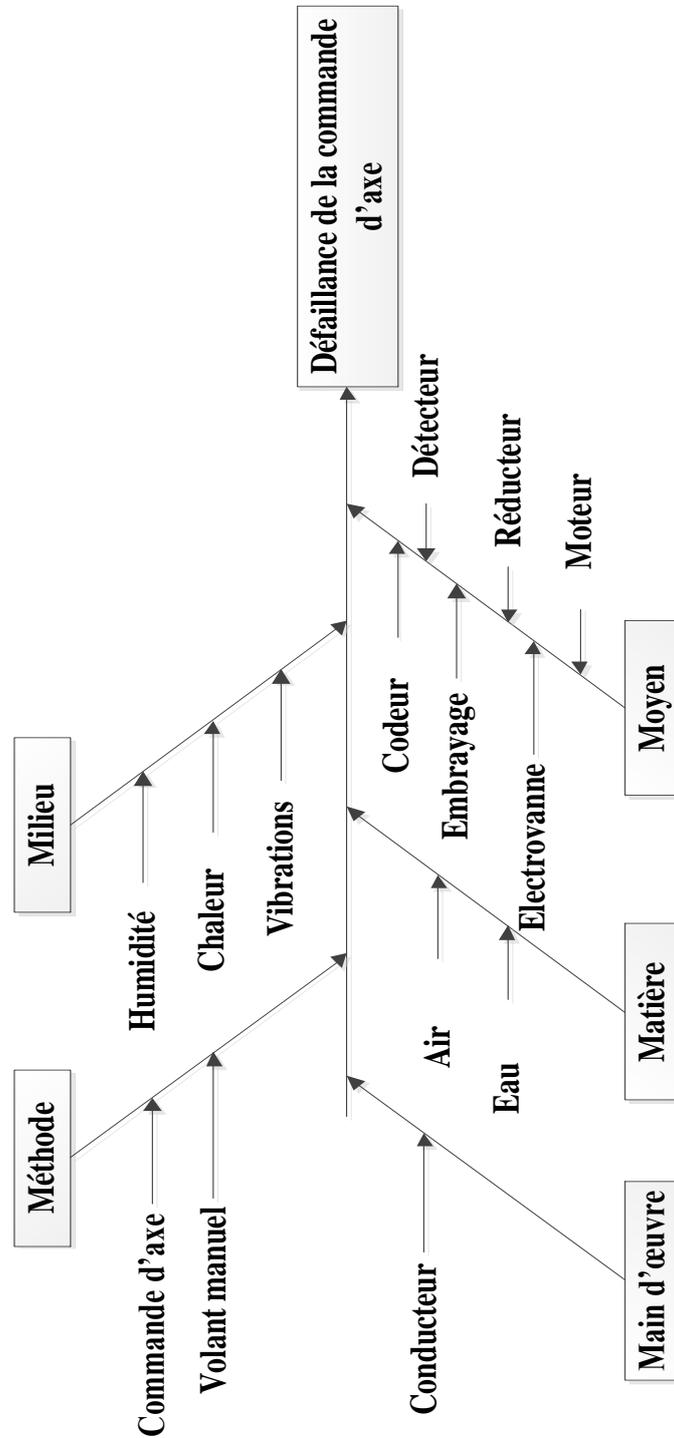


Figure 11: Diagramme d'Ishikawa (Diagramme causes-effet)

#### 4. Phase de décision

Afin d'aider au choix de la forme de maintenance à mettre en œuvre, l'arbre de décision comme nous montre la figure 12 est utilisé pour orienter la forme de maintenance possible.

L'augmentation attendue des défaillances du système coupe feuille et la décision d'intervention définitive pour résoudre le problème nous oriente vers une maintenance d'amélioration suivant cet arbre. [6]

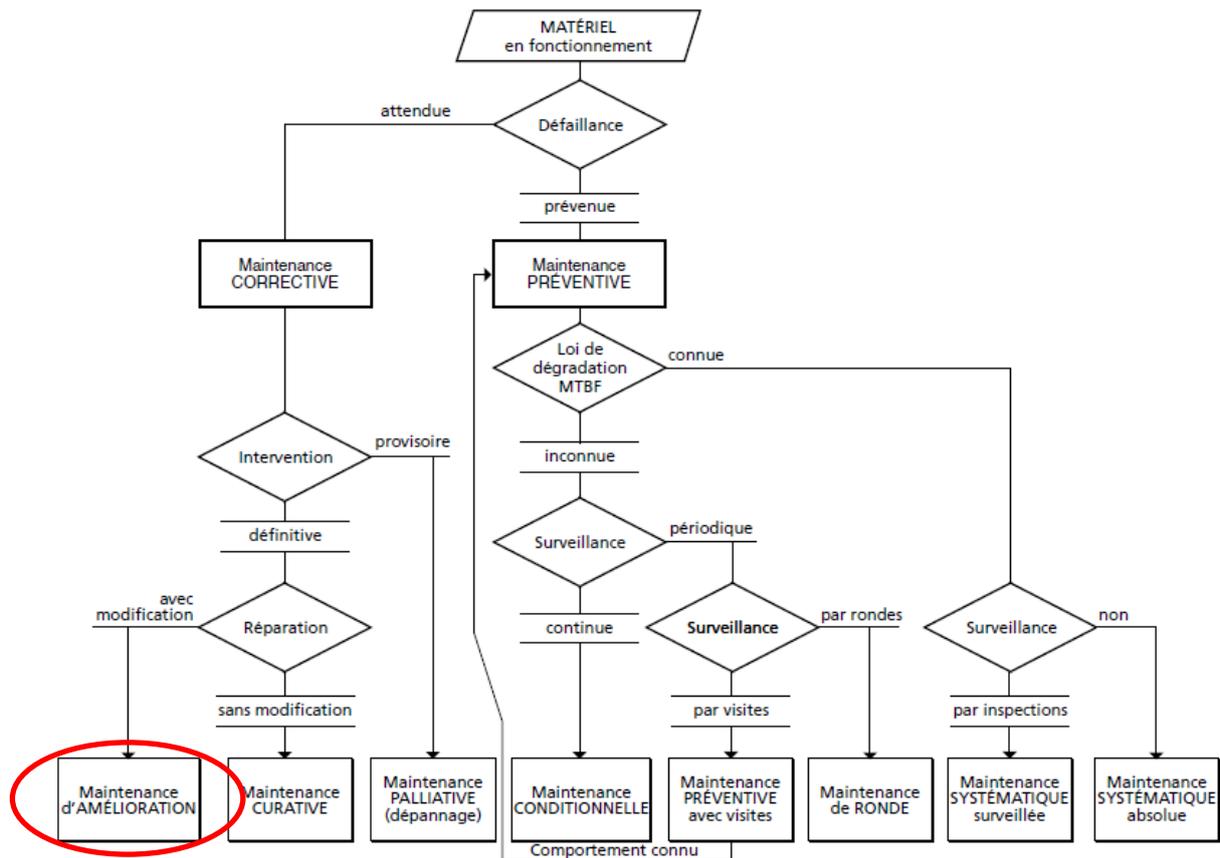


Figure 12: Arbre de décision pour choisir la forme de maintenance

#### 5. Planification du projet

La planification a pour objectif d'organiser le déroulement des étapes du projet dans le temps pour atteindre l'objectif fixé. Dans notre cas, le projet se divise en deux parties principales qui sont étude de l'installation existante et proposition des solutions techniques. Chaque partie est composée de plusieurs tâches à faire pendant un délai prévu. Le tableau 5 représente la planification prévu pour ce projet de fin d'étude.

N°	Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs
0		<b>Projet de fin d'étude</b>	<b>77.13 jours</b>	<b>Mar 14-02-17</b>	<b>Lun 19-06-17</b>	
1		<b>Etude de l'installation existante</b>	<b>29.63 jours</b>	<b>Mar 14-02-17</b>	<b>Lun 03-04-17</b>	
2		Visite de site Machine à Papier 3	1 jour	Mar 14-02-17	Mer 15-02-17	
3		Déchiffrage de la documentation technique	10 jours	Mer 15-02-17	Ven 03-03-17	2
4		<b>Analyse du problème</b>	<b>8 jours</b>	<b>Mer 22-02-17</b>	<b>Mer 08-03-17</b>	
5		<b>Observation</b>	<b>1 jour</b>	<b>Ven 03-03-17</b>	<b>Lun 06-03-17</b>	
6		QQOQCP	1 jour	Ven 03-03-17	Lun 06-03-17	3
7		<b>Compréhension</b>	<b>2 jours</b>	<b>Lun 06-03-17</b>	<b>Mer 08-03-17</b>	
8		5 pourquoi	1 jour	Lun 06-03-17	Mar 07-03-17	6
9		Digramme causes/effet	1 jour	Mar 07-03-17	Mer 08-03-17	8
10		<b>Conception</b>	<b>7 jours</b>	<b>Mer 22-02-17</b>	<b>Mar 07-03-17</b>	
11		AMDEC	7 jours	Mer 22-02-17	Mar 07-03-17	14
12		<b>Analyse fonctionnelle</b>	<b>5 jours</b>	<b>Mer 15-02-17</b>	<b>Mer 22-02-17</b>	
13		Analyse fonctionnelle du besoin	3 jours	Mer 15-02-17	Lun 20-02-17	2
14		Analyse fonctionnelle technique	2 jours	Lun 20-02-17	Mer 22-02-17	13
15		<b>Analyse technologique</b>	<b>23.63 jours</b>	<b>Mer 22-02-17</b>	<b>Lun 03-04-17</b>	<b>14</b>
16		Eude mécanique	4 jours	Ven 03-03-17	Ven 10-03-17	17
17		Etude électronique	5 jours	Mer 22-02-17	Ven 03-03-17	
18		Etude automatique	6 jours	Ven 24-03-17	Lun 03-04-17	
19		<b>Proposition des solutions techniques</b>	<b>30 jours</b>	<b>Mar 02-05-17</b>	<b>Lun 19-06-17</b>	<b>15</b>
20		Proposition d'une nouvelle commande	15 jours	Mar 02-05-17	Jeu 25-05-17	
21		Etude de l'intégration de la solution sur machine	15 jours	Mar 02-05-17	Jeu 25-05-17	

Tableau 5: Tableau de planification

Les tâches sont représentées par des barres dont la longueur est proportionnelle à la durée estimée. Cette représentation graphique appelé diagramme Gantt permet de situer dans le temps les tâches source du projet comme nous présente la figure 13.

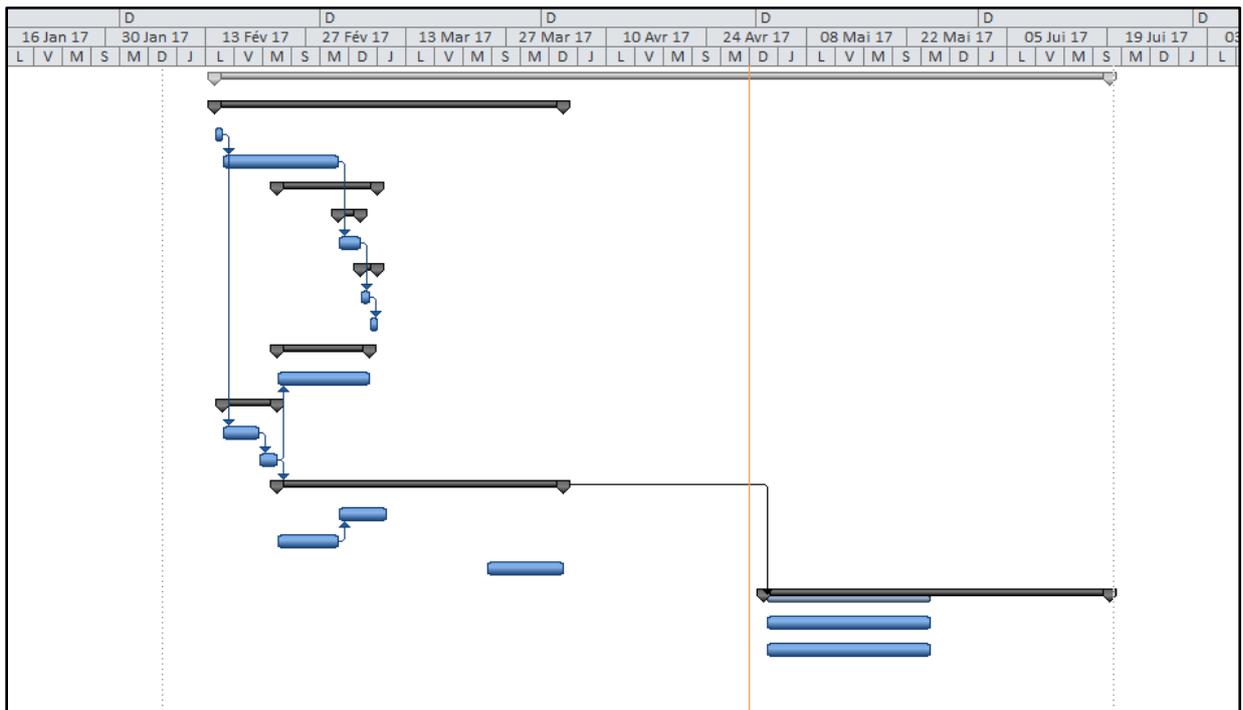


Figure 13: Diagramme de Gantt

## **6. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons identifié le problème posé par le responsable de service automation. Cette recherche nous a permis de déterminer la problématique générale et la question à résoudre à l'aide de l'outil QQQCP. Aussi la compréhension du sujet à l'aide de « 5 pourquoi » et « diagramme causes/effet ». Ainsi La forme de maintenance à considérer pour traiter le problème.

En effet, il sera toujours nécessaire de compléter cette analyse par une analyse fonctionnelle pour rechercher et caractériser les fonctions offertes par le système coupe feuille et identifier les variables de l'environnement, qui est l'objectif du chapitre suivant.

---

## **CHAPITRE 3: Analyse fonctionnelle**

---

## 1. Introduction

Ce chapitre porte l'étude sur l'analyse fonctionnelle qui est une étape très importante dans la réalisation d'un nouveau produit. Elle consiste à déterminer les fonctions établies par le système étudié sur son environnement. Cette chapitre fait l'objet de l'étude du système coupe feuille à travers les outils de l'analyse fonctionnelle qui sont bête à cornes, diagramme pieuvre, hiérarchisation des fonctions de service, méthode SADT et la méthode FAST.

