



## **MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES**

Pour l'obtention du  
Diplôme d'Ingénieur d'État  
Spécialité : Conception Mécanique et Innovation

**Etude et mise en place d'une ligne de  
production pour tubes Frigo**

-----  
**AZAMI Mohammed Malak**

Le Jury : Pr. A. TOUACHE

Encadrant : Pr. M. El Majdoubi

Pr. A. El BARKANY

Mr Abdmoujoud LAMDOUAR

FES, MAROC

le 02 Juillet 2010

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout particulièrement à remercier mon maître de stage **Mr. LAMDOUAR Abdelmoujoud** pour son accueil chaleureux, ainsi que **Mr. Adnane LAMDOUAR**, le directeur général de MAC//Z, de m'avoir accepté en tant que stagiaire au sein de son équipe.

D'une façon plus générale, je remercie l'ensemble du personnel, pour l'intérêt qu'ils m'ont porté tout au long de mon stage ainsi que pour leur aide et précisions.

Je remercie de même, mon encadrant à la Faculté des Sciences et Techniques de Fes, Professeur **M. El Majdoubi**, pour son encadrement. Enfin je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce travail.

Je tiens aussi à exprimer mon entière gratitude à mes parents pour l'ensemble du soutien qu'ils m'ont apporté durant le stage ainsi que la totalité de mes études.

# SOMMAIRE

## REMERCIEMENTS

LISTE DES FIGURES.....	5
LISTE DES TABLEAUX.....	6
INTRODUCTION GENERALE .....	7

### Chapitre I: Présentation de l'entreprise

1- Généralités sur la société : .....	10
2- Organigramme : .....	12
3- Processus de production des tubes en cuivre: .....	12
4- Implantation de l'usine: .....	18
5- Conclusion : .....	18

### Chapitre II : Présentation du Projet

1- Introduction : .....	20
2- Cahier de charges : .....	20
3- Synoptique de la ligne : .....	22
4- Diagnostique de l'existant : .....	22
5- Outils mis en œuvre : .....	24

### Chapitre III: Rénovation et mise en service de la ligne

1- Conception des outillages : .....	27
2- Synchronisation de la ligne : .....	29
3- Automatisation de la coupe : .....	31

### Chapitre IV: Etude du Tronçage

1- Présentation du procédé de cintrage: .....	36
2- Calcul des caractéristiques géométriques des couronnes : .....	38



---

3- Mécanisme de cintrage : .....	41
4- Calcul des déflexions : .....	42
5- Etude géométrique : .....	44
6- Conception de la came : .....	46
<i>CONCLUSION</i> .....	47

## ***LISTE DES FIGURES***

Figure 1: Types de produits de l'entreprise .....	11
Figure 2: Organigramme de MAC//Z.....	12
Figure 3: Coulée semi continue.....	14
Figure 4: Procédé de laminage .....	15
Figure 5: Procédé d'étirage .....	16
Figure 6: Implantation de l'usine .....	18
Figure 7: Synoptique de la ligne .....	22
Figure 8: Logique et démarches mises en œuvre lors du traitement du sujet .....	24
Figure 9:Arbre fonctionnel Porte-filière.....	26
Figure 10:Arbre fonctionnel du système patins .....	28
Figure 11: Grafjets niveaux 1 et 2 .....	33
Figure 12: Chronographe de la coupe .....	34
Figure 13: Effet du retour élastique.....	36
Figure 14: Cintrage Pyramidal.....	37
Figure 15: Paramètres du cintrage.....	38
Figure 16: Mécanismes de cintrage.....	41
Figure 17: Schéma tube en flexion.....	43
Figure 18: Conception de la Came .....	46



## ***LISTE DES TABLEAUX***

Tableau 1: Fiche technique de MAC//Z .....	10
Tableau 2: Processus de production des tubes en cuivre .....	13
Tableau 3: Description du parc machine de l'entreprise .....	17
Tableau 4: Intervalles de tolérances des diamètres des couronnes .....	21
Tableau 5: Caractéristiques de la ligne de production.....	29
Tableau 6: Résultats du logiciel de DAO pour le calcul des déflexions et des portées .....	44
Tableau 7: Caractéristiques géométriques de la came .....	45

## ***INTRODUCTION GENERALE***

Le Maroc est aujourd'hui en passe de rentrer dans un marché de libre échange avec l'Union Européenne. A l'aube de cette ouverture des frontières, les entreprises marocaines s'enthousiasment ; ces accords leur permettront d'accéder à un marché plus vaste, possédant un meilleur pouvoir d'achat. Mais si ce marché commun présente beaucoup d'avantages pour le Maroc, force est de constater qu'il présente aussi une réelle menace : le marché marocain, jusque là principalement contrôlé par les entreprises nationales, se trouvera lui aussi à la portée des "géants" d'Europe. Une concurrence acharnée s'annonce. L'industrie marocaine, désormais livrée à elle-même, pourra-t-elle résister face à des entreprises européennes plus organisées, optimisées et plus modernes ? Les entreprises marocaines pourront-elles garder le contrôle du marché marocain ? En bref, le Maroc pourra-t-il réussir le pari de l'ouverture ? Pour cela, les entreprises marocaines doivent se renforcer, elles doivent moderniser et optimiser l'ensemble de leurs processus de production.

MAC//Z en est consciente, elle a conscience des grands défis qui l'attendent. En effet, elle qui évolue dans un domaine à très fortes contraintes : l'industrie lourde. Cette catégorie d'industrie se caractérise par une faible valeur ajoutée et l'emploi d'outils et de capitaux très importants pour sa mise en œuvre. Pour trouver une marge bénéficiaire, produire en grande quantité et à moindre coût est un impératif pour ce type d'industrie. C'est pourquoi, MAC//Z a multiplié les investissements qui lui ont permis de diversifier et de moderniser ses activités. Dans sa quête d'optimisation, plusieurs études et nouveaux projets ont été menés dont le présent projet intitulé : « Etude et mise en place d'une ligne pour tube Frigo ». Ce projet a pour objectif l'étude technique de la ligne ainsi que sa réalisation.

La ligne sera composée d'une machine d'étirage initialement conçue pour l'étirage de profilé carré, ainsi qu'une spiraleuse initialement conçue pour les tubes capillaires. Mon



travail aura pour objectif d'adapter les machines aux besoins de l'entreprise, c'est-à-dire en revoir la conception initial pour les utiliser comme ligne d'étirage et d'enroulement de tubes dit Frigo.

Ce travail s'articulera autour de 4 parties principales :

*La première partie* sera consacrée à la présentation de l'entreprise ainsi que la description du processus de production de l'entreprise.

*La deuxième partie* présentera le sujet, un diagnostic de l'état initial des machines ainsi qu'une description détaillé du mode de fonctionnement souhaité.

*Dans la troisième partie*, nous traiterons de l'ensemble des actions menés au niveau du banc d'étirage, en passant par les conceptions d'outillage ainsi qu'une solution de l'automatisation de la coupe proposée.

*Dans la quatrième partie* et dernière partie, il sera question de l'étude de l'enroulement, le but de cette partie sera la conception de la came qui commande le système.



## Chapitre 1 : Présentation de l'organisme d'accueil

---

Dans ce chapitre, nous présentons la société MAC//Z, ainsi que son service technique où s'est déroulé ce projet de fin d'études.

## 1- Généralités sur la société :

MAC//Z est une entreprise spécialisée dans la fabrication de cuivre, elle a le monopole de l'industrie du cuivre au niveau national. Créée en 1988 par la famille LAMDOUAR, sa première activité (et qui reste encore sa principale) est la fabrication de tube en cuivre par le procédé d'étirage.

Au fil des années, MAC//Z à su investir et diversifier ses activités qui sont actuellement :

- Tubes et billettes en cuivre.
- Barres en laiton.
- Raccord et tuyauteries en cuivre.
- Pièces en laitons
- Armatures en Acier destinées aux poutres et colonnes en béton armé.

<b>Nom</b>	<b>MAC//Z</b>
<b>Désignation</b>	Maroc alliage cuivre et zinc
<b>Forme juridique</b>	Société anonyme (S.A)
<b>Secteur d'activité</b>	Étirage de cuivre
<b>Branche d'activité</b>	Fabrication de tubes en cuivre et en laiton
<b>Effectif</b>	400 dont 12 cadres et ingénieurs
<b>Capital social</b>	5100000 Dhs
<b>Registre commercial</b>	28275
<b>Production</b>	2000 tonnes de cuivre par an
<b>Personnel</b>	Plus que 400 employés
<b>Adresse</b>	Km 2, route de RABAT 12050 SKHIRATE B.P 436
<b>Téléphone</b>	0537 742 929 - 0537 742 558
<b>Fax</b>	0537 742 035

Tableau 1: Fiche technique de MAC//Z

L'ensemble de ces activités est assuré par des unités indépendantes implantées dans le même site :

- Unité **MAC//Z** : Tube en cuivre
- Unité **SCHOLZ** : Tri de matière première et recyclage déchet interne. Réalisé en collaboration avec le Groupe allemand SCHOLZ RECYCLING AG.
- Unité **DSTM** : Production de pièces et raccords en laiton, l'ensemble de sa production est destinée à l'exportation. Réalisé en collaboration avec le groupe DECAYEUX STI.
- Unité **RCL** (Raccord cuivre laiton) : Comme son nom l'indique, son rôle est la production de raccords et pièces en cuivre et laiton.
- Unité **CMA** : C'est la plus récente de toutes, elle produit les armatures en acier destinées aux poutres et colonnes en béton armé.

