

Code du projet : 222307

PROJET

DE FIN D'ETUDES

PRESENTE POUR OBTENIR LE TITRE :

DIPLÔME NATIONAL DE LICENCE

En Génie Mécanique

Parcours : construction et fabrication mécanique

Thème du projet

**Étude Conception et réalisation Cintreuse à 3
galets**

Réalisé par :

**Chouk Achraf
&**

Jandoubi Ahmed

SOUTENU LE **17/06/2023** DEVANT LE JURY D'EXAMEN :

M./Mme Chouchene Houda
M./Mme Grine Asma
M./Mme Bouzid Fethi
M./Mme Halabia Najet
M./Mme Bahri Fares

Président
Rapporteur
Encadrant-ISET
Encadrant-ISET
Encadrant-Entreprise

A.U. : 2022-2023

Dédicace

En exprimant ma gratitude, je dédie cet humble travail à ceux à qui je ne peux pas exprimer mon véritable amour, peu importe les moyens.

À l'homme, mon précieux offert du dieu, qui doit vie, ma réussite et tout mon respect : mon père *Naoufel*.

À la femme qui souffre mais ne me laisse pas souffrir, qui ne refuse jamais mes demandes et qui ne ménage aucun effort pour me rendre heureux : ma charmante mère *Nazika*.

À mon très cher frère *Youness* et belle-sœur *Molka*. Que Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout.

À mes chers amis, *CHOUK MONTASSAR, OTMAN SAIF* et *HADJEM RAÏEN*. Pour leurs aides et Supports dans les moments difficiles.

À mon binôme de PFE *JANDOUBI AHMED* pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Sans oublier ma deuxième famille de *Bernabéu Play* qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Chouk Achraf

Dédicace

En exprimant ma gratitude, je dédie cet humble travail à ceux à qui je ne peux pas exprimer mon véritable amour, peu importe les moyens.

À l'homme, mon précieux offert du dieu, qui doit vie, ma réussite et tout mon respect : mon père *ALY*.

À la femme qui souffre mais ne me laisse pas souffrir, qui ne refuse jamais mes demandes et qui ne ménage aucun effort pour me rendre heureux : ma charmanteremère *BASMA*.

À ma belle-sœur *CHAYMA*. Que Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout.

À mes chers amis, *CHAOUCH MADDY*, *JEMAL YAHEN* et *JANDOUBI RIHEM*. Pour leurs aides et Supports dans les moments difficiles.

À mon binôme de PFE *CHOUK ACHRAF* pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

Jandoubi Ahmed

Remerciements

Au terme de notre travail de fin d'études, nous tenons à adresser nos vifs remerciements et nos sincères gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réussite.

Nous tenons à présenter nos plus vifs remerciements s'adressent à nos encadreurs, Monsieur **Bouزيد Fathi** et Madame **Hallabia Najet** pour toutes les informations que nous ont fournies, les conseils que nous ont donnés, pour leurs suivis, leurs patiences et leurs intérêts portés sur notre travail.

Nous tenons également à remercier les professeurs qui nous ont enseigné durant cette période de nos recherches à l'institut supérieur des études technologiques de Mahdia pour leur disponibilité, effort et soutien inconditionnel. Nous voulons à cette occasion, leur exprimer notre gratitude et notre reconnaissance.

Nous tenons à remercier **Mr Bahri Fares**, le directeur de **MECATECH INDUSTRIE MAHDIA**. Une personne qui nous offre l'opportunité de passer notre stage de projet de fin d'études au sein de sa société.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements aux membres du jury qui nous ont apporté un grand honneur d'évaluer ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier tous les membres du personnel qui nous ont accueillis et guidés, malgré leurs nombreux métiers, à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à faire ce travail.

SOMMAIRE

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre 1 : Présentation générale de la société	2
Introduction	3
1.Présentation de l'entreprise :	3
2.Organigramme de l'entreprise :	4
3.Cycle de fabrication de Mecatech :	4
4.Les différentes machines de l'atelier mécanique :	5
4.1. Définition du tournage.....	5
4.2. Tour conventionnelle.....	5
4.3. Les machines du tour CNC	5
4.4. Définition de fraisage	6
Chapitre 2 : Etude bibliographique.....	7
Introduction :	8
1.Définition de la cintrreuse :	8
2.Les différentes méthodes de cintrage :	9
2.1. Cintrage à la main :	9
2.2. Cintrage par flexion :	9
2.3. Cintrage par appui en porte à faux :	9
2.4. Cintrage à vide :	10
3.Les différentes machines à cintrer :	11
3.1. Machine à cintrer à vérin :	11
3.2. Presse à cintrer :	12
3.3. Presse à cintrer à trois galets :	12
3.4. Cintrage par enroulement et étirage :	13
3.5. Cintrage par enroulement et compression :	14
3.6. Cintrreuse électrique :	14
3.7. Cintrreuse multifonctions pro pliage volute :	15

Chapitre 3 : Analyse fonctionnelle	16
Introduction :	17
1.Analyse fonctionnelle.....	17
1.1. Analyse fonctionnelle externe Besoin.....	17
1.2. Diagramme bête à corne.....	17
1.3. Validation du besoin :	18
1.4. Diagramme de pieuvre :	18
1.5. Fonctions principales (FP) :	19
1.6. Fonctions contraintes (FC) :.....	19
1.7. Identification des fonctions de services :	19
1.8. Valorisation des fonctions de service :	19
1.9. Hiérarchisation des fonctions de service :.....	21
1.10. Elaboration d'un cahier des charges fonctionnel :	21
Tableau : Cahier des charges fonctionnels.....	22
2. Analyse fonctionnelle interne :	22
2.1 Analyse descendante :	23
2.2. Diagramme FAST et choix des solutions :	25
2.2.1. Diagramme FAST :	25
L'outil d'analyse FAST (Fonctionnel Analyses System Technique) permet le développement d'un diagramme de traduction des fonctions de service en fonctions techniques, puis matériellement en solutions constructives.....	25
2.2.2. Choix des solutions :	26
2.2.3. Choix du système de transmission :	27
2.2.4. Choix du moteur :.....	28
2.2.5. Analyse S2.1 : Moteur alternatif	29
2.2.6. Choix du système d'entraînement a mouvement linéaire :	30
2.2.7. Diagramme F.A.S.T. Corrigé :	31
Conclusion	31
Chapitre 4 : Calcul et dimensionnement	32
Introduction :	33
1.Schéma cinématique :.....	33
2.Bilan des actions mécaniques :	34
2.1. Effort de cintrage sur les tubes :	34

3.1. Tronçon AC :	36
3.2. Tronçon CB :	37
4. Traçage des diagrammes :	37
4.1. Diagramme des efforts tranchants :	37
4.2. Diagramme des moments fléchissant :	38
5. Calcul.....	38
5.1. Calcul de la flèche :	38
5.2. Calcul de l'effort de cintrage :	38
5.2. Calcul de l'effort tangentiel :	39
5.3. Calcul du couple à vide :	39
5.4. Calcul du rapport global d'engrenage :	39
5.5. Calcul du couple de sortie :	39
5.6. Calcul du puissance de sortie :	39
5.7. Calcul du puissance moteur :	39
6. Dimensionnement de l'arbre du petit galet :	40
6.1. Les torseurs des liaisons mécanique :	41
6.2. Transfert des torseurs au point D :	41
6.3. P.F.S au point D :	42
6.4. Tronçon [BC] :	44
6.5. Tronçon [DC] :	45
7. Caractéristique de différents pignons :	47
8. Arbre des roues 2:	50
Conclusion	56
Chapitre 5 : Réalisation	57
Conclusion générale.....	61

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : logo de société-----	3
Figure 2 : organigramme de société -----	4
Figure 3 : tour conventionnelle-----	5
Figure 4 : Tours à commande numérique-----	5
Figure 5 ; Centre d'usinage-----	6
Figure 6 : Rayon intérieur et le rayon extérieur après cintrage -----	8
Figure 7 : Cintrage par flexion -----	9
Figure 8 : Cintrage par appui en porte à faux -----	9
Figure 9 : Cintrage à froid-----	10
Figure 10 : Cintrage à chaud-----	10
Figure 11 : Cintrage par machine à vérin -----	11
Figure 12 : Machine de cintrage par vérin -----	11
Figure 13 : Cintrage par presse -----	12
Figure 14: Cintrage sur presse à trois galets-----	12
Figure 16 : Cintrage par enroulement et étirage -----	13
Figure 17 : Machine de Cintrage par enroulement et étirage-----	13
Figure 18 : Cintrage par enroulement et compression -----	14
Figure 19 : Cintreuse électrique -----	15
Figure 20 : Cintreuse multifonctions pro pliage volute -----	15
Figure 21 : bête à cornes -----	17
Figure 22 : diagramme pieuvre-----	18
Figure 23 : Historique de souhait -----	21
Figure 24 : Actigramme A-0-----	22
Figure 25 : Diagramme A-0 -----	24
Figure 26 : Diagramme FAST-----	25
Figure 27 : Analyse FT1 -----	27
Figure 28 : Analyse de FT2 -----	28
Figure 29 : Analyse de S2.1 -----	29
Figure 30 : Analyse de S2.1 -----	30
Figure 31: Diagramme Fast corrigé -----	31
Figure 32 : Schéma cinématique du système-----	33
Figure 33 : Modélisation sur RDM6-----	46
Figure 34 : Modélisation sur RDM6-----	47
Figure 35 : modélisation sur SolidWorks -----	47

Figure 36 : Modélisation sur SolidWorks ----- 48

Figure 37 : Modélisation sur SolidWorks ----- 48

Figure 38 : modélisation sur SolidWorks ----- 49

Figure 39 : Modélisation sur SolidWorks ----- 49

Figure 40 : Modélisation sur SolidWorks ----- 50

Figure 41 : Modélisation sur RDM6----- 55

Figure 42 : Modélisation sur RDM6----- 56

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 : Tri croisée-----	20
Tableau 2 : Cahier des charges fonctionnels -----	22
Tableau 3 : Barème de notation de comparaison -----	26
Tableau 4 : Barème de pondération-----	26
Tableau 5 : Valorisation par critère FT1 -----	27
Tableau 6 : Valorisation globale FT1 -----	27
Tableau 7 : Valorisation par critère FT2 -----	28
Tableau 8 : Valorisation globale FT2 -----	28
Tableau 9 : Valorisation par critère S2.1-----	29
Tableau 10 : Valorisation globale S2.1 -----	29
Tableau 11 : Valorisation par critère S3 -----	30
Tableau 12 : Valorisation globale S3-----	30
Tableau 14 : Repère de système-----	34
Tableau 13 : Repère de liaison -----	34
Tableau 15 : Caractéristique de pignon -----	47
Tableau 16 : caractéristiques de pignon -----	48
Tableau 17 : caractéristiques de pignon-----	48
Tableau 18 : caractéristiques de pignon-----	49
Tableau 19 : Caractéristiques de pignon -----	49
Tableau 20 : caractéristiques de pignon-----	50

INTRODUCTION GENERALE

Depuis longtemps la mécanique permet de trouver des solutions pour plusieurs problèmes des systèmes industriels. Pour cela, elle est toujours en évolution rapide car elle joue un rôle très important dans l'industrie en assurant la bonne qualité de produit fini pour satisfaire le consommateur et garantir le temps, l'argent et la rapidité.