## 2. Analyse du Besoin

Le système coupe feuille rend service à l'entreprise en agissant sur le carton recyclé pour satisfaire le besoin de ses clients. On souhaite de piloter le système coupe feuille par une commande d'axe à base d'un actionneur. Traditionnellement, on représente le besoin grâce à un outil graphique le schéma du besoin ou autrement dit la bête à cornes comme nous montre la figure 14. [7]

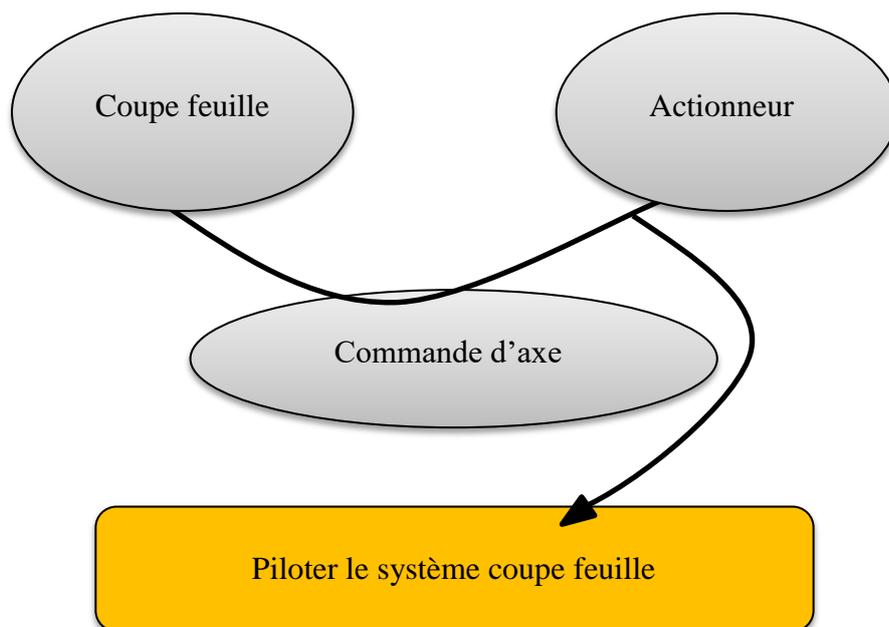


Figure 14 : Schéma du besoin (bête à cornes)

## 3. Identification du Milieu Extérieur

Pour identifier les fonctions du système coupe feuille, il faut être capable de décrire son environnement appelé Milieu Extérieur. Toutes les entités qui sont identifiées comme extérieures à ce système sont appelées Eléments du Milieu Extérieur (**EME**). [7]

La figure 15 représente les EME du système coupe feuille.

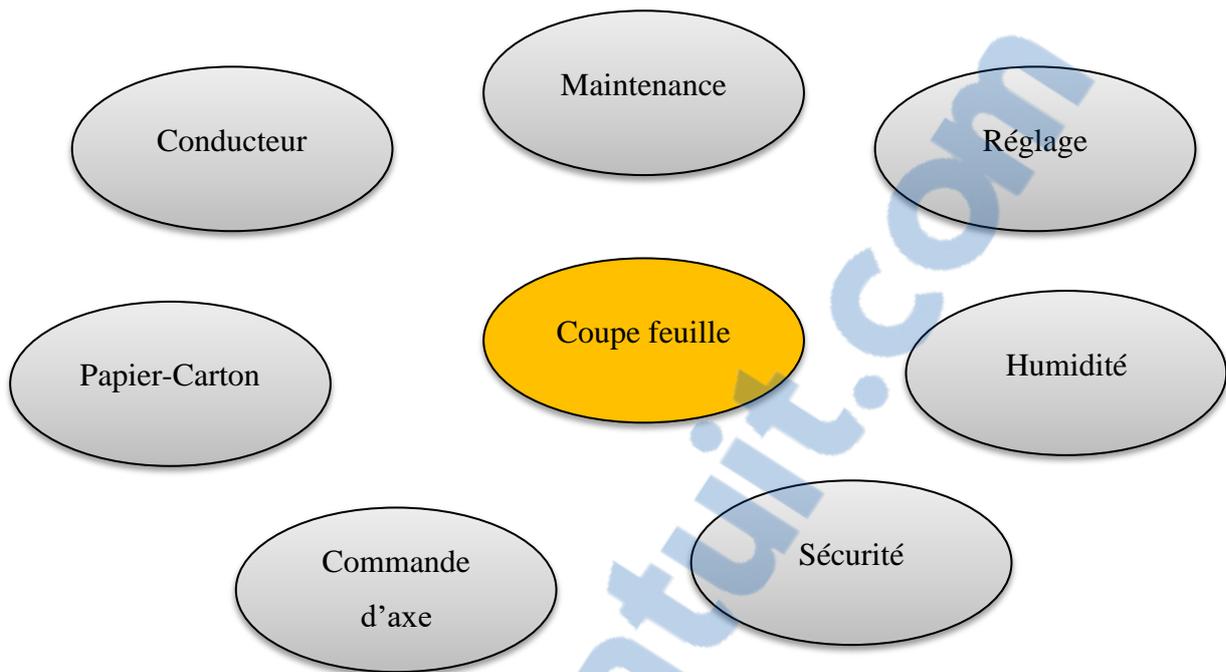


Figure 15: Identification des EME

#### 4. Identification et classification des Fonctions de Service

On identifie les Fonctions de Service grâce à un outil graphique appelé le graphe des inters acteurs, ou diagramme pieuvre comme nous montre la figure 16.

Les relations du système avec son milieu extérieur sont représentées par des traits:

- Chaque trait correspond à une Fonction de Service (FS)
- Chaque trait doit relier le système à un EME ou bien relier plusieurs EME en passant par le système.

Les fonctions principales (FP) traduisent obligatoirement des actions réalisées par le produit en relation deux EME, via le système.

Les fonctions contraintes (FC) traduisent la plupart du temps une adaptation du produit à son milieu extérieur en reliant chaque EME au système.

Pour être pertinentes, les FP et FC doivent être énoncées en respectant les règles de l'expression des fonctions qui est normalisée par l'AFNOR: une fonction se compose d'un verbe ou d'un groupe verbal caractérisant l'action, et de compléments représentant les éléments du milieu extérieur concernés par la fonction. [7]

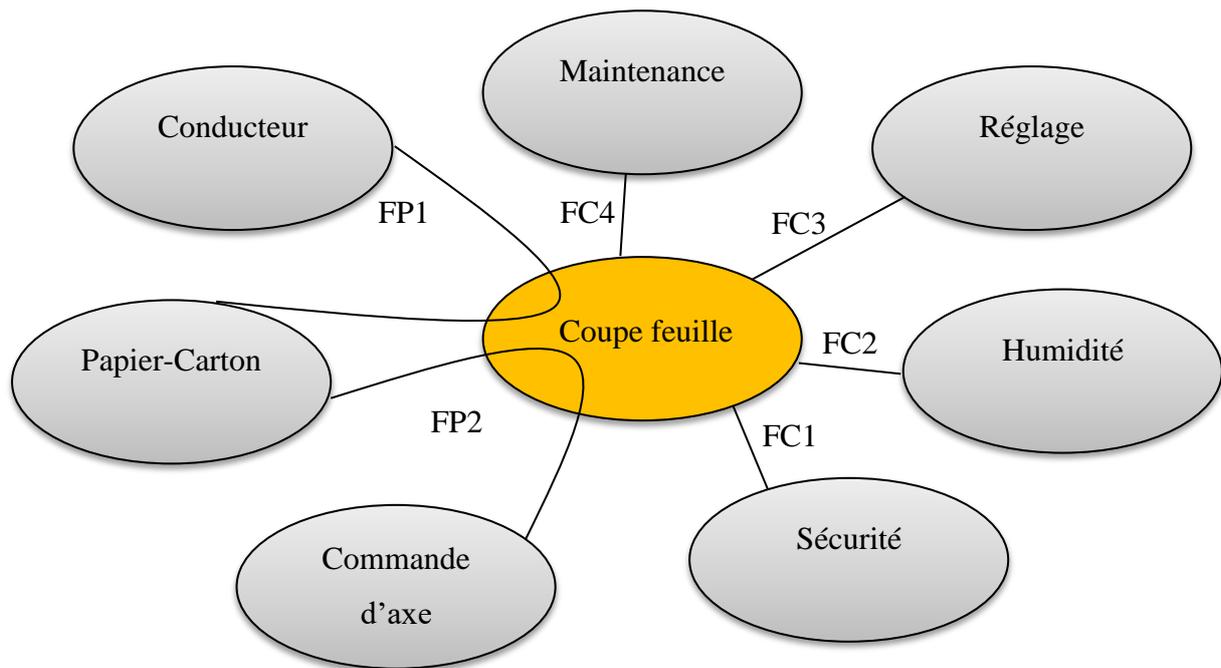


Figure 16: Diagramme pieuvre du système coupe feuille

Comme nous montre le tableau 6, le système coupe feuille à 2 fonctions principales et 4 fonctions contraintes.

Fonction	Enoncé
FP1	Ajuster le format du papier-carton par un conducteur à l'aide du volant manuel.
FP2	Choisir le format du papier-carton par une commande d'axe.
FC1	Respecter les normes de sécurité.
FC2	Résister à l'humidité.
FC3	Etre facilement réglable.
FC4	Etre facilement maintenu.

Tableau 6: Tableau de caractérisation des FS

## 5. Hiérarchisation des Fonctions de Service

L'objectif est de comparer chaque fonction entre elles, afin de déterminer leurs importances. Cela nous permettra de connaître la répartition du budget attribuée pour chacune d'entre elles.

Le principe est de comparer les fonctions une à une, à l'aide d'une matrice de tri croisé, et d'attribuer une note en supériorité de 1 à 3. [7]

Le tableau 7 nous représente le barème utilisé pour la hiérarchisation des FS.

Note	Importance relative
1	Légèrement supérieure
2	Moyennement supérieure
3	Nettement supérieure

Tableau 7: Barème d'hierarchisation des fonctions de service

Dès les comparaisons sont terminées, il suffit de comptabiliser les points gagnés par chaque fonction dans tout le tableau, comme on peut le voir sur le tableau 8.

	FP2	FC1	FC2	FC3	FC4	Note	%
FP1	3	2	2	1	2	10	24%
	FP2	2	3	3	2	10	24%
		FC1	1	1	3	5	12%
			FC2	1	1	2	5%
				FC3	3	3	7%
					FC4	11	27%
					<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100%</b>

Tableau 8: Hierarchisation des fonctions de service

Après le calcul de la note de chaque fonction et le total des points pour les six fonctions, on traduit les notes en pourcentage pour représenter le résultat sous forme d'un histogramme comme nous montre la figure 17 qui montre de façon très directe l'importance à apporter aux différentes fonctions les unes par rapport aux autres et nous renseigne également sur la répartition des coûts à venir pour chaque fonction.

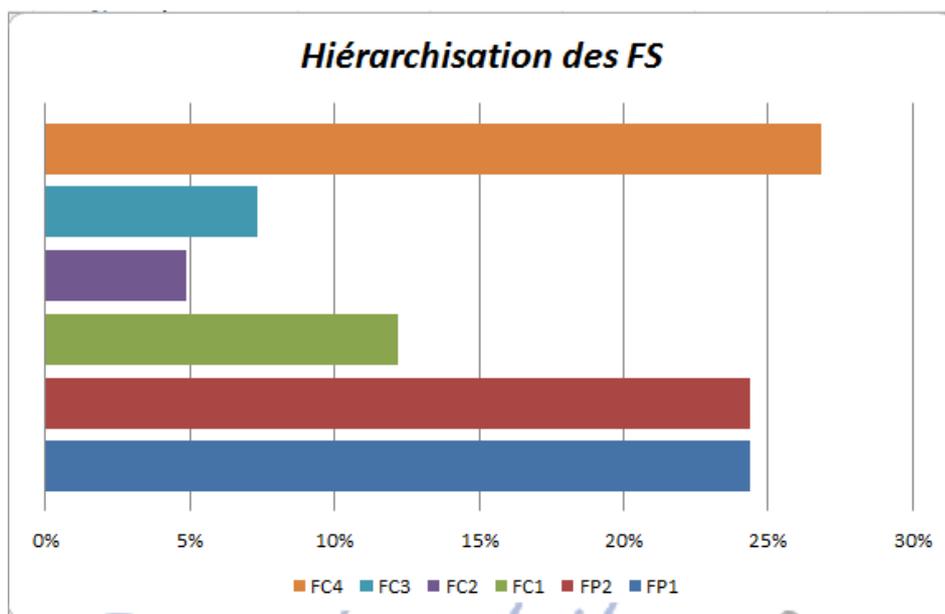


Figure 17: Histogramme d'hierarchisation des fonctions de service

## 6. Analyse Fonctionnelle Technique

### 6.1. Méthode SADT niveau A-0

La méthode SADT (en anglais Structured Analysis and Design Technique), ou méthode d'analyse fonctionnelle descendante, est une méthode graphique qui part du général pour aller au particulier. Elle permet de décrire les systèmes automatisés. [7]

La figure 18 représente le diagramme SADT niveau A-0 pour le système coupe feuille, en déterminant les paramètres de configuration, les paramètres de réglage, les données d'exploitation, les caractéristique de l'énergie, la fonction principale, l'entrée et la sortie du système.

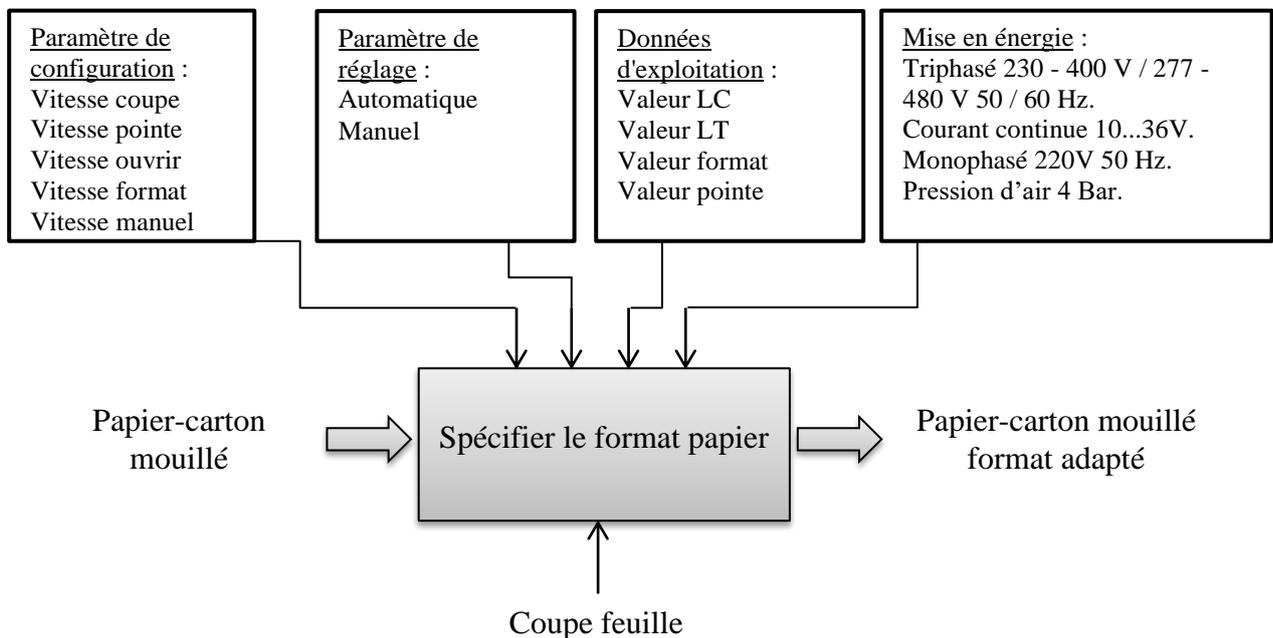


Figure 18: Diagramme SADT niveau A-0 pour le système coupe feuille

### 6.2. Méthode FAST

La méthode FAST (en anglais Fonction Analysis System Technique) est une technique permettant de représenter sous forme de diagramme les relations logiques existant entre les fonctions de service, les fonctions techniques et les solutions technologiques. [7]

Un diagramme FAST aborde trois questions clés :

- Comment accomplit-on cette fonction?
- Pourquoi réalise-t-on cette fonction?
- Quand on fait cette fonction, quelles autres fonctions doivent être faites?