➤ Exemples des produits de l'entreprise :



**Figure 1: Types de produits de l'entreprise**

## 2- Organigramme :

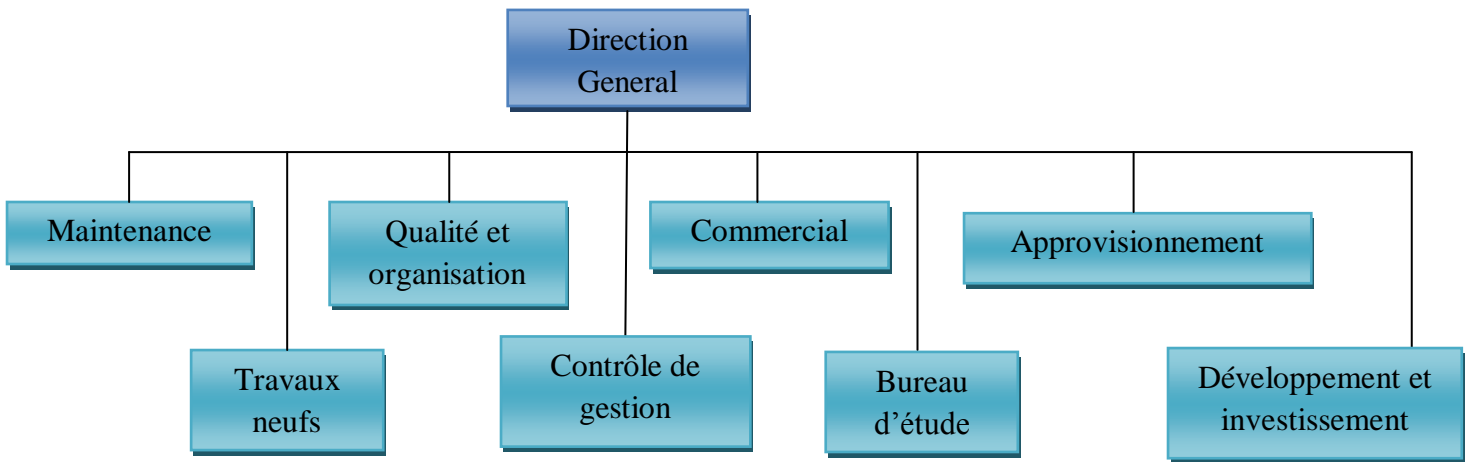


Figure 2: Organigramme de MAC//Z

## 3- Processus de production des tubes en cuivre:

### Généralités :

La production de tubes en cuivre est un processus mettant en œuvre un équipement spécifique. Le parc machine utilisé est très diversifié ; constitué d'un four de fusion et coulée utilisé en amont de la ligne, d'un groupe de machines d'étirage utilisant la même technologie mais aux puissances différentes, ainsi qu'un nombre de machines auxiliaires comme les machines à rouler et appointeuses.

En aval de la ligne, les produits subissent un recuit dans un four à cloches. Le cheminement de ce processus peut se résumer par le tableau suivant :



Unité	Etape	Livrable
Traitement matière première ( <b>Sholz</b> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Achat et récupération matière première.</li> <li>• Traitement et conditionnement de la matière première.</li> </ul>	Matière première prête à la fusion.
UA1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fusion et coulée semi-continue au sein du four rotative.</li> <li>• Sciage des bielles en longueur réduites.</li> </ul>	Bielle prête au perçage.
UA2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perçage des bielles pleines dans le laminoir perceur.</li> </ul>	Tube ébauche destinée à l'étirage.
UB1 + UB2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etirage a froid entre mandrin et filière.</li> </ul>	<p>Tube en cuivre sous deux formes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Barres droites écrouîtes.</li> <li>• Couronnes de grandes longueurs.</li> </ul>
UB2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Traitement thermique</li> <li>• Contrôle qualité</li> </ul>	Tubes en cuivre destinées à l'emploi.

Tableau 2: Processus de production des tubes en cuivre

Description des étapes :

➤ Fonderie :

Cette unité est destinée à la production de cuivre sous forme de lingots, une grande partie du produit brut utilisée est issue du recyclage des déchets internes (pointes de tubes, copeaux d'usinage, masselottes, rebuts et autres chutes...)

La fusion a lieu dans un four rotatif où le métal est porté à une température de 1100°C, le cuivre est ensuite coulé dans des lingotières cylindriques, le procédé utilisé est celui de la coulée semi continue.

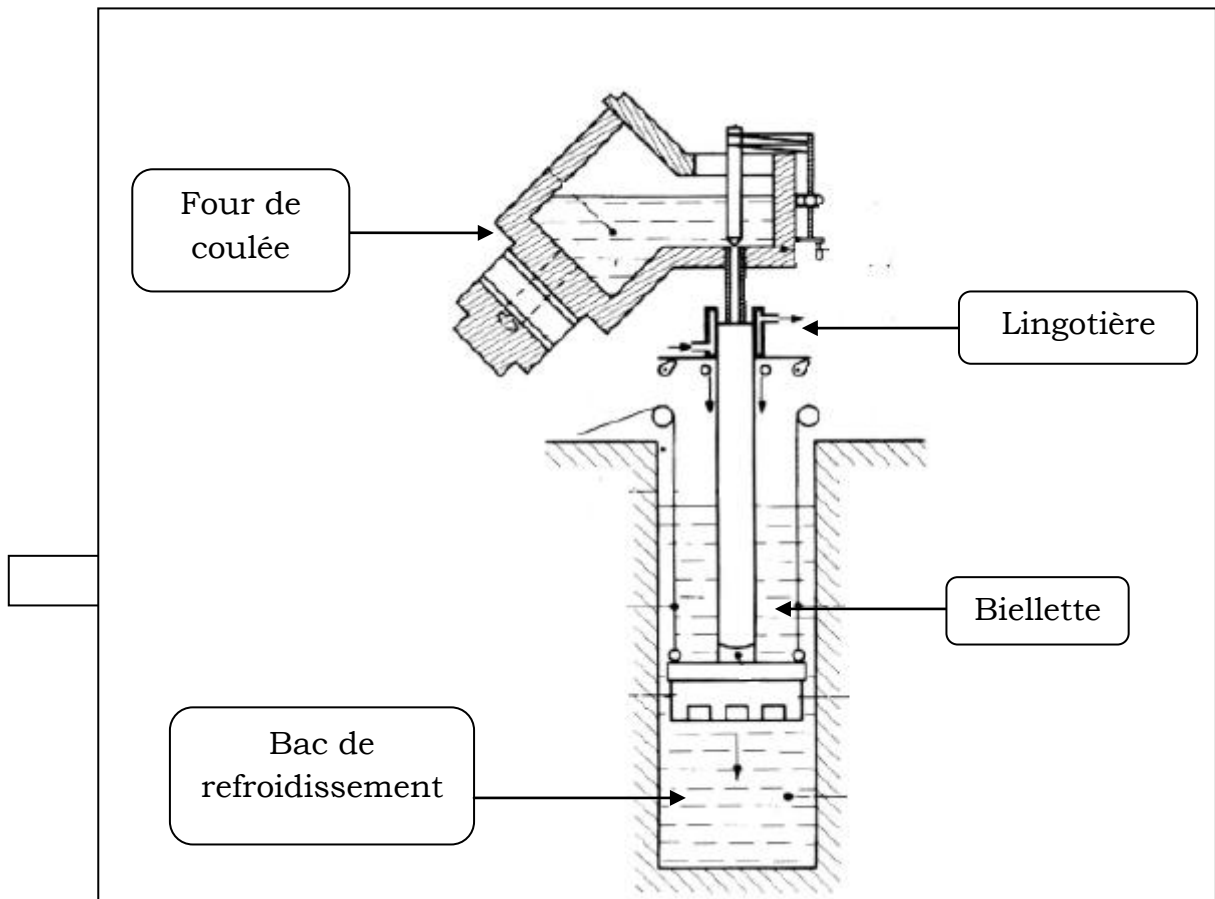


Figure 3: Coulée semi continue

➤ Laminoir :

Le laminage est un procédé de mise en forme par déformation plastique, les bielles sont transformées en ébauches de tubes pour subir les opérations d'étirages.

La machine utilisée est un laminoir perceur, constitué de deux galets de forme biconique ayant pour fonction d'entraîner la bielle dans un mouvement de rotation propre ainsi qu'une translation horizontale. En avançant, la bielle bute sur un poinçon sous forme d'ogive appelé poire, une cavité est ainsi créée. Le produit final obtenu après une passe est un cylindre creux.

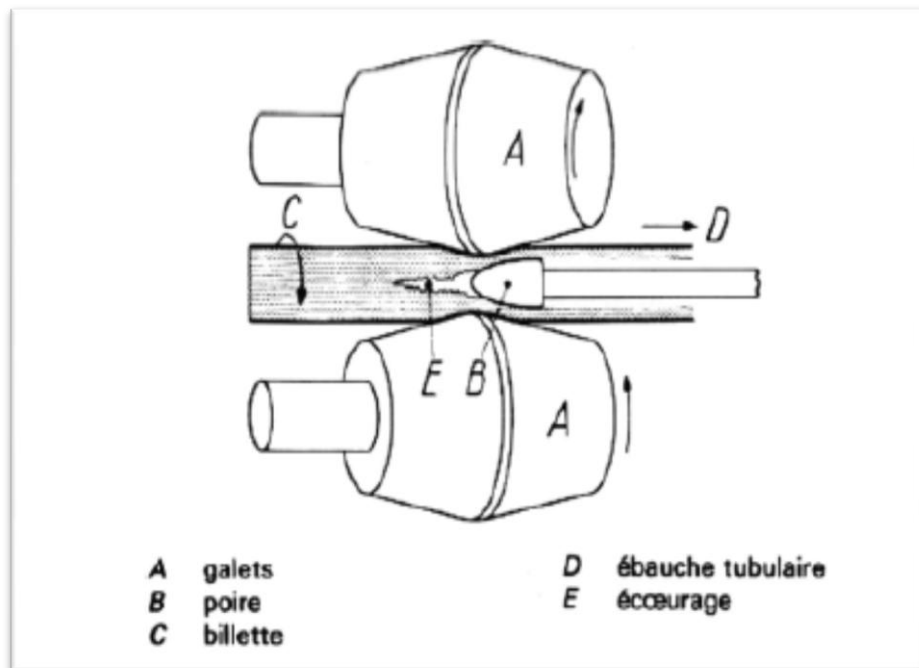


Figure 4: Procédé de laminage

➤ Etirage :

L'étirage est une opération de mise en forme mécanique par déformation plastique. Elle transforme un tube en un autre de section inférieure en lui faisant subir une traction à travers une filière avec ou sans mandrin. La déformation plastique réalisée modifie profondément la structure du cuivre. L'écrouissage qui en résulte entraîne l'augmentation sensible de la résistance à la rupture, la limite élastique, la dureté ainsi qu'une diminution de la résilience et de l'allongement à la rupture.

