

Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention de la
Licence Sciences et Techniques
Spécialité : Conception et Analyse Mécanique

Etude de conception d'une rouleuse

Cema-bois de l'Atlas

Meknès

Présenté par :

- Mohamed TAIBI ALAOUI
- Ahmed NAKHLI

Encadrés par :

- Pr. R. BOUJMAL
- Marouane EL BASRI

Soutenu le 11/06/2019 devant le jury :

- Pr. R. BOUJMAL
- Pr. O. BOURIHANE

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, nous adressons nos remerciements à notre professeur, Mr BOJMAL pour la qualité de son encadrement, ses précieux conseils, ses fructueuses orientations et son soutien tout au long du déroulement de ce stage.

Nous tenons à remercier vivement notre maître de stage, Mr Marouane BASRI, responsable de Département de Maintenance au sein de Cema-bois de L'Atlas, pour son accueil, le temps passé ensemble et le partage de son expertise au quotidien. Grâce aussi à sa confiance nous avons pu nous accomplir totalement dans notre mission. Il fut d'une aide précieuse dans les moments les plus délicats.

Nous remercions également toute l'équipe pour leur accueil, leur esprit d'équipe et en particulier Mr Mohammed CHAIBI, qui nous a beaucoup aidé ... Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont conseillé et relu lors de la rédaction de ce rapport de stage : nos familles, nos camarades de promotion.

Introduction :

Nous avons effectué un stage de deux mois à la société de Cema de bois de l'Atlas de Meknès.

Les principaux objectifs de ce stage se résument comme suit :

- Découvrir le monde de travail
- Evaluer les compétences théoriques acquises durant toute ma formation universitaire
- Mettre en pratique les acquis théoriques
- Développer le savoir-faire et le savoir être
- Développer ses connaissances professionnelles.
- Renforcer sa capacité d'analyse et d'organisation.
- Améliorer la qualité de ses travaux.
- Saisir la valeur du travail en équipe, le respect de la hiérarchie et des lois internes de la société.
- Développer ses capacités de communication.
- Etc....

Pour vous approcher mieux à différentes étapes que nous avons suivies durant toute la période de stage, nous vous proposons ce rapport de stage qui est présenté sous forme de trois parties principales :

- Entreprise d'accueil et son contexte.
- Description de processus de production.
- Présentation de projet (Rouleuse).
- Etude mécanique (Calculs et conception).

SOMMAIRE

Chapitre I : Entreprise d'accueil et son contexte	6
---	---

1Présentations de la CEMA BOIS DE L'ATLAS.....	6
1.1Produits/services.....	6
1.2Historique.....	6
1.3Sites de production.....	7
1.4Activités :.....	8
1.5Organigramme de CEMA BOIS d'ATLAS de BOIS MEKNES.....	8
Chapitre II : Description de processus de production.....	9
1Processus de fabrication des panneaux de particules.....	9
1.1Définitions.....	9
1.2Chaine fabrication des panneaux de particules à la Cema bois de L'ATLAS.....	10
Chapitre III : Présentation de projet (Rouleuse).....	16
1Problématique, objectifs et originalités de notre travail :.....	16
1.1Introduction :.....	16
1.2Constat et motivations du travail :.....	16
2Proposition et choix :.....	18
2.1Cintrage sur machines à rouler :.....	19
2.1.1Principe et généralités du cintrage des tôles sur machines :.....	19
2.1.2Les machines de cintrage :.....	19
2.2Critères de choix :.....	20
3Schéma de principe :.....	21
4Analyse fonctionnelle :.....	21
4.1Enoncé du besoin :.....	21
4.2Analyse du besoin :.....	22
5Extrait de cahier des charges :.....	23
6Etude des fonctions génériques du système (rouleuse) :.....	24
6.1Schéma du système :.....	24
6.2Chaine d'information :.....	24
6.2.1Définition :.....	24
6.3La chaine d'énergie :.....	25
6.3.1Définition :.....	25
Chapitre IV : Etude mécanique (Calculs et conception).....	27
1ETUDE THEORIQUE :.....	27
1.1Analyse des forces :.....	27
1.2Conditions des forces :.....	28
1.3Calcul de la puissance d'entraînement :.....	29
1.4Calcul :.....	30
2Les choix des pièces :.....	33
2.1Choix du moteur et du réducteur :.....	33

2.2Choix des rouleaux :	35
2.3Choix de roulement pour le guidage en rotation des rouleaux :	37
2.4Choix des vérins :	38
3Etude cinématique de la rouleuse :	41
4Conception :	43
4.1Conception 3D sur Catia :	43
4.2Dessin de définition de la rouleuse :	44
5Mode opératoire :	45
5.1Préparation :	45
5.2Pré-plier :	45
5.3Le roulage de la tôle pré-pliée :	47
5.4Le soudage :	47

Liste de figures :

Figure 1 : Image au sein de la chaine de production de cema-bois d'Atlas	16
Figure 2 : Tubes de distribution au sein de la chaine de production de cema-bois d'Atlas	17
Figure 3 : Configuration d'une rouleuse de type pyramidale	21
Figure 4: Distribution des contraintes	27
Figure 5 : Analyse des forces	28
Figure 6 : Réducteur à vis sans fin	34
Figure 7 : Réducteur à engrenages	34
Figure 8 : Réducteur épicycloïdal	34
Figure 9 : Roulement à rouleaux cylindriques	37
Figure 10 : Résistance au flambage de la tige	39
Figure 11 : Diagramme de la longueur de flambage en fonction de la charge de la tige	40
Figure 12: vérin hydraulique double effets	40
Figure 13 : Schéma cinématique 3D de la rouleuse sur OpenMeca	42
Figure 14 : Schéma cinématique 3D de la rouleuse sur OpenMeca après la simulation	42
Figure 15 : Conception 3D de la rouleuse sur catia	43
Figure 16 : Conception 3D de la rouleuse sur catia	43
Figure 17 : Dessin de définition de la rouleuse	44
Figure 18 : Tôle roulée sans pré-plier	45
Figure 19 : Tôle pré-pliée	46
Figure 20 : Tôle roulée avec pré-plier	47

Chapitre I : Entreprise d'accueil et son contexte

1 Présentations de la CEMA BOIS DE L'ATLAS

Premier producteur du contreplaqué en Afrique CEMA-BOIS de l'ATLAS est spécialisé dans la transformation du bois.

La société s'est vite forgée une renommée mondiale et s'est imposée sur le marché africain, grâce à la qualité des bois utilisés pour la transformation et au souci permanent de qualité et de conformité de ses produits aux normes internationales très strictes.

1.1 Produits/services

- Fabrication de panneaux de particules : lattés, stratifiés et lamifiés.
- Fabrication du contreplaqué.

1.2 Historique

1949 : création de la CEMA, lancement de la première ligne de production de contreplaqué, et partenariat avec le Gabon, premier producteur mondial d'okoumé (une espèce d'arbres de la famille des Burséracées).

Années 70 : fabrication des premiers panneaux de particules et panneaux stratifiés. Production de lamifiés.

Années 80 : Processus industriel certifié, notamment par la Lloyd en Grande-Bretagne, et la Komo en Hollande.

Années 90 : implantation à Owendo, au Gabon, d'une unité de déroulage.



1951 : création de la société les bois de l'Atlas

1972 : La société est vendue à un groupe marocain, et devient Société Maghrébine des Bois de l'Atlas.

1975 : Démarrage de l'unité du Lamifié "Marital Plast".

1976 : implantation d'une unité de panneaux de particules, opérationnelle en 1978.

1978 : Extension de Marital Plast par l'installation d'une unité de surfacage à cycle rapide (Stratifié).

1982 : Installation d'une deuxième unité de contreplaqués "CP2".



2000 : CEMA et Bois de l'Atlas fusionnent en une seule et même entité, qui devient Cema Bois de l'Atlas.

1.3 Sites de production

Sidi Maârouf (Casablanca) : 157 000 m², dont 35 000 m² couverts.

Aïn Sebâa (Casablanca) 33 000 m², dont 11 000 m² couverts.

Meknès : 58 000 m², dont 26 000 m² couverts.

Cema Gabon : Pour être plus proche des lieux de production de la matière première (okoumé), CEMA-bois de l'Atlas a créé une unité industrielle de déroulage et séchage pour un montant de 100 millions de dirhams, au cœur de la forêt gabonaise.

Sites de Production			
Site Sidi Maârouf	Site Aïn Sebâa	Site Meknès	Site Cema Gabon
Siège Social Route de Bouskoura BP 13 203 Casablanca Maroc	Bd Moulay Slimane Oukacha Casablanca Maroc	Route d'Agourai, Km 2,3 BP 226 Meknès Maroc	BP 2258 Owendo Gabon
Tél : 022 95 98 00 Fax : 022 33 51 32	Tél : 022 35 81 21 Fax : 022 35 48 59	Tél : 055 53 92 / 31 Fax : 055 53 87 45	Tél : (241) 70 59 29 / 30 Fax : (241) 70 59 30
<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication Contreplaqués • Fabrication Panneaux Particules • Fabrication Stratifiés : -Stratibois -Stratidécors • Fabrication Lamifiés (HPL) • Fabrication Panneaux Prépeint 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication Contreplaqués 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication Panneaux Particules • Fabrication Stratidécors 	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication de placage • Unité de déroulage

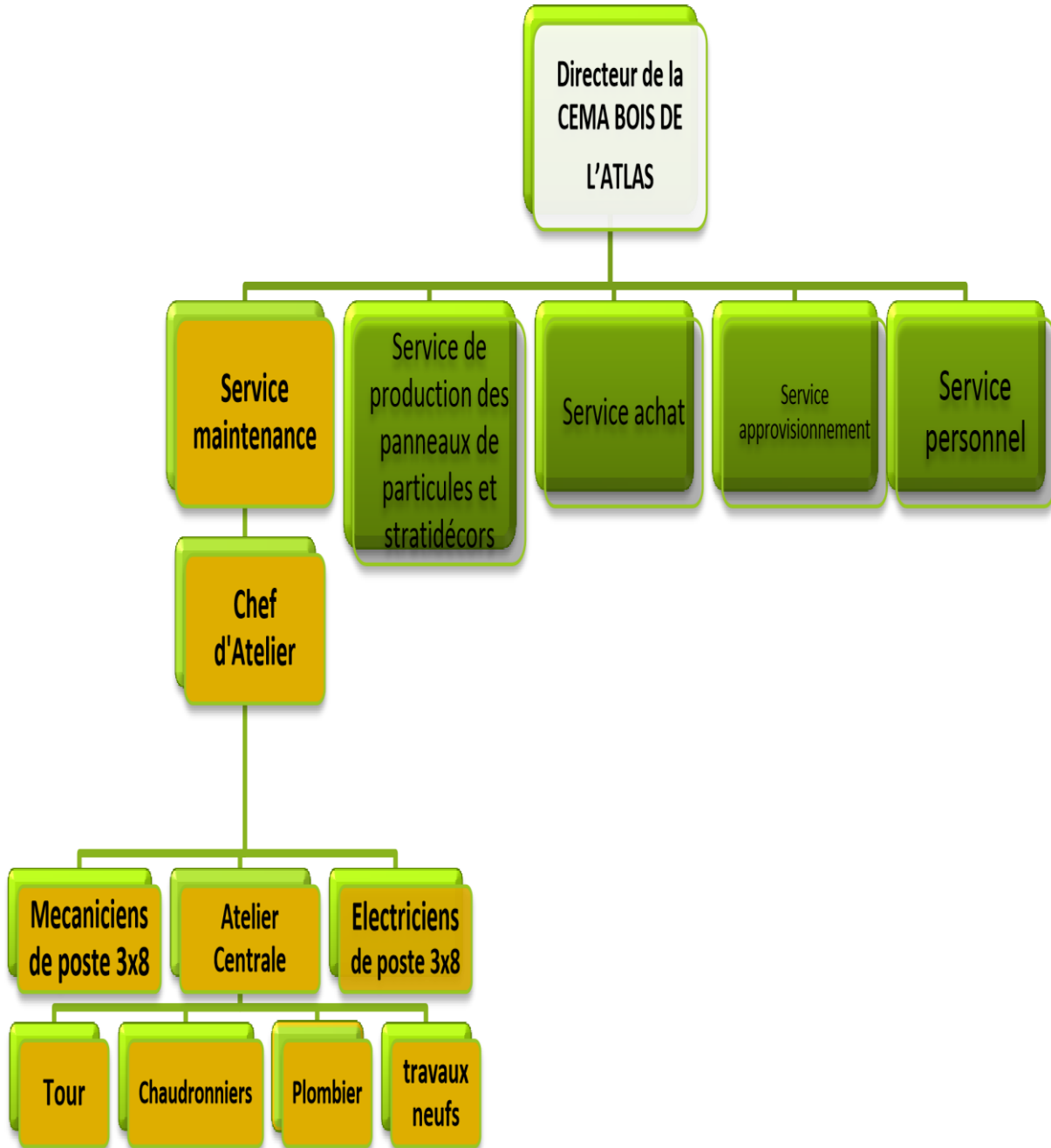
La CEMA BOIS DE L'ATLAS de Meknès se situe à la route d'Agourai, elle s'étale sur une superficie de 58 000 m² dont 26 000 m² est couverte.