La figure 16 illustre le diagramme FAST de la coupe feuille.

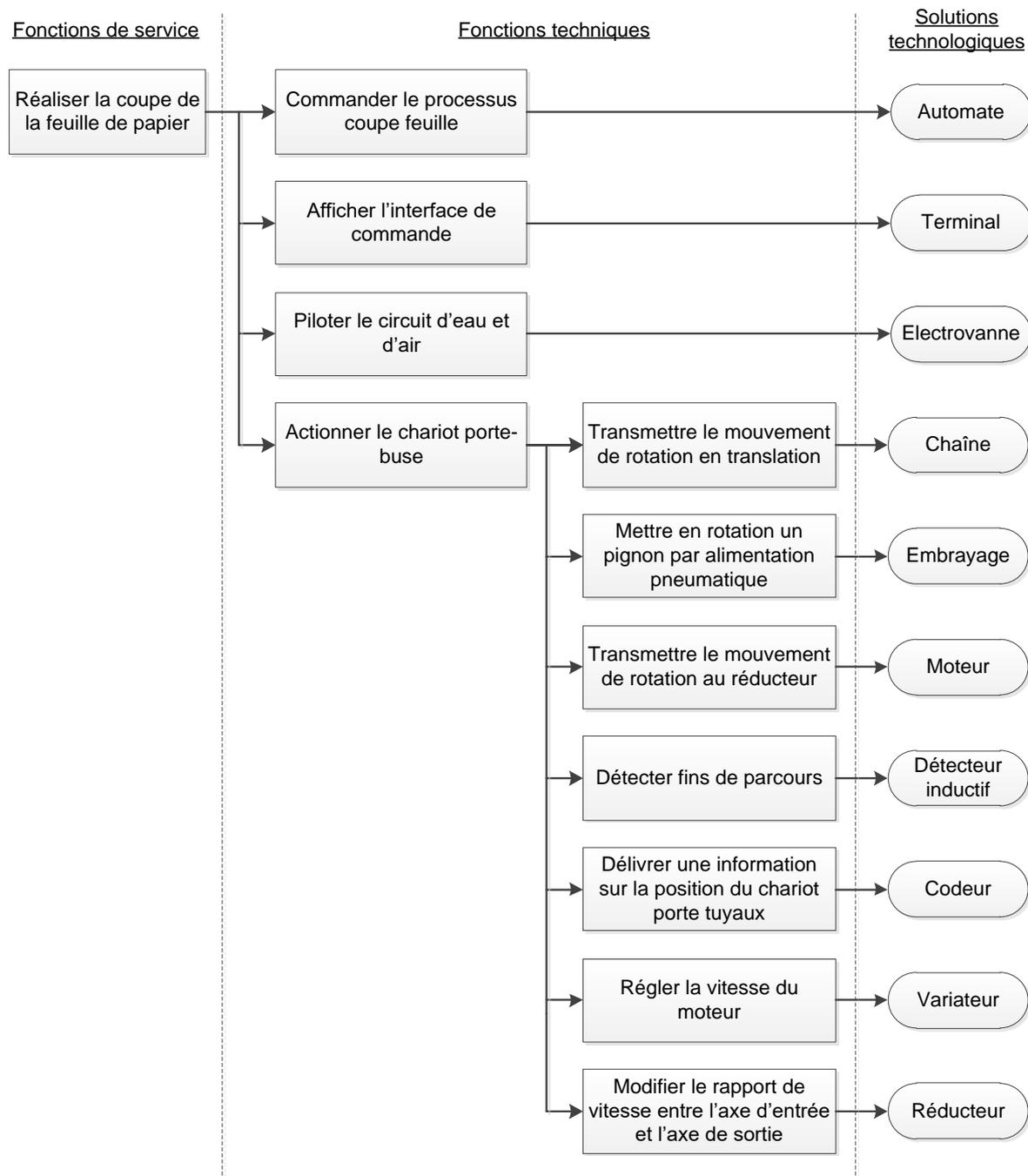


Figure 19: Diagramme FAST du système coupe feuille

## 7. Conclusion

L'analyse fonctionnelle a permis d'identifier le besoin du projet, les fonctions de service à respecter, la description du système coupe feuille par la méthode SADT et la représentation technique des éléments de la coupe feuille à l'aide de la méthode FAST.

Conséquemment, il est nécessaire de compléter la méthode FAST par le dimensionnement des solutions technologiques, qui est l'objectif du chapitre suivant.

---

## **CHAPITRE 4 : Dimensionnement de l'existant**

---

## 1. Introduction

Cette partie est consacrée pour la description de la structure du système automatisé coupe feuille à travers le dimensionnement de ses éléments fonctionnels qui sont le réducteur mécanique, la chaînes à rouleaux, le moteur asynchrone, le variateur de fréquence, l'électrovanne pneumatique, l'embrayage pneumatique, le détecteur inductif, le codeur incrémental et l'automate programmable industriel.

## 2. Structure du système coupe feuille

Tout système automatisé peut être décomposé en plusieurs éléments fonctionnels : partie commande (PC) et partie opérative (PO). La PO peut aussi être décomposée en plusieurs chaînes : chaîne d'action et chaîne d'acquisition. La PC donne des ordres à la chaîne d'action et traite les informations qu'elle reçoit de la chaîne d'acquisition. La chaîne d'action électrique transmet le mouvement de rotation à la chaîne cinématique de translation. Le rôle de la chaîne d'action pneumatique est de freiner le mouvement de translation de la chaîne cinématique.

La figure 20 au-dessous décrit la structure du système automatisé coupe feuille et les équipements utilisés pour cette structure. [8]

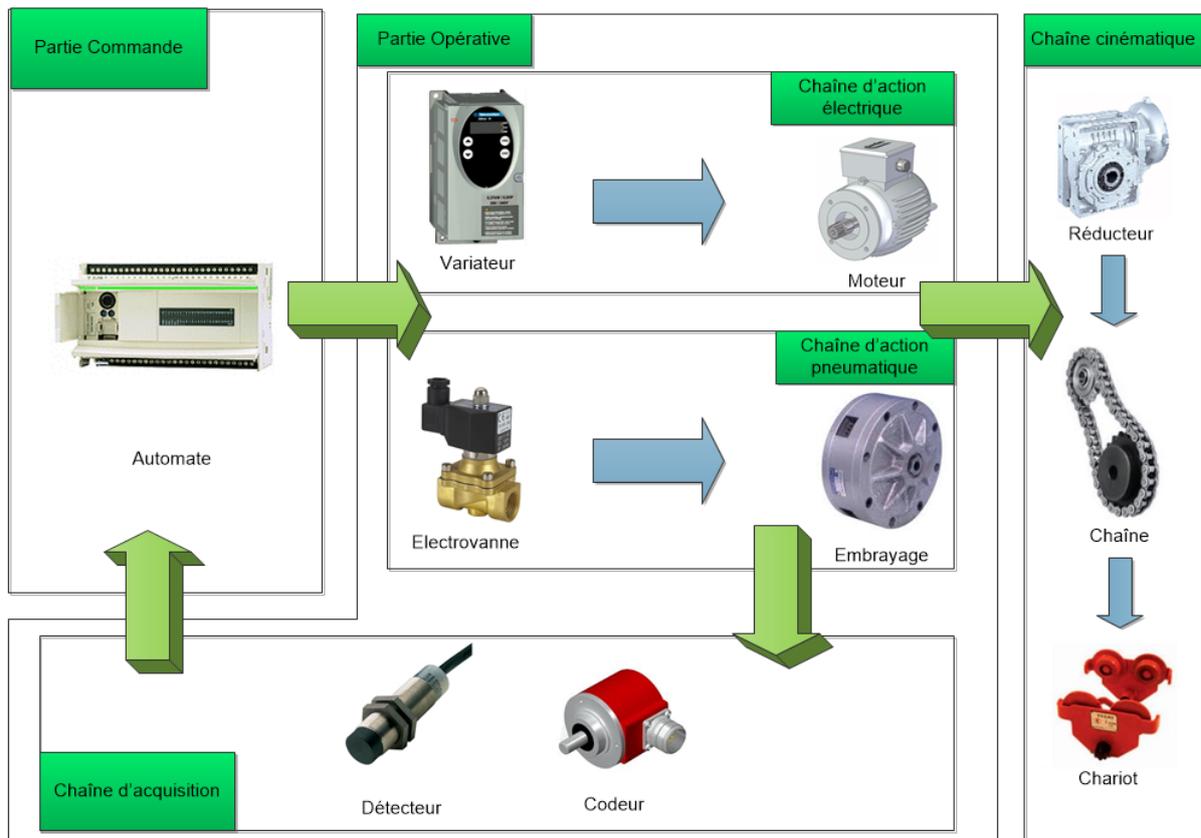


Figure 20: Structure du système automatisé coupe feuille

### 3. Réducteur mécanique

Un réducteur mécanique est un système de roue et vis sans fin. Il a pour but de modifier le couple et le rapport de vitesse entre l'axe d'entrée et l'axe de sortie d'un mécanisme. Comme nous présente la figure 21 le réducteur utilisé pour le système coupe feuille.



Figure 21: Réducteur BONFIGLIOLI

Pour sélectionner une transmission par réducteur, il est nécessaire de connaître la puissance du moteur à transmettre en kW et la taille du moteur. Selon le guide BONFIGLIOLI, le tableau (Annexe 1) indique les rapports de transmission pour lesquels les assemblages moteur-réducteur sont techniquement possibles. Le rapport de transmission est  $i=18$  d'où un rendement de 78%. Puisque notre étude se base sur un moteur asynchrone triphasé de puissance 0.37 kW, comme nous présente le tableau 9, il faut choisir un réducteur de référence VF49\_18 P71 BN71B4. [9]

0.37 kW					
$n_2$ min <sup>-1</sup>	$M_2$ Nm	s	i	$Rn_2$ N	 IEC 
13.7	152	1.4	100	7000	W86_ 100 P71 BN71B4
17.1	122	1.5	80	6200	W75_ 80 P71 BN71B4
17.1	132	1.9	80	7000	W86_ 80 P71 BN71B4
21.4	112	2.5	64	7000	W86_ 64 P71 BN71B4
21.4	101	1.2	64	4480	W63_ 64 P71 BN71B4
22.8	101	2.0	60	6060	W75_ 60 P71 BN71B4
24.5	101	3.0	56	7000	W86_ 56 P71 BN71B4
27.4	88	2.5	50	5730	W75_ 50 P71 BN71B4
30	87	3.9	46	7000	W86_ 46 P71 BN71B4
30	78	1.5	45	4040	W63_ 45 P71 BN71B4
34	74	3.4	40	5370	W75_ 40 P71 BN71B4
36	69	1.7	38	3850	W63_ 38 P71 BN71B4
46	57	2.1	30	3590	W63_ 30 P71 BN71B4
57	48	2.5	24	3360	W63_ 24 P71 BN71B4
72	40	3.0	19	3130	W63_ 19 P71 BN71B4
76	37	1.2	18	1910	VF49_ 18 P71 BN71B4
91	32	3.7	15	2920	W63_ 15 P71 BN71B4
98	29	1.0	14	1550	VF44_ 14 P71 BN71B4
98	29	1.5	14	1780	VF49_ 14 P71 BN71B4
137	22	1.3	10	1400	VF44_ 10 P71 BN71B4
137	22	1.9	10	1610	VF49_ 10 P71 BN71B4
196	15.5	1.9	7	1250	VF44_ 7 P71 BN71B4
196	15.5	2.6	7	1440	VF49_ 7 P71 BN71B4

Tableau 9: Tableau dimensionnel des réducteurs BONFIGLIOLI

### 4. Chaîne à rouleaux

Les chaînes mécaniques à rouleaux simple sont utilisées pour remplir deux principales fonctions qui sont la transmission d'un mouvement et le déplacement ou le levage d'une charge. La figure 22 représente la forme d'une chaîne à rouleaux simple.



Figure 22: Chaîne à rouleaux simple

Pour sélectionner une transmission par chaînes à rouleaux, il est nécessaire de connaître les éléments suivants: la puissance à transmettre en kW et la vitesse en tr/min de l'arbre lent du réducteur. A partir de ces données, on obtient le pas (Annexe 2) des chaînes à rouleaux à l'aide de l'abaque de sélection.

L'arbre lent du réducteur a une vitesse de 77 tr/min et une puissance de 0.29 kW. Le réducteur est répertorié dans la classe 2 (Annexe 3) et le nombre de dents du pignon moteur est 19 dents d'où le coefficient de sélection pour ce pignon est 1,25.