Ainsi la mécanique reste le miracle qui sauve l'humanité car elle sert à faire des tâches en toute sécurité et rapidité qui sont presque impossible de les faire par l'homme.

Dans nos jours, on sait l'importance de cintrage dans l'industrie et dans ce cadre s'inscrit notre projet de fin d'études qui consiste à réaliser une machine de cintrage « Cintreuse à 3 galets » capable de cintrer des profils de formes ronds et carrés. Ce rapport se répartie sur cinq chapitres comme suit :

- Le premier chapitre présente la société d'accueil
- Le deuxième chapitre présente une étude bibliographique.
- Le troisième chapitre présente l'analyse fonctionnelle du système et le choix des solutions technologiques.
- Le quatrième chapitre présente le calcul, le dimensionnement et la vérification de la résistance des différentes pièces les plus sollicitées de la machine.
- Le cinquième chapitre est consacré à la conception de la machine
- Le dernier chapitre présente le dossier de fabrication contenant les gammes d'usinage.

Chapitre 1 : Présentation générale de la société

Introduction

Ce premier chapitre est consacré à une présentation de l'entreprise d'accueil au sein de laquelle on a effectué notre stage de fin d'études.

1.Présentation de l'entreprise :

Meca-tech-industrie est une société fondée en 2008 créée par M. Fares Bahri, situé à Mahdia.

Elle s'occupe de la construction et la fabrication mécanique sous plusieurs secteurs : la conception mécanique, le moulage en coquille pour la fonderie, l'usinage conventionnel, l'usinage à commande numérique.

Elle est occupée par un groupe des ingénieurs et des techniciens sous un régime de travail de 45 heures par semaine.



Figure 1 : logo de société

Nom d'entreprise : Meca-tech- industrie

Nom et prénom du responsable : Fares Bahri

Tél : 97791336

Fax: 73682109

Site web: <https://mecatech-industrie.com/>

E-mail : info@mecatech-industrie.com

Localisation : Hiboun, 511

2. Organigramme de l'entreprise :

L'entreprise Meca-tech- suit l'organigramme suivant :

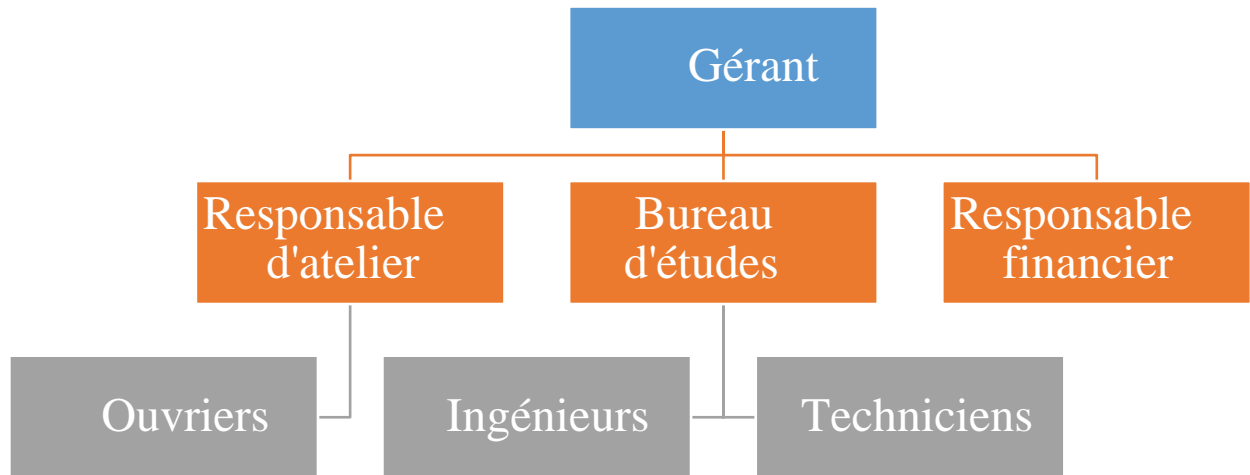
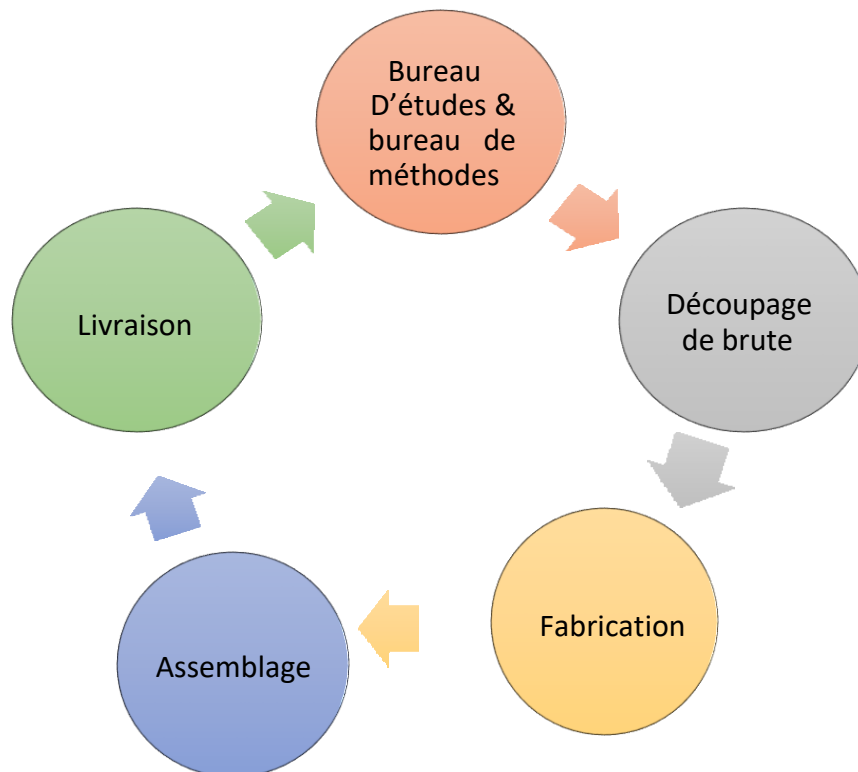


Figure 2 : organigramme de société

3. Cycle de fabrication de Mecatech :



4. Les différentes machines de l'atelier mécanique :

4.1. Définition du tournage

Le tournage consiste à réaliser des pièces dont les formes sont issues d'une révolution d'un profil autour d'un axe. C'est un procédé d'usinage par enlèvement de matière à partir d'un brut.

4.2. Tour conventionnelle



Figure 3 : tour conventionnelle

4.3. Les machines du tour CNC



Figure 4 : Tours à commande numérique

4.4. Définition de fraisage

Le fraisage est un procédé de fabrication où l'enlèvement de matière sous forme de copeaux résulte de la combinaison de deux mouvements : la rotation de l'outil de coupe, d'une part et l'avance de la pièce d'autre part.



Figure 5 ; Centre d'usinage

Chapitre 2 : Etude bibliographique

Introduction :

Les techniques de mise en forme des matériaux ont pour objectif de donner une ~~fon~~ forme déterminée au matériau tout en lui imposant une certaine microstructure, afin d'obtenir un objet ayant les propriétés souhaitées.

C'est un travail qui nécessite de maîtriser parfaitement les paramètres expérimentaux (composition du matériau, température, pression, vitesse de refroidissement, etc.). Les techniques diffèrent selon les matériaux, et parmi ces ~~techniques~~ techniques on s'intéresse au cintrage.

1.Définition de la cintrreuse :

Le cintrage est un façonnage sans enlèvement de copeaux, à l'aide ou sans l'aide de chaleur, dans lequel une partie de la matière d'œuvre est définitivement portée, tout en conservant autant que possible sa section, de sa position originelle dans un autre sens.

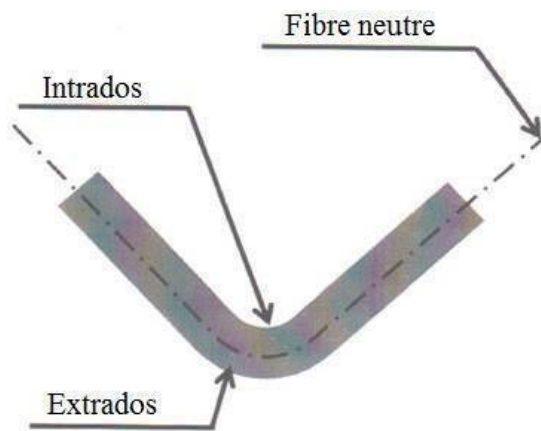


Figure 6 : Rayon intérieur et le rayon extérieur après cintrage

2. Les différentes méthodes de cintrage :

2.1. Cintrage à la main :

Le cintrage à la main donne, généralement, des résultats peu satisfaisants, car il n'est pas guidé et les actions appliquées ne sont pas toujours proportionnelles, ni localisées en fonction de la déformation désirée. De plus, la déformation de la section est libre car aucun support ne permet de la réduire au cours du cintrage.