1.4 Activités :

- Fabrication des panneaux de particules.
- Fabrication des stratidécors.

1.5

1.6 Organigramme de CEMA BOIS d'ATLAS de BOIS MEKNES



Chapitre II : Description de processus de production

1 Processus de fabrication des panneaux de particules

1.1 Définitions

Un panneau de particules est un matériau en forme de plaque. Fabriqué au moyen de particules de bois et/ou d'autres matériaux lignocellulosiques, de dimensions données, dont l'agglomération est réalisée par collage et pressage

On trouve trois types des panneaux de particules :

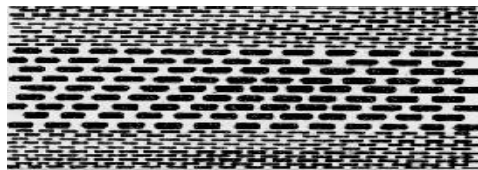
-Des panneaux " monocouche" : on trouve des particules grosses et des particules fines en proportion égale dans toute l'épaisseur du panneau.



Des panneaux " monocouche"

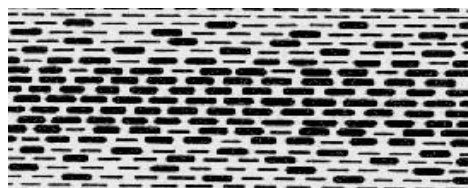
-Des panneaux "trois -couches" : les particules les plus grosses se trouvent dans la couche médiane tandis que des particules fines forment les deux couches externes des panneaux.

C'est le type des panneaux de particules qu'on produit à la Cema bois de l'Atlas de Meknès.



Des panneaux "trois -couches"

-Des panneaux " multicouches" : les dimensions des particules varient de façon continue depuis les plus grosses dans la couche médiane jusqu'aux plus fines aux faces du panneau.

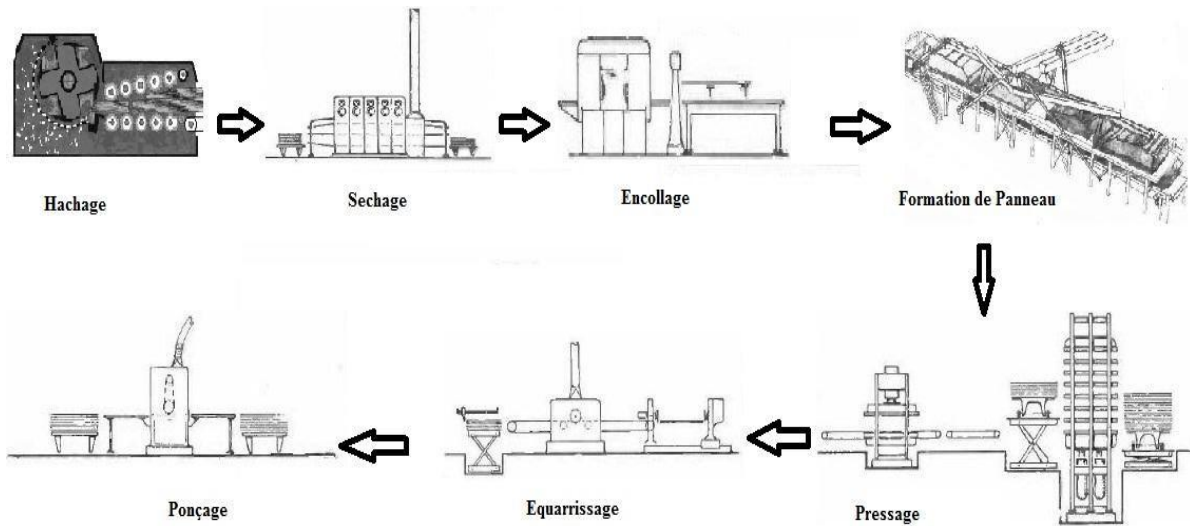


Des panneaux " multicouches "

1.2 Chaîne fabrication des panneaux de particules à la Cema bois de L'ATLAS

Le panneau de particules est obtenu par pression à chaud d'un mélange de copeaux de bois et de colle. Les copeaux sont obtenus par fragmentation de bois vert puis séchage et tamisage. L'encollage et le pressage permettent d'obtenir les panneaux de particules.

Le procédé de fabrication peut être schématisé de la façon suivante :



Etape 1 : Le Hachage du bois.

La première étape de fabrication des panneaux de particules consiste à transformer le bois issu des forêts principalement de l'ouest du Maroc où l'eucalyptus est disponible à des quantités très importantes. Le hachoir est la machine qui sert à découper le bois qui répond à des normes aussi bien du côté dimensionnelle (à savoir le diamètre, la longueur, ...), qu'au niveau des caractéristiques physiques du bois (à savoir le type d'eucalyptus, le taux d'humidité, ...). Le bois haché en morceaux est stocké dans un silo de stockage.



Eucalyptus brut



Hachoir



Bois haché

Etape 2 : Le Déchiquetage du bois.

Cette étape est très importante lors de la fabrication des panneaux de particules, car elle agit directement sur la qualité du produit final. Cette opération de déchiquetage comporte deux machines déchiqueteuses produisant des particules de bois sous une forme appelée « copeaux ».



Bois haché



Déchiqueteuse



Bois déchiqueté

Etape 3 : Le Séchage des particules de bois

Les particules de bois passent ensuite dans un séchoir à tambour rotatif à une température bien déterminée, pour que les particules de bois disposent d'un certain taux d'humidité conforme à la norme, avant d'être tamisé à l'aide d'un tamis qui sépare entre la poussière et les copeaux.



Bois déchiqueté



Séchoir



Tamis



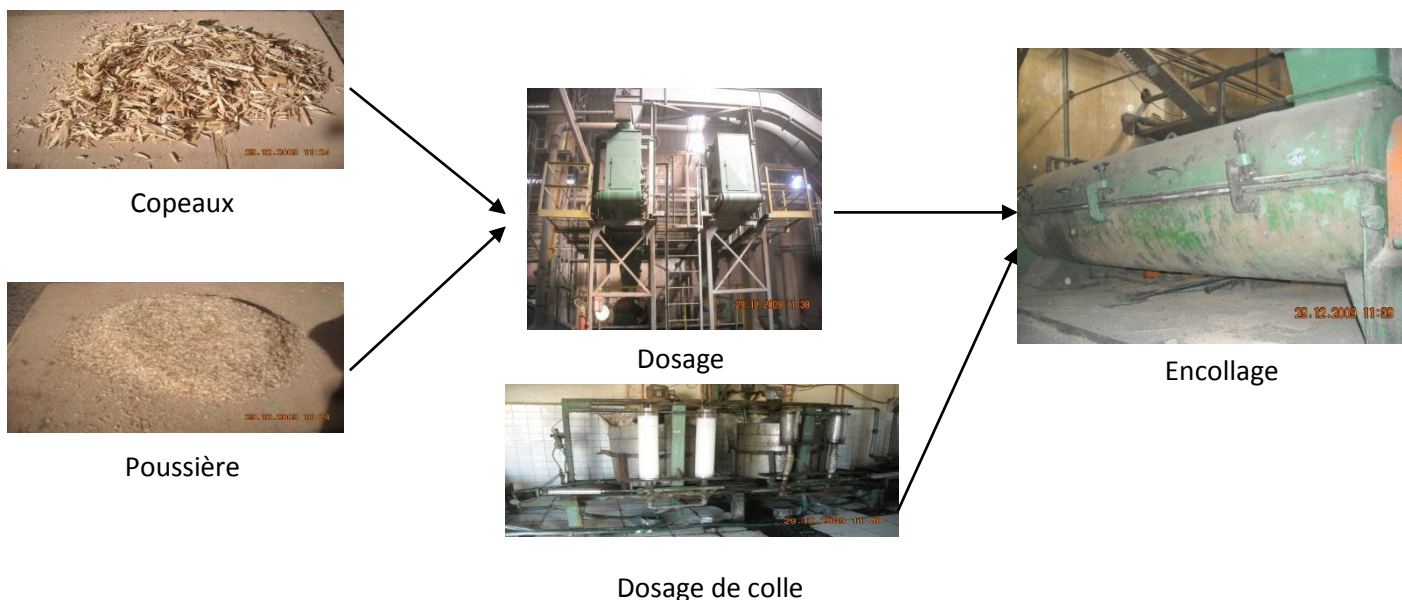
Copeaux



Poussière

Etape 4 : Le Dosage de la matière.

La séparation de la matière en copeaux et poussière est effectuée afin de préparer pour chaque type de matière son mélange de colle spécifique. D'une part on fait le dosage de la poussière ainsi que des copeaux, et d'autre part on prépare le mélange collant contenant des additifs pour chaque type de matière avant d'effectuer l'opération d'encollage à l'aide des encolleuses qui consistent à mêler les particules de bois avec le mélange de colle.



Etape 5 : La formation du gâteau.

La station de conformation du gâteau sert à faire une répartition de la matière d'une façon à ce que les copeaux soit misent entre deux couches de poussière pour obtenir une distribution appelée gâteau.



Station de conformation



Gâteau

Etape 6 : L'opération de Pressage.

C'est à cette étape où sont formés les panneaux de particules. Les paramètres de pressage à savoir la pression, la température, et le temps de cuisson sont déterminés en fonction de l'épaisseur produite qui doit être conforme à la norme, avant d'être découpé au bord afin d'avoir une forme rectangulaire au panneau.



Gâteau



Presse



Etoile de refroidissement



Panneaux de particules
Brutes

Etape 7 : Le Ponçage.

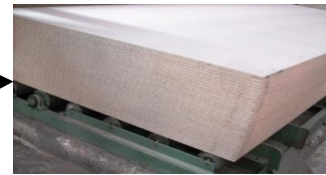
Le ponçage des panneaux de particules s'effectue à l'aide d'une ponceuse utilisant des bandes abrasives qui servent à éliminer les irrégularités de surface pour éviter les défauts de forme et d'uniformiser l'épaisseur finale. Selon la taille des grains des bandes abrasives on obtient l'état de surface désirée afin qu'on puisse utiliser les panneaux dans différent mode d'utilisation. Les panneaux de particules sont destinés principalement à la stratification.



Panneaux de particules



Ponceuse



Panneaux de particules

STRATIFICATION

Chapitre III : Présentation de projet (Rouleuse)

1 Problématique, objectifs et originalités de notre travail :

1.1 Introduction :

Dans un premier temps, on souligne les enjeux industriels et économiques associés aux domaines de l'ingénierie de notre produit et du processus de fabrication d'une rouleuse qui constitue l'objectif de notre travail.

Le roulage de tôle (cintrage de tôle) est une technique de transformation d'une surface plane en surface cylindrique ou conique fermée (roulage fermé : virole) ou roulage ouvert. Le cintrage est obtenu par un effort de flexion provoqué soit par pression ou par choc.

1.2 Constat et motivations du travail :

La chaîne de fabrication automatique de cette société se compose de plusieurs processus qui contiennent généralement des systèmes de transports (tubes). Ces derniers constituent un élément primordial dans les phases de production dans laquelle se considèrent comme un chemin de distribution.



Figure 1 : Image au sein de la chaîne de production de cema-bois d'Atlas

En effet, ces tubes s'usent et ils ont une durée de vie moyenne qui varie entre 8 à 12 mois. Ceci présente pour l'entreprise un coût colossal et par conséquent, une charge de plus pour les remplacer par un fournisseur externe. Tout cela engendre une perte du temps, d'optimisation et des coûts supplémentaires.



Figure 2 : Tubes de distribution au sein de la chaîne de production de cema-bois d'Atlas

Pour faire face aux constats remarqués précédemment, l'entreprise nous a confié la conception d'un projet d'étude pour la réalisation d'une rouleuse pour la fabrication des tubes.

Les objectifs fixés derrière cette alternative sont :

- L'indépendance au niveau d'approvisionnement et de remplacement des tubes usés.

- Réduire le temps de remplacement de ces derniers en cas de panne (la production des tubes est interne).
- Maximiser le gain et minimiser les coûts d'interventions au niveau des tubes.
- Avoir une bonne efficacité dans la chaîne de fabrication.

C'est pour cette raison que nos travaux se recentrent sur une problématique de « conception pour la fabrication », cherchant à répondre à une question primordiale :

Comment proposer un prototype d'une cintreuse, respectant les règles fonctionnelles et de fabrication ?

2 Proposition et choix :

Le **roulage** est une technique de déformation du matériau d'une pièce pour lui donner une forme appropriée. Le roulage est obtenu par un effort de flexion provoqué soit par pression ou par choc.

Par pression :

- rouleuse, cintreuse, (machine à rouler)
- presse plieuse
- plieuse universelle

Par choc :

- marteaux
- maillets
- dégorgeoir

Développement d'une pièce cintrée ou roulée :

Le roulage (ou cintrage) impose au métal des déformations des fibres de sens inverses :

- Les fibres extérieures sont allongées alors que les fibres intérieures sont comprimées ou raccourcies.
- Les déformations plastiques augmentent lorsque l'épaisseur de la tôle augmente ou que le rayon de cintrage est minime ou réduit.