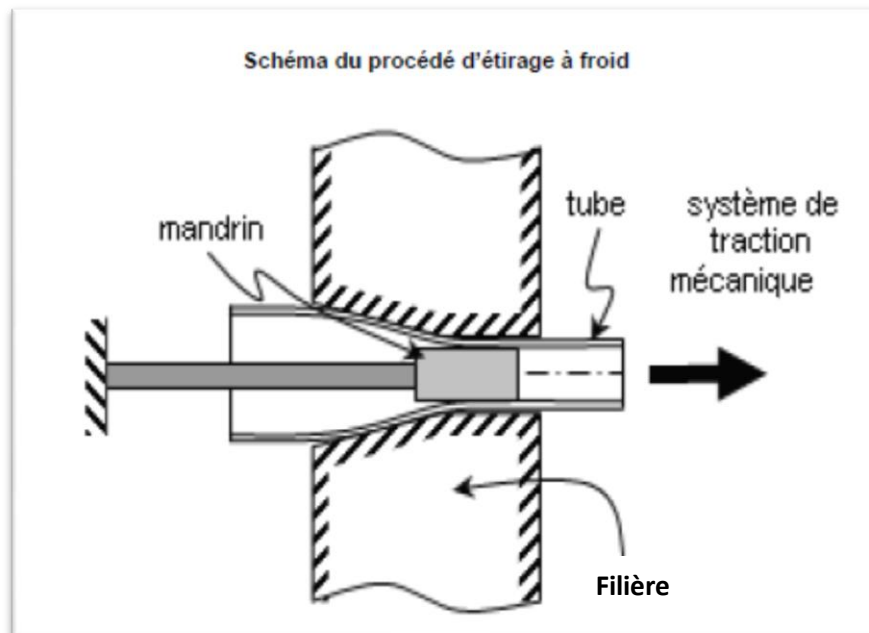


Figure 5: Procédé d'étirage



Parc machine de l'entreprise MAC//Z :

Opération	Machine
Fusion	Four cuivre rotatif 01 Four cuivre rotatif 02
Laminage	Laminoir perceur
Etirage	BC 30T BC 40T BC 15T BC 311 SHUMAG 01 SHUMAG 02 BBM 6 BBL
Appointage	KROLMAN 01 KROLMAN 02 MANCO Appoiteuse rotative WEKKERS
Sciage	Scie Manuel Scie automatique Scie Botteleuse
Recuit	Four à cloches

**Tableau 3: description du parc machine de l'entreprise**

#### 4- Implantation de l'usine:

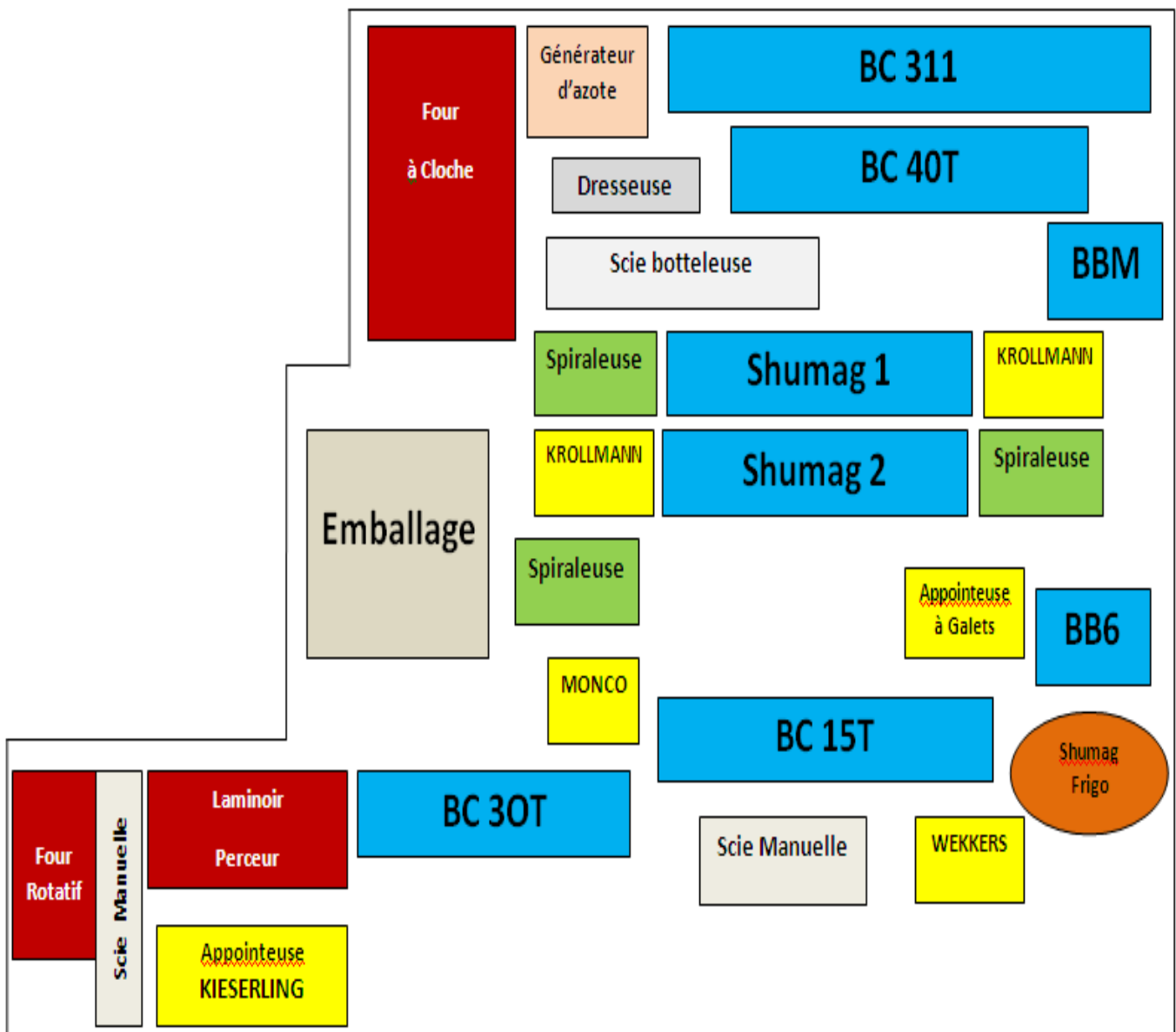


Figure 6: Implantation de l'usine

#### 5- Conclusion :

Le chapitre écoulé, présente d'une manière générale l'entreprise MAC//Z.

Dans le chapitre suivant, nous verrons la description et le contexte générale dans lequel s'inscrit le présent projet de fin d'études.



## Chapitre 2 : Présentation du Projet

---

Dans ce chapitre, nous présentons le sujet d'études ainsi que les démarches mises en œuvre lors de son traitement.

## 1- Introduction :

A mon arrivé à l'entreprise, mon profil d'ingénieur en conception mécanique me poussa à travailler sur un sujet d'étude a caractère double, une étude théorique menant à une réalisation technique.

Mon projet s'inscrit dans la logique de l'entreprise, dans sa politique d'investissement, **MAC//Z** compte sur les compétences propres et le savoir faire de ses techniciens et ingénieurs; ainsi, la totalité de son parc machine est une reprise. L'entreprise récupère des machines défectueuses au prix ferraille et les confies à ses ateliers et son bureau d'études pour les remettre en marche et les adapter à ses besoins.

Dans sa ligne de production, l'entreprise ne dispose pas de machine propre à la production de tubes dits Frigo, leur production passe par des passes consécutives à travers plusieurs machines différentes. Ayant récemment récupère une d'étirage de petit calibre, qui avant était destiné à l'étirage de profilés rectangulaires. L'entreprise décida de la rénover et de la dédier a la production des tubes Frigo, et je me suis vu confier la tache de mener ce projet.

## 2- Cahier de charges :

### Etirage :

Un jeux de galet( Prédressage) présente les couronnes (tube ébauche) bien droites à la filière logée dans le porte filière, ce dernier doit disposer d'un système de réglage dans chaque direction pour obtenir un alignement parfait.

La machine à étirer fonctionne avec deux chariots qui transmettent la force de traction au tube. Les chariots sont commandés par deux cames montées sur l'arbre principal, tournées de 180° l'une par apport a l'autre, si bien que les deux chariots alternent le mouvement d'étirage ainsi que le recul, ce dernier étant assuré grâce des ressorts de traction longs.

Avant l'engagement d'un rouleau dans la machine, son bout est appointé pour permettre son passage dans la filière. La machine doit être dotée d'un mécanisme placé en tête du premier chariot permet de saisir cette pointe et transmettre ainsi un premier effort de traction au tube jusqu'à ce que les mors du premier chariot puissent



le saisir. Pour l'étirage, il faut se servir d'une paire de mors correspondants au diamètre du tube qui permettent un serrage du tube sans le déformer.

L'ouverture et la fermeture des mors doit se faire par inertie, ils sont fermés dans le point de renversement avant des chariots et ouvert au point de renversement arrière.

Cisaillage :

La partie arrière de la machine d'étirage est une unité de cisaillage. Les tubes quittant le deuxième chariot s'y présentent bien droits après être passés à travers le jeu de galets de dressage. Le rôle de cette unité est la découpe des tubes aux métrages retenus.

Le cisaillage s'effectuera grâce à un effort tranchant résultant de l'action de lames.

Les lames seront montées sur un chariot identique au chariot d'étirage, qui sera commandé par une came montée sur un arbre secondaire parallèle à l'arbre principal, ces deux derniers seront reliés par un embrayage mécanique commandés par un actionneur pneumatique.

Cintrage :

Le produit fini doit être livré selon des longueurs de 12.5 à 25m, ainsi le produit fini doit être enroulé sur une machine à cintrer. Cette dernière sera placée en aval de notre ligne, elle doit pouvoir enrouler les tubes en couronnes selon les diamètres suivants :

Diamètres Produits finis	Diamètre couronne (mm)	
	Minimal	Maximal
3/4" Frigo recuit	550	600
5/8" Frigo recuit	500	540
1 /2" Frigo recuit	460	490
3/8" Frigo recuit	440	460