2.2. Cintrage par flexion :

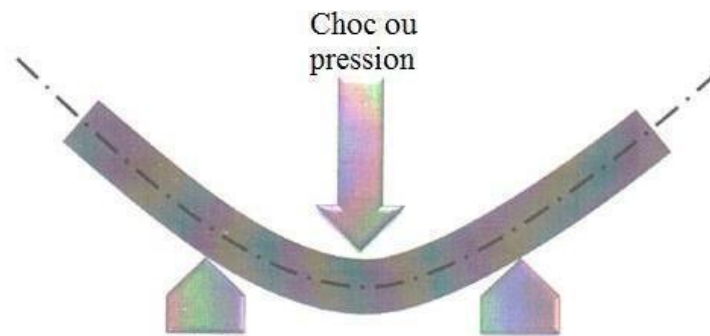


Figure 7 : Cintrage par flexion

2.3. Cintrage par appui en porte à faux :

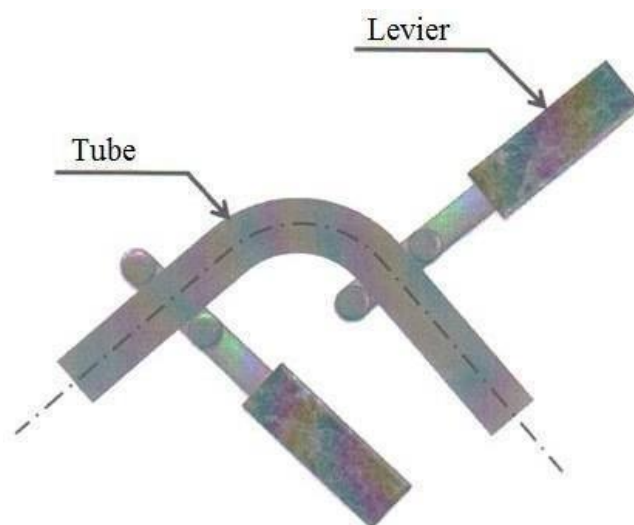


Figure 8 : Cintrage par appui en porte à faux

2.4. Cintrage à vide :

Le cintrage à vide convient pour les tubes épais sur de grands rayons du fait que le risque d'aplatissement de la section est très élevé. Il se fait à chaud ou à froid selon le matériau utilisé le genre de cintrage à exécuter.

Le cintrage à froid s'applique aux tubes inoxydables et aux matériaux non ferreux notamment le cuivre, l'aluminium et le plomb. La zone à cintrer doit être portée sur tasseau avant l'application de la force de cintrage.

(Figure9)

A chaud, on cintré surtout les tubes d'acier, vu leur grande résistance à la traction. La zone à cintrer doit être dégagée des tasseaux d'appui. **(Figure10)**

Le chauffage se fait au chalumeau ou dans un four, lorsque la température désirée est jugée atteinte le cintrage

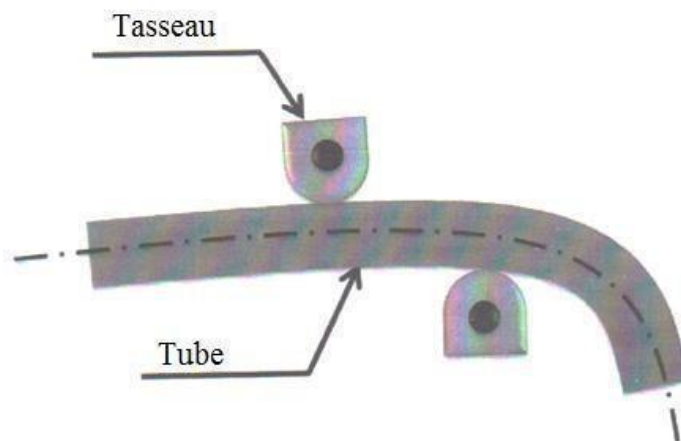


Figure 9 : Cintrage à froid

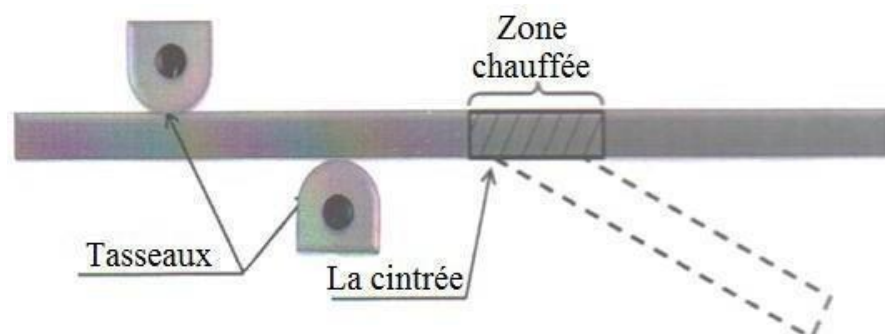


Figure 10 : Cintrage à chaud

3. Les différentes machines à cintrer :

Il existe plusieurs types de machines à cintrer qui diffèrent par leurs modes opératoires.

3.1. Machine à cintrer à vérin :

Le tube ou la tige prenant appui sur deux butées pivotantes est cintré par flexion sous l'action d'un sabot actionné par un piston. (Figure 11).

Le sabot cintréur présente une gorge torique qui maintient le tube sur la moitié de la section et s'oppose à l'élargissement du diamètre. L'application des axes butés pivotantes est réglable en fonction des rayons de cintrage à obtenir.

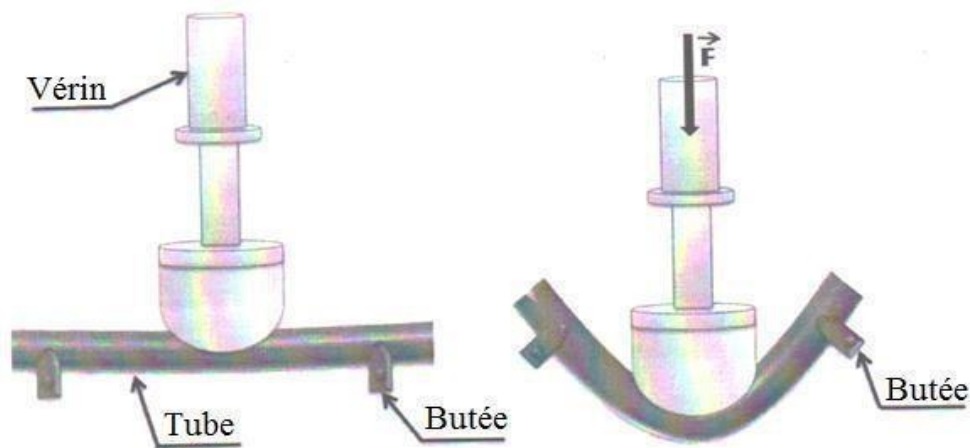


Figure 11 : Cintrage par machine à vérin



Figure 12 : Machine de cintrage par vérin

3.2. Presse à cintrer :

Le principe de la base est le même que celui des machines à vérin. Les matrices d'appui formant les butés, accompagnent la pièce pendant le cintrage en exerçant une pression contre le sabot. Ces machines présentent l'avantage d'être rapides et sont utilisées pour les travaux de série. **(Figure 13)**

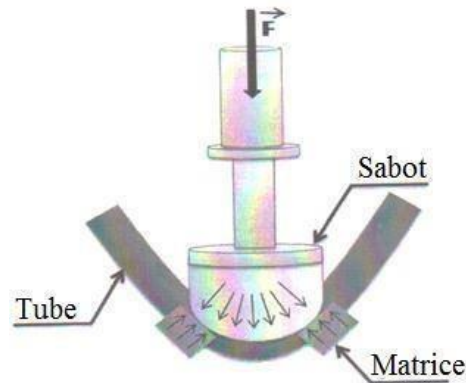


Figure 13 : Cintrage par presse

3.3. Presse à cintrer à trois galets :

La presse à cintrer à trois galets permet de réaliser un cintrage par flexion entre deux appuis. La rotation des galets permet de cintrer en continu sur une longueur illimitée. La pièce est portée dans la gorge des galets juste au point de tangence. Ce procédé convient pour les grands rayons de cintrage, sur de grandes longueurs. Dans la plupart des machines les trois galets sont moteurs. **(Figure 14)**

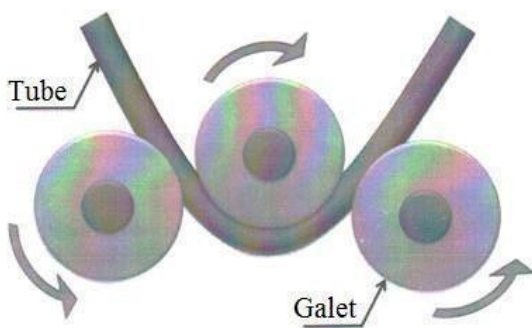


Figure 14: Cintrage sur presse à trois galets



Figure 15 : Machine de cintrage par trois galets

3.4. Cintrage par enroulement et étirage :

Cette méthode est la plus répandue. Elle permet d'exécuter des coudes dans les conditions les plus difficiles. Ces machines sont équipées de trois outils à savoir :

- Une forme tournante.
- Une mâchoire ou sabot de blocage.
- Une glissière.