2.1 Cintrage sur machines à rouler :

2.1.1 Principe et généralités du cintrage des tôles sur machines :

La tôle est animée d'un mouvement de translation par deux rouleaux commandés mécaniquement et elle est soumise à un effort continu de flexion exercé par 1 ou 2 rouleaux

cintreurs.

Selon la disposition des rouleaux, on distingue trois types de machines : **type pyramidal, planeur, croqueur.**

Pour extraire les corps cintrés, complètement fermés, le rouleau supérieur peut être dégagé de l'un de ses paliers et pivoter dans un plan vertical ou horizontal. On dit que le rouleau est amovible.

Pour tenir compte de l'élasticité résiduelle, on estime généralement que le diamètre mini de cintrage est égal au diamètre du rouleau supérieur (fonction de la nature du matériau et de la longueur à cintrer).

2.1.2 Les machines de cintrage :

Le cintrage(roulage) peut s'obtenir sur :

- Les machines à rouleau de type pyramidal.
- Les machines à rouleau de type planeur.
- Les machines à rouleau de type croqueur.
- La presse plieuse.
- La plieuse universelle.

La rouleuse du type « pyramidal » :

La rouleuse pyramidale est composée de 3 rouleaux disposés en triangle isocèle ; un rouleau cintreur et 2 rouleaux entraîneurs. Elle est munie d'un mécanisme d'entraînement.

Fonctionnement : Les extrémités de la tôle ne subissent pas les effets du rouleau cintreur, il faut donc amorcer les extrémités pour avoir un cintrage total. Pour les tôles minces, l'amorçage se fait sur le rouleau cintreur ou sur un tas. Pour les tôles épaisses, l'amorçage se fait à la presse, il existe des machines à rouleaux verticaux : suppression du problème de soutien des tôles épaisses.

La rouleuse du type « planeur »

La rouleuse de type planeur se compose de 2 rouleaux d'entraînement situé dans un plan vertical, l'un fixe, l'autre mobile, l'un réglable en fonction de la tôle. Le cylindre cintreur se déplace obliquement.

Fonctionnement : Les deux rouleaux entraîneurs entraînent la tôle qui subit l'action du rouleau cintré. La disposition des rouleaux entraîneurs permet de dégauchissage des tôles minces (planeur). Le principal avantage de ces machines est qu'elles permettent le croquage des extrémités (amorçage), mais on doit retourner la tôle pour amorcer les deux extrémités puis cintrage.

La rouleuse du type « croqueur »

La tôle, encastrée entre les rouleaux entraîneurs est maintenue en position sans exiger un serrage aussi énergétique que pour le type planeur. La cintréuse permet ainsi une capacité de croquage égale à la capacité de cintrage.

Mode opératoire : deux méthodes :

- Soit procéder comme avec machine type planeur.
- Soit réaliser le deuxième croquage simultanément au roulage.

Cintrage à la presse

Utilisé pour le croquage et pour la réalisation de cintrage de formes et de rayons difficilement réalisables sur rouleuses

Avec matrice et poinçon de forme pour travaux de série.

Avec outillage classique de pliage sur presse plieuse : par déplacement successifs et pliage suivant génératrices. Cintrage des tôles épaisses.

Avec élastomère : caoutchouc.

Cintrage à la plieuse universelle

Diamètre critique de cintrage : Diamètre à partir duquel, pour une épaisseur donnée, la virole a besoin d'être soutenue pendant le cintrage pour éviter l'action du poids de la tôle.

2.2 Critères du choix :

D'après l'étude des besoins de la société on a trouvé que la rouleuse de type pyramidal est le choix idéal pour satisfaire les exigences de notre constat, dans lequel ce type de rouleuse est de principe simple et de cout de réalisation optimale.

3 Schéma de principe :

La figure montre la position des rouleaux sur une rouleuse de type pyramidal. Les diamètres des rouleaux inférieurs sont généralement plus petits de 10 % à 50 % que celui du rouleau supérieur.

L'entraînement est assuré par les rouleaux inférieurs qui sont immobiles en translation.

Le rouleau supérieur tourne librement et mobile en translation verticale ce qui permet de rouler la tôle au diamètre désiré (rouleau cintreur).

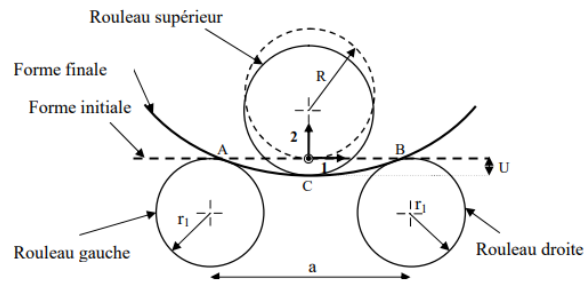


Figure 3 : Configuration d'une rouleuse de type pyramidale.

4 Analyse fonctionnelle :

L'analyse fonctionnelle externe consiste à analyser le besoin auquel devra répondre le produit, les fonctions de service qu'il devra remplir, les contraintes auxquelles il sera soumis. C'est la base de l'élaboration du Cahier des Charges Fonctionnel.

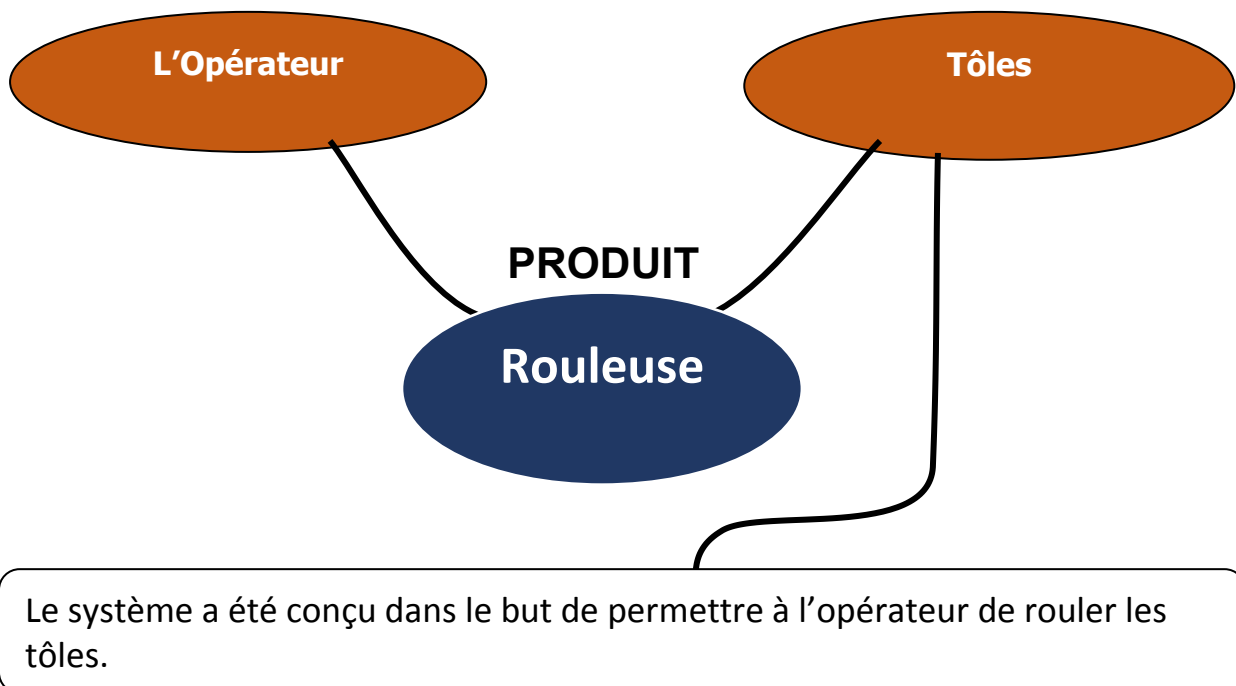
4.1 Enoncé du besoin :

Besoin : Tubes de distribution (Tôles roulée).

Produit : Rouleuse.

A qui rend service le produit ?

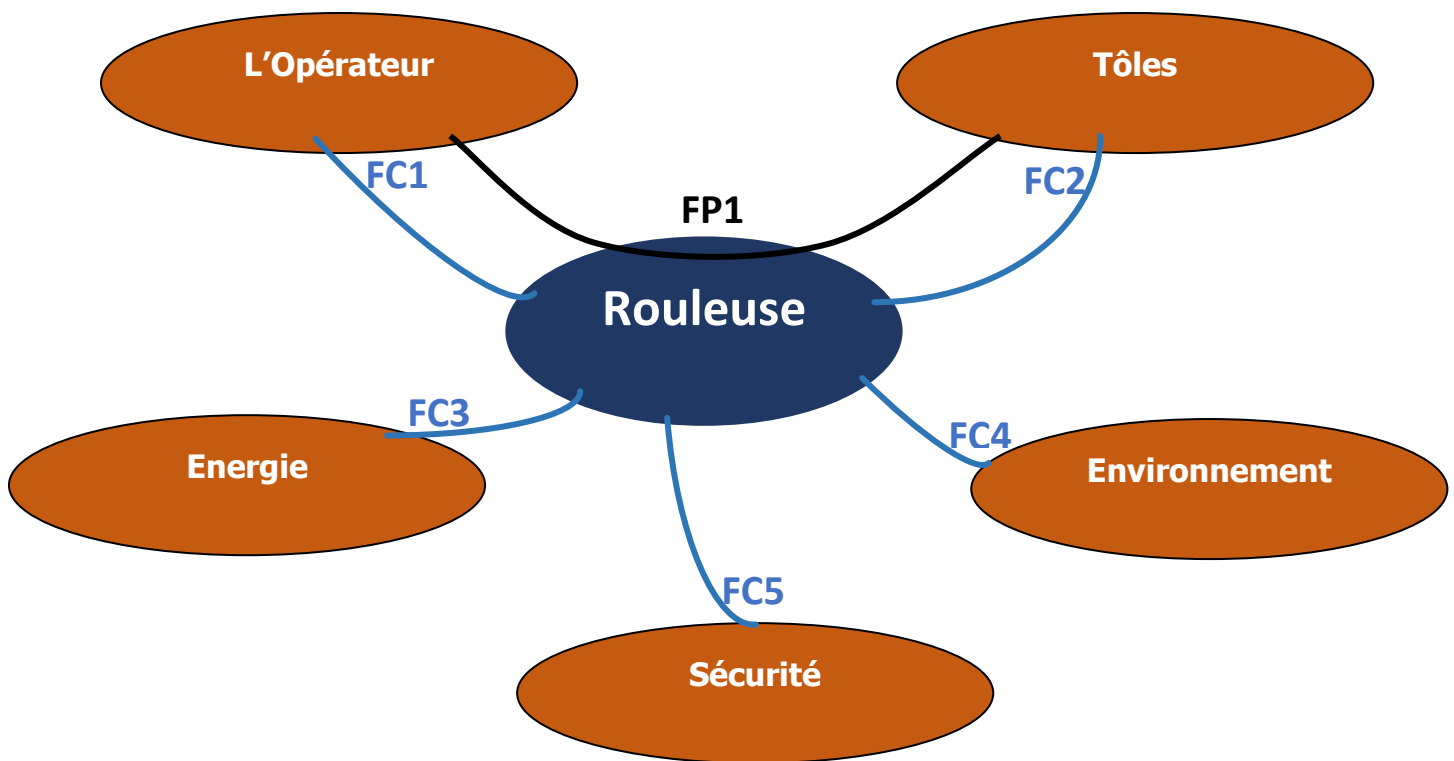
Sur quoi agit le système ?



Dans quel but le système existe-il ?

4.2 Analyse du besoin :

Utilisation d'un diagramme des interactions : "pieuvre"



Fonctions principales :

FP1 : permettre à l'opérateur de rouler les tôles.

Fonctions contraintes :

FC1 : être facile à utiliser par l'opérateur.

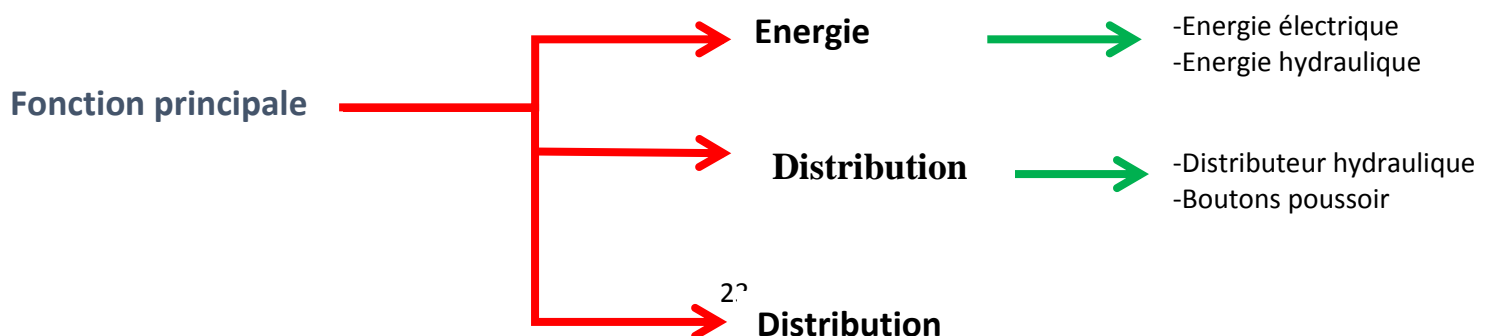
FC2 : avoir des dimensions compatibles avec les tôles.