A partir de la puissance à transmettre et du coefficient de sélection on peut calculer la puissance de sélection:

$$0,29 \times 1,25 = 0.36 \text{ kW.}$$

Sur l'abaque de sélection (Annexe 4), l'intersection de l'abscisse 0.3 kW puissance de sélection et de l'ordonnée 77 tr/min vitesse de l'arbre lent se trouve à l'intérieur de la zone p = 12,70 mm. Ceci correspond à une chaîne simple No. 08B1 de pas 12.70 mm comme nous montre le tableau10. [10]

Chaîne		Données techniques											Maillons de raccord							
N° ISO	Réf. Brampton	Pas	Larg. intér.	Diam. rouleau	Haut. plaque	Diam. axe	Ep. plaque intér.	Ep. plaque extér.	Pas Trans.	Largeur sur axes	Surface de travail	Charge de rupture N	Masse au mètre	N° 4	N° 107	N° 11	N° 26	N° 12	N° 30	N° 58
		P mm	A mm	B mm	C mm	D mm	mm	mm	E mm	F mm	G* mm	en mm <sup>2</sup>	newtons	Kg/m						
-	B 10004	4,00	2,70	2,50	4,10	1,65	0,57	0,57	-	3,40	4,60	7,00	1800	0,07	•	•	•	•	•	•
DIN 03	B 10005	5,00	2,50	3,20	4,10	1,65	0,57	0,57	-	3,70	6,20	6,00	2200	0,08	•	•	•	•	•	•
DIN 04	B 10006	6,00	2,80	4,00	5,00	1,85	0,57	0,57	-	3,70	6,60	8,00	3000	0,12	•	•	•	•	•	•
05 B1	B 10008	8,00	3,00	5,00	7,10	2,31	0,73	0,73	-	4,30	7,40	11,00	5000	0,18	•	•	•	•	•	•
06B1	B 10038	9,525	5,72	6,35	8,25	3,28	1,3	1,04	-	6,70	10,00	28,50	11100	0,39	•	•	•	•	•	•
-	110037	9,525	3,94	6,35	8,25	3,28	1,3	1,04	-	5,30	6,80	21,90	11100	0,34	•	•	•	•	•	•
08B1	B 10043	12,70	7,75	8,51	11,80	4,43	1,55	1,55	-	8,50	12,40	50,00	19000	0,68	•	•	•	•	•	•
081	B 11048	12,70	3,30	7,75	9,90	3,66	1,00	1,00	-	5,10	6,60	21,00	8200	0,28	•	•	•	•	•	•
-	B 12048	12,70	4,88	7,75	10,70	3,97	1,51	1,51	-	6,90	9,50	32,00	15000	0,47	•	•	•	•	•	•
-	110044	12,70	5,21	8,51	11,80	4,44	1,55	1,55	-	7,10	8,40	38,70	18160	0,58	•	•	•	•	•	•

Tableau 10: Tableau dimensionnel des chaînes à rouleaux

## 5. Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écuriel. La figure 23 nous montre les dimensions du moteur utilisé pour le système coupe feuille.

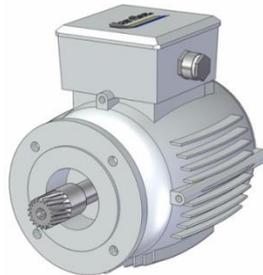


Figure 23: Moteur LANTIER

Le tableau 11 représente les caractéristiques du moteur d'entraînement utilisé pour le système coupe feuille. [8]

INFORMATION GENERAL	
Marque	LANTIER
Type	ML 80DI
Puissance	0,37 Kw
Service	S1
Vitesse de synchronisme	1500 r.p.m.
Température de travail	< 150°

Tableau 11: Caractéristique technique du moteur LANTIER

La figure 24 nous montre le branchement du moteur asynchrone en étoile sur le secteur d'alimentation. Il faut vérifier que la tension d'alimentation entre phase est de 400V et la tension simple est de 230V. [8]

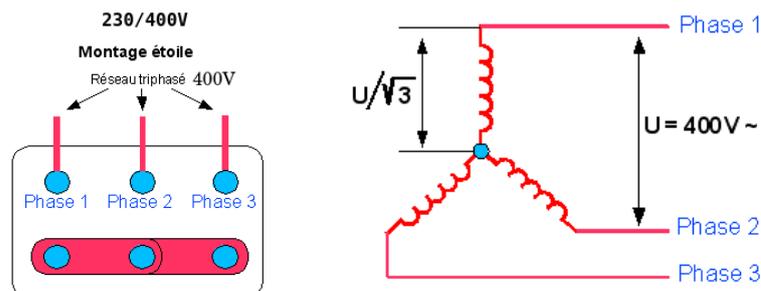


Figure 24: Schéma de branchement

## 6. Variateur de fréquence

Les variateurs de fréquence permettent de commander et varier la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, en modifiant la fréquence d'alimentation. La relation entre la fréquence  $f$  et la vitesse de synchronisme  $n$  est traduite par l'équation  $n = \frac{f}{p}$  où  $p$  le nombre paire de pôles. La figure 25 présente le type de variateur utilisé pour le système coupe feuille.



Figure 25: Variateur de fréquence ALTIVAR Télémecanique

Le choix du variateur de fréquence dépend de la puissance indiquée sur la plaque du moteur asynchrone et du type de l'entrée et la sortie du variateur. Il faut prélever le tableau dimensionnel pour un variateur d'entrée triphasée et de sortie triphasée. Selon le guide d'installation ALTIVAR, le variateur adéquat pour un moteur triphasé de puissance 0.37 kW est celui de référence ATV31H037N4 comme nous montre le tableau 12. [11]

Tension d'alimentation triphasée : 380...500 V 50/60 Hz									
Moteur triphasé 380...500 V									
Moteur Puissance indiquée sur plaque (1)	Réseau (entrée)		Icc ligne présupposé maxi	Puissance apparente	Courant d'appel maxi (3)	Variateur (sortie)			Altivar 31 Référence (5)
	Courant de ligne maxi (2) en 380 V	en 500 V				Courant nominal In (1)	Courant transitoire maxi (1) (4)	Puissance dissipée à charge nominale	
kW / HP	A	A	kA	kVA	A	A	A	W	
0,37 / 0,5	2,2	1,7	5	1,5	10	1,5	2,3	32	ATV31H037N4
0,55 / 0,75	2,8	2,2	5	1,8	10	1,9	2,9	37	ATV31H055N4
0,75 / 1	3,6	2,7	5	2,4	10	2,3	3,5	41	ATV31H075N4
1,1 / 1,5	4,9	3,7	5	3,2	10	3,0	4,5	48	ATV31HU11N4
1,5 / 2	6,4	4,8	5	4,2	10	4,1	6,2	61	ATV31HU15N4
2,2 / 3	8,9	6,7	5	5,9	10	5,5	8,3	79	ATV31HU22N4
3 / 3	10,9	8,3	5	7,1	10	7,1	10,7	125	ATV31HU30N4
4 / 5	13,9	10,6	5	9,2	10	9,5	14,3	150	ATV31HU40N4
5,5 / 7,5	21,9	16,5	22	15,0	30	14,3	21,5	232	ATV31HU55N4
7,5 / 10	27,7	21,0	22	18,0	30	17,0	25,5	269	ATV31HU75N4
11 / 15	37,2	28,4	22	25,0	97	27,7	41,6	397	ATV31HD11N4
15 / 20	48,2	36,8	22	32,0	97	33,0	49,5	492	ATV31HD15N4

Tableau 12: Tableau dimensionnel des variateurs ALTIVAR Télémecanique

### 7. Electrovanne pneumatique

Une électrovanne est une vanne commandée électriquement. Grâce à cet organe il est possible d'agir sur le débit de l'air dans un circuit par un signal électrique. Les électrovannes dites tout ou rien ont deux états possibles: normalement ouvertes, normalement fermées. Les électrovannes dites normalement fermées sont entièrement fermées en l'absence d'alimentation électrique et s'ouvrent lorsqu'elles sont alimentées. La figure 26 illustre le fonctionnement d'une électrovanne 3/2 normalement fermée.

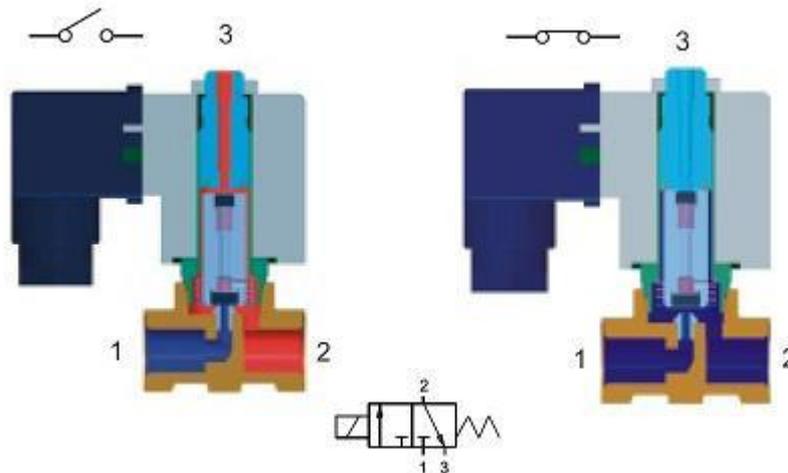


Figure 26: Electrovanne 3/2 normalement fermée

La sélection d'une électrovanne se base principalement sur trois paramètres: le diamètre de l'orifice d'alimentation, le débit de l'air à consommer et la pression d'admission. La valve choisie pour le circuit d'air du système coupe feuille est de type 131T22 comme nous montre le tableau 13. [8]

General application valves 3/2 - Direct operated																					
Port size g	Orifice (mm)	Flow factors (L/min)			Admissible differential pressure (bar)		Maximum admissible fluid temp. (°C)			Seat disc	Reference numbers				Power consumption (W)		Wt. (g)	Dim. ref.			
		Liquids kv	Qmax	Gases Qn	Min	Max	DC	AC	Gas		Liquid	Oil	Global valve reference	Valve	Housing	Coil			DC	AC	
<b>Brass body/Pipe mounting</b>																					
1/4	2.0	2.5	8.0	140	0	10	10	100	100	100	Ruby	7131KBG2JRM0	131K6650	1	2995	481865	9	8	310	17	
	(2.5)	(3.5)	(11.0)	(220)	0	10	10	100	100	100	Ruby					2995	481865	9	8		310
	2.0	2.5	8.0	140	0	10	10	130	130	130	Ruby					4270	481000	8	8		430
	(2.5)	(3.5)	(11.0)	(220)	0	10	10	130	130	130	Ruby				4270	481000	8	8	430		
	2.5	3.5	8.5	220	0	7	7	75	75	75	FKM	7131TBG2LV00	131T29	1	2995	481865	9	8	400		
	(3.5)	(5.5)	(9.5)	(400)	0	7	7	75	75	75	FKM					2995	481865	9	8		400
	2.5	3.5	8.5	220	0	7	7	75	75	75	FKM					4270	481000	8	8		520
	(3.5)	(5.5)	(9.5)	(400)	0	7	7	75	75	75	FKM				4270	481000	8	8	520		
	2.5	3.5	8.5	220	0	7	7	75	75	75	FKM	7131TBG2LVM0	131T2901	1	2995	481865	9	8	400		
	(3.5)	(5.5)	(9.5)	(400)	0	7	7	75	75	75	FKM					2995	481865	9	8		400
	2.5	3.5	8.5	220	0	7	7	75	75	75	FKM					4270	481000	8	8		520
	(3.5)	(5.5)	(9.5)	(400)	0	7	7	75	75	75	FKM				4270	481000	8	8	520		

Tableau 13: Tableau dimensionnel des électrovannes Honeywell

## 8. Embrayage pneumatique

L'embrayage pneumatique permet de mettre en rotation un pignon ou un axe par alimentation pneumatique. La figure 27 nous montre que le mouvement est assuré par friction ou par dentures en contact. Lorsque l'embrayage est alimenté par l'air, le disque orange et le disque jaune sont accouplés d'où la transmission du mouvement de rotation au pignon de la chaîne à rouleaux.

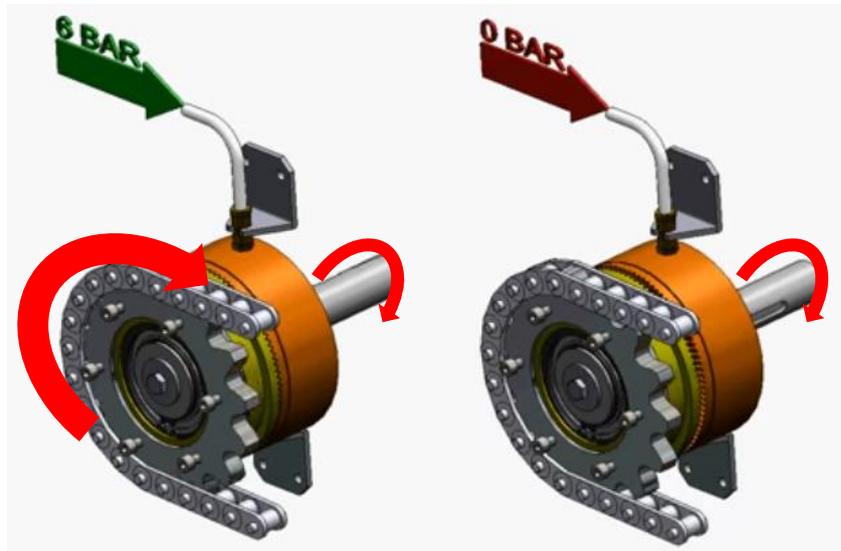


Figure 27: Principe de fonctionnement de l'embrayage pneumatique

Comme nous présente le tableau 14 que l'embrayage est de type CL4. La sélection se base sur les dimensions attendues et sur la pression d'alimentation de l'embrayage. [12]

DIMENSIONS												
TIPO SIZE	ØA	ØB	ØC H7	ØD	E	ØF min ÷ Max	G	H	I	L	M	N
CL2	102	88	70	42	∅25	12 ÷ 19	3	2	25	10	—	84,5
CL3	102	88	70	42	∅25	12 ÷ 19	3	2	25	10	—	84,5
CL4	142	128	110	70	∅64	17 ÷ 40	2	2	23	11	57,5	90,5
CL4.AC	142	128	110	70	∅64	17 ÷ 40	2	2	23	9,5	62	97
CL5	142	128	110	70	∅64	17 ÷ 40	2	2	23	11	57,5	90,5
CL5HT	142	128	110	70	∅64	17 ÷ 40	2	2	23	11	57,5	90,5

TECHNICAL DATA										
TIPO SIZE	Codice prodotto Product number	Coppia (*) a 6 bar Nm Torque (*) at 6 bar Nm		Max velocità Max speed	Max capacità termica Max thermal capacity	Capacità termica in continuo Continuous thermal capacity	Inerzia parti rotanti interne Inertia hub and discs	Max volume aria Max air volume	Peso Weight	
	ST 11	ST 10	ST 11	ST 10	min <sup>-1</sup>	kJ	kW	kgm <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup>	kg
CL2	A1264	A1263	28	17	3000	2,5	0,1	2,2 · 10 <sup>-4</sup>	0,014	1,9
CL3	A1297	A1296	56	34	3000	5	0,15	2,3 · 10 <sup>-4</sup>	0,017	1,9
CL4	A1205	A1204	84	51	2000	7	0,2	3,8 · 10 <sup>-4</sup>	0,04	2,8
CL4.AC	—	A1207	—	30	2000	7	0,2	3,8 · 10 <sup>-4</sup>	0,03	3
CL5	A1171	A1170	168	102	2000	14	0,3	5 · 10 <sup>-4</sup>	0,06	2,9
CL5HT	A1190	—	275	—	2000	14	0,3	5 · 10 <sup>-4</sup>	0,09	2,9

### 9. Détecteur inductif

Un détecteur inductif est un capteur de proximité. Il est essentiellement composé d'un circuit inductif (bobine d'inductance L) constitue l'élément sensible comme nous montre la figure 28. Ce circuit est associé à un condensateur de capacité C pour former un circuit résonnant à une fréquence  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  généralement comprise entre 100 KHz et 1 MHz. [13]

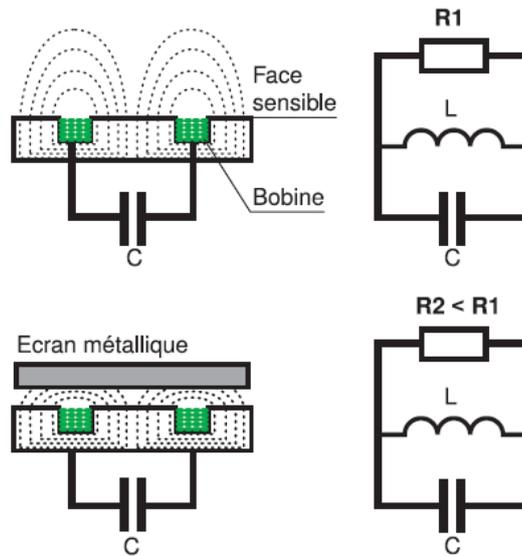


Figure 28: Principe de fonctionnement d'un détecteur inductif

Les bobines créent un champ magnétique alternatif. La présence d'un objet métallique devant le détecteur diminue le coefficient de qualité du circuit résonnant  $R_2 < R_1 \Rightarrow Q_2 < Q_1$  :

1<sup>er</sup> cas, absence d'écran métallique :  $Q_1 = \frac{R_1}{L\omega}$  .