La pièce bloquée énergiquement par un galet central qui comporte une gorge semi torique, alors que la glissière peut être fixe ou mobile. Pour les pièces tubulaires, la glissière fixe provoque un amincissement plus marqué à l'extérieur (Extrados). Inversement, la glissière coulissante augmente les risques de plissage de l'intrados en diminuant l'amincissement de l'extrados. Pour remédier à cela, il convient d'introduire un mandrin à l'intérieur du tube pour qu'il s'oppose à la déformation. **(Figure 16)**

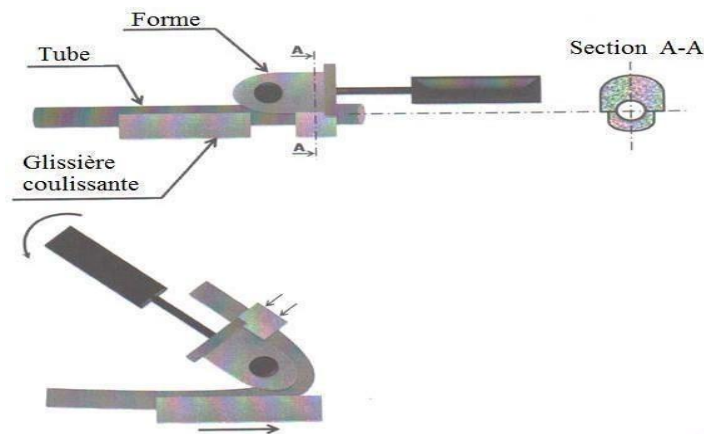


Figure 16 : Cintrage par enroulement et étirage



Figure 17 : Machine de Cintrage par enroulement et étirage

3.5. Cintrage par enroulement et compression :

Le principe de ces machines est différent de celui des machines précédentes. En effet, le cintrage n'est pas obtenu par flexion entre deux appuis, le tube est bloqué énergiquement contre une forme fixe qui porte une gorge semi torique dont les dimensions sont identiques à celles du tube à cintrer, et un galet cintréur cylindrique qui enroule le tube dans la gorge de la forme.

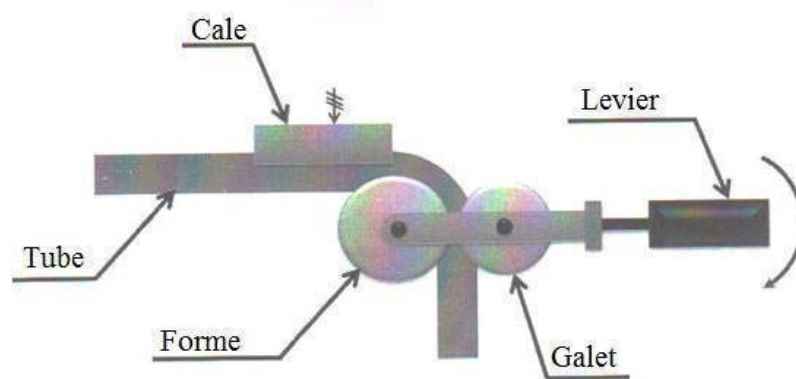


Figure 18 : Cintrage par enroulement et compression

3.6. Cintreuse électrique :

Cintreuse entièrement électrique nouvelle génération (9 axes) pour tubes avec programmation graphique visuelle en 3D (VGP3D).

La machine est configurable librement et rapidement par l'utilisateur avec sens de travail droit ou gauche.

Le VGP3D est un logiciel de programmation graphique tridimensionnel, convivial et interactif, grâce à son mode d'introduction des données de type conversationnel complété par un écran tactile. Il fonctionne sous environnement WINDOWS et, grâce à sa clé d'encodage, il est possible de l'installer sur un poste de programmation déporté qui peut être mis en réseau avec la machine via une carte ETHERNET déjà intégrée dans cette dernière. Le VGP3D permet un contrôle visuel instantané de la géométrie de la pièce lors de l'élaboration du programme.

Il vérifie la faisabilité des pièces, calcule les temps de cycle, détecte les éventuelles collisions avec la machine ou son environnement et les résout grâce à la simulation automatique de tous les cycles de travail possibles.

Les programmes ainsi édités sont automatiquement optimisés mais peuvent l'être également manuellement grâce à la fonction « drag and drop » qui permet par simple pression digitale, de déplacer chaque élément mobile de la machine.

Toutes ces fonctions permettent un chiffrage rapide et précis des pièces à réaliser sans engager aucun frais (outillages, mise au point ...).

La machine est aussi équipée d'un logiciel de télé assistance qui permet, via modem, une aide immédiate de nos techniciens pour l'assistance et le dépannage.



Figure 19 : Cintreuse électrique

3.7. Cintreuse multifonctions pro pliage volute :

Cintreuse à volute multifonction, gamme professionnelle développée par PRP Machines, destinée à la ferronnerie d'art, créateur ou métallerie. Elle travaille des profils à chaud ou à froid. La machine est livrée avec plusieurs accessoires et permet de réaliser des volutes de différentes tailles, des cintrages sur du fer plat, carré, rond.

Des brides et un étau permettent de réaliser des pliages à angles droit. Les pièces sont coupées au laser.



Figure 20 : Cintreuse multifonctions pro pliage volute

Chapitre 3 : Analyse fonctionnelle

Introduction :

Ce troisième chapitre est consacré à la phase de conception d'une machine automatique pour cintrer les tubes.

En effet, avant de choisir et d'élaborer une solution, il faut demander au constructeur de faire ses propositions afin d'arriver à une solution qui lui convienne et réponde à ses exigences. Pour cela, nous effectuons une analyse fonctionnelle, résumant la fonctionnalité globale du système et de ses composants, puis nous détaillons les solutions techniques afin de choisir la bonne.

1. Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est une méthode de création et d'amélioration d'un produit en effectuant une analyse externe du produit pour répondre aux questions suivantes :

- A qui sert le produit ?
- Quelles sont les actions qu'il doit faire ?
- Comment ces fonctions sont réalisées ?

1.1. Analyse fonctionnelle externe Besoin

Notre besoin consiste à étudier, concevoir et réaliser un système de cintrage permettant la réalisation des opérations de cintrage

1.2. Diagramme bête à corne

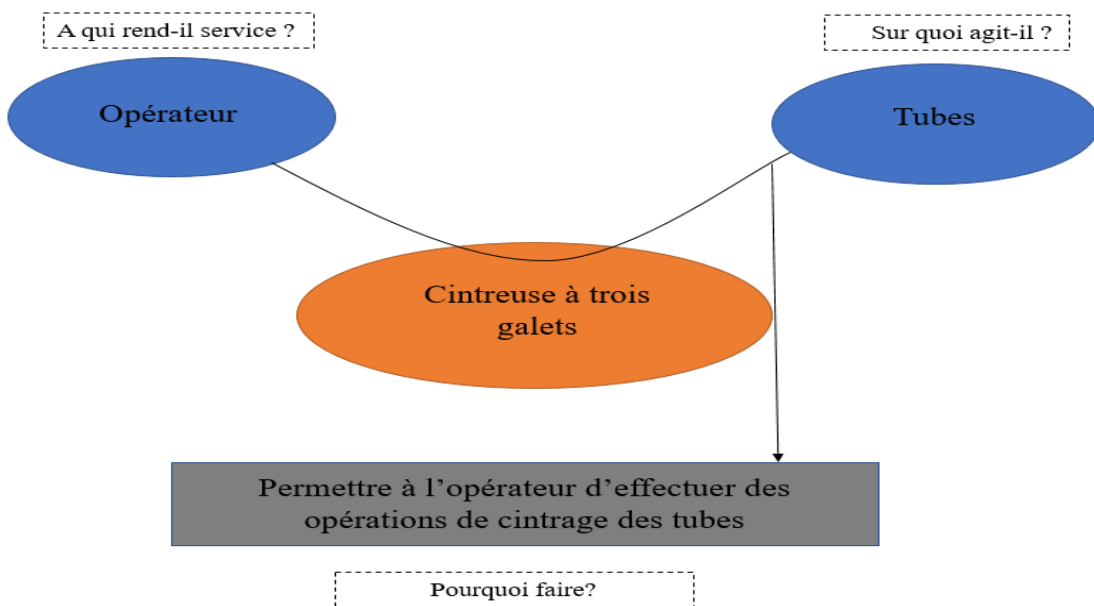


Figure 21 : bête à cornes

1.3. Validation du besoin :

Pourquoi le besoin existe-il ?

Pour permettre à l'opérateur de faire cintrer les tubes.

Qu'est ce qui pourrait le faire évaluer ?

Machine automatique sans intervention de l'homme.

Qu'est ce qui pourrait le faire disparaître ?

Rien

Pensez-vous que les risques d'évolution ou de disparition de ce besoin sont réels dans un proche avenir ?

Non

Conclusion : Le besoin est validé.