FC3 : consommer de l'énergie.

FC4 : respecter l'environnement.

FC5 : ne mettre pas l'opérateur en danger.

5 Extrait de cahier des charges :



Transmission  -Pignon
-Chaîne

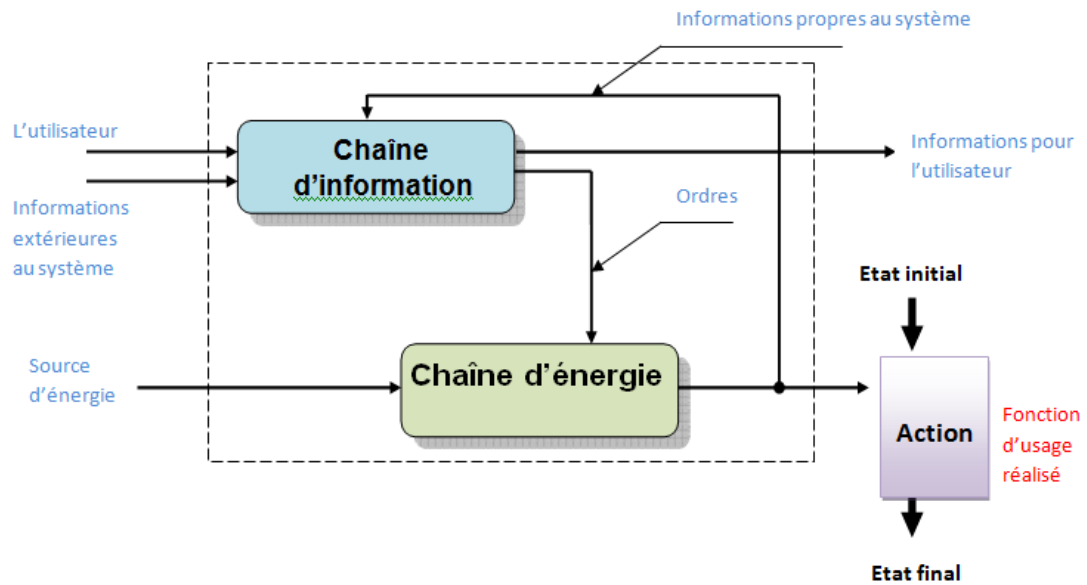
FC	Fonctions Techniques	Solutions
FC1	FT1 : l'opérateur doit être capable d'utiliser la rouleuse.	Formation.
FC2	FT1 : la longueur de la tôle doit adaptable avec la rouleuse. FT2 : les tôles doivent résister le frottement produise avec les rouleaux.	L < 2m.
FC3	FT1 : alimentation du moteur. FT2 : alimentation le vérin FT4 : distribution de l'énergie.	Réseau électrique. Energie hydraulique (pompe). Bouton poussoir, distributeur.
FC4	FT1 : la rouleuse ne doit pas dégager un bruit insupportable. FT2 : la rouleuse ne doit pas contenir des effets négatifs sur l'environnement.	Bon choix de matière Maintenance
FC5	FT1 : danger d'un contact direct. FT2 : danger de l'ouverture du cratère lorsque la rouleuse est en marche.	Carter Pupitre de commande. Contact de fin de course. Les signaux de fonctionnement (lampes).

C : contrainte.

T : technique.

6 Etude des fonctions génériques du système (rouleuse) :

6.1 Schéma du système :



6.2 Chaîne d'information :

6.2.1 Définition : *c'est la partie du système automatisé qui capte l'information et qui la traite. On peut découper cette chaîne en plusieurs blocs fonctionnels.*

Acquérir : Fonction qui permet de prélever des informations visuellement ou à l'aide d'un détecteur.

Traiter : C'est la **partie commande** composée d'un automate, microcontrôleur ou d'un circuit électrique.

Communiquer : Cette fonction assure l'**interface** l'utilisateur et/ou d'autres systèmes.

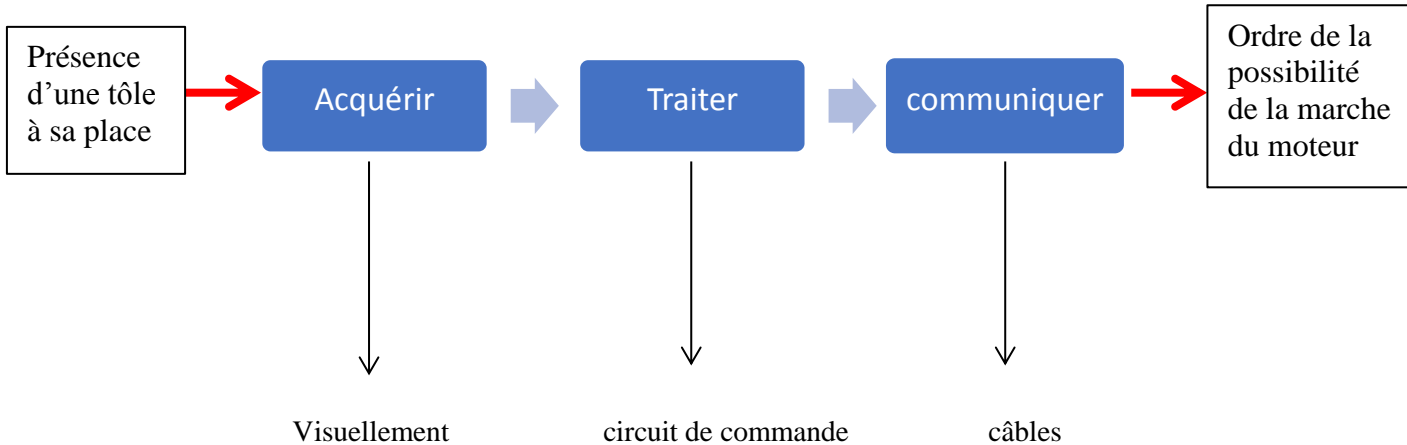
Transmettre : Cette fonction assure l'**interface** avec l'environnement de la **partie commande**.

L'**opérateur** met la tôle à sa place dans la rouleuse (**consigne de l'utilisateur**).

La chaîne d'information, composée de :

- L'opérateur assure la mise en place de la tôle visuellement.
- Circuit électrique traite l'information et il la transforme à un ordre.
- Des câbles qui transmettent l'ordre à la chaîne d'énergie.

Chaîne d'information :



6.3 Chaîne d'énergie :

6.3.1 Définition : dans un système automatisé, on appelle une chaîne d'énergie l'ensemble des procédés qui vont réaliser une action.

On peut découper cette chaîne en plusieurs **blocs fonctionnels**.

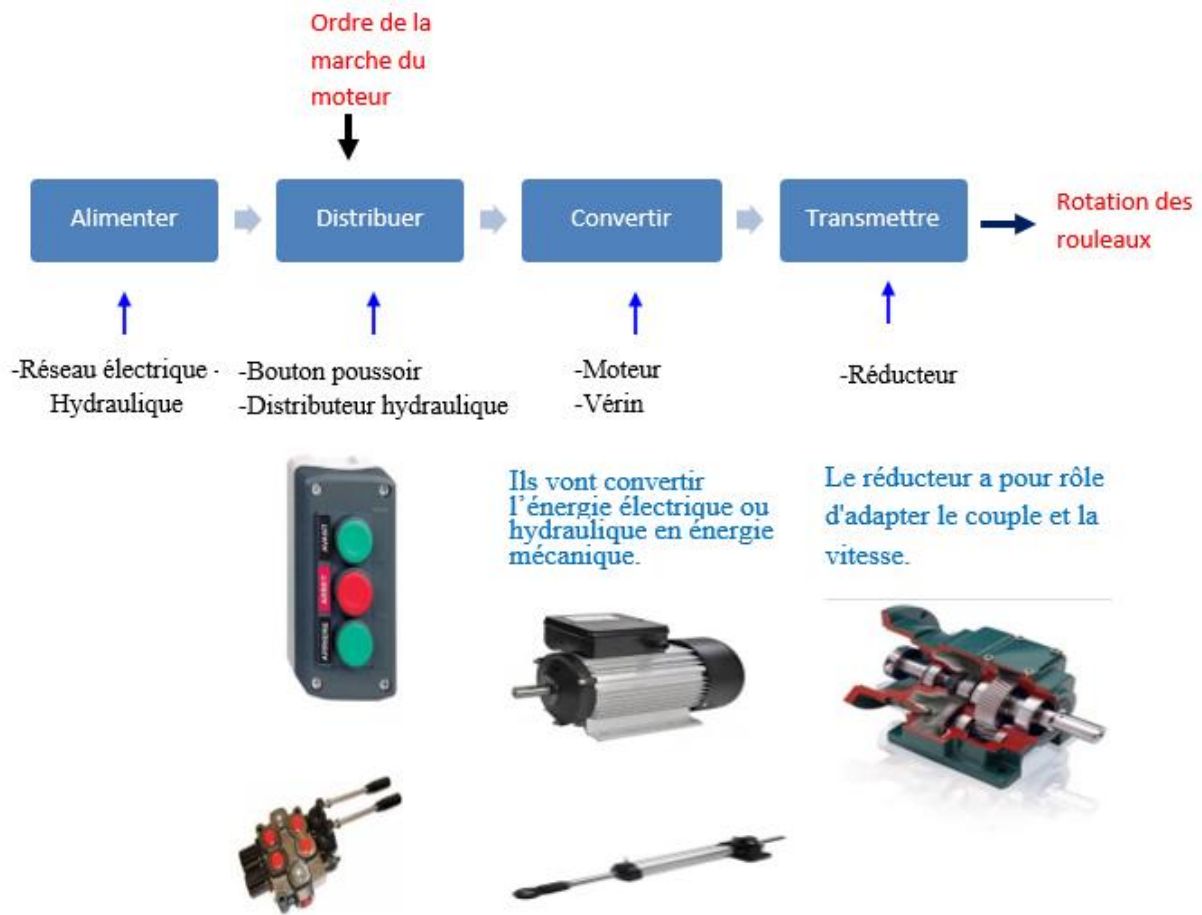
Alimenter : Mise en forme de l'énergie externe en énergie compatible pour créer une action.

Distribuer : Distribution de l'énergie à l'actionneur réalisée par un distributeur ou des boutons.

Convertir : L'organe de conversion d'énergie appelé actionneur peut être un vérin, un moteur...

Transmettre : Cette fonction est remplie par l'ensemble des organes mécaniques de transmission de mouvement et d'effort : engrenages, courroies, accouplement, embrayage....

Chaine d'énergie :



Chapitre IV : Etude mécanique (Calculs et conception)

1 ETUDE THEORIQUE :

1.1 Analyse des forces :

Le moment de flexion maximale nécessaire pour rouler la tôle :

Le roulage est obtenu par un effort de flexion provoqué par pression appliquée par le rouleau supérieur.

Lorsque la rouleuse fonctionne, la tôle doit transformer de l'état plat à l'état cylindrique, à ce moment-là la contrainte du matériau atteint la limite d'élasticité.

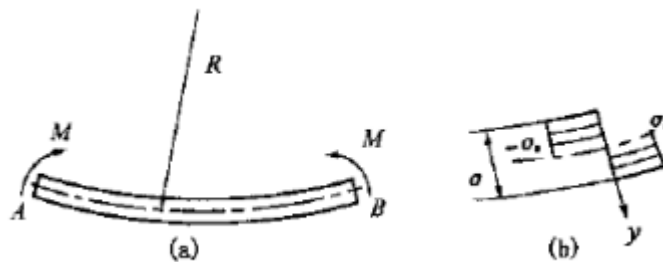


Figure 4: Distribution des contraintes.

R : rayon de cylindre prévu.

B : Largeur maximale de la tôle.

e : l'épaisseur maximale de la tôle.

σ_s : limite d'élasticité du matériau.

Le moment de flexion M dans la section de la tôle :

$$M = \int \sigma y dA = 2 \int_0^{\frac{e}{2}} \sigma_s B y dy = \sigma_s \frac{B e^2}{4} \text{ (KN.m)}$$

On considère la déformation de matériau, donc il faut ajouter un coefficient de renforcement donc :

$$M = K \sigma_s \frac{B e^2}{4}$$

K : le coefficient de renforcement, $K = 1.10 \sim 1.25$.