**Tableau 4: Intervalles de tolérances des diamètres des couronnes**

### 3- Synoptique de la ligne :

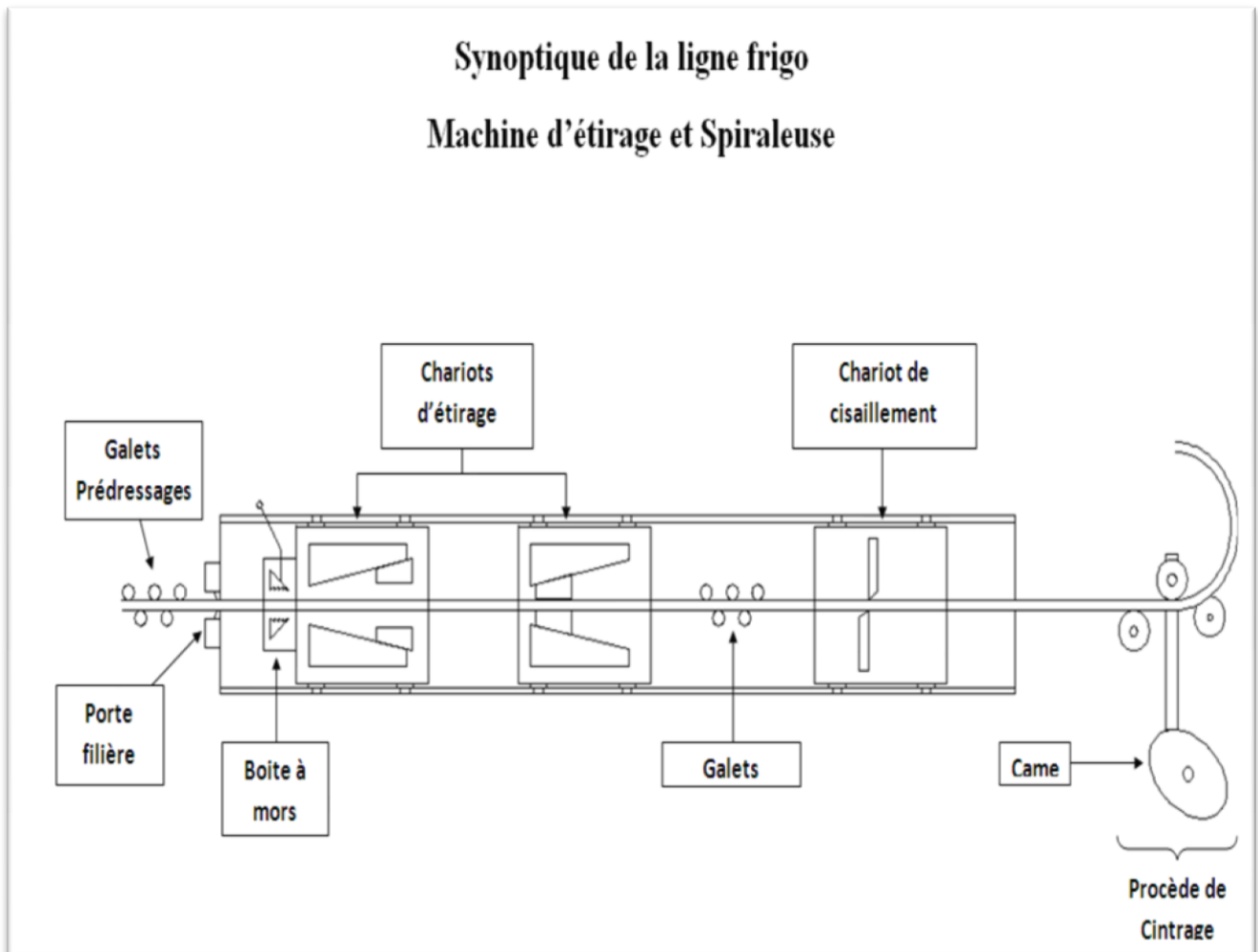


Figure 7: Synoptique de la ligne

### 4- Diagnostique de l'existant :

La Shumag prise en charge était dans les conditions suivantes :

- Une armoire électrique dont les composants sont reliés à partir d'un réseau de câbles mal posés et constituant un réel danger au personnel et aux machines.
- Une boîte de commande n'offrant que des possibilités de fonctionnement en mode manuel offrant peu de flexibilité aux opérateurs.



- La machine a été initialement conçue pour servir à l'étirage de profilé carré, l'ensemble de son outillage est donc inadapté aux fonctions souhaitées.
- Un système fermé sur lui-même : une armoire en reliage classique rendant toute modification compliqué voir même impossible.
- Absence d'un système de comptage pour l'automatisation de la coupe, le taux de déchets est ainsi élevé si on ajoute à cela les déchets des pointes coupées par des interventions hésitantes des opérateurs.
- Absence de tous documents techniques.

La Spiraleuse prise en charge était dans les conditions suivantes :

- Armoire et câblage électrique en bon état de fonctionnement.
- Boite de commande basique : Marche/Arrêt.
- Machine initialement conçue pour les tubes capillaires, les galets d'entraînement et de cintrage sont inadaptés aux fonctions souhaitées.
- Absence de tous documents techniques.

### 5-Outils mis en œuvre :

Durant cette période de stage et afin de mieux appréhender et cerner tous les paramètres de mon sujet, j'ai été amené à décomposer mon étude du système en plusieurs étapes selon la figure ci-dessous :

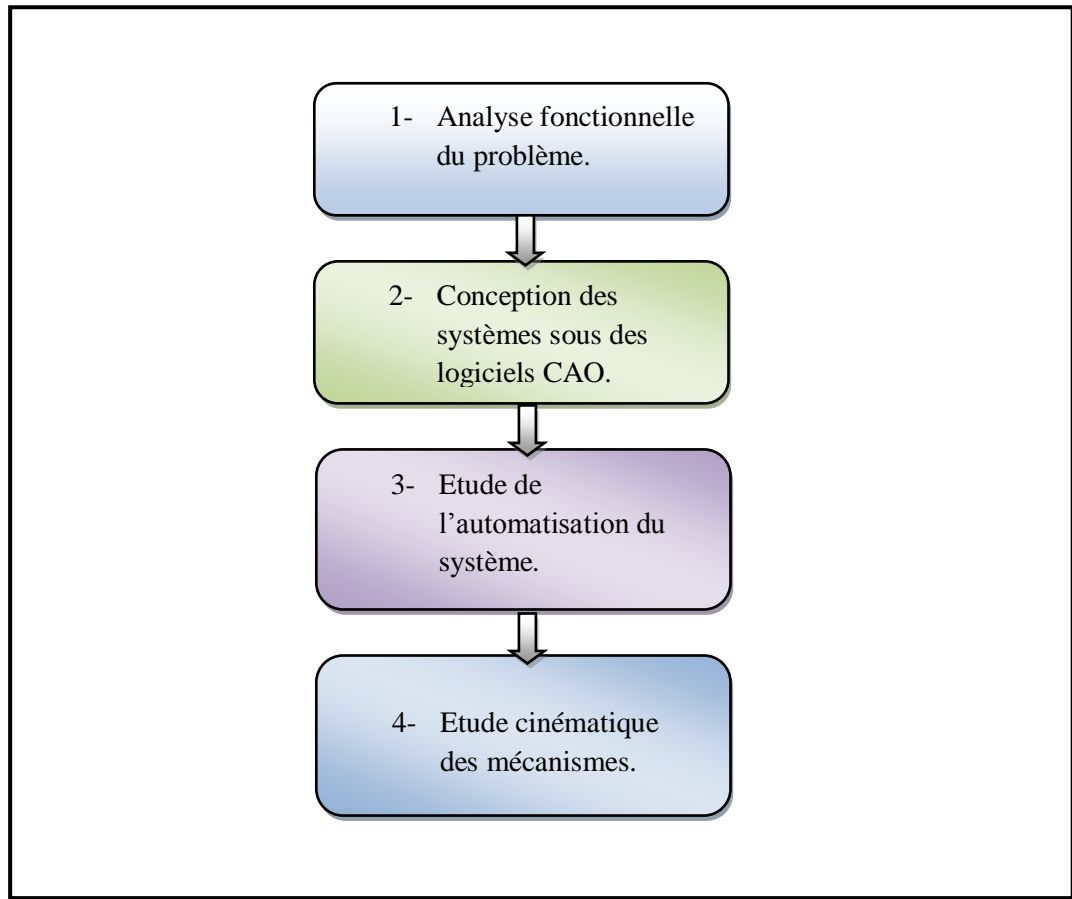


Figure 8: Logique et démarches mises en œuvre lors du traitement du sujet

En effet, lors de l'étude de ce projet, il a été préconisé de suivre la démarche suivante :

- 1- *Une Analyse fonctionnelle du projet* : qui est d'ailleurs indispensable dans la bonne réalisation de toute nouvelle conception. L'enjeu était donc de recenser les différentes fonctions du système et ses caractéristiques.
- 2- *Conception des systèmes* : Conséquente des fonctions techniques dégagées de l'analyse fonctionnelle, cette étape a été effectuée sur deux logiciels principaux de la CAO, à savoir : Solidworks et Autocad.
- 3- *Etude de l'automatisation du système* : à ce niveau là et suite au cahier des charges demandé, le travail consistait à établir des GRAFCETS (Graphe de Contrôle Etape-





Transition) de niveau 1 et 2 décrivant ainsi l'enchaînement des étapes de fonctionnement.

- 4- *Etude cinématique* : qui s'est traduite par une représentation des différentes relations existantes entre les groupes du système.

## Chapitre 3 : Rénovation et mise en service de la ligne

---

Dans ce chapitre, nous verrons d'abord les analyses fonctionnelles menant à la conception puis une solution proposée pour l'automatisation de la coupe.

## 1- Conception des outillages :

La rénovation de la machine passe par la reconception de pièces défectueuses ou inadaptées à l'emploi désiré. Une des difficultés majeure est que la machine ne disposait pas de documents techniques, il nous a fallu reconcevoir et modifier une partie des pièces mécaniques, ainsi qu'en concevoir certaines pour adapter la machine au besoin de l'entreprise. Ainsi le système des mors a été entièrement reconçu suivant le nouveau cahier de charge. L'ensemble des mises en plan se trouve en annexe à ce rapport.

### A. PORTE FILIERE :

La première unité de la ligne est l'unité d'étirage, les deux organes principaux la constituant sont la filière et les chariots d'étirage.

Notre filière doit être placée dans un porte-filière dont la conception sera l'objet du présent chapitre. Pour cette conception, j'ai choisi de faire une analyse fonctionnelle pour dégager l'ensemble des fonctions que devra satisfaire le produit. Pour commencer, j'ai procédé à une recherche intuitive des fonctions ainsi qu'une analyse d'un porte filière d'un banc d'étirage présent dans l'usine.

L'ensemble des interacteurs avec cette porte filière sont :

- Operateur de production
- Tube en cuivre
- Filière
- Machine d'étirage.