1.4. Diagramme de pieuvre :

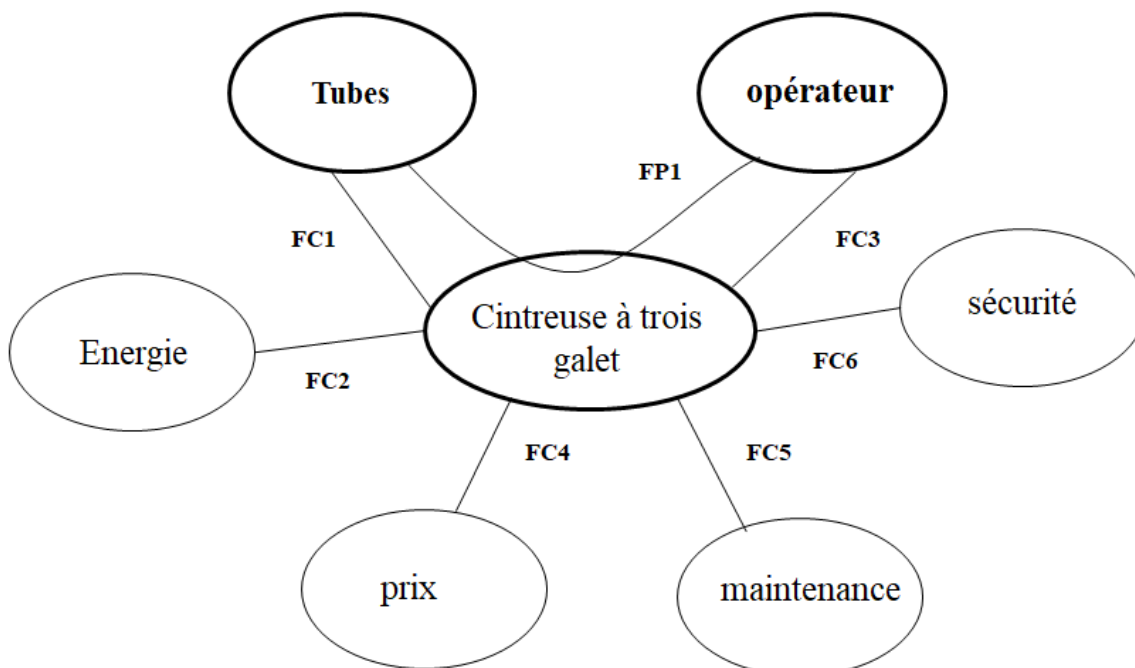


Figure 22 : diagramme pieuvre

1.5. Fonctions principales (FP) :

Elles justifient la création du produit. Elles représentent les relations entre deux éléments du milieu extérieur.

1.6. Fonctions contraintes (FC) :

Elles rassemblent toutes les fonctions complémentaires aux fonctions principales du produit en leur imposant ou non des limites.

1.7. Identification des fonctions de services :

FP1 : Permettre à l'opérateur d'effectuer des opérations de cintrage des tubes.

FC1 : S'adapter aux différentes dimensions des tubes.

FC2 : S'adapter à l'énergie disponible.

FC3 : Permettre à l'opérateur d'extraire le tube après l'opération.

FC4 : Avoir un prix adorable.

FC5 : Être maintenable.

FC6 : Respecter les normes de sécurité.

1.8. Valorisation des fonctions de service :

Le tri croisé consiste à comparer les fonctions de services une à une et attribuer à chaque fois une supériorité allant de 1 à 3 :

1 : légèrement supérieur

2 : moyennement supérieur

3 : nettement supérieur

FP1	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	Total (points)	Souhaits réel (%)	Souhaits corrigés (%)
FP1	FP1 (2)	FP1 (2)	FP1 (3)	FP1 (3)	FP1 (2)	FP1 (2)	14	37.85	36.85
	Fc1	Fc1 (1)	Fc1 (2)	Fc1 (2)	Fc1 (1)	Fc1 (1)	7	18.91	18.91
		Fc2	Fc2 (2)	Fc2 (2)	Fc2 (1)	Fc2 (1)	6	16.22	16.22
	Fc3		Fc3 (1)	Fc5 (2)	Fc6 (2)	1	2.70	2.70	
		Fc4	Fc5 (2)	Fc6 (2)	0	0	1		
	Fc5		Fc5 (1)	5	13.51	13.51			
		Fc6	4	10.81	10.81				
		Totale	37	100	100				

Tableau 1 : Tri croisée

1.9. Hiérarchisation des fonctions de service :

Il s’agit de rendre significatifs les résultats de la hiérarchisation des fonctions. Pour cela, on distingue les différentes fonctions dans un histogramme de souhait décroissant selon les priorités.

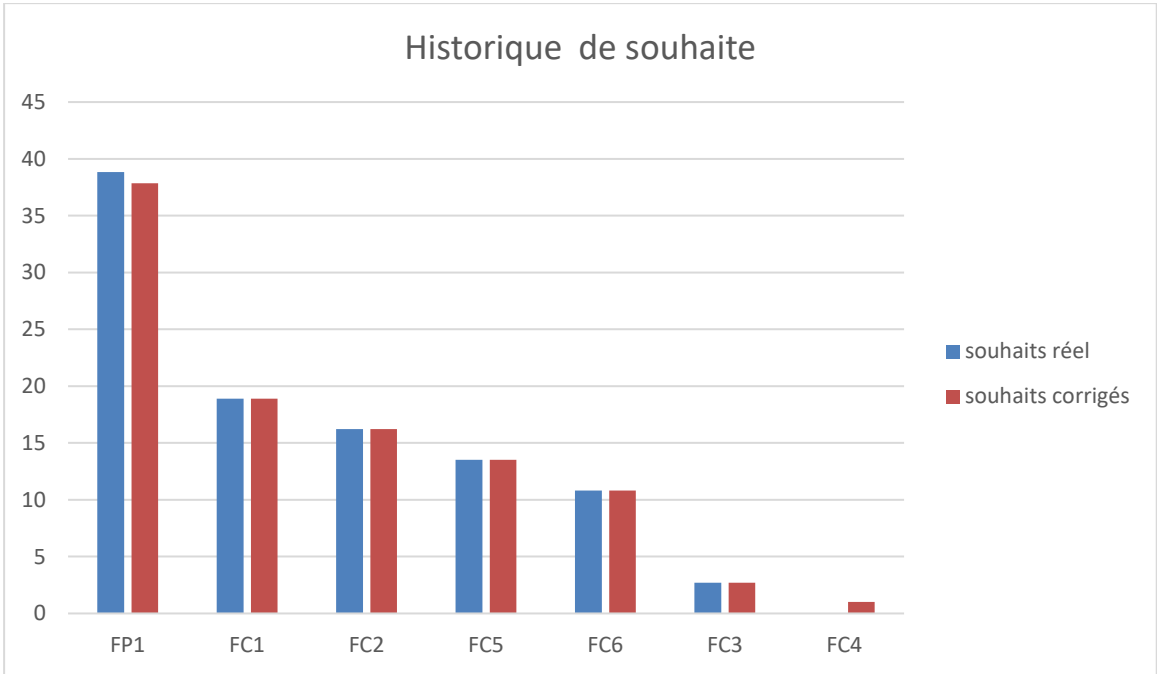


Figure 23 : Historique de souhait

1.10. Elaboration d’un cahier des charges fonctionnel :

La caractérisation des fonctions se traduit sous la forme d'un tableau récapitulatif qui permet derecenser et définir l'ensemble des critères d'appréciations à retenir pour chacune des fonctions.A chaque critère, on a associé un niveau de flexibilité.

Fonction de service	Expression de la fonction de service	Critère d'appréciation	Niveau	Flexibilité
FP1	Permettre à l'opérateur d'effectuer des opérations de cintrage des tubes.	Matière	Acier S335	
FC1	S'adapter aux différentes dimensions des tubes	Géométrie du profilé : Diamètre	De ø15 jusqu'à ø30	
FC2	S'adapter à la source d'énergie disponible.	Energie électrique 3PH Courant continue	220V/380V 12A	±10 V ±1 A
FC3	Permettre à l'opérateur d'extraire les tubes après les opérations			
FC4	Avoir un cout de la modification des pièces raisonnable.	Prix		
FC5	Avoir un système maintenable	Faciliter le montage et le démontage Assemblage boulonné	Pièces standards	-
FC6	Respecter les normes de sécurités	Norme de sécurité	ISO 9001	-

Tableau 2 : Cahier des charges fonctionnels

2. Analyse fonctionnelle interne :

Modalisation globale a trigramme :

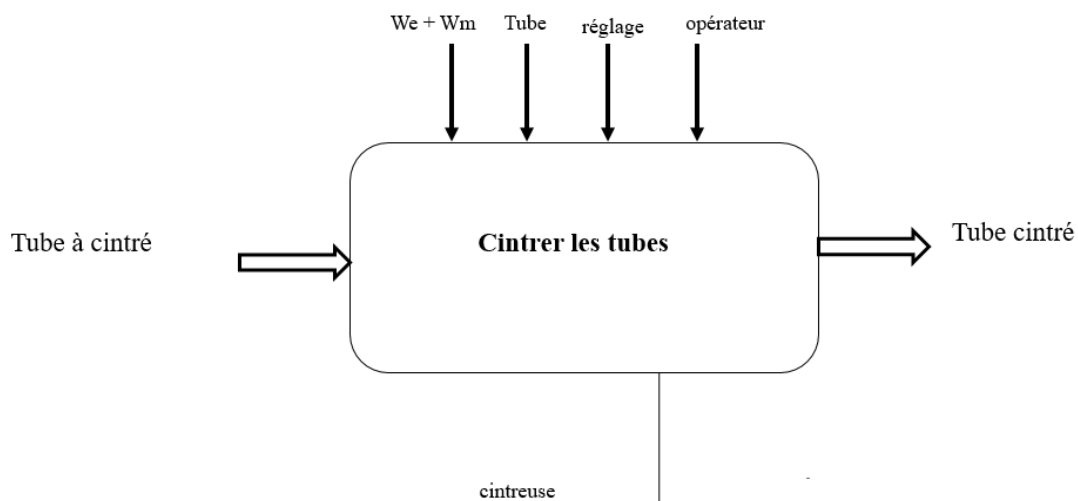


Figure 24 : Actigramme A-0

2.1 Analyse descendante :

En décomposant le niveau A-0 de l'analyse fonctionnelle du système, on obtient 6 fonctions principales qui sont :

- ☐ Générer une énergie mécanique de rotation.
- ☐ Transmettre le mouvement.
- ☐ Mettre en position le tube sur le galet.
- ☐ Régler l'entraxe entre les deux galets inférieurs et serrer la deuxième partie de galet.
- ☐ Mettre le galet supérieur en position.
- ☐ Cintrer le tube.