1.2 Conditions des forces :

Lorsque la tôle est en roulement, selon l'équilibre des forces, la force résistance des rouleaux inférieurs sur la tôle peut être obtenue par :

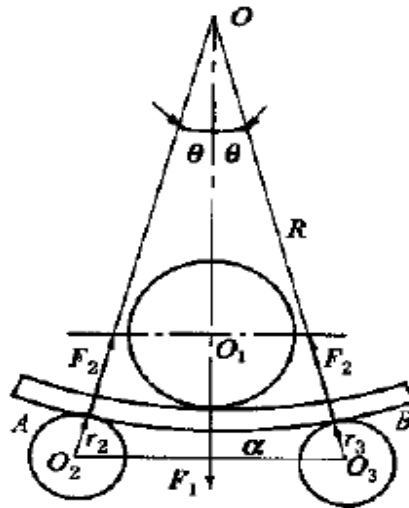


Figure 5 : Analyse des forces.

α : la distance entre les axes des rouleaux inférieurs .

d_{min} : Minimum diamètre de cylindre prévu.

d_2 : diamètre des rouleaux inférieurs.

d_1 : diamètre du rouleau supérieur.

$$\sin \theta = \frac{\alpha}{2\left(\frac{d_{min} + d_2}{2}\right)}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\alpha}{d_{min} + d_2}$$

On a :

$$M - \frac{\alpha}{2} F_2 = 0$$

$$M = \frac{\alpha}{2} F_2$$

D'une autre part :

$$\frac{\alpha}{2} = R \sin \theta$$

Alors :

$$F_2 = \frac{M}{R \sin \theta}$$

Considérant que l'épaisseur de la tôle e est bien inférieure au diamètre minimum du cylindre prévu, le rayon R est presque égal à $0,5d_{min}$, pour simplifier les calculs l'équation ci-dessus peut être écrite sous la forme :

$$F_2 = \frac{2M}{d_{min} \sin \theta}$$

Selon l'équilibre des forces, la force de pression F_1 produite par le rouleau supérieur et agissant sur la tôle est la suivante :

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ -F_1 + 2 \cos \theta F_2 &= 0 \\ F_1 &= 2 \cos \theta F_2 \end{aligned}$$

1.3 Calcul de la puissance d'entraînement :

Moment d'entraînement du rouleau inférieur :

Le rouleau inférieur de la rouleuse est le rouleau d'entraînement, et le couple d'entraînement sur le rouleau inférieur est utilisé pour vaincre le couple de déformation T_{n1} et le couple de frottement T_{n2} .

$$T_{n1} = \frac{Md_2}{2R} = \frac{Md_2}{d_{min}} \quad (kN.m)$$

Le couple de frottement inclure le couple de frottement de roulement entre le rouleau supérieur et inférieur et la tôle, et le couple de frottement de glissement entre l'arbre du rouleau et le manchon d'arbre, qui peut être calculé comme suit :

$$T_{n2} = f(F_1 + F_2) + u \left(F_1 \frac{D_1 d_1}{2 d_2} + F_2 D_2 \right) \quad (KN.m)$$

Dans la formule ci-dessus :

f - Coefficient de friction de roulement, prenez $f = 0,008$ m .

μ - Coefficient du frottement de glissement, prenez $\mu = 0.05-0.1$

$d_1 d_2$ - Diamètre du rouleau supérieur et inférieur (m).

D_1 - Diamètre d'arbre du rouleau supérieur (m).

D_2 - Diamètre d'arbre du rouleau inférieur (m).

$D_i = 0,5d_i$ ($i=1,2$).

Le couple T est égal à la somme du couple de déformation T_{n1} et le couple de frottement T_{n2}

$$T = T_{n1} + T_{n2}$$

Puissance nécessaire pour entraîner les rouleaux inférieurs :

$$P = \frac{2\pi Tn}{60\eta}$$

Dans la formule ci-dessus :

P - Puissance motivée (KW)

T - Moment de force entraîné (KN • m)

n_2 - Vitesse de rotation du rouleau inférieure (tr • min⁻¹), $n = 2V / d_2$ (V est la vitesse de rotation)

η – efficacité de transmission , $\eta = 0.65-0.8$

1.4 Calcul :

Les caractéristiques des tubes de distribution désirés :

- Le diamètre minimum de cylindre prévu (tôle roulée) : $d_{min} = 200 \text{ mm}$
- Largeur maximale de la tôle : $B_{max} = 2 \text{ m}$
- L'épaisseur maximale de la tôle : $e_{max} = 4 \text{ mm}$
- Limite d'élasticité de la tôle (acier de construction) : $\sigma_s = 245 \text{ MPA}$

Les diamètres des rouleaux inférieurs sont généralement de 10 % à 50 % plus petit que celui du rouleau supérieur :

- Le diamètre de rouleau supérieur : $d_1 = 150 \text{ mm}$
- Le diamètre des rouleaux inférieurs : $d_2 = 125 \text{ mm}$ ($d_1 > 20\%d_2$)
- Diamètre d'arbre du rouleau supérieur : $D_1 = 0,5d_1 = 75 \text{ mm}$
- Diamètre d'arbre du rouleau inférieur : $D_2 = 0,5d_2 = 62,5 \text{ mm}$
- La distance entre les axes rouleaux inférieurs : $\alpha = d_1 + 2e_{max} = 158 \text{ mm}$

Le coefficient de renforcement : $K = 1.25$.

Calcul de l'angle entre OO1 et OO2 :

On a :

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\alpha}{d_{min} + d_2}$$

Donc :

$$\theta = \sin^{-1} \frac{158}{200 + 125} = 29^\circ$$

Le moment de flexion maximale M :

On a :

$$M = K\sigma_s \frac{Be_{max}^2}{4}$$

Donc :

$$M = 1,25 \times 245 \times 10^6 \times \frac{2 \times (4 \times 10^{-3})^2}{4} = 2450 \text{ Pa.m}^3$$

Alors :

$$M = 2,45 \text{ KN.m}$$

La force résistance maximale F_2 :

On a :

$$F_2 = \frac{2M}{d_{min}\sin\theta}$$

Donc :

$$F_2 = \frac{2 \times 2,45}{200 \times 10^{-3} \times \sin(29)} = 50,53 \text{ KN}$$

La force de pression maximale F_1 :

On a :

$$F_1 = 2 \cos\theta F_2$$

Donc :

$$F_1 = 2 \times \cos(29) \times 50,53 = 88,39 \text{ KN}$$

Le couple de déformation T_{n1} :

On a :

$$T_{n1} = \frac{Md_2}{d_{min}}$$

Donc :

$$T_{n1} = \frac{2,45 \times 125 \times 10^{-3}}{200 \times 10^{-3}} = 1,5313 \text{ KN.m}$$

Le couple de frottement T_{n2} :

On a :

$$T_{n2} = f(F_1 + F_2) + u \left(F_1 \frac{D_1 d_1}{2 d_2} + F_2 D_2 \right) \quad (KN.m)$$

Donc :

$$\begin{aligned} T_{n2} &= 0,008 \times (88,39 + 50,53) + 0,035 \left(88,39 \times \frac{0,075}{2} \times \frac{150 \times 10^{-3}}{125 \times 10^{-3}} + 50,53 \times 0,0625 \right) \\ &= 1,3611 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

Le couple T est la somme du couple de déformation T_{n1} et le couple de frottement T_{n2} :

$$T = T_{n1} + T_{n2}$$

Donc :

$$T = 1,5313 + 1,7653 = 2,8924 \text{ KN.m}$$

Puissance entrainant le rouleau inférieur :

On a :

$$P = \frac{2\pi T n}{60\eta}$$

Afin de faciliter le contrôle de la tôle par l'opérateur, nous avons

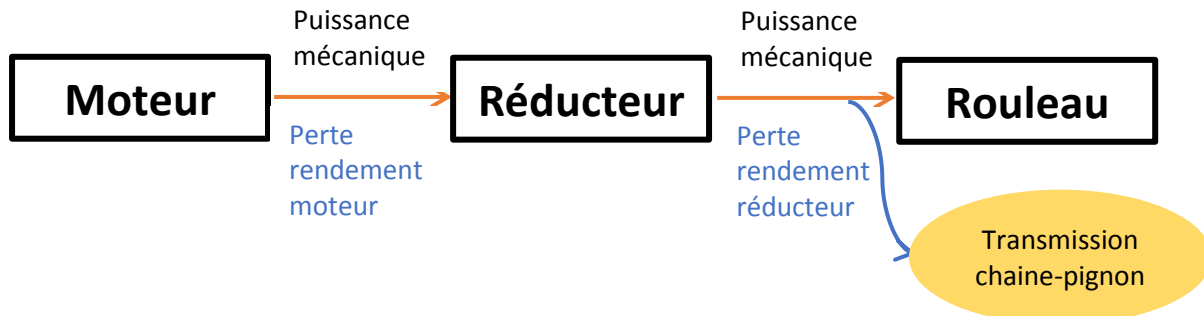
Alors :

$$P = \frac{2\pi \times 2,8924 \times 10^3 \times 10}{60 \times 0,8} = 3786.14 \text{ W}$$

Le couple d'entraînement du rouleau inférieur doit vaincre le couple T, alors la puissance nécessaire pour l'entraîner doit-être supérieur à P.

2 Les choix des composants :

2.1 Choix du moteur et du réducteur :



Nous connaissons que la puissance entraînant le rouleau inférieur : $P = 3786.14 \text{ W}$, cela nous exige l'exploitation d'un moteur de puissance utile supérieure de P .

- On va choisir deux moteurs asynchrones triphasés de puissance 4 kW pour entraîner les rouleaux inférieurs, avec deux réducteurs pour adapter la vitesse et le couple nécessaire.

Les réducteurs de vitesses (boîtes de vitesses) ont toujours été considérés comme des composants essentiels dans le monde de la mécanique, leur succès réside dans leur utilité. Les boîtes de vitesses sont des transmissions à engrenages mécaniques qui transportent le mouvement d'un moteur vers la machine à laquelle elles sont appliquées, réduisant la vitesse dans le but de l'adapter aux besoins du fonctionnement.

Types de réducteur de vitesse

Réducteurs à vis sans fin :

Le mécanisme est basé sur une roue à vis sans fin, qui ressemble beaucoup à un engrenage cylindrique "traditionnel", une spirale qui est poussée en avant par une roue. Il crée alors une action glissante, parfois un peu inefficace, mais hautement spécialisée.

Ce type d'engrenage est utilisé pour :

- Des applications à faible bruit, grâce à son silence, ce mécanisme est idéal dans les lieux publics, tels que les théâtres et les aéroports.
- Situations qui nécessitent un arrêt rapide. Très utile dans les ascenseurs espaces.
- Les espaces minimums tels que les transporteurs ou les équipements légers.
- Les charges de choc : elles absorbent facilement ce type de stress. Ils sont donc également utilisés dans les engins de terrassement et autres matériaux lourds



Figure 6 : Réducteur à vis sans fin.

Réducteurs à engrenages

C'est une technologie éprouvée pour les systèmes de grandes dimensions, souvent utilisés dans les applications industrielles à haute puissance pour les sessions de travail à cycle continu. Ils sont encore aujourd'hui le plus grand segment de marché, représentant plus de 30% de la demande mondiale

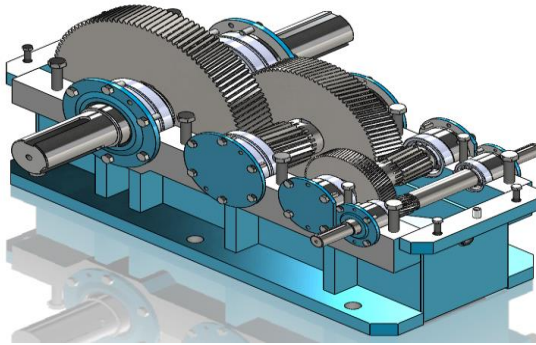


Figure 7 : Réducteur à engrenages.

Réducteurs épicycloïdaux

C'est une technologie innovatrice autant pour les installations industrielles que pour les machines automotrices, il a des dimensions, poids et coûts inférieurs aux technologies traditionnelles, Il a une grande capacité à transmettre le couple moteur, en particulier dans les applications à faible vitesse de rotation, et il a une forte flexibilité pour s'adapter aux besoins d'application les plus variés.



Figure 8 : Réducteur épicycloïdal.

- D'après les différents réducteurs présentés, on a trouvé que le réducteur à vis sans fin est le meilleur choix car ce type généralement utilisé pour des applications nécessitant une très grande démultiplication, ainsi son mécanisme est non réversible, et il est également plus silencieux, de plus, leur niveau de rendement est variable.

Transmission de mouvement entre le réducteur et le rouleau :

Une transmission est un dispositif mécanique qui permet de transmettre un mouvement d'une pièce à une autre, Considérant la distance entre le réducteur et l'arbre du rouleau on propose une liaison (pignon-chaîne).



2.2 Choix des rouleaux :

Pour que les rouleaux résistent en cisaillement subit des couples de frottement, il faut que les contraintes τ_i soient inférieures à la résistance élastique au cisaillement (R_{eg}) de matériau des rouleaux.