2<sup>e</sup> cas, présence d'un écran métallique :  $Q_2 = \frac{R_2}{L\omega}$  . [13]

La figure 29 montre la référence et les dimensions du capteur adopté par le système coupe feuille. [14]

<p><b>IIS208</b></p> <p>IIB3015BAPKG/M/US                  Détecteur inductif                  Filetage métallique M30 x 1,5                  Raccordement par connecteur</p> <p>Portée augmentée                  Contacts dorés</p> <p>Portée 15 mm [b]                  encastrable</p>	
<p>CE    c UL US LISTED</p>	<p><b>efector100</b></p>

Figure 29: Référence du détecteur inductif EFECTOR100

## 10. Codeur incrémental

Un codeur optique rotatif est un capteur angulaire de position qui comporte un émetteur de lumière LED, un récepteur photosensible, et un disque lié mécaniquement par son axe à l'organe à contrôler de la machine. La lumière émise par des LED arrive sur des photodiodes chaque fois qu'elle traverse les zones transparentes du disque. Les photodiodes génèrent alors un signal électrique qui est amplifié puis converti en signal carré, avant d'être transmis vers un système de traitement. Lorsque le disque tourne, le signal de sortie du codeur est alors constitué d'une suite de signaux carrés. La figure 30 nous illustre le principe de fonctionnement du codeur incrémental.

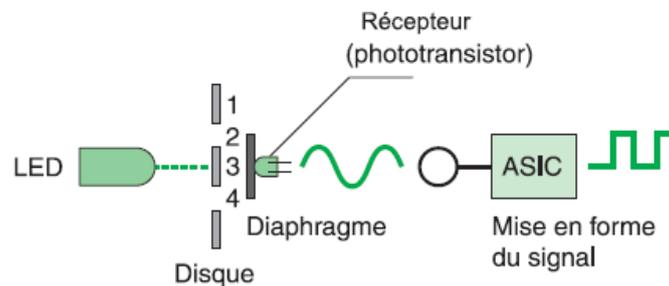


Figure 30: Principe de fonctionnement d'un codeur incrémental

La forme de disque est représentée dans la figure 31, il comporte deux pistes une intérieure et une extérieure.

La piste extérieure (voies A et B) est divisée en N intervalles d'angles égaux et alternativement opaques et transparents. N étant la résolution ou le nombre de périodes. Deux photodiodes décalées installées derrière cette piste délivrent des signaux carrés A et B à chaque fois que le faisceau lumineux traverse une zone transparente. Le déphasage de  $90^\circ$  électriques ( $1/4$  de période) des signaux A et B définit le sens de rotation. Dans un sens, le signal B est à 1 pendant le front montant de A, alors que dans l'autre sens, il est à 0.

La piste intérieure (piste Z) comporte une seule fenêtre transparente appelée « top zéro ». Il définit une position de référence et permet la réinitialisation à chaque tour. [13]

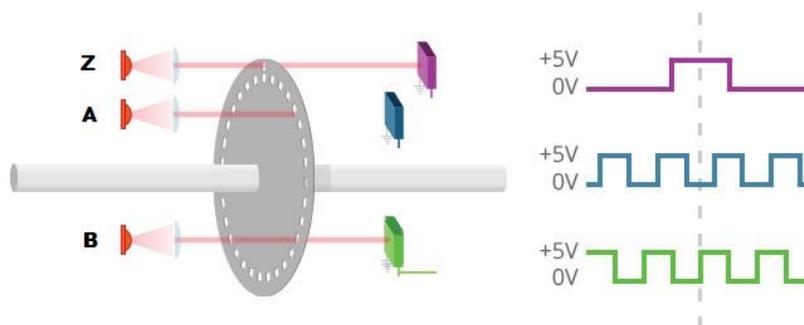


Figure 31: Vue d'un disque gradué d'un codeur incrémental

Les codeurs peuvent détecter la distance parcourue en fonction du nombre d'impulsions comptées. Dans la plupart des applications, le mouvement rotatif est converti en déplacement linéaire par des composants mécaniques comme les poulies, les engrenages d'entraînement et les roues à friction. Si le diamètre de la roue de friction (D) et la résolution (PPR) du codeur sont connus, on peut calculer le déplacement linéaire (L). Le nombre d'impulsions souhaité peut être calculé de la même manière que l'équation ci-dessous pour le cas des appareils utilisant des vis à billes, des engrenages ou des poulies qui convertissent le mouvement rotatif en déplacement linéaire. [15]

$$C = L \div (\pi \cdot D) \cdot PPR$$

La sélection du codeur se base sur le choix de cinq caractéristiques : l'indice de protection (IP), les dimensions de l'axe d'accouplement, le type de la bride, le type de signal de sortie, le type de la connexion et le voltage de l'alimentation. Comme on peut le voir sur le tableau 15, le système coupe feuille utilise le codeur incrémental de référence 10-11309. [16]

REFERENCE					
Serie	Shaft	Flange	Output signals	Connection	Power Supply / Electronic output
10/10A -	<input type="checkbox"/> -				
<b>10. IP 65</b>	<b>1. Ø 10x20 mm</b>	<b>1. None</b>	1. A	1. Radial 90.9504	<b>0. 11...30 VDC / NPN Open collector 11..30 VDC</b>
<b>10A. IP 67</b>	2. Ø 6x10 mm	2. 90.1002	2. A+B	3. Radial cable	6. 11...30 VDC / RS422
(**)	3. Ø 8x20 mm	3. 90.1003	<b>3. A+B+0</b>	4. Radial 90.9507	5 VDC (compatible TTL)
	5. Ø 9.52x20 mm	4. 90.1004	5. A~+B~	5. Radial 90.9512	7. 5 VDC / RS422 5 VDC
	6. Ø 6.35x10 mm	5. 90.1005	6. A~+B~+0~	6. Axial 90.9504	(compatible TTL)
	8. Ø 12x20 mm	7. 90.1006	9. A+B+0	8. Axial cable	<b>9. 11...30 VDC / Line driver differential Push-Pull 11..30 VDC</b>
		(***)		9. Axial 90.9507	
				<b>0. Axial 90.9512</b>	
				M. Radial 90.9510	
				N. Axial 90.9510	
				L. Radial 90.9508	
				K. Axial 90.9508	

Tableau 15: Tableau dimensionnel des codeurs HOHNER

## 11. Automate programmable industriel

Un automate programmable industriel (ou API), comme nous présente la figure 32, est un dispositif électronique programmable destiné à automatiser des processus tels que la commande de machines au sein d'une usine et à piloter des robots industriels par exemple.



Figure 32: Automate programmable Twido Télémecanique

Les automates Twido Télémecanique disposent de 6 à 24 entrées TOR, de 4 à 16 sorties à relais et de 2 sorties transistor. Ils acceptent jusqu'à 7 modules d'expansion d'E/S, une cartouche mémoire facultative (32 Ko ou 64 Ko) et un module de l'afficheur facultatif.

La sélection (Tableau 16) d'un automate programmable se fait premièrement sur le type d'alimentation puis sur le nombre et le type des entrées et des sorties.

Le système coupe feuille à pour API de référence TWDLCAA40RF comme on peut le voir sur le tableau 16. [17]

Nom de l'automate	Référence	Voies	Type de voie	Type d'entrée/sortie	Alimentation
Compact 10 E/S	TWDLCAA10DRF	6	Entrées	24 VDC	100/240 VAC
		4	Sorties	Relais	
Compact 10 E/S	TWDLCAA10DRF	6	Entrées	24 VDC	24 VDC
		4	Sorties	Relais	
Compact 16 E/S	TWDLCAA16DRF	9	Entrées	24 VDC	100/240 VAC
		7	Sorties	Relais	
Compact 16 E/S	TWDLCAA16DRF	9	Entrées	24 VDC	24 VDC
		7	Sorties	Relais	
Compact 24 E/S	TWDLCAA24DRF	14	Entrées	24 VDC	100/240 VAC
		10	Sorties	Relais	
Compact 24 E/S	TWDLCAA24DRF	14	Entrées	24 VDC	24 VDC
		10	Sorties	Relais	
Compact 40 E/S	TWDLCAA40DRF	24 16	Entrées Sorties	24 VDC Relais X 14 Transistors X 2	100/240 VAC
Compact 40 E/S	TWDLCAA40DRF	24 16	Entrées Sorties	24 VDC Relais X 14 Transistors X 2 Port Ethernet	100/240 VAC

Tableau 16: Tableau dimensionnel des automates Twido Télémecanique

## **12. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de voir le principe de fonctionnement de chaque équipement industriel à l'aide des documents techniques aussi de comprendre la structure du système coupe feuille.

En dernière analyse, les quatre premiers chapitres ont pour but de saisir l'environnement, la problématique, le besoin, la structure et les équipements du système. Le chapitre suivant, dernier chapitre, sera sur les solutions proposées pour corriger la défaillance.

---

## **CHAPITRE 5 : Résolution du problème**

---

## 1. Introduction

Dans ce dernier chapitre nous allons décrire la commande d'axe de l'installation coupe feuille, nous allons mettre l'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) et finalement nous allons présenter les actions correctives qui visent à éliminer la défaillance du système.

## 2. Commande d'axe

Une commande d'axe est un système asservi, comme nous montre la figure 33, dont la grandeur de sortie est une grandeur mécanique (vitesse partie mécanique). Un moteur électrique déplace le chariot de la machine au moyen d'une partie mécanique. L'automate convertit un programme de position en une séquence de valeurs de fréquences correspondant à un déplacement continu de la partie mécanique sur la trajectoire. Une boucle d'asservissement contrôle le déplacement de l'axe pour que les positions programmées puissent être abordées avec précision et à la vitesse correcte.

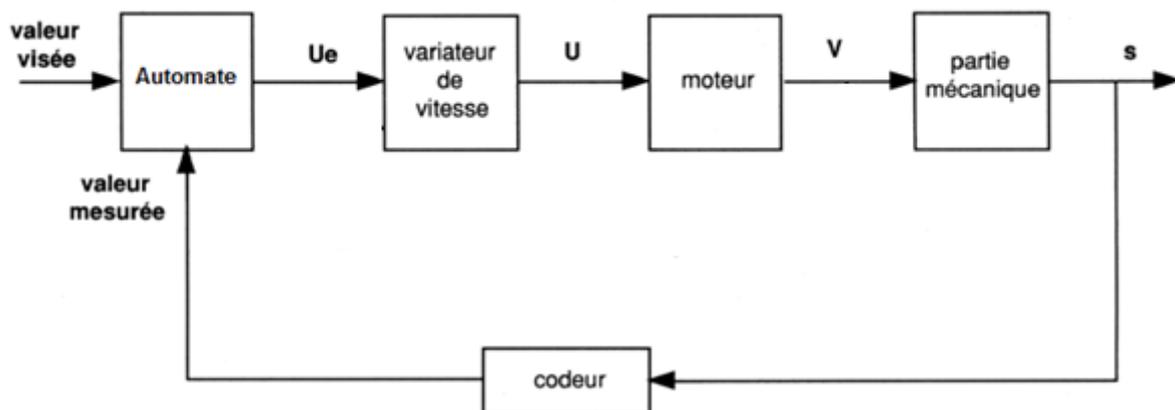


Figure 33: Schéma bloc commande d'axe asservi

Le système asservi précédent est présenté dans les figures 34 et 35. La figure 34 représente la partie commande et électrique de la structure commande d'axe. Elle est constituée d'un automate programmable appelé Twido (1) et d'un variateur appelé ALTIVAR (2), les deux équipements sont fabriqués par Télémecanique. La figure 35 représente le système coupe feuille (1). Le volant manuel (3) est responsable sur le déplacement de la buse d'eau (5) qui agit sur la table de fabrication (2) du papier carton par un jet d'eau pour couper le carton suivant la largeur souhaitée. Le codeur incrémental (4) est celui qui est responsable sur la détection du positionnement de la buse d'eau.