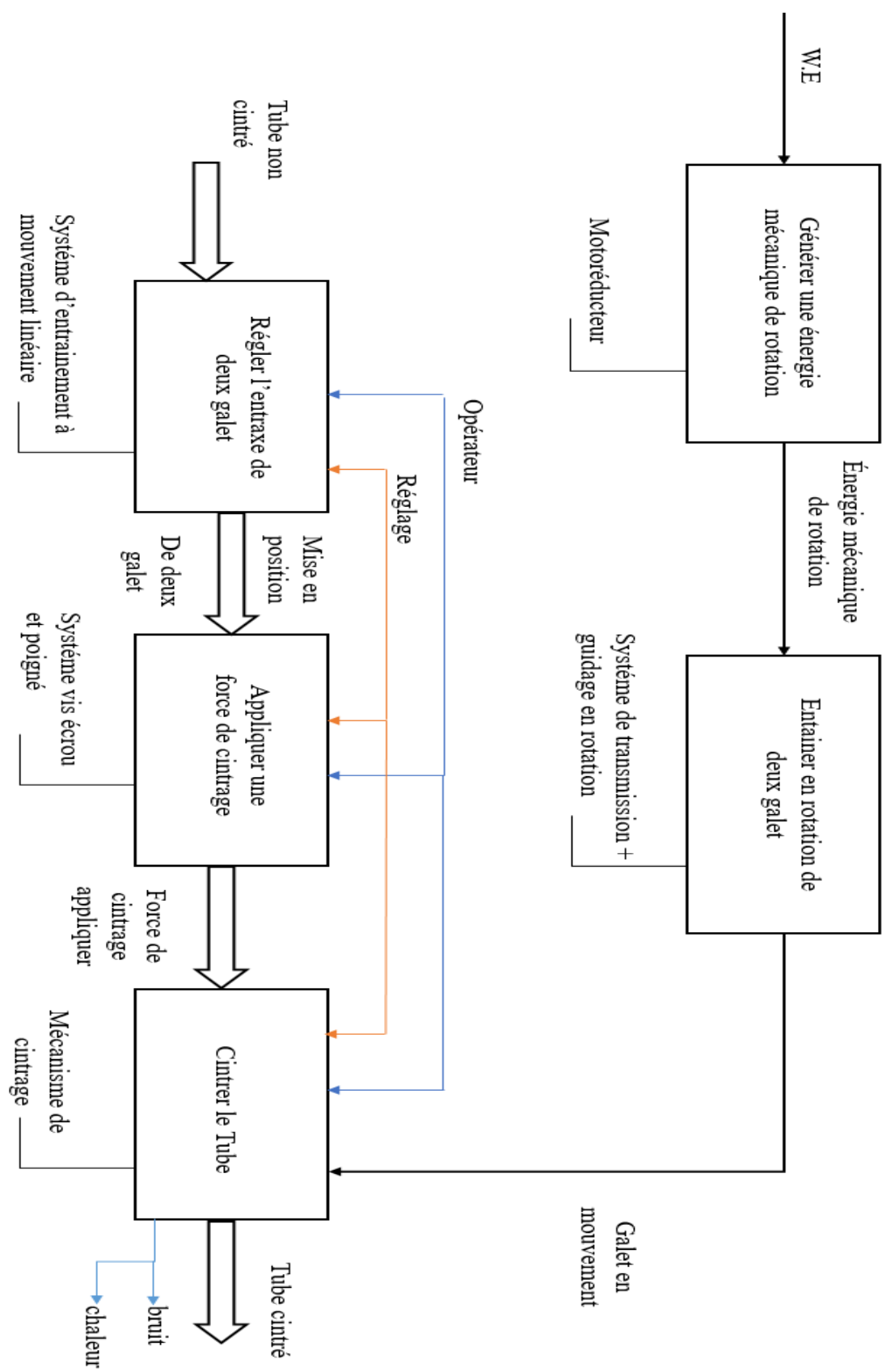


Figure 25 : Diagramme A-0

2.2. Diagramme FAST et choix des solutions :

2.2.1. Diagramme FAST :

L'outil d'analyse FAST (Fonctionnel Analyses System Technique) permet le développement d'un diagramme de traduction des fonctions de service en fonctions techniques, puis matériellement en solutions constructives.

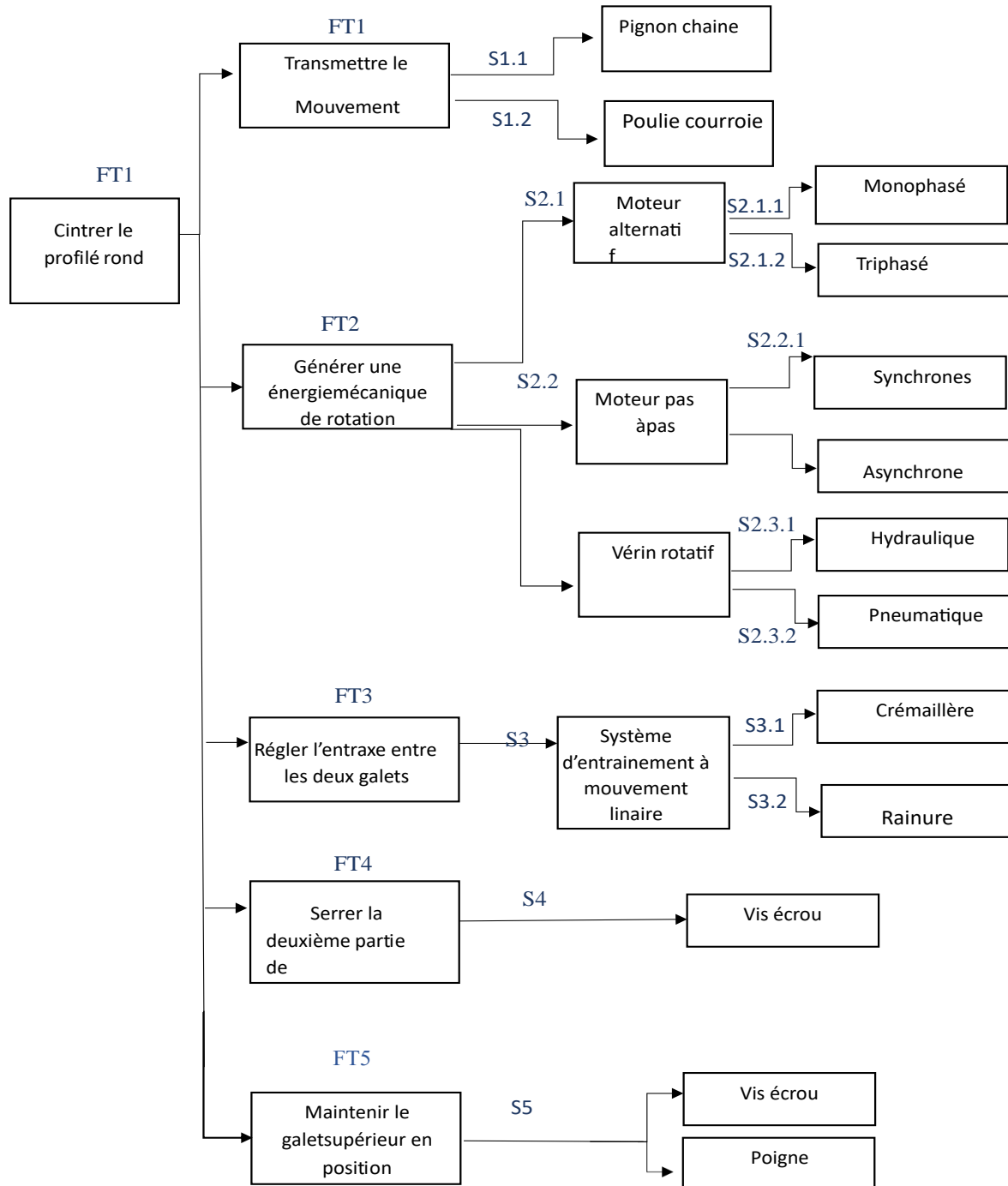


Figure 26 : Diagramme FAST

2.2.2. Choix des solutions :

Les intérêts adaptés sont les suivant :

Note	Intérêt de la solution
0	Douteux
1	Moyenne
2	Bien adapte
3	Très important /Très bien

Tableau 3 : Barème de notation de comparaison

La valorisation globale tient compte de la qualité d’une solution vis-à-vis d’un critère et l’importance de chacune de ces critères.

K	Intérêt de la solution
0	Utile
1	Nécessaires
2	Important
3	Très important
4	Vitale

Tableau 4 : Barème de pondération

2.2.3. Choix du système de transmission :

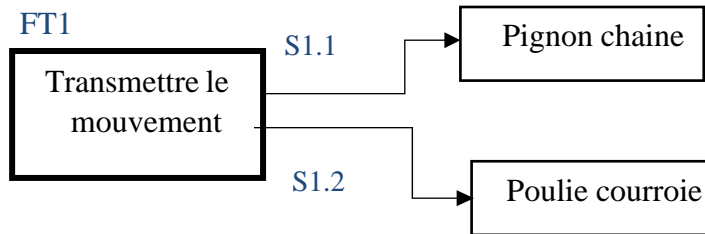


Figure 27 : Analyse FT1

Les critères des choix :

- C1 : prix.
- C2 : rendement.
- C3 : durée de vie.

Le tableau suivant représente la valorisation par critère pour FT1

Ci	S1.1	S1.2
C1	2	3
C2	3	2
C3	3	2

Tableau 5 : Valorisation par critère FT1

Le tableau suivant représente la valorisation globale pour FT1.

Ci	K	S1.1	S1.2
C1	2	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 3 = 6$
C2	4	$4 \times 3 = 12$	$4 \times 2 = 8$
C3	3	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 2 = 6$
Totale		25	20

Tableau6 : Valorisation globale FT1

- La solution S1.1 c'est globalement la plus intéressante pour notre système pour cela la solution optimale sera par chaîne Pignon.