La fonction principale de cette porte filière est de loger la filière

#### **FP1 : Assurer le logement de la Filière**

Les fonctions d'adaptation sont :

**FA1** : Assurer l'alignement de la filière par rapport au chariot

**FA2** : Assurer la fixation de la filière

**FA3** : Etre manipulable par l'operateur

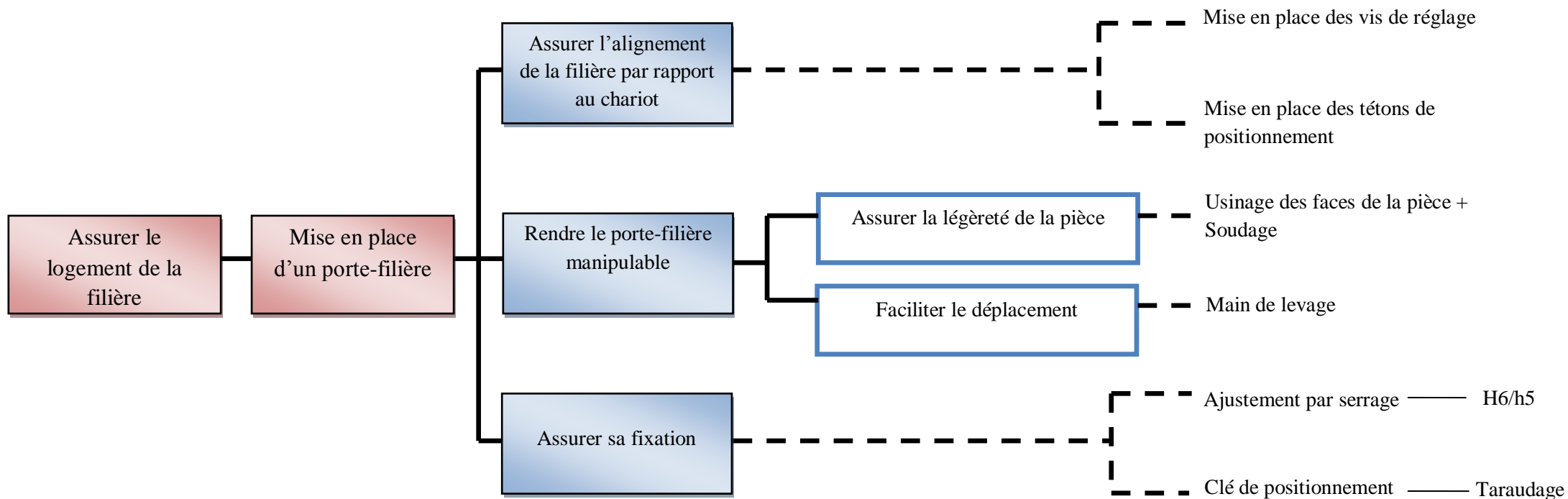


Figure 9:Arbre fonctionnel Porte-filière

## **B. Système des patins :**

Le système des mors a été complètement modifié, d'après le cahier de charge, les mors devront à présent pouvoir se déplacer rien qu'à la force d'inertie d'entraînement. Les mors étant encastrés dans les portes mors, qui sont déjà en liaison glissière avec le chariot. Le principal handicap à ce système est le parallélisme des mors, la force de traction ne pourra être transmise aux tubes que si les deux mors attrapent les tubes simultanément. Pour obtenir un parallélisme forcé des mors, la conception d'un système de parallélisme s'impose.

Le système appelé « Système des patins » aura pour fonction principale :

**FP1** : Maintenir les mors parallèles entre eux.

Les fonctions contraintes sont :

**FC1** : Translater avec le chariot

**FC2** : Eviter le blocage des mors

**FC3** : Permettre le changement des mors

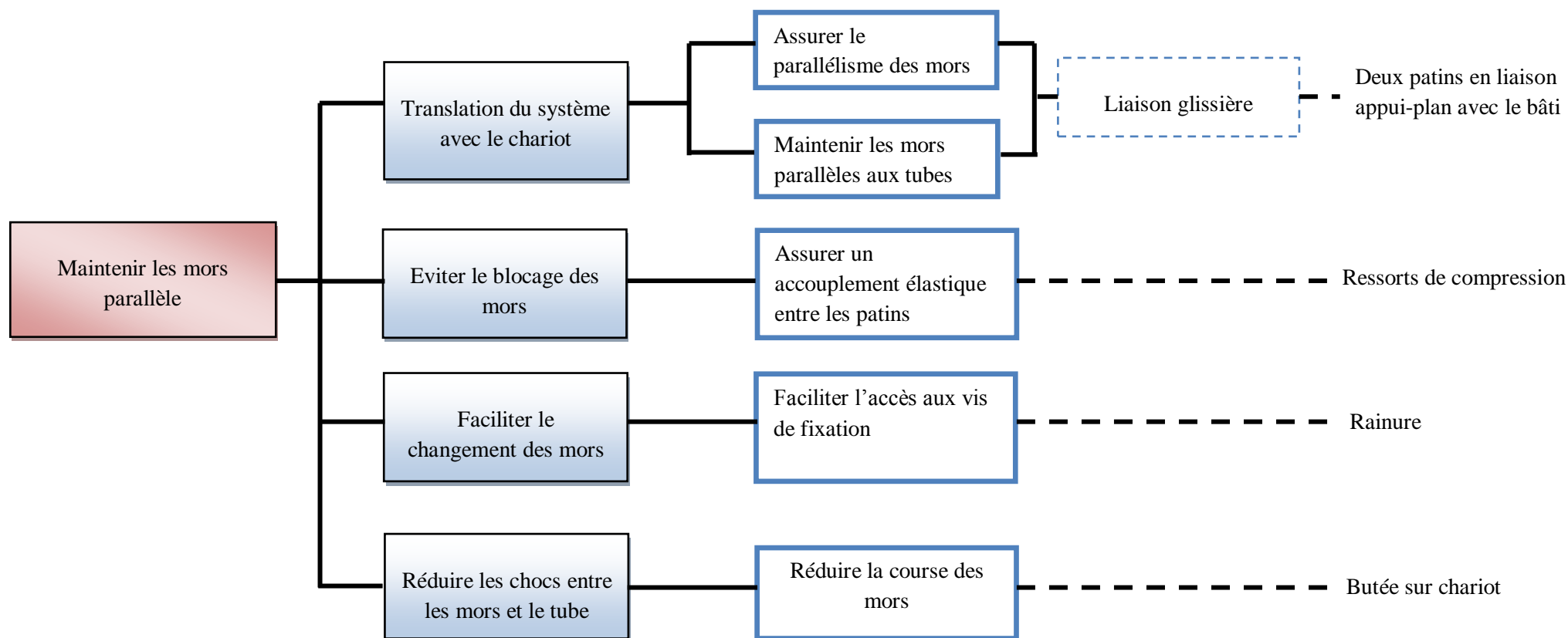


Figure 10:Arbre fonctionnel du système patins

## 2- Synchronisation de la ligne :

	P(kw)	U(v)	I(a)	Cos φ	ω(tr/mn)	Rapport Réducteur r	Rayon galet d'entraînement (mm)
<b>Moteur Shumag</b>	30	380	54	0.85	$\omega_{Sh} = 1475$	$r_{Sh} = 1/5$	$\phi_{Sh} = 27$
<b>Moteur Spiraleuse</b>	7.5	380	9.5	0.85	$\omega_{Sp} = 1390$	$r_{Sp} = 1/8$	$\phi_g = 148$
<b>Ligne</b>	37.5	380	63.5	0.85			

Tableau 5: Caractéristiques de la ligne de production

La synchronisation de la ligne passe par l'adaptation de la vitesse linéaire du tube. La vitesse à laquelle l'entraînent les galets de dressage, doit être légèrement inférieure à la vitesse à laquelle l'entraîne les galets moteurs de la spiraleuse.

Shumag :

La vitesse linéaire d'entraînement des tubes dans la Shumag est  $V_{l Sh}$  :

$$V_{l Sh} = \omega_{Sh} \cdot r_{Sh} \cdot \phi_{Sh} / 2$$

$$V_{l Sh} = 1475 \frac{2\pi}{60} \cdot 0,2 \cdot 13,5 = 0,42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Spiraleuse :

La vitesse linéaire d'entraînement des tubes dans la Spiraleuse est  $V_{l\ sp}$  :

$$V_{l\ sp} = \omega_{sp} \cdot r_{sp} \cdot \Phi_g / 2$$

$$V_{l\ sp} = 1390 \frac{2\pi}{60} \cdot 0,125 \cdot 74 = 1,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Le rapport entre les vitesses linéaires est de 1/3, nous recommandons donc d'installer un réducteur supplémentaire entre le moteur de la spiraleuse et son réducteur actuel. Une autre alternative est de remplacer le moteur actuel de la spiraleuse par un moteur variateur.

Le calcul de la vitesse de rotation actuelle de came et la vitesse à utiliser pour pouvoir cintrer une couronne pour un tour complet de la came va confirmer le résultat trouvé précédemment.

A l'état initial de la spiraleuse, un relevé de la vitesse de rotation de la spiraleuse a donné :

$$\omega_{Came} = 0,33 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Soit  $t_0$  Le temps écoulé entre le début de présence du tube au niveau du mécanisme de cintrage jusqu'à la fin du passage du rouleau de  $L_c = 12,5\text{m}$ . C'est en aussi le temps que doit mettre la came pour effectuer un tour.

$$t_0 = L_c / V_{l\ sp} = 58,8 \text{ s}$$

$$\omega_{Came} = \frac{2\pi}{t_0} = 0,34 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Le rapport entre les vitesses angulaire est de 1/3, résultat qui vient confirmer et appuyer celui d'avant.



### **3- Automatisation de la coupe :**

#### **3-1 Introduction :**

L'automatisation de la coupe au niveau de la Shumag représente pour le projet un atout majeur, le cycle ainsi piloté automatiquement doit donner :

- Une flexibilité de passage du mode manuel en mode automatique et réciproquement.
- Un démarrage facile : la pointe de la couronne est coupée automatiquement.
- Une précision de coupe : une mesure de métrage exacte et régulière.
- Un choix multiple : une table de choix ouverte pour tous les choix possibles de métrage.
- L'opérateur doit avoir un accès simple et rapide pour toute modification.

Dans ce qui suit, nous développeront une solution proposée pour cette automatisation.

#### **3-2 Analyse du cycle automatique de la coupe :**

L'automatisation consiste à lancer l'ordre de coupe au moment adéquat, la coupe doit avoir lieu une fois que la pointe de la coupe ait dépassé les lames de la cisaille, ou une fois que le tube ait parcouru le métrage désiré. Dans le premier cas, l'ordre de coupe doit être donné après la détection de la présence du tube en s'assurant que l'étirage est déjà en cours, cette condition prévient contre le cas où l'étirage s'arrête subitement alors que le tube se soit à peine engagé dans l'unité de cisailage. Pour le cas de la coupe après un métrage parcouru, l'ordre doit être lancé après la validation de la condition de la fin de comptage.

L'organe responsable de la coupe est l'embrayage entre l'arbre principal et l'arbre secondaire. Avant de lancer un ordre de coupe, la condition de la came cisaille

en position de départ doit être validé. Pour le débrayage aussi, la condition de la came en position arrêt doit être validée.