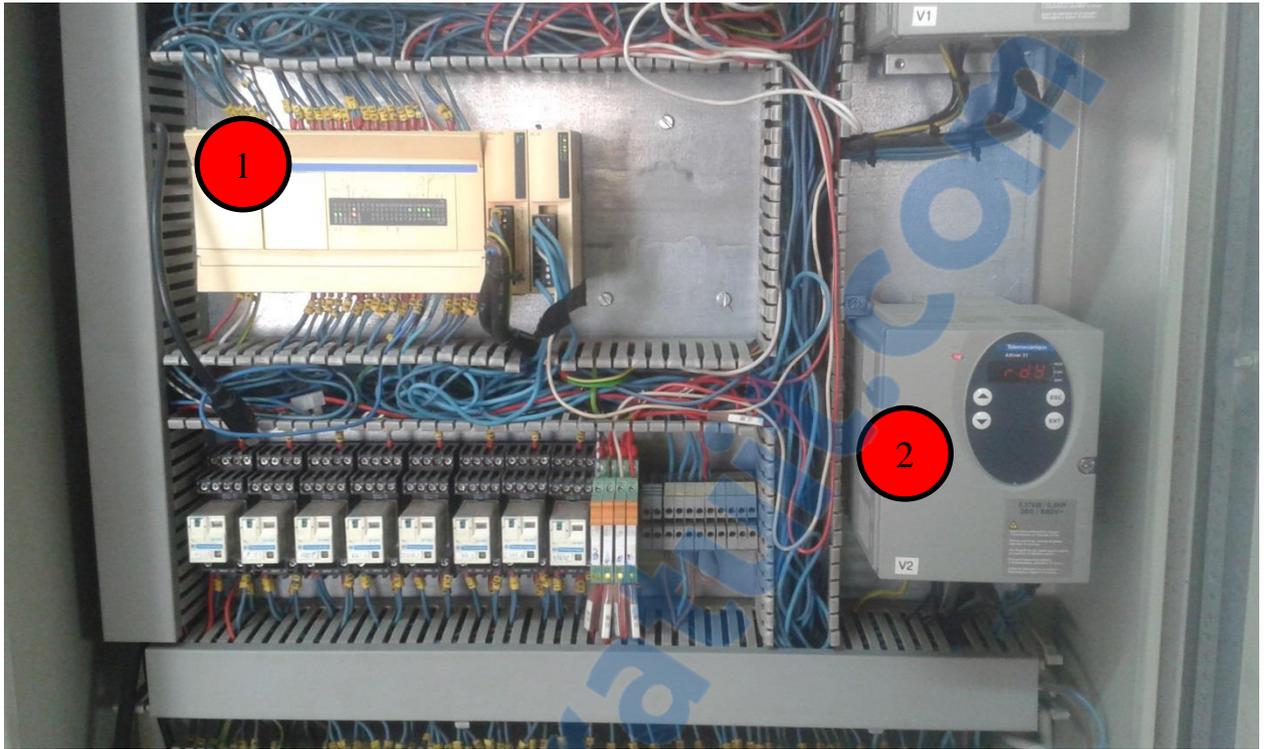


Figure 34: Commande d'axe coupe feuille

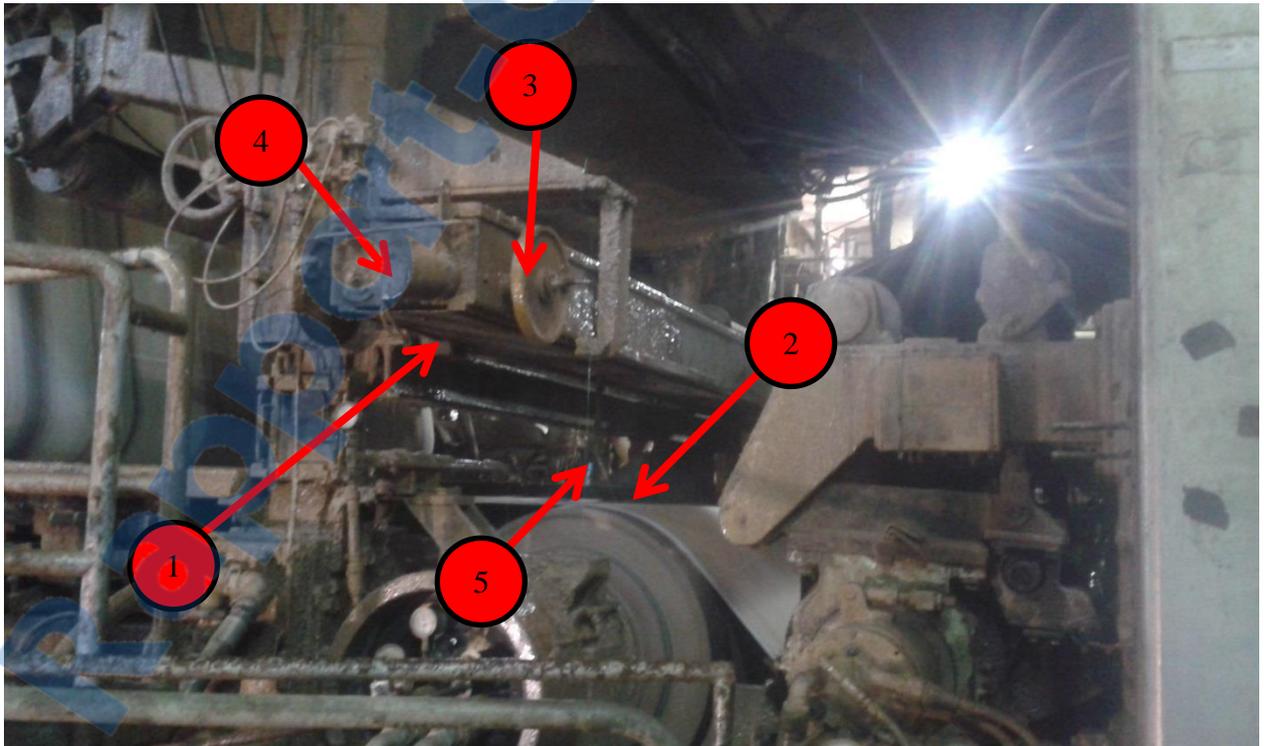


Figure 35: Système coupe feuille

La figure 36 montre le poste de commande d'axe qui dispose d'un écran de contrôle principal (1) et d'un boutonniereux auxiliaire (2). Toutes les vitesses de travail souhaitées peuvent être configurées, ainsi que les positions de travail pour les différentes manœuvres des deux moteurs asynchrones qui entraînent le déplacement des deux buses d'eaux.



Figure 36: Poste de commande d'axe

### 3. Méthode AMDEC

La méthode AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse préventive utilisée pour identifier les défaillances possibles aussi les effets ou les conséquences probables de celles-ci. Elle consiste en une analyse critique de la conception envisagée : interactions entre sous-système, entre composants élémentaires...

Le mode opératoire de cette méthode est le suivant :

- Identification des composants susceptibles d'avoir une défaillance compte tenu de l'environnement et de l'utilisation.
- Description des modes de défaillances possibles, classification (rupture, fêlure, court-circuit, etc.) et causes les produisant.
- Effet de chaque défaillance, conséquences les plus probables sur le système et sur chaque composant : destruction partielle ou totale engendrée, dégradation de la mission...

- Occurrence ou fréquence d'apparition de chaque défaillance : pourcentage de chances d'avoir une panne, un incident ou un accident.
- Déteçtabilité : risques que la méthode d'inspection envisagée ne soit pas adaptée pour voir ou déteçter le défaut.
- La criticité (C) est le produit ( $C = F \times G \times D$ ) de la gravité (G), de la fréquence d'apparition (F) et de la déteçtabilité (D). Les valeurs indiquées colonnes F, G et D sont évaluées et choisies dans des échelles de valeurs de référence.

Pour réaliser une AMDEC, on utilise le tableau 17 qui comporte les colonnes suivantes qui sont l'élément ou le sous-ensemble d'un système, la fonction de chaque élément, le mode de défaillance, les causes, l'échelle de gravité, l'effet, l'échelle de fréquence d'apparition de l'effet, le mode de déteçtion, l'échelle de déteçtabilité et pour finir on ajoute une colonne de la criticité calculée. [18]

élément	fonction	mode de défaillance	causes	gravité	effet	fréquence	mode de déteçtion	déteçtabilité	criticité

Tableau 17: Tableau AMDEC standard

Le tableau 18 nous montre l'échelle considéré pour noter la gravité, la fréquence et la déteçtabilité. [18]

sans effet	effet mineur	effet très limité	effet limité	effet significatif	effet important	effet très important	effet majeur	effet critique	effet très critique
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tableau 18: Echelle de référence pour G, F et D

Après l'élaboration (Annexe 5) de la méthode AMDEC pour l'ensemble des sous-systèmes de la coupe feuille, le besoin d'une hiérarchisation de la criticité de chaque élément permet de classer les modes de défaillances et d'organiser leur traitement par ordre d'importance.

Le classement des équipements d'un système selon leurs modes de défaillance aide à la déteçtion des équipements les plus critiques qui demande un suivi et un contrôle continu pour ne pas tomber en panne.

Pour le cas du système coupe feuille, comme nous montre la figure 37, l'élément le plus critique et qui demande un contrôle c'est le codeur parce que c'est celui qui est responsable sur la

détection de positionnement des buses d'eau. En plus, le codeur est installé dans un environnement humide et polluant. Puis on trouve les équipements les moins critiques selon l'ordre décroissant de la criticité : la chaîne à rouleaux, le codeur incrémental, le moteur asynchrone, l'embrayage pneumatique, l'électrovanne, le variateur de fréquence, l'automate programmable et finalement le réducteur.

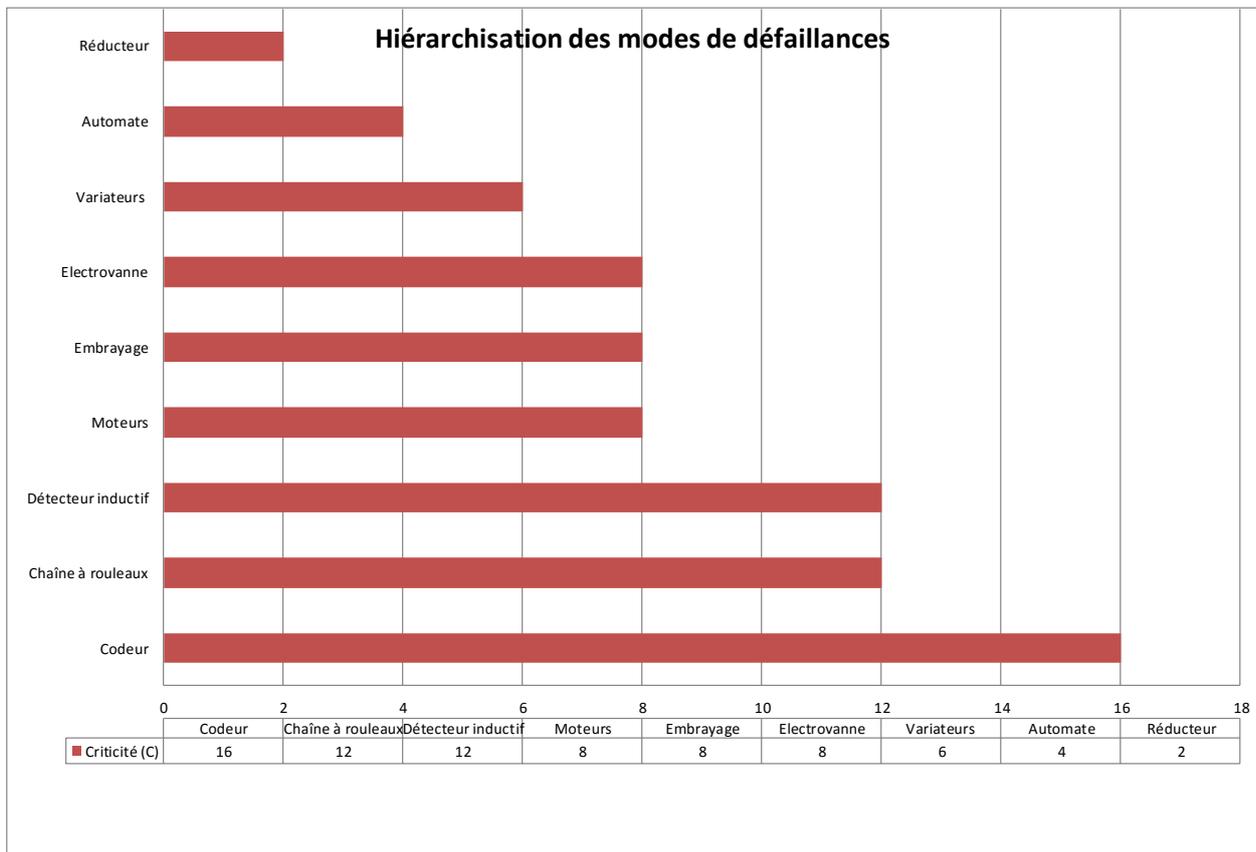


Figure 37: Hiérarchisation de la criticité des modes de défaillances

## 4. Actions correctives

### 4.1. Protection des signaux

La compatibilité électromagnétique (CEM) est l'aptitude d'un appareil ou d'un système électrique, ou électronique, à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante, sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques gênantes pour tout ce qui se trouve dans cet environnement.

Les perturbations électromagnétiques sont présentes partout, jusqu'au cœur des tableaux de contrôle. Ils sont des sources potentielles de dysfonctionnement pour tous les matériels électroniques qui sont:

- régulateurs, appareils de mesure, traitant des signaux analogiques.
- automates, interfaces de communication, traitant des signaux numériques.

Ces perturbations sont difficiles à détecter car elles sont fugitives et n'apparaissent que dans certaines conditions. La figure 38 nous montre l'effet de perturbations électromagnétiques sur les signaux analogiques et numériques.

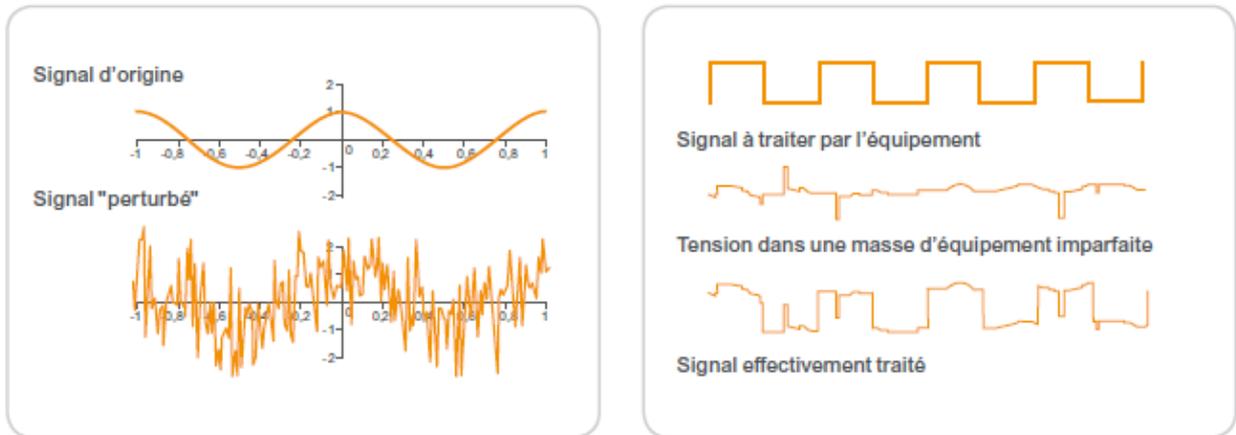


Figure 38: Effet de perturbations électromagnétiques sur les signaux

On trouve souvent que les variateurs de fréquence se sont des générateurs de perturbations électromagnétiques. Le traitement le plus approprié consiste à disposer d'un filtre le plus près possible de l'équipement pollueur, comme on peut le voir sur la figure 39 à droit.