2.2.4. Choix du moteur :

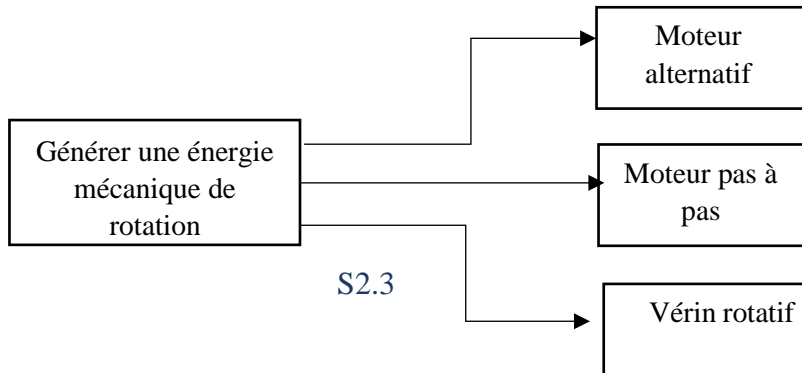


Figure 28 : Analyse de FT2

Les critères des choix :

- C1 : Prix.
- C2 : Puissance.
- C3 : Variation de vitesse.
- C4 : Disponibilité de la source.

Ci	FT2.1	FT2.2	FT2.3
C1	3	2	2
C2	2	3	2
C3	3	1	1
C4	2	2	2

Tableau 7 : Valorisation par critère FT2

Critère	K	FT2.1	FT2.2	FT2.3
C1	3	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 2 = 6$	$3 \times 2 = 6$
C2	2	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 3 = 6$	$2 \times 2 = 4$
C3	4	$4 \times 3 = 12$	$4 \times 1 = 4$	$4 \times 1 = 4$
C4	2	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 = 4$
Totale		29	20	16

Tableau 8 : Valorisation globale FT2

➤ Alors, on admet FT2.1 comme solution finale

2.2.5. Analyse S2.1 : Moteur alternatif

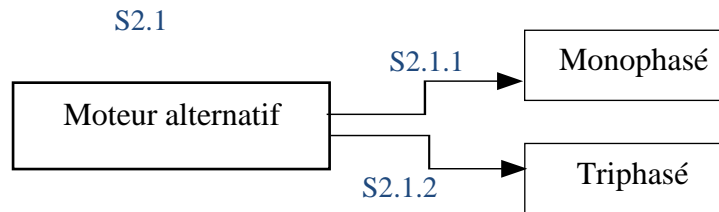


Figure 29 : Analyse de S2.1

Critère de choix :

- C1 : Cout
- C2 : Puissance
- C3 : variation de la vitesse.
- C4 : Maintenabilité

Ci	S2.1.1	S2.1.2
C1	2	3
C2	2	3
C3	3	2
C4	2	3

Tableau 9 : Valorisation par critère S2.1

Critère	K	S2.1.1	S2.1.2
C1	2	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 3 = 6$
C2	4	$4 \times 2 = 8$	$4 \times 3 = 12$
C3	3	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 2 = 6$
C4	2	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 3 = 6$
Totale		25	30

Tableau 10 : Valorisation globale S2.1

- Alors, on admet la fonction S2.1.2 comme solution finale.
-

2.2.6. Choix du système d'entraînement à mouvement linéaire :

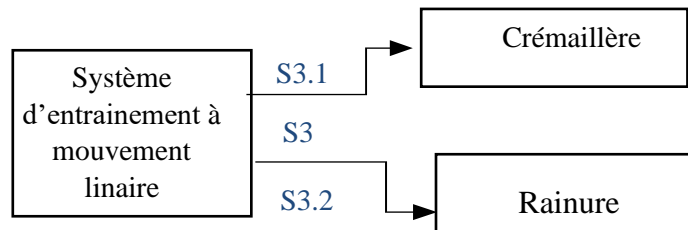


Figure 30 : Analyse de S2.1

Critère de choix :

- C1 : Cout
- C2 : Maintenabilité

Ci	S3.1	S3.2
C1	1	3
C2	2	2

Tableau 11 : Valorisation par critère S3

➤ Le tableau suivant représente la valorisation globale pour S3.

Ci	K	S3.1	S3.2
C1	3	$3 \times 1 = 3$	$3 \times 3 = 9$
C2	2	$2 \times 2 = 4$	$2 \times 2 = 4$
Total		7	13

Tableau 12 : Valorisation globale S3

➤ La solution FT3.2 c'est globalement la plus intéressante pour notre système pour cela la solution optimale sera par le système d'entraînement à mouvement de rotation.

2.2.7. Diagramme F.A.S.T. Corrigé :

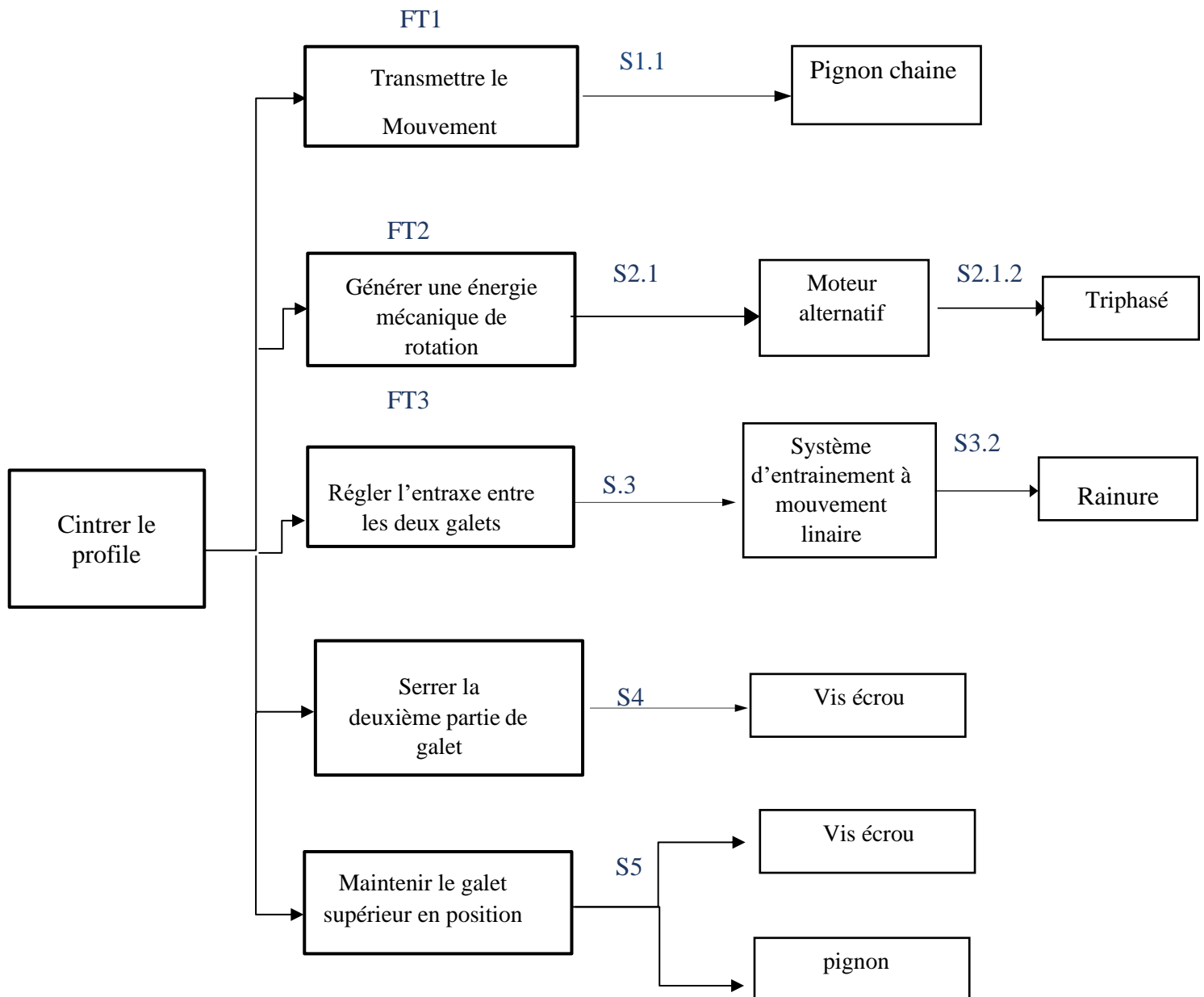


Figure 31: Diagramme Fast corrigé

Conclusion

Dans ce chapitre, on prend les mieux solutions technologiques suivant le cahier des charges fourni et la disponibilité des matériels. Certains éléments des solutions présentés seront dimensionnés au chapitre suivant.

Chapitre 4 : Calcul et dimensionnement

Introduction :

Dans ce chapitre on va faire tous les calculs nécessaires pour le dimensionnement de notre système. A la fin de ce chapitre on va faire la simulation, de quelques pièces.