On a Le couple de frottement T_{n2} :

$$T_{n2} = 1,3611 \text{ KN.m}$$

τ_1 Contrainte de cisaillement appliquée sur le rouleau supérieur ($d_1 = 150 \text{ mm}$) :

$$J_1 = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{d_1}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{150 \times 10^{-3}}{2}\right)^4 = 4,97 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$\tau_1 = \frac{T_{n2} \times \frac{d_1}{2}}{J_1} = \frac{1,3611 \times 10^3 \times 75 \times 10^{-3}}{4,97 \times 10^{-5}} = 2.053973 \times 10^6 \text{ Pa}$$

τ_{1a} Contrainte de cisaillement appliquée sur l'arbre de rouleau supérieur ($D_1 = 75 \text{ mm}$) :

$$J_{1a} = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{D_1}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{75 \times 10^{-3}}{2}\right)^4 = 3,106 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$
$$\tau_{1a} = \frac{T_{n2} \times \frac{D_1}{2}}{J_{1a}} = \frac{1,3611 \times 10^3 \times \frac{75}{2} \times 10^{-3}}{3,106 \times 10^{-6}} = 16.4331 \times 10^6 \text{ Pa}$$

τ_2 Contrainte de cisaillement appliquée sur les rouleaux inférieurs ($d_2 = 125 \text{ mm}$) :

$$J_2 = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{d_2}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{125 \times 10^{-3}}{2}\right)^4 = 2,3968 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$
$$\tau_2 = \frac{T_{n2} \times \frac{d_2}{2}}{J_2} = \frac{1,3611 \times 10^3 \times \frac{125}{2} \times 10^{-3}}{2,3968 \times 10^{-5}} = 3.55 \times 10^6 \text{ Pa}$$

τ_{2a} Contrainte de cisaillement appliquée sur l'arbre de rouleau inférieur ($D_2 = 62,5 \text{ mm}$) :

$$J_{2a} = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{D_2}{2}\right)^4 = \frac{\pi}{2} \times \left(\frac{62,5 \times 10^{-3}}{2}\right)^4 = 1,498 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$
$$\tau_{2a} = \frac{T_{n2} \times \frac{D_2}{2}}{J_{2a}} = \frac{1,3611 \times 10^3 \times \frac{62,5}{2} \times 10^{-3}}{1,498 \times 10^{-6}} = 20.3941 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Condition de résistance :

Il faut choisir un matériau qui résiste au contrainte de cisaillement τ_{max} c-à-d :

$$\tau_{max} \leq R_{eg}$$

On a :

$$\tau_{max} = \tau_{2a} = 20.3941 \text{ MPa}$$

D'après une recherche sur le pouvoir de résistance des matériaux on a trouvé que l'acier au carbone trempé a une résistance élastique au cisaillement :

$$R_{eg} = 0,5 \times R_e = 0,5 \times 350 = 175 \text{ MPa}$$

$$R_{eg} \gg \tau_{max}$$

Alors on va choisir des rouleaux pleins forgés d'acier au carbone trempé.

2.3 Choix de roulement pour le guidage en rotation des rouleaux :

Les arbres des rouleaux doivent être guider en rotation avec des roulements qui supportent des charges radiales élevés, pour cette raison on a choisi des roulements à rouleaux cylindriques.

Les roulements à rouleaux cylindriques supportent des charges radiales élevées, également des charges axiales dans les deux sens et peuvent guider axialement des arbres dans les deux sens, les éléments roulants sont des rouleaux, ce qui donne une capacité de charge élevée.



Figure 9 : Roulement à rouleaux cylindriques.

2.4 Choix des vérins :

Calcul le poids de rouleau supérieur :

Premièrement on va calculer la masse de rouleau supérieur :

On a la masse volumique d'acier :

Et le volume total de rouleau supérieur :

$$V = \pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \times L + 2\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 \times l = \pi \left(\frac{150 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \times 2 + 2\pi \left(\frac{75 \times 10^{-3}}{2}\right)^2 \times 0,2$$

$$V = 0,03711m^3$$

Donc la masse :

$$m = \rho_a \times V = 7850 \times 0,03711 = 291 \text{ kg}$$

Longueur de cylindre : $L = 2m$

Longueur d'arbre : $l = 200mm$

Diamètre de cylindre : $d_1 = 150mm$

Diamètre de l'arbre : $D_1 = 75mm$

Paramètres de base :

- m=Masse=291 kg.

-C=course=500mm.

-V=vitesse=0.2m/s

-g=10 N/kg

La force nécessaire pour équilibrer la masse :

- On utilise deux vérins, donc :

$$F_m = \frac{P}{2} = \frac{mg}{2} = \frac{291 \times 10}{2} = 1455 \text{ N}$$

La force de déformation appliquée par le rouleau supérieur :

$$F_1 = 88,39 \text{ KN}$$

La force réelle totale nécessaire à déplacer la charge :

$$F = \frac{F_1}{2} + F_m$$

A.N :

$$F = \frac{88,39 \times 10^3}{2} + 1455$$

$$F = 45.65 \text{ kN}$$

Résistance au flambage :

Sous l'action d'une charge axiale, la tige du vérin est sollicitée au flambage. Plus la course est longue et le diamètre de tige petit, plus le flambage est élevé.

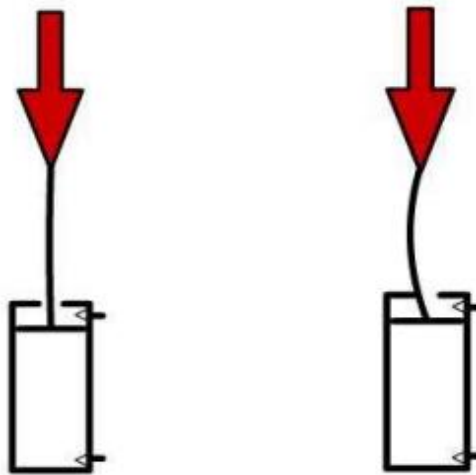


Figure 10 : Résistance au flambage de la tige.

Le diagramme suivant permet de déterminer les limites de course admissibles en fonction de la charge axiale.

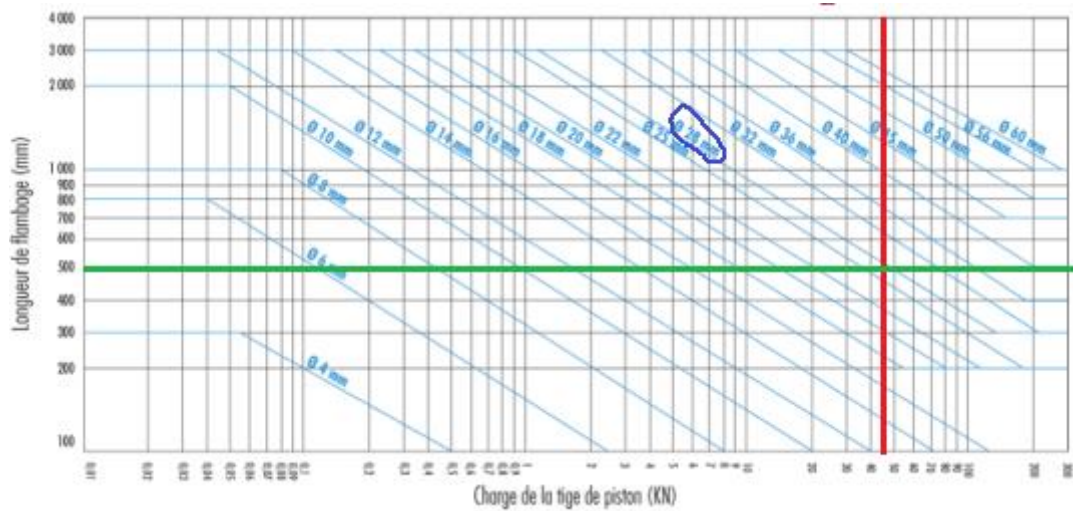


Figure 11 : Diagramme de la longueur de flambage en fonction de la charge de la tige.

D'après le diagramme le diamètre de la tige doit être supérieur de 28 mm

Donc on doit choisir deux vérins hydraulique double effet 30/60 course 500 mm tel que :

- 30 mm diamètre de la tige
- 60 mm diamètre de piston
- Course=500mm



Figure 12: vérin hydraulique double effets.

Caractéristiques de vérin :

- Pression maximum d'utilisation : 200 bars.
- Pression d'épreuve : 300 bars.
- Vitesse maximum : 0,5 m/s.
- Température : -30° à + 90°C.
- Huile hydraulique minérale.

Choix de la pompe :

$$P = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2}$$
$$P = \frac{4 \times 45.65 \times 10^2}{\pi \times 4^2} = 161.45 \text{ bars}$$

On doit choisir une pompe qui génère la pression minimale 161.45 bars.

3 Etude cinématique de la rouleuse :

Les classes d'équivalences

Classe1 : rouleau 1.

Classe2 : rouleau 2.

Classe3 : rouleau 3.

Classe 4 : Bati.

Classe 5 : tige de vérin.

Liaisons entre les classes :