Les signaux des capteurs et les flux de données sont sensibles à ces perturbations. On utilise des câbles blindés pour les acheminer. Ces câbles sont utilisés aussi pour réaliser des liaisons variateur-moteur moins perturbatrices. On utilise aussi l'anneau ou le tube de ferrite, comme on peut le voir sur la figure 39 à gauche, qui constitue un filtre efficace, et qui est souvent utilisé pour réduire les perturbations des câbles bas niveaux. [19]

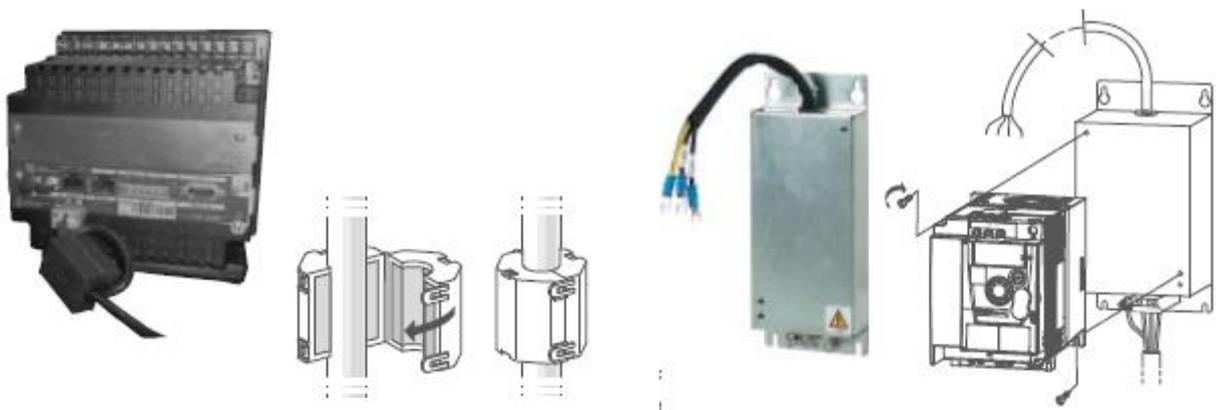


Figure 39: Solutions de protection des signaux

#### 4.2. Remplacement d'automate programmable

La maintenance des automates et des systèmes automatisés est une problématique clé parmi les prérogatives des responsables de maintenance. Le remplacement d'automate programmable permet une utilisation et une maintenance plus aisée.

Le remplacement de la plate-forme Twido par la plate-forme Modicon, comme nous montre la figure 40, est recommandé par le constructeur Schneider Electric [20]. Il se fait dans l'ordre suivant :

- 1) Supprimer le contrôleur Twido et déconnecter les modules analogiques.
- 2) Ajouter un nouveau contrôleur Modicon M221, reconnecter les modules analogiques.
- 3) Convertir et télécharger le programme Twido dans un contrôleur Modicon M221 en utilisant SoMachine Basic.

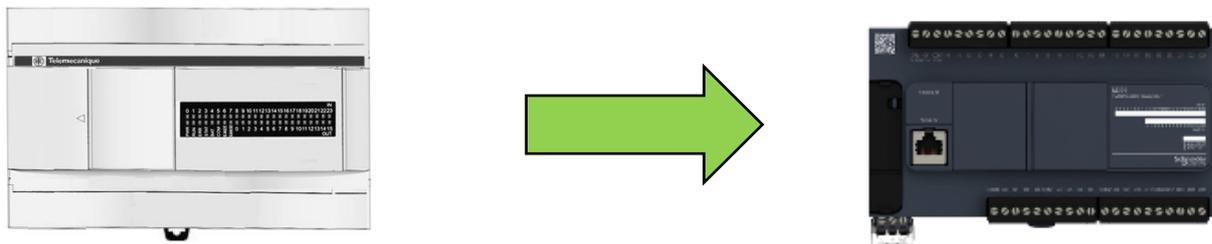


Figure 40: Remplacement de Twido par Modicon

La figure 41 présente les caractéristiques principales d'un automate Modicon M221.

Principales	
Gamme de produits	Modicon M221
Fonction produit	Contrôleur logique
[Us] tension d'alimentation	100...240 V CA
Nombre entrées TOR	24 entrée TOR conformément à IEC 61131-2 Type 1
Nombre entrées analogiques	2 plage à l'entrée: 0...10 V
Type de sortie TOR	Relais normalement ouvert
Nombre sorties TOR	16 relais
Tension de sortie TOR	5...125 V CC 5...250 V CA
Courant de sortie TOR	2 A

Figure 41: Caractéristiques principales de Modicon M221

### 4.3. Remplacement du variateur de fréquence

Le remplacement comme nous présente la figure 42 de La famille ALTIVAR 31 par la famille ALTIVAR 312 est recommandée par Schneider Electric pour la commande des moteurs asynchrones triphasés.

Pour récupérer la configuration du variateur de fréquence ALTIVAR 31, il suffit de transférer la configuration de l'ALTIVAR 31 dans l'ALTIVAR 312 en utilisant l'outil de téléchargement SoMove. [21]

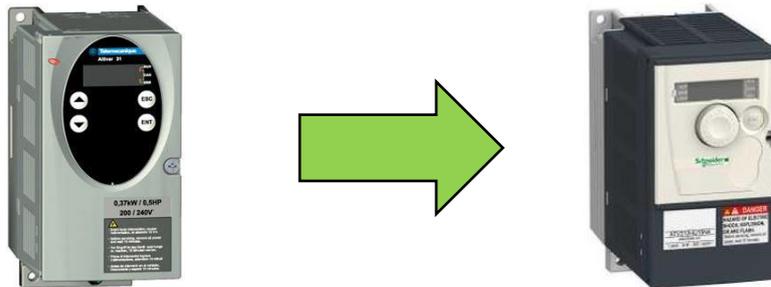


Figure 42: Remplacement de ALTIVAR 31 par ALTIVAR 312

Le variateur de fréquence ALTIVAR 312 ne demande aucune maintenance préventive. Il est cependant conseillé d'effectuer régulièrement les vérifications suivantes : État et étanchéité des raccordements, de la température autour de l'unité qui se maintient à un niveau acceptable et que la ventilation fonctionne correctement. Le tableau 19 nous montre les caractéristiques et la référence du variateur de fréquence recommandé pour le remplacement de ALTIVAR 31. [22]

Moteur		Réseau (entrée)					Variateur (sortie)		Référence	Taille
Puissance indiquée sur la plaque (1)		Courant de ligne max. (2)		Puissance apparente	Courant d'appel max. (3)	Puissance dissipée à courant nominal	Courant nominal (1)	Courant transitoire max. (1) (4)		
kW	CV	à 380 V	à 500 V						kVA	A
0.37	0.5	2.2	1.7	1.5	10	32	1.5	2.3	ATV312H037N4(5)	6
0.55	0.75	2.8	2.2	1.8	10	37	1.9	2.9	ATV312H055N4(5)	6
0.75	1	3.6	2.7	2.4	10	41	2.3	3.5	ATV312H075N4(5)	6
1.1	1.5	4.9	3.7	3.2	10	48	3.0	4.5	ATV312HU11N4(5)	6
1.5	2	6.4	4.8	4.2	10	61	4.1	6.2	ATV312HU15N4(5)	6
2.2	3	8.9	6.7	5.9	10	79	5.5	8.3	ATV312HU22N4(5)	7
3	3	10.9	8.3	7.1	10	125	7.1	10.7	ATV312HU30N4(5)	7
4	5	13.9	10.6	9.2	10	150	9.5	14.3	ATV312HU40N4(5)	7
5.5	7.5	21.9	16.5	15.0	30	232	14.3	21.5	ATV312HU55N4(5)	8
7.5	10	27.7	21.0	18.0	30	269	17.0	25.5	ATV312HU75N4(5)	8
11	15	37.2	28.4	25.0	97	397	27.7	41.6	ATV312HD11N4(5)	9
15	20	48.2	36.8	32.0	97	492	33.0	49.5	ATV312HD15N4(5)	9

Tableau 19: Tableau dimensionnel ATV312

#### 4.4. Remplacement du codeur incrémental

L'amélioration de l'indice de protection (IP) du codeur incrémental est préférable, il faut remplacer un codeur d'indice IP 65 par un codeur d'indice IP 67 pour passer d'une protection contre les jets d'eau (IP65) à une protection contre les effets de l'immersion (IP67).

Pour assurer la fiabilité, l'alimentation du codeur doit être filtrée et régulée. Les lignes électriques pour d'autres appareils devraient être déplacées loin du câblage du codeur. Dans tous les cas, un câble blindé est nécessaires pour éviter les bruits électriques comme nous montre la figure 43. De plus le codeur incrémental demande une tension continue 24V et un courant 2.5A donc il nous faut un convertisseur alternatif continu.

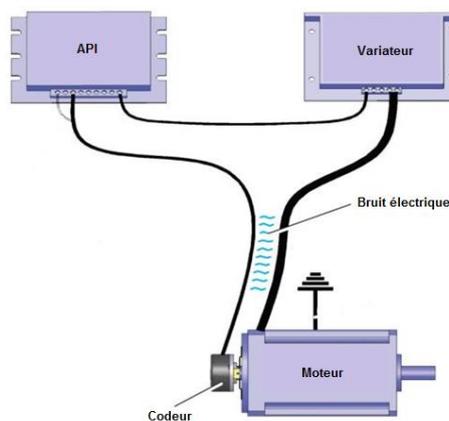


Figure 43: Bruit électrique à cause du variateur de fréquence

#### 5. Coûts des solutions proposées

La réalisation d'études comme on peut le voir sur le tableau 20 des coûts d'équipements est une phase indispensable. Il nous permet de savoir l'investissement demandé pour corriger les défaillances. Le prix unitaire des équipements déclarés ici ne tient pas compte des charges de livraison et des accessoires nécessaires.

Equipment	Fabricant	Référence	Unité	Prix unitaire
<b>Modicon M221</b>	schneider-electric	TM221C40R	1	575,28 €
<b>ALTIVAR 312</b>	schneider-electric	ATV312H037N4	2	583,94 €
<b>Codeur incrémental IP67</b>	hohner	10A-113K9-2048	2	360.67 €
<b>Convertisseur AC/DC</b>	puls	ML60.241	1	96,93 €
<b>Montant global</b>				<b>2561.43 €</b>

Tableau 20: Coûts des solutions proposées

## **6. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons exposé la commande d'axe du système coupe feuille, nous avons aussi appliqué la méthode AMDEC sur ce système pour comprendre les défaillances possibles des équipements étudiés et nous avons proposé les actions correctives à porter sur la commande d'axe.

# CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de ce projet est d'étudier un système en défaillance à base d'un actionneur piloté par une commande d'axe pour proposer des solutions techniques qui permettraient la mise en marche d'une coupe feuille.

En premier lieu, nous avons mené une analyse de problèmes afin de comprendre la problématique proposée par le responsable du service d'automation, il comporte une étude de la situation initiale, la forme de maintenance à mettre en œuvre et la planification à suivre. Cette analyse nous a permis de déterminer l'objectif de notre étude.

Ensuite nous avons fait une analyse fonctionnelle de l'installation coupe feuille en passant par l'analyse du besoin, la classification des fonctions de service et l'analyse technique par les méthodes SADT et FAST. Cette analyse nous a permis de comprendre l'environnement et les éléments du système.

Après nous avons structuré le système coupe feuille en le décomposant en partie commande, partie opérative, chaîne d'action pneumatique, chaîne d'action électrique, chaîne d'acquisition et chaîne cinématique. Elle comporte aussi le dimensionnement de chaque équipements de la coupe feuille. Cette étude nous a permis de savoir les caractéristiques techniques de chaque équipement.

Enfin nous avons présenté la commande d'axe de la coupe feuille, ainsi nous avons analysé les modes de défaillance de chaque équipement en utilisant la méthode AMDEC et nous avons proposé les solutions recommandés pour la mise en marche de la commande d'axe.

En guise de perspectives, il faut veiller la disponibilité du système dans l'objectif d'une éventuelle amélioration. Nous proposons aussi d'élargir l'étude sur les prix des nouvelles technologies disponible de la commande d'axe afin de comparer les coûts de maintenance.

Finalement, l'ensemble de ce projet montre bien le travail de recherche réalisé dans le service d'automation avec les démarches qu'il a fallu suivre pour arriver à des résultats exploitables. Je pense que ce stage m'aura apporté un recul sur le choix de carrière, à savoir dans la maintenance industrielle.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] : <http://www.internationalpaper.com/>
- [2] : [http://www.fr.wikipedia.org/wiki/International\\_Paper/](http://www.fr.wikipedia.org/wiki/International_Paper/)
- [3] : <http://www.usinenouvelle.com/>
- [4] : [http://www.symctomleblanc.fr/pdfs/tri-emballages/processus\\_de\\_recyclage.pdf](http://www.symctomleblanc.fr/pdfs/tri-emballages/processus_de_recyclage.pdf)
- [5] : <http://www.lepapier.fr/fabrication.htm>
- [6] : François Monchy, Jean-Pierre Vernier. Maintenance Méthodes et organisations. Dunod.
- [7] : F. AUDRY, P. TAILLARD IA-IPR STI. La démarche d'Analyse Fonctionnelle.
- [8] : Document technique : COUPE FEUILLE DOUBLE. Lantier.
- [9] : Document technique : BONFIGLIOLI. Séries VF et W.
- [10] : Document technique : BRAMPTON RENOLD. Chaîne à rouleaux.
- [11] : Document technique : ALTIVAR 31H. Guide d'installation.
- [12] : Document technique : COREMO OMEGA. Embrayages & Freins MINI.
- [13] : Guide des solutions d'automatisme. Schneider Electric, 2008.
- [14] : Document technique : EFECTOR100. Inductive sensors IIS208.
- [15] : <http://www.cui.com/product-spotlight/capacitive-absolute-encoders-amt20-series/>
- [16] : Document technique : HOHNER SERIE 10.
- [17] : Document technique : Automates programmables Twido. Guide de mise en œuvre matérielle.
- [18] : Fanchon, J.-L. Guide des sciences et technologies industrielles. AFNOR.
- [19] : Tableaux de Contrôle Guide Technique. Solutions pour protéger les équipements des perturbations électromagnétiques. Schneider Electric.
- [20] : Document technique : Twido conversion information. Schneider Electric.
- [21] : ATV312 Guide de Programmation. Schneider Electric.
- [22] : ATV312 Guide de d'installation. Schneider Electric.

# ANNEXES

Annexe 1 : Assemblage moteur réducteur possible.

Annexe 2 : Dessin technique chaînes à rouleaux.