### 3-3 Moyens mis en œuvre pour l'automatisation :

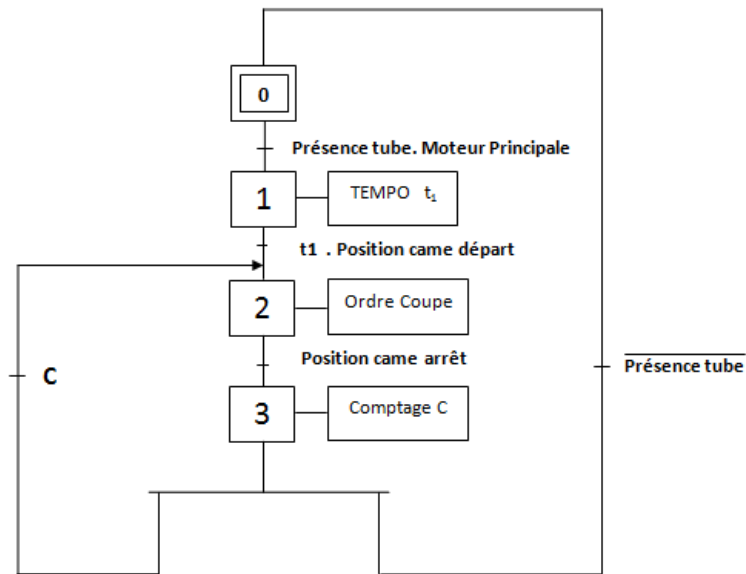
Pour le comptage de la longueur des tubes, nous utiliserons une roue accouplée à l'arbre moteur du jeu de galet de dressage, qui aura donc la même vitesse de rotation que les galets. Grâce à un encodeur, qui génère un nombre d'impulsion par rotation exploitées par un compteur à présélection, ce système associé au nombre de tour un métrage écoulé, nous pourrions identifier le métrage parcouru par le tube.

Les indicateurs et les capteurs jouent aussi un rôle important dans l'automatisation du cycle de la machine, les nouveaux capteurs installés sont placés pour détecter la présence ou l'avancement du tube sur la ligne :

I	:	Présence tube amont de l'unité cisailage.
F <sub>c1</sub>	:	Position came départ.
F <sub>c2</sub>	:	Position came arrêt.
T <sub>0</sub>	:	Fin temporisation.
M	:	Validation comptage.
Emb	:	Embrayage arbre secondaire.
Enc	:	Encodeur.

3-4 Grafcet et chronographe de la coupe :

Grafcet Niveau 1



Grafcet Niveau 2

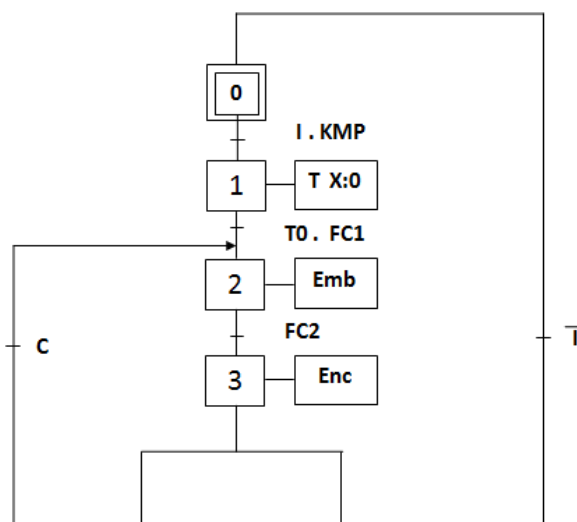
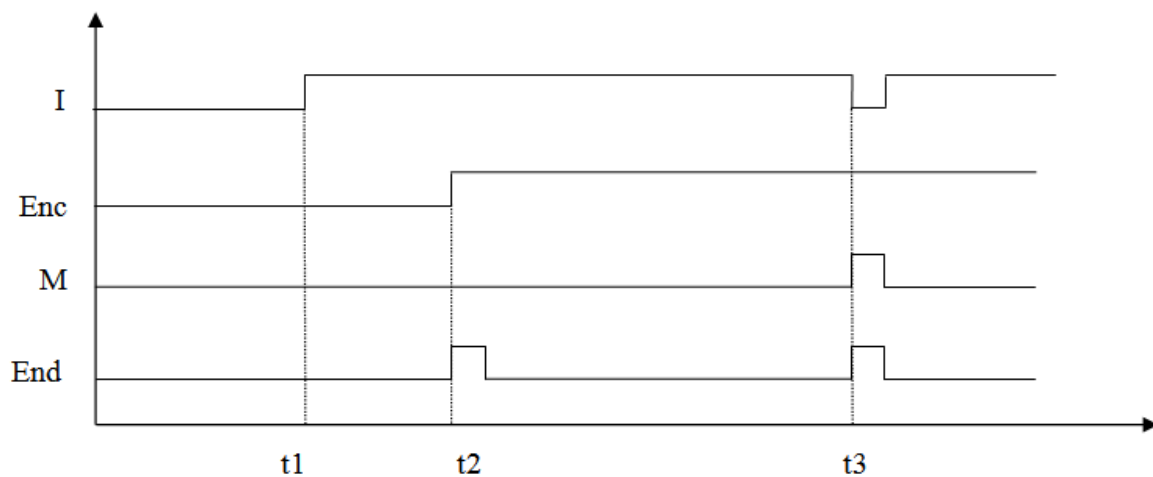


Figure 11: Grafcets niveaux 1 et 2



**Figure 12: Chronographe de la coupe**

Ensemble d'actions aux temps  $t_i$  :

- t1 : Détection présence tube au niveau entrée de l'unité de cisailage  
Début de la temporisation
- t2 : Action de la coupe de la pointe  
Fin de la temporisation  
Début comptage métrage
- t3 : Fin comptage  
Action de la coupe à la longueur désiré

## Chapitre 4 : Etude de trancanage

---

Dans ce chapitre, nous étudions le principe de fonctionnement de la spiraleuse.

## 1- Présentation du procédé de cintrage:

### Définition :

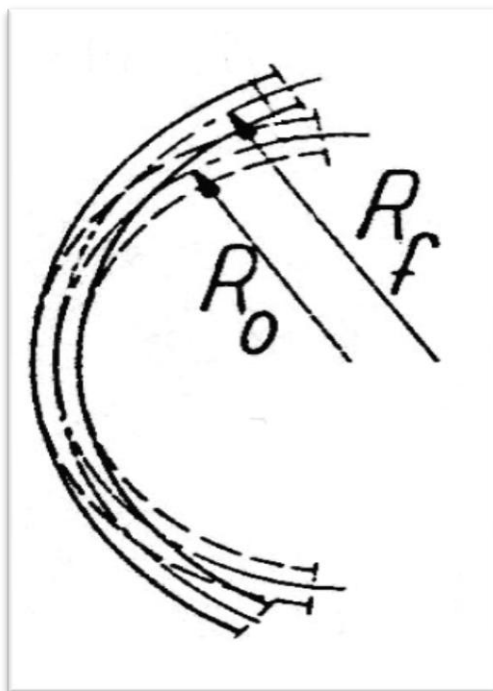
Le cintrage est un procédé de mise en forme par déformation plastique d'un matériau permettant d'obtenir une géométrie particulière (Cylindrique, Conique ....) du produit.

Le cintrage est obtenu par une flexion imposée au matériau provoquée par un effort quasi statique exercé à la main ou grâce à une machine à rouler. Cette flexion va créer trois zones distinctes :

- Une zone en compression.
- Une zone en traction.
- Une zone sans contrainte qui est la fibre neutre.

Lors d'une opération de cintrage, le tube sera soumis à différents efforts induisant différents effets tel que le retour élastique ou encore la création de contraintes résiduelles. Dans notre démarche, le retour élastique sera négligé en raison d'un intervalle de tolérance donné sur le diamètre des couronnes à obtenir.

### L'effet du retour élastique :



$R_0$  : Rayon de courbure du tube en cours de cintrage.

$R_f$  : Rayon de courbure du produit fini, soit après le retour élastique

**Figure 13: Effet du retour élastique**

L'obtention d'une couronne parfaitement circulaire n'est pas aussi facile que l'on puisse imaginer. Même avec une très bonne machine, un défaut de réglage ou une mauvaise présentation du tube au démarrage suffisent pour que la couronne n'offre pas les caractéristiques géométriques recherchées.

Deux points importants doivent être respectés :

- Le cintrage se fera dans le même sens que le laminage et l'étirage.
- Toutes les dimensions doivent être calculées en prenant comme référence la fibre neutre.

Le cintrage se fera sur machine dotée d'un système de cintrage pyramidal constitué d'un jeu de trois galets identiques disposés selon un triangle isocèle. Les deux triangles de base A et B sont moteurs, entraîneurs et le troisième C est réglable, il se déplace le long de la médianes du triangle permettant ainsi le cintrage, il est communément connu sous le nom « galet fou ».