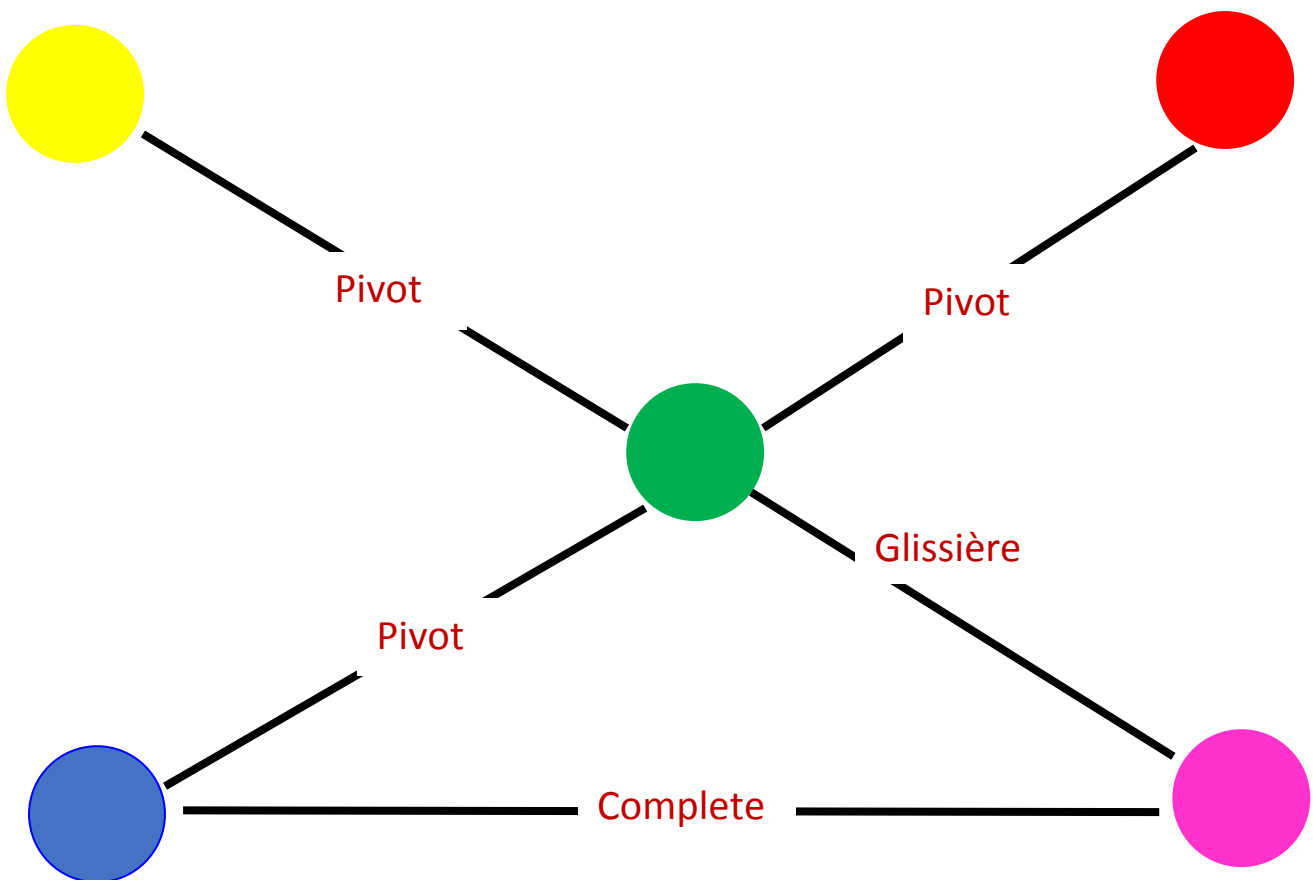


Schéma cinématique

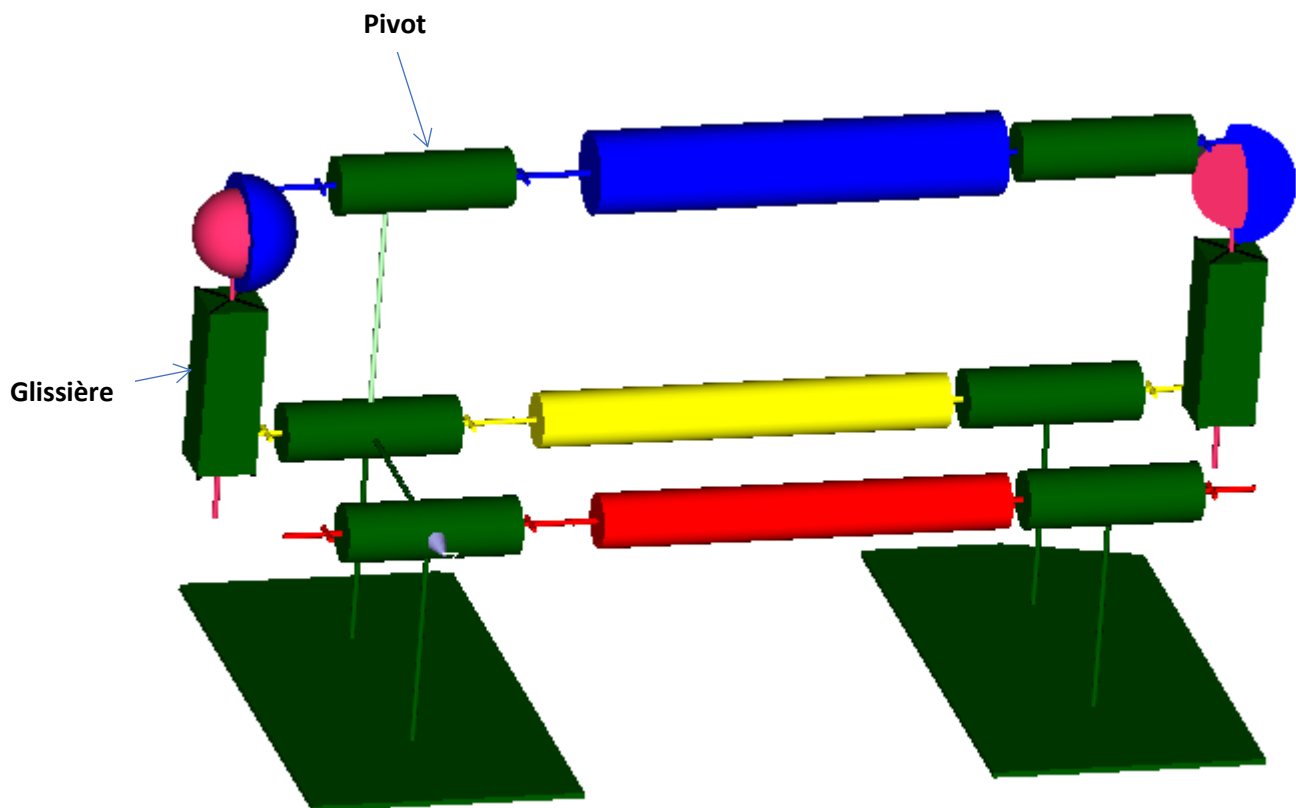


Figure 13 : Schéma cinématique 3D de la rouleuse sur OpenMeca

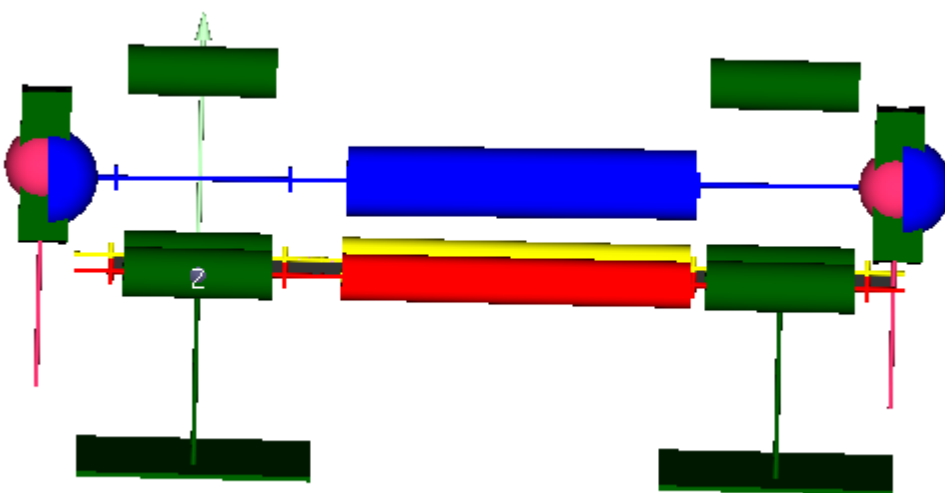


Figure 14 : Schéma cinématique 3D de la rouleuse sur OpenMeca après la simulation

4 Conception :

4.1 Conception 3D sur Catia :

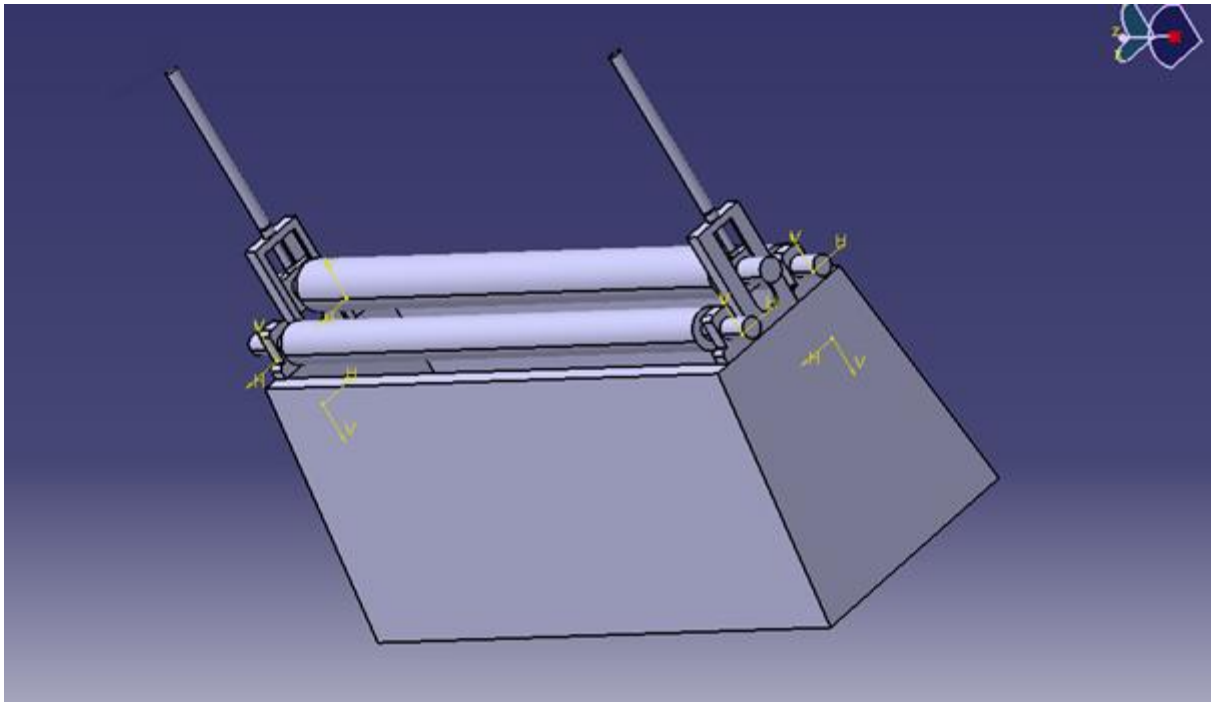


Figure 15 : Conception 3D de la rouleuse sur catia.

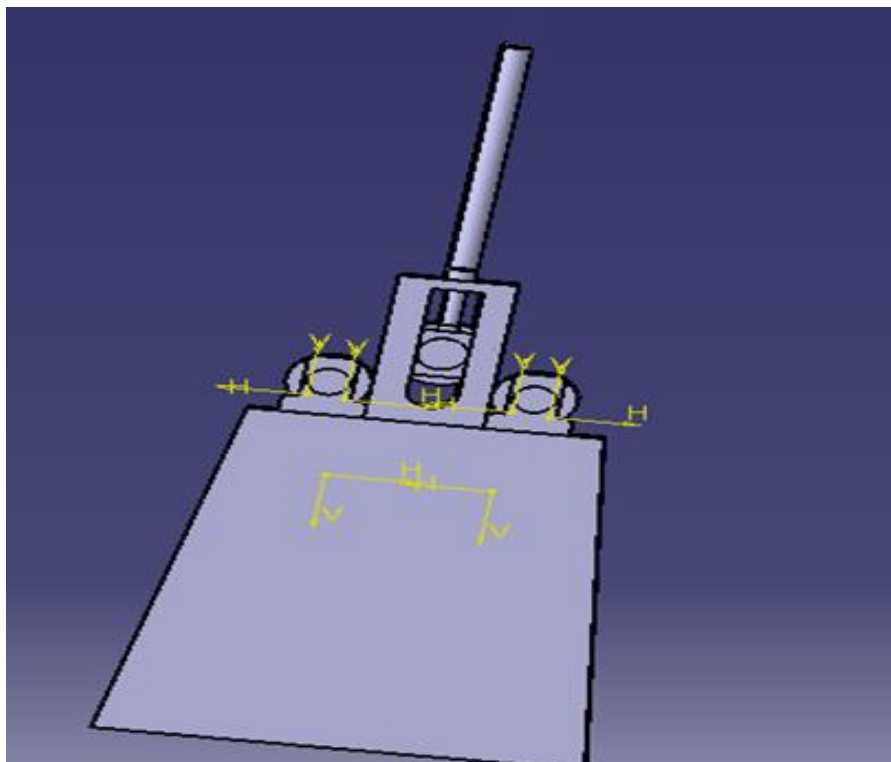
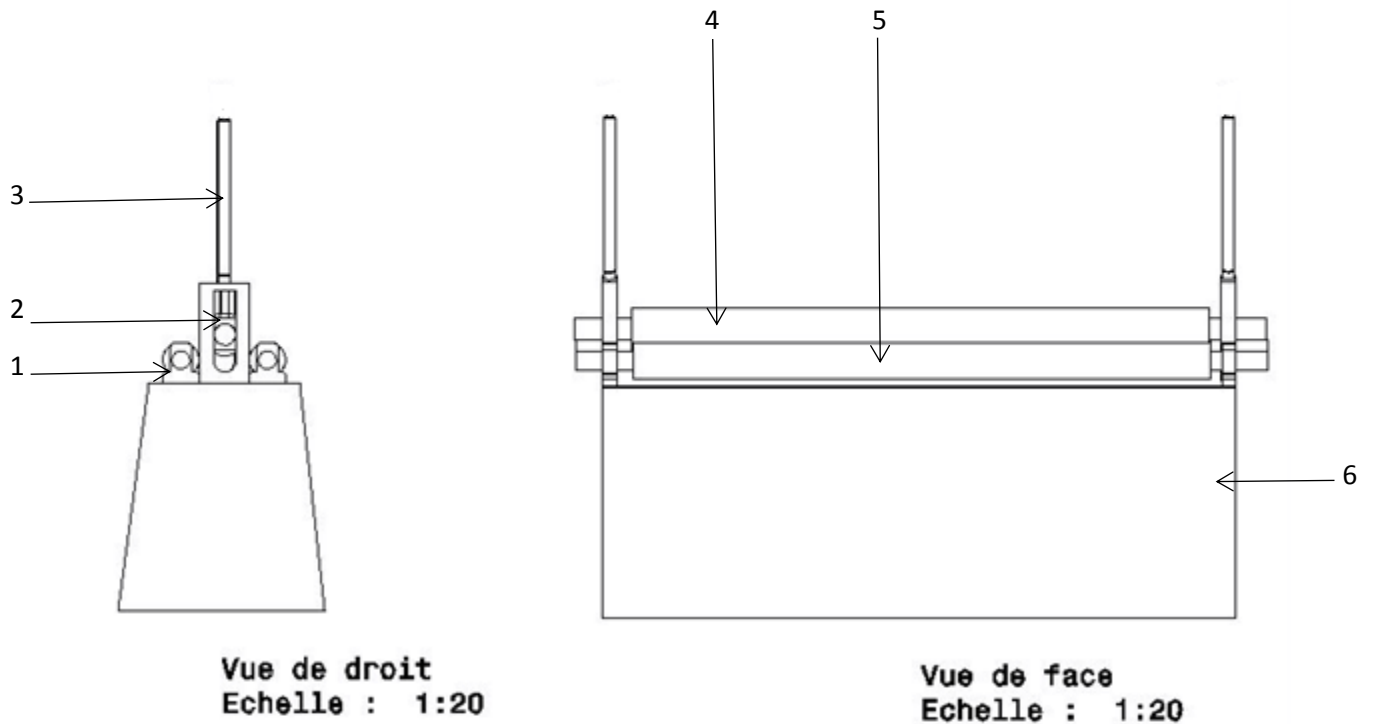


Figure 16 : Conception 3D de la rouleuse sur catia.