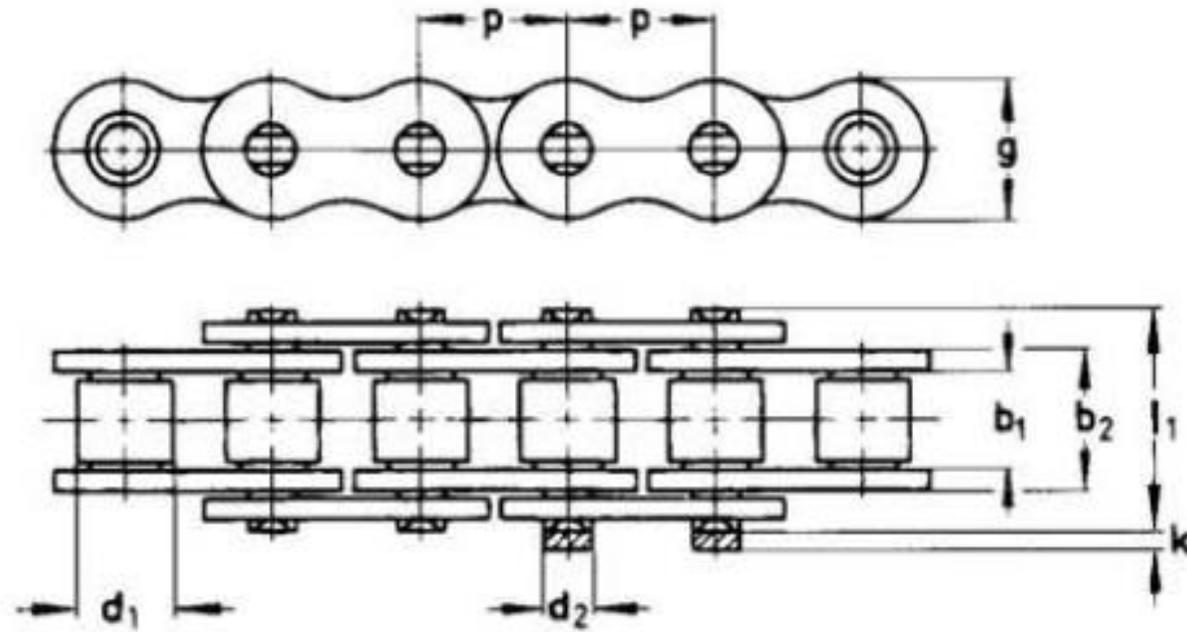
Annexe 3: Coefficients de sélection pour chaînes à rouleaux

Annexe 4 : Abaque de sélection pour chaînes à rouleaux.

Annexe 5 : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité.



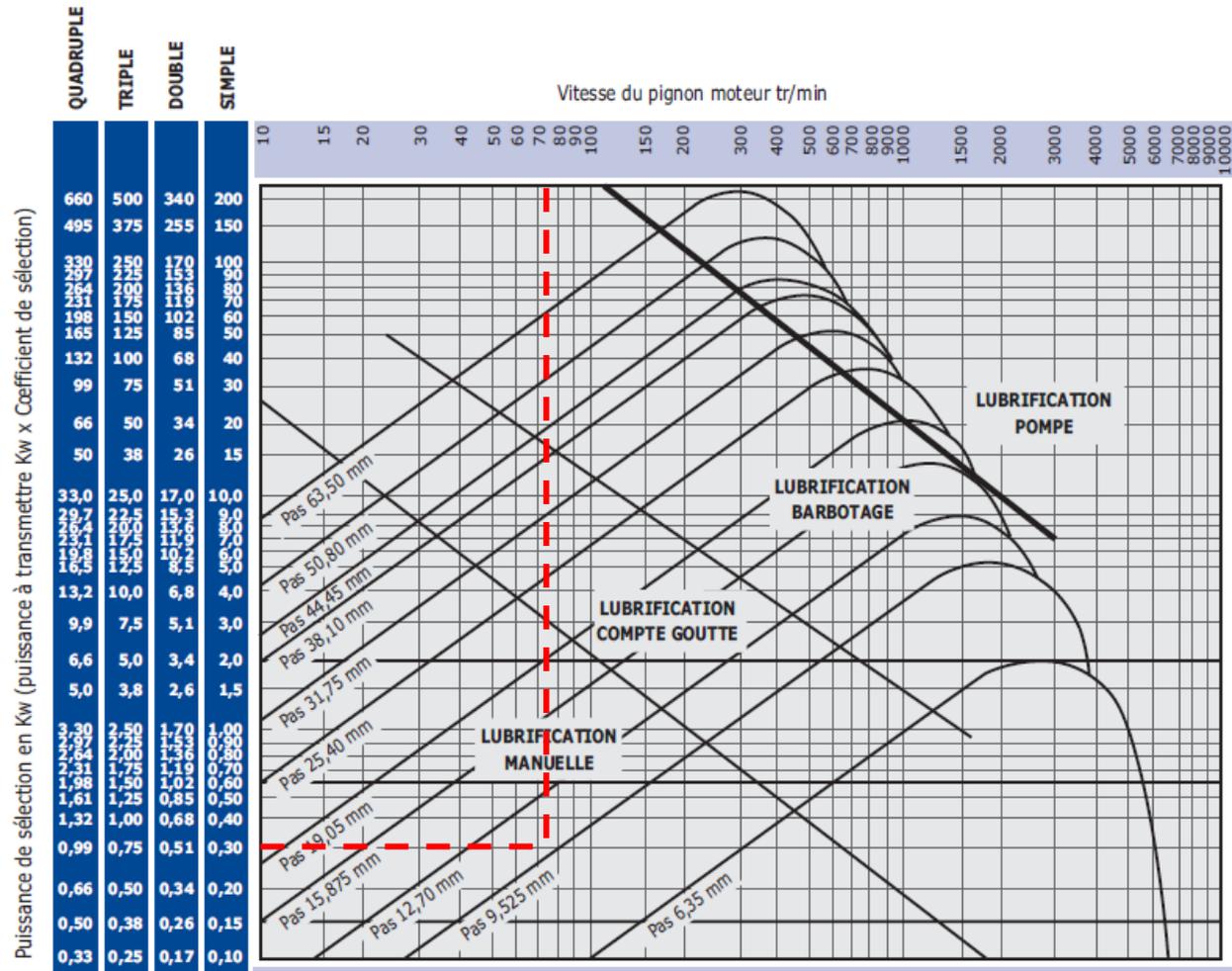
Annexe 2 : Dessin technique chaînes à rouleaux



### Annexe 3: Coefficients de sélection pour chaînes à rouleaux

CLASSE 1 - Charge Régulière				CLASSE 2 - Charge Irrégulière				CLASSE 3 - Charge avec à-coups importants			
Nb de dents du pignon	ORGANE MOTEUR			Nb de dents du pignon	ORGANE MOTEUR			Nb de dents du pignon	ORGANE MOTEUR		
	Régulier - moteur électrique	Irrégulier - moteur à combustion interne monocylindrique	Avec à-coups important - moteur à combustion interne monocylindrique		Régulier - moteur électrique	Irrégulier - moteur à combustion interne monocylindrique	Avec à-coups important - moteur à combustion interne monocylindrique		Régulier - moteur électrique	Irrégulier - moteur à combustion interne monocylindrique	Avec à-coups important - moteur à combustion interne monocylindrique
<b>11</b>	1,72	2,16	2,59	<b>11</b>	2,16	2,59	3,02	<b>11</b>	3,02	3,45	3,88
<b>12</b>	1,59	1,98	2,38	<b>12</b>	1,95	2,38	2,78	<b>12</b>	2,78	3,17	3,57
<b>13</b>	1,47	1,84	2,21	<b>13</b>	1,84	2,21	2,57	<b>13</b>	2,57	2,94	3,31
<b>14</b>	1,35	1,69	2,03	<b>14</b>	1,69	2,03	2,36	<b>14</b>	2,36	2,70	3,04
<b>15</b>	1,27	1,58	1,90	<b>15</b>	1,58	1,90	2,22	<b>15</b>	2,22	2,53	2,85
<b>16</b>	1,19	1,49	1,79	<b>16</b>	1,49	1,79	2,08	<b>16</b>	2,08	2,38	2,68
<b>17</b>	1,12	1,40	1,69	<b>17</b>	1,40	1,69	1,97	<b>17</b>	1,97	2,25	2,53
<b>18</b>	1,05	1,32	1,58	<b>18</b>	1,32	1,58	1,84	<b>18</b>	1,84	2,11	2,37
<b>19</b>	1,00	1,25	1,50	<b>19</b>	1,25	1,50	1,75	<b>19</b>	1,75	2,00	2,25
<b>20</b>	0,95	1,19	1,43	<b>20</b>	1,19	1,43	1,67	<b>20</b>	1,67	1,90	2,14
<b>21</b>	0,91	1,14	1,36	<b>21</b>	1,14	1,36	1,59	<b>21</b>	1,59	1,82	2,05
<b>22</b>	0,86	1,08	1,29	<b>22</b>	1,08	1,29	1,51	<b>22</b>	1,51	1,72	1,94
<b>23</b>	0,83	1,03	1,24	<b>23</b>	1,03	1,24	1,45	<b>23</b>	1,45	1,65	1,86
<b>24</b>	0,79	0,99	1,19	<b>24</b>	0,99	1,19	1,39	<b>24</b>	1,39	1,59	1,79
<b>25</b>	0,76	0,95	1,14	<b>25</b>	0,95	1,14	1,33	<b>25</b>	1,33	1,52	1,70

### Annexe 4 : Abaque de sélection pour chaînes à rouleaux



## Annexe 5 : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité

INTERNATIONAL  PAPER				AMDEC							
				Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités							
SYSTEME:		MACHINE A PAPIER 3 (MP3)		Rédacteur:		Mohamed-Saad EL MSYAH		Date:		15-03-17	
SOUS-SYSTÈME:		COUPE FEUILLE LANJET		Service:		Automation		Lieu:		Kénitra, Maroc	
ELEMENT	Fabricant	Référence	FONCTION	MODE DE DEFAILLANCE	CAUSES	Gravité (G)	EFFETS	Fréquence (F)	MODE DE DETECTION	DéTECTABILITÉ (D)	Criticité (C)
Codeur	HONNER	10A-113L3	Délivrer une information sur la position du chariot porte tuyaux	Pas de connexion	Défaillance de roulements intérieur ou de carte électronique.		4 Aucun signal de sortie. Signal perturbé.	4	Contrôle signal de sortie.	1	16
Chaîne à rouleaux		No. 08B-1	Transmettre le mouvement de rotation en translation	Fatigue	Résistance à la traction		3 Tension de chaîne incorrecte.	2	Usure des rouleaux, pignons	2	12
Détecteur inductif	EFFECTOR100	IIS208	Détecter la fin du parcours pour le chariot porte tuyaux	Corrosion	Humidité		4 Aucun signal de sortie. Signal perturbé.	3	Contrôle signal de sortie. Contrôle propreté du capteur.	1	12
Moteur	LANTIER	ML 80DI	Transmettre le mouvement de rotation au réducteur	Claquage	Fatigue, usure, corrosion, pollution, mauvaise lubrification des deux roulements postérieur et antérieur		2 Surchauffe moteur	2	Bruits. Température moteur trop élevée.	2	8
Embrayage	COREMO	CL4	Mettre en rotation un pignon par alimentation pneumatique	Perte de charge	La pression d'air à l'entrée est faible.		4 Perte de couplage avec le réducteur.	1	Perte l'action de freinage du moteur	2	8
Electrovanne	HONEYWELL	I3IT22	Piloter le réseau d'eau et d'air	Perte de charge	La pression à l'entrée de l'électrovanne est trop haute. La différence entre les pressions dans l'électrovanne est trop petite.		4 Electrovanne ne s'ouvre pas. Electrovanne ne se ferme pas.	2	Vérifier la commande.	1	8
Variateur	TELEMECANIQUE	ATV31H037N4	Régler la vitesse du moteur	Défaillance électronique.	Surintensité. Court-circuit du moteur. Survitesse. Surcharge. Surtension. Configuration. Alimentation.		2 Variateur en panne	3	Code d'erreur	1	6
Automate	TELEMECANIQUE	TWDLCAA40RF	Commander le processus coupe feuille	Pas de communication	Entrées et/ou sorties incorrectes. Programme incorrect. Alimentation incorrecte.		4 Signaux de sorties erronées.	1	Vérification de câblage	1	4
Réducteur	BONFIGLIOLI	VF49_18 P71BN71B4	Modifier le rapport de vitesse entre l'axe d'entrée et l'axe de sortie	Usure Corrosion	Défaillance de roulements. Défaillance d'engrenage. Huile insuffisante.		1 Réduction du rapport vitesse.	1	Inspection des arbres. Inspection des alésages.	2	2

## Résumé

Le présent travail est une mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en ingénierie mécatronique de la Faculté des Sciences et Technique de Fès. Il traite le sujet : « étude et réalisation d'un système à base d'un actionneur piloté par une commande d'axe pour le système coupe feuille partie humide Machine à Papier 3 (MP3) ». Cette étude est sponsorisée par le service d'automatisation à l'usine CMCP-International Paper situé à Kénitra.

L'objectif de cette étude est de construire un aperçu sur la structure d'une commande d'axe, de comprendre le rôle de chaque élément de ce type de commande, d'apprendre à résoudre et détecter les défaillances d'un tel système avec la méthode QQQQCP, les 5pourquoi, la méthode d'Ishikawa, l'analyse fonctionnelle et l'AMDEC. Finalement, l'étude comporte aussi les améliorations proposées pour adapter la commande d'axe aux évolutions technologiques disponible sur le marché des équipements industriels.

### **Mots clés :**

**CMCP-International Paper, Recyclage de carton, Machine à Papier, QQQQCP, Ishikawa, 5 pourquoi, Analyse fonctionnelle, SADT, FAST, Coupe feuille, Réducteur mécanique, Chaîne à rouleaux, Moteur asynchrone, Variateur de fréquence, Electrovanne pneumatique, Embrayage pneumatique, Détecteur inductif, Codeur incrémental, Automate programmable industriel, Commande d'axe, AMDEC.**

## Abstract

This work is an end-of-study dissertation for the diploma of State Engineer in Mechatronics Engineering of the Faculty of Science and Technology of Fez. It deals with the subject : "study and realization of a system based on an actuator driven by an axis control for the system cut sheet wet paper machine 3 (PM3)". This study is sponsored by the maintenance service of automation at the CMCP-International Paper plant in Kenitra.

The objective of this study is to construct an overview of the structure of an axis control, to understand the role of each element of this type of control, to learn how to solve and detect the failures of such a system with 5WH, 5why, Ishikawa, functional analysis and FMEA.

Finally, the study also includes the proposed improvements to adapt the axis control to the technological developments available on the industrial equipment market.

### **Keywords :**

**CMCP-International Paper, Paper Machine, 5WH, Ishikawa, 5-Why, Functional Analysis, SADT, FAST, Sheet Cutting, Mechanical Reducer, Roller Chain, Asynchronous Motor, Frequency Inverter, Pneumatic Solenoid Valve , Pneumatic clutch, Inductive sensor, Incremental encoder, Industrial PLC, Axis control, FMEA.**