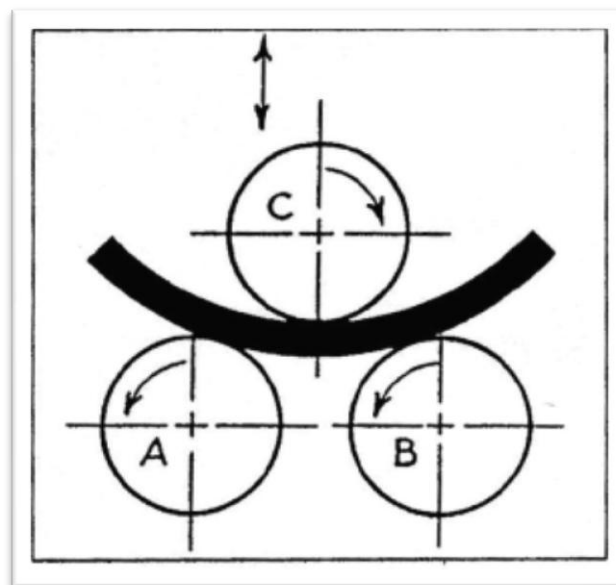
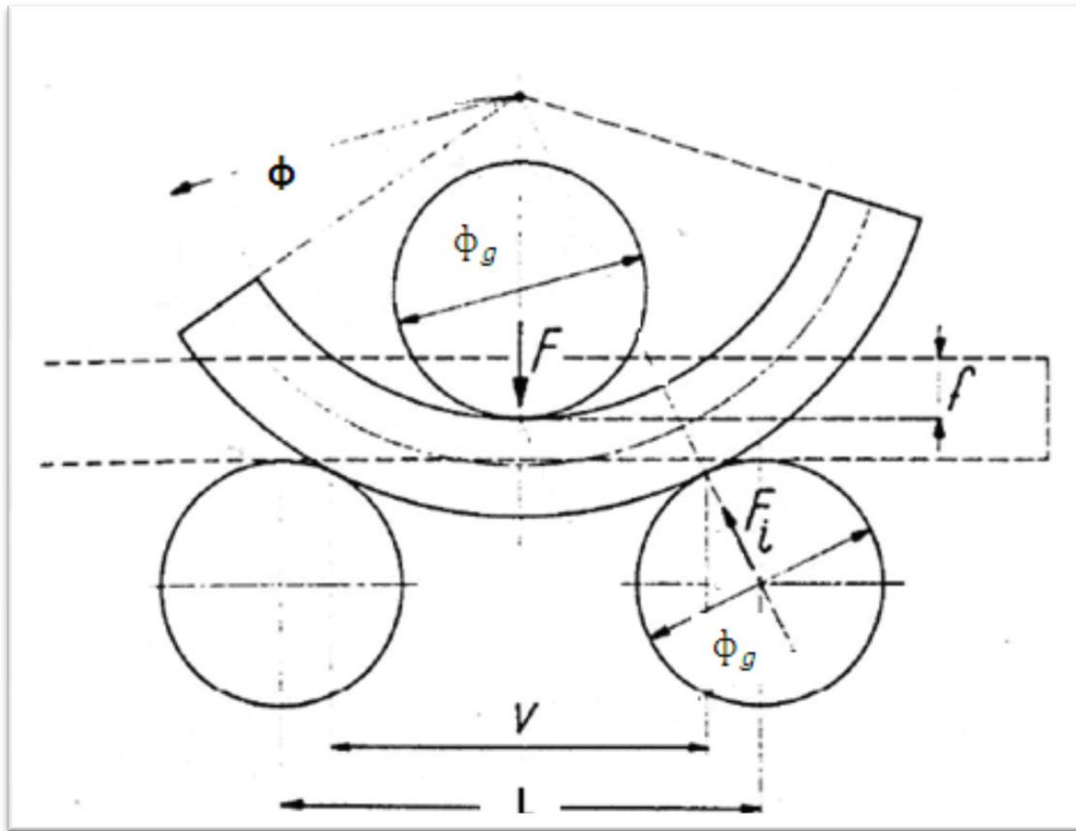


Figure 14: Cintrage Pyramidal

Le schéma suivant présente les différents paramètres géométriques du cintrage utilisé dans les calculs :



**Figure 15: Paramètres du cintrage**

## 2- Calcul des caractéristiques géométriques des couronnes :

Le trancanage est obtenu en disposant un nombre entier de spires par couche, les spires doivent être jointives et dans un même plan.

D'après le cahier de charge, les rouleaux ont une longueur de 12.5 m disposé en une couche ou 25 m sur deux couches. Chaque couche aura donc une longueur de  $L_c = 12.5m$ .

Dans un premier temps, il faut dégager les caractéristiques géométriques de la couche, puis se pencher sur la méthode utilisée pour l'obtenir.





Dans notre étude, nous résonnerons sur un tube d'un diamètre  $\phi_t = 9.52mm$ , ce dernier doit être disposé selon un diamètre extérieur variant de **440 mm** à **460 mm**.

La couche est composée d'un nombre **n** de spires à déterminer. La mise en équation est la suivante :

$$L_c = \pi \phi_1 + \pi \phi_2 + \pi \phi_3 + \dots \quad (1)$$

Ou les  $\phi_i$  sont les diamètres respectifs des spires numéros i, les diamètres sont calculés par rapport à la fibre neutre.

Le premier diamètre  $\phi_1$  sera égal au diamètre moyen de l'intervalle de tolérance, diminué du diamètre du tube. Donc :

$$\phi_1 = \phi_M - \phi_t = 450 - 9.52 = 440.48 \text{ mm}$$

Les autres diamètres seront déduits de proche en proche, c'est-à-dire que le  $\phi_i$  sera égal au  $\phi_{i-1}$  diminué de  $2\phi_t$ .

$$\phi_i = \phi_{i-1} - 2\phi_t$$

$$\text{Avec } \begin{cases} \phi_2 = \phi_1 - 2\phi_t \\ \phi_3 = \phi_2 - 2\phi_t \end{cases} \implies \phi_3 = \phi_1 - 4\phi_t$$

Donc de proche en proche on peut écrire que :

$$\boxed{\phi_i = \phi_1 - 2(i - 1)\phi_t}$$

Ainsi l'équation initiale (1) devient :

$$L_c = \pi \sum_{i=1}^n [\phi_1 - 2(i - 1)\phi_t]$$

$$L_c = \pi \left[ n\phi_1 - 2\phi_t \sum_{i=1}^n (i - 1) \right]$$

$$L_c = \pi \left[ n\phi_1 - 2\phi_t \sum_{i=0}^{n-1} i \right]$$

$$L_c = \pi \left[ n\phi_1 - 2\phi_t \frac{n(n-1)}{2} \right]$$

$$\boxed{L_c = n\pi\phi_1 - n(n-1)\pi\phi_t} \quad (2)$$

Le nombre de spires  $n$  sera donc solution de l'équation de 2<sup>ème</sup> degré suivante :

$$n^2 - \frac{\phi_1 + \phi_t}{\phi_t} n + \frac{L_c}{\pi\phi_t} = 0$$

A.N :

$$n^2 - 47.27 n + 418.95 = 0$$

$$n = 11.77 \text{ spires}$$

Le nombre obtenu  $n$ 'est évidemment pas un entier, une modification est envisageable sur  $\phi_1$  pour obtenir un nombre de spires entier.

En reprenant l'équation (2), mais en considérant cette fois  $\phi_1$  comme inconnu, l'équation devient :

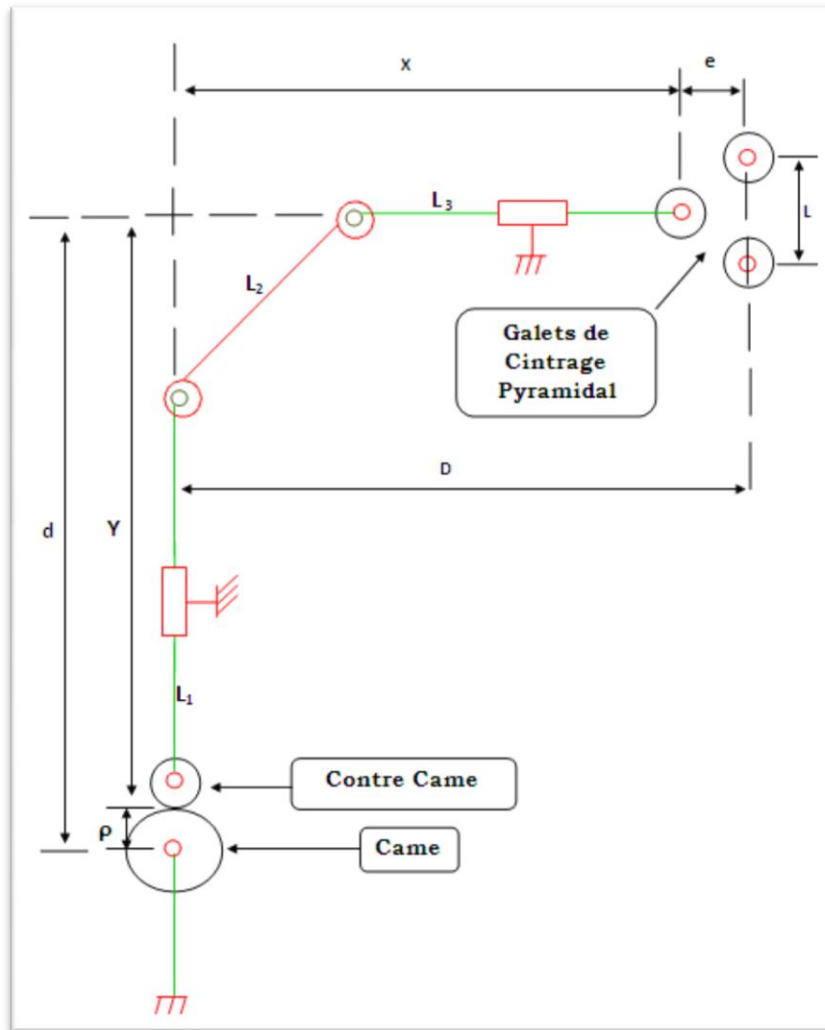
$$\phi_1 = \phi_t (n - 1) + \frac{L_c}{n\pi}$$

Pour  $n = 11$  on trouve :

$$\phi_1 = 456.1 \text{ mm}$$

### 3- Mécanisme de cintrage :

La première étape de ma démarche était recenser les organes de la machine, leurs caractéristiques pour établir les schémas cinématiques.



**Figure 16: Mécanismes de cintrage**

Légende :

- Bras du mécanisme :  $L_1$ ,  $L_2$  et  $L_3$  sont les longueurs des trois bras principaux du mécanisme.

$$L_1 = L_2 = 126.5 \text{ mm}$$

$$L_3 = 202.5 \text{ mm}$$

- **L** Représente la distance de l'entraxe entre les deux galets moteurs du mécanisme de cintrage.

$$L = 168 \text{ mm}$$

- **D** distance entre la base du triangle isocèle et la droite porteuse du bras 1.
- **d** distance entre la droite porteuse du bras 3 et l'axe de rotation de la came.
- **e** distance horizontale séparant la du triangle isocèle et le galet fou, c'est la hauteur du triangle.
- **$\rho$**  rayon de la came.
- **X** et **Y** seront des variables intervenant dan le calcul, ils sont définies par :

$$X = D - e$$

$$Y = d - \rho$$

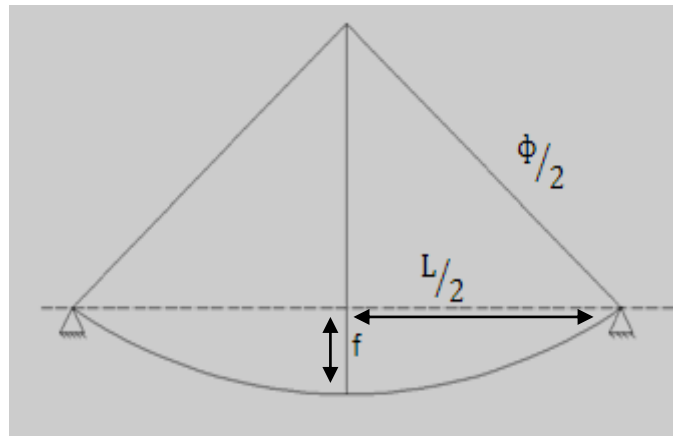
Etapas de calculs :

- Calcul des déflexions en fonction de la géométrie de la couronne définies précédemment.  $f = f(\phi)$
- Calcul des X et Y, à partir des valeurs des déflexions.
- Calcul des différents rayons de la came.