4.2 Dessin de définition de la rouleuse :



- 1 : Palier fixe avec roulement
- 2 : Palier glissant avec roulement
- 3 : Vérin hydraulique double effet
- 4 : Rouleau supérieur
- 5 : Rouleau inférieur
- 6 : Carter

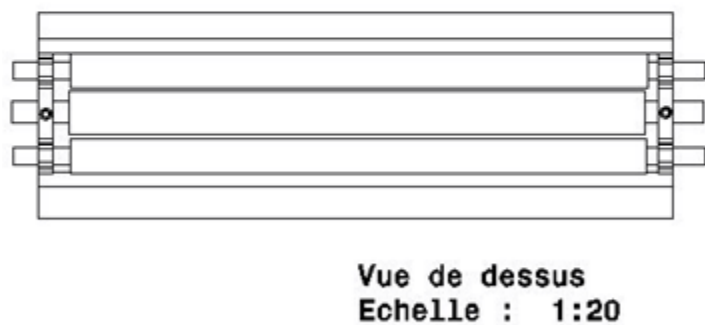


Figure 17 : Dessin de définition de la rouleuse.

5 Mode opératoire :

5.1 Préparation :

Opérateur :

L'opérateur doit être familiarisé avec la structure et fonctionnement de la rouleuse, puis le responsable de l'équipement sera qualifié pour effectuer l'opération de roulage.

Le processus de roulage doit être organisé par deux personnes pour être exploité en même temps, une personne est responsable pour la coordination générale, une autre personne pour l'aider.

Équipement :

Avant l'utilisation, vérifiez si la rouleuse est en bon état après le démarrage vérifiez si la pression du système hydraulique est normale.

La tôle :

1. Les paramètres de la tôle d'acier :

La limite d'élasticité, la largeur et l'épaisseur de la tôle d'acier doit être autorisée dans les paramètres de la rouleuse.

2. Qualité de la surface des tôles d'acier :

Les extrémités de la tôle ne doivent pas présenter de défauts apparents, et la surface de la tôle doit être propre.

5.2 Pré-pliage :

Roulage sans pré-pliage :

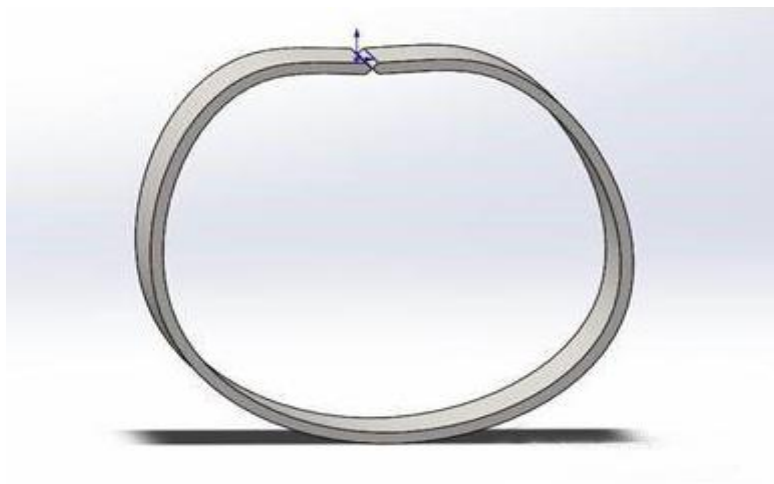


Figure 18 : Tôle roulée sans pré-pliage.

Alignement :

Placez la tôle sur la rouleuse, et ajustez le rouleau supérieur paralysé avec l'extrémité de la tôle visuellement, le contrôle d'erreur dans l'intervalle de $\pm 5mm$.

Roulage circulaire :

Sur la base de la surface de contact du rouleau supérieur et la tôle, appuyer 15 mm en continu, faites tourner le rouleau inférieur, lorsque la longueur de l'arc de la tôle atteint 600-800mm, arrêtez la rotation. Appuyez à nouveau sur le rouleau supérieur jusqu'à 10 mm, faites tourner le rouleau inférieur et arrêtez-le quand la fin de la tôle tangente au rouleau inférieur. Répétez la presse rouleau supérieur, faites tourner le rouleau inférieur jusqu'à ce que l'arc de pré-piage corresponde à celui de l'échantillon.

L'autre extrémité de la tôle adopte par la même méthode.

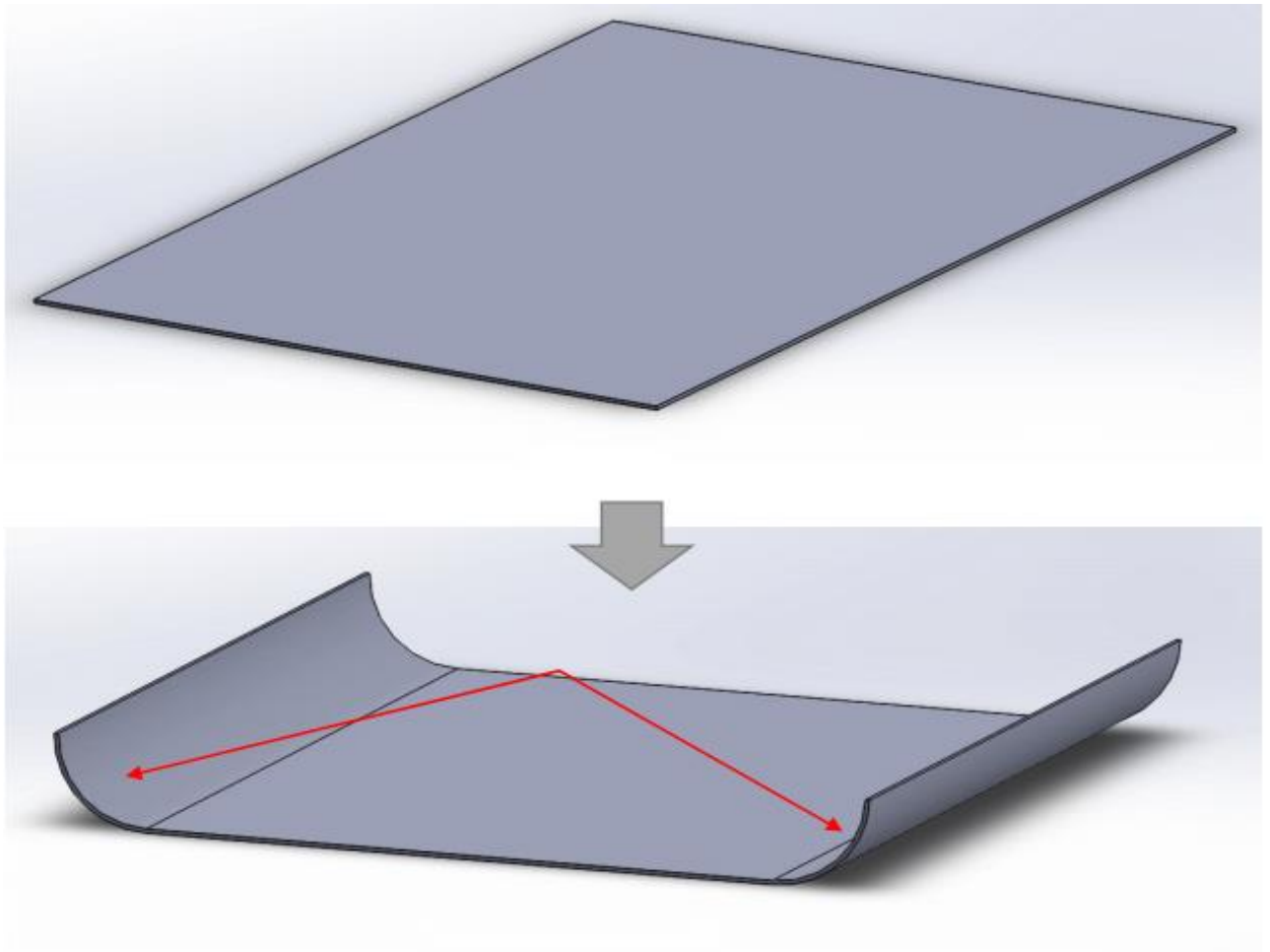


Figure 19 : Tôle pré-pliée.

5.3 Le roulage de la tôle pré-pliée :

Sur la base de la surface de contact de la plaque et le rouleau supérieure, appuyez sur 15mm en continu, La rotation continue du rouleau inférieur peut être effectuée après que tous les rouleaux fonctionnent correctement. (Remarque : lors de cette procédure, le rouleau inférieur à démarrage continu n'est pas autorisé, empêchant les accidents).

En cours de roulage, les opérateurs doivent se concentrer sur attention lors du démarrage de la machine à rouler. Cependant, pour l'assistant qui aide, il doit en temps voulu et commande précise et coopérer avec le principal opérateur quand il y a la zone aveugle visuelle pour la commande de la machine à rouler.

Rouler en appuyant sur le rouleau supérieur à plusieurs reprises, réduisez la pression du rouleau supérieur et descendez chaque fois à 3-5 mm jusqu'à ce que les deux extrémités soient proches l'une de l'autre.

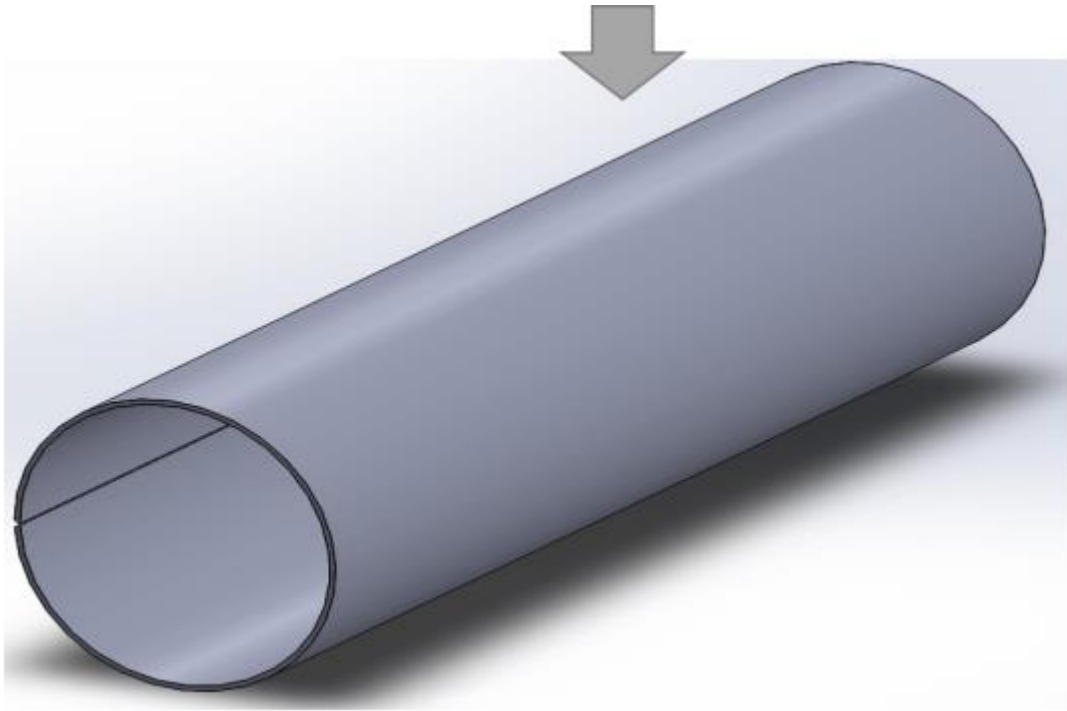


Figure 20 : Tôle roulée avec pré-pliage.

5.4 Le soudage :

Le soudage doit être effectué sur la fouille et la surface du joint doit être inférieure à 3 mm, la hauteur de joint de soudure doit être uniforme. Si la hauteur dépasse la norme, enlève la hauteur en ponçant processus, pour le faire moins de 3 mm, Le joint de soudure ne doit présenter aucun défaut de surface. Après le préchauffage de la soudure, doit être arrondi et doit être recuit après la soudure.

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 nous de connaître l'environnement dans lequel nous allions évaluer et de nous intégrer le plus rapidement possible avec le potentiel humain pour pouvoir accéder à sa collaboration, ses conseils et sa convivialité.

Notre mission consistait à faire l'étude et la conception d'une rouleuse à trois rouleaux, pour ce faire, nous avons commencé par une description du principe et technique de roulage avant d'analyser théoriquement le roulage cylindrique, Cette analyse nous a permis de calculer les efforts engendrés, les contraintes et la puissance nécessaire en fonction des paramètres de roulage, et de déterminer les caractéristiques des pièces qui seront utilisées pour la réalisation.

Références et bibliographie :

<https://www.machinemfg.com/plate-rolling-machine-operation-procedure-method/>

<https://www.machinemfg.com/load-analysis-driven-power-calculation-symmetrical-3-roll-plate-bending-machine/>

<https://www.machinemfg.com/3-roll-bending-machine-working-principle-rolling-process/>

<https://www.cema-atlas.com/>

Cours de résistance des matériaux.

Cours de construction mécanique.