#### 4- Calcul des déflexions :

En imposant une déflexion aux tubes induisant une contrainte supérieur à la limite élastique du matériau, ces derniers gardent la même forme après, le retour élastique sera négligé dans ce qui suit en raison de l'intervalle de tolérance donné sur le rayon de la couronne.

En considérant le tube entrant dans le mécanisme de cintrage pyramidal comme étant posé sur deux appuis simples et subissant une force ponctuelle à mi-distance des appuis ; on peut schématiser le tout comme suit :



**Figure 17: Schéma tube en flexion**

Une simple relation géométrique permet d'obtenir une relation analytique liant la déflexion à imposer au tube pour obtenir le diamètre voulu :

$$\left(\Phi/2\right)^2 = \left(\Phi/2 - f\right)^2 + \left(L/2\right)^2$$

$$f = \Phi/2 - \sqrt{\left(\Phi/2\right)^2 - \left(L/2\right)^2}$$

La relation obtenue reste cependant incorrecte, l'hypothèse selon laquelle le tube vient se poser tangentiellement aux galets, la portée est ainsi différente pour chaque valeur de  $\phi$  considérée, une formule permet d'apporter une correction à la portée en fonction du  $\phi$ .

$$v = \frac{L}{1 + \frac{\Phi_i}{\Phi_g}}$$

Où  $\phi_g = 148 \text{ mm}$  est le diamètre du galet.

Dans un souci de précision, nous avons choisi d'utiliser un logiciel de D.A.O. pour calculer les déflexions et les portées respectives à chaque spire, les résultats sont groupés dans le tableau suivant :

<i>Diamètre <math>\phi</math></i>	<i>Portée <math>v</math></i>	<i>Déflexion <math>f</math></i>	<i>Longueur</i>
456,9	129,25	11,87	1435,4
437,86	127,96	12,27	1375,6
418,82	126,62	12,7	1315,76
399,78	125,18	13,16	1255,95
380,74	123,65	13,66	1196,13
361,7	121,99	14,2	1136,31
342,66	120,21	14,78	1076,5
323,62	118,29	15,41	1016,68
304,58	116,2	16,11	956,86
285,54	113,94	16,87	897,05
266,5	111,46	17,72	837,23

**Tableau 6: Résultats du logiciel de DAO pour le calcul des déflexions et des portées**

## 5- Etude géométrique :

Le but de cette section est de définir les caractéristiques géométriques de la came. Le mécanisme à barres sert à transmettre au galet fou la cinématique définie par la came. Pour mener à bien ce calcul, nous avons précédemment défini l'ensemble des déflexions à imposer au tube pour obtenir la géométrie de la couronne voulue. L'étape qui suit consistera à définir l'ensemble de positions du galet fou qui seront définies par la variable X ; ainsi que les positions du point de contact entre la came et la contre-came définies à leur tour par la variable Y.

Le raisonnement portera sur 'e', l'entraxe entre l'axe du galet fou et la base du triangle. Pour obtenir la déflexion f, il faudra que :

$$e = \phi_g + \phi_t - f$$

Cette entraxe correspond à une position X égal à :

$$X = D - e$$

Les variables X et Y sont liées par la relation géométrique suivante :

$$Y = \sqrt{[L_2^2 - (X - L_3)^2]} + L_1 + R_c$$

$$\rho = d - Y$$

Où  $R_c$  est le rayon de la contre came.

La connaissance du paramètre X permet de déterminer Y et par la suite le rayon de la came équivalent.

L'ensemble des résultats sont groupées dans le tableau suivant :

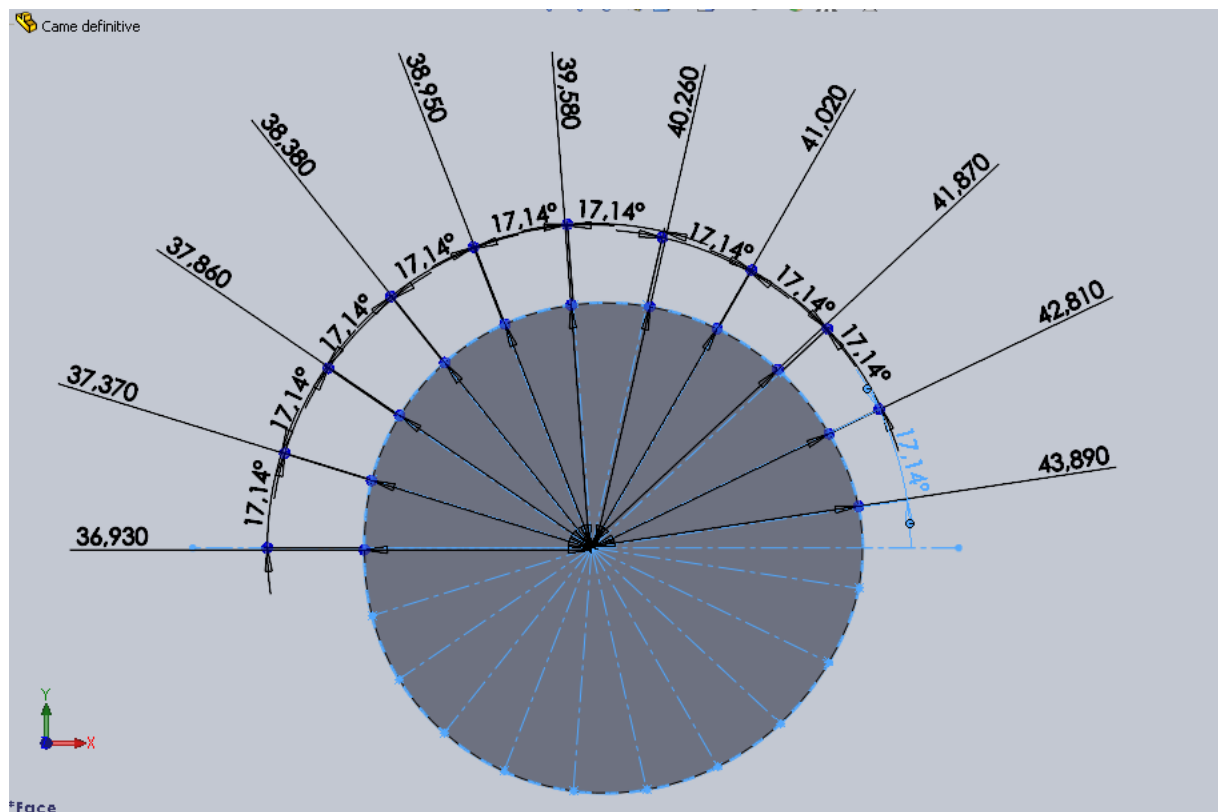
<i>Déflexion f</i>	<i>Entraxe e</i>	<i>Position X</i>	<i>Position Y</i>	<i>Rayon Came <math>\rho</math></i>
11,87	145,65	296,35	243,07	36,93
12,27	145,25	296,75	242,62	37,37
12,7	144,82	297,18	242,14	37,86
13,16	144,36	297,64	241,62	38,38
13,66	143,86	298,14	241,05	38,95
14,2	143,32	298,68	240,42	39,58
14,78	142,74	299,26	239,73	40,26
15,41	142,11	299,89	238,98	41,02
16,11	141,41	300,59	238,13	41,87
16,87	140,65	301,35	237,19	42,81
17,72	139,8	302,2	236,11	43,89

**Tableau 7: Caractéristiques géométriques de la came**

## 6- Conception de la came :

Dans la section précédente, nous avons pu dégager l'ensemble des valeurs nécessaires que doit prendre le rayon de la came pour obtenir la géométrie de la couronne voulue. L'exploitation de ces résultats donnera forme à notre came. Cette dernière devra permettre le cintrage de la couronne entière en effectuant un tour..

La came doit être symétrique par rapport à son grand diamètre, elle doit permettre d'obtenir au départ le plus grand diamètre puis celui qui vient après jusqu'au tout petit pour obtenir la première couche, puis refaire la même chose mais dans le sens inverse, du plus petit diamètre au plus grand. Pour sa conception, elle sera subdivisée en 21 secteurs dont chacun correspondra à une spire. A noter que le premier secteur produira la première spire et la dernière, aussi que le onzième et le douzième seront identiques car la dernière spire de la première couche et la première spire de la deuxième couche ont le même diamètre.



**Figure 18: Conception de la Came**



## CONCLUSION

Au terme de ce projet de fin d'études, une brève rétrospective permet de dresser le bilan du travail effectuée, avec ses difficultés et ses contraintes auxquelles il fallut faire face.

Avant de commencer à travailler sur le projet, il était impératif pour moi de connaître l'environnement dans lequel j'allais évaluer et de m'intégrer le plus rapidement possible avec le potentiel humain pour pouvoir accéder à sa collaboration, ses conseils et sa convivialité.

Ma mission consistait à faire l'étude, l'analyse et la conception d'une ligne de production pour les tubes Frigo. Pour mener à bien cette tâche, j'ai dû user de mes compétences et savoir acquis durant ma formation :

- L'analyse fonctionnelle dédiée à la conception dans un cadre innovant.
- Etude et proposition d'une solution pour l'automatisation du cycle de coupe.
- Analyse et application des théories de mécanismes.

L'étude et la réalisation de ce projet s'est limitée principalement dans les unités principales de la machine. La Shumag Frigo étant une ligne délivrant le produit fini demande encore une amélioration au niveau de :

### ➤ **Etirage :**

Un meilleur gain en productivité pourrait être atteint si le démarrage est facilité par le pincement automatique de la pointe.

On pourrait aussi mener une étude pour accroître la sécurité du personnel en limitant son intervention au niveau de l'ensemble de l'étirage.

### ➤ **Contrôle de qualité :**

L'instauration d'un système de suivi de la qualité, la réception du produit fini doit se faire sur une table en deux parties : Produit fini conforme et produit défectueux.

L'installation d'une unité de détection de défauts de paroi du produit par courant Foucault.

Finalement, j'espère que ce rapport perdura et qu'il évitera tout travail inutile aux étudiants et à tous ceux qui s'y réfèrent.