1.Schéma cinématique :

Le schéma cinématique du système est défini sur la figure ci-dessous. Les composants du système sont décrits dans le tableau suivant :

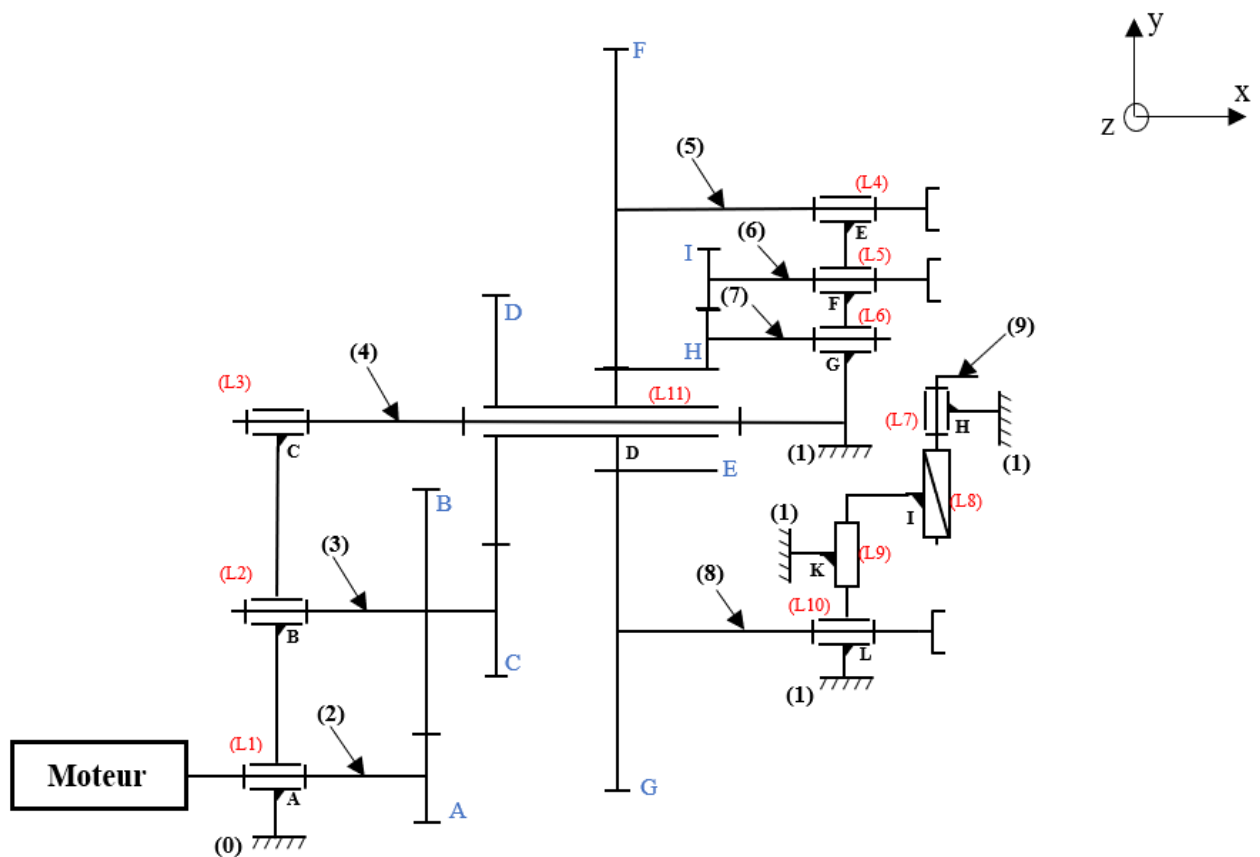


Figure 32 : Schéma cinématique du système

Repéré	Liaison
L1	Pivot (A, \vec{x})
L2	Pivot (B, \vec{x})
L3	Pivot (C, \vec{x})
L4	Pivot (E, \vec{x})
L5	Pivot (F, \vec{x})
L6	Pivot (G, \vec{x})
L7	Pivot (H, \vec{y})
L8	Hélicoïdale (I, \vec{y})
L9	Glissière (K, \vec{y})
L10	Pivot (L, \vec{x})
L11	Pivot (D, \vec{x})

Repéré	Désignation
0	Bati
1	Bloc
2	Arbre moteur
3	Arbre de roue 1
4	Arbre de roue pignon
5	Arbre de grand galet
6	Arbre de petit galet 1
7	Arbre de roue intermédiaire
8	Arbre de galet 2
9	Poigne supérieur

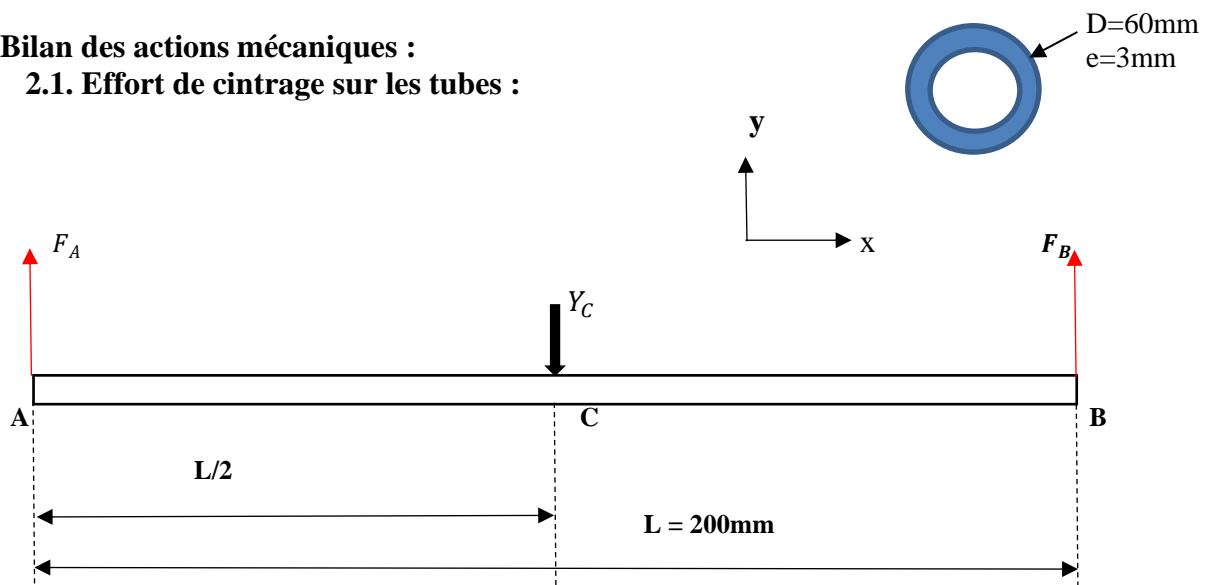
Tableau 14 : Repère de système

Tableau 13 : Repère de liaison

La machine que nous sommes chargés de concevoir est une cintruse à 3 galets avec presseur manuel capable de cintrer des profilés de type fer rond de diamètre 20 mm jusqu' à 60mm et types forme carrée $a=20\text{mm}$ jusqu' à $a=40\text{mm}$. Cette machine a deux galets inférieurs entraînés électriquement avec un écartement de 400 mm jusqu' à 800 mm. La position du galet presseur se fait manuellement à l'aide de la poigné.

2.Bilan des actions mécaniques :

2.1. Effort de cintrage sur les tubes :



$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_A \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_A & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\} ; \quad \left\{ \begin{matrix} \zeta_B \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_B & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\} ; \quad \left\{ \begin{matrix} \zeta_C \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ -Y_C & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\}$$

2.2. Transfert tous les torseurs au point C :

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_A \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_A & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\} \xrightarrow{\text{En C}} \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_A & 0 \\ 0 & F_A \times \frac{L}{2} \end{matrix} \right\}$$

$$M_C = M_A + CA \wedge Ra = 0 + \begin{pmatrix} \frac{L}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_A \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ F_A \times \frac{L}{2} \end{pmatrix}$$

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_B \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_B & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\} \xrightarrow{\text{en C}} \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_B & 0 \\ 0 & F_B \times \frac{L}{2} \end{matrix} \right\}$$

$$M_C = M_B + CB \wedge Ra = 0 + \begin{pmatrix} \frac{L}{2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_B \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ F_B \times \frac{L}{2} \end{pmatrix}$$

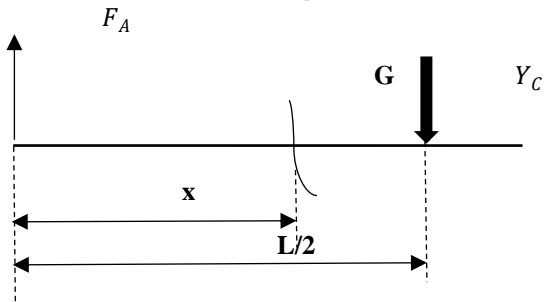
2.3. P.F.S au point C :

$$\boxed{\Sigma \{ \zeta \} = 0 \rightarrow}$$

$$\begin{cases} F_A + F_B = 0 \\ F_A \times \frac{L}{2} + F_B \times \frac{L}{2} = 0 \end{cases} \xrightarrow{\quad} Y_C = F_A \times \frac{L}{2} = F_B \times \frac{L}{2}$$

3. Torseur de cohésion :

3.1. Tronçon [AC] :



$$\{\zeta_{coh}\} = -\sum \{\zeta\} \text{ (à gauche)} = +\sum \{\zeta\} \text{ (à droite)}$$

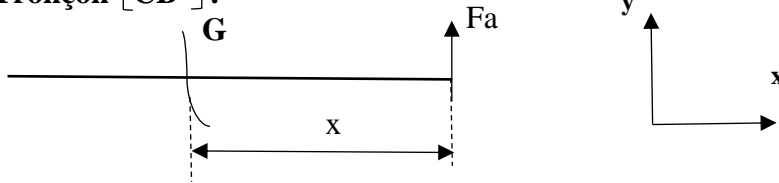
$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_{coh} \end{array} \right\} = - \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ F_A & 0 \\ 0 & F_A \cdot x \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ -F_A & 0 \\ 0 & -F_A \cdot x \end{array} \right\}$$

Conditions aux limites : ($0 \leq x \leq L/2$)

$$\text{Si } x=0 \left\{ \begin{array}{l} T_y = -F_A \\ M_{fz} = 0 \end{array} \right.$$

$$\text{Si } x=L/2 \left\{ \begin{array}{l} T_y = -F_A \\ M_{fz} = F_A \times \frac{L}{2} \end{array} \right.$$

3.2. Tronçon [CB] :



$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_B \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_B & 0 \\ 0 & F_B \times \frac{L}{2} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_B & 0 \\ 0 & F_B \times \frac{L}{2} \end{matrix} \right\}$$

Conditions aux limites : ($L/2 < x < L$)

$$\text{Si } x = \frac{L}{2} \quad \left\{ \begin{matrix} T_y = F_B \\ M_{fz} = F_B \times \frac{L}{2} \end{matrix} \right.$$

$$\text{Si } x = L \quad \left\{ \begin{matrix} T_y = F_B \\ M_{fz} = 0 \end{matrix} \right.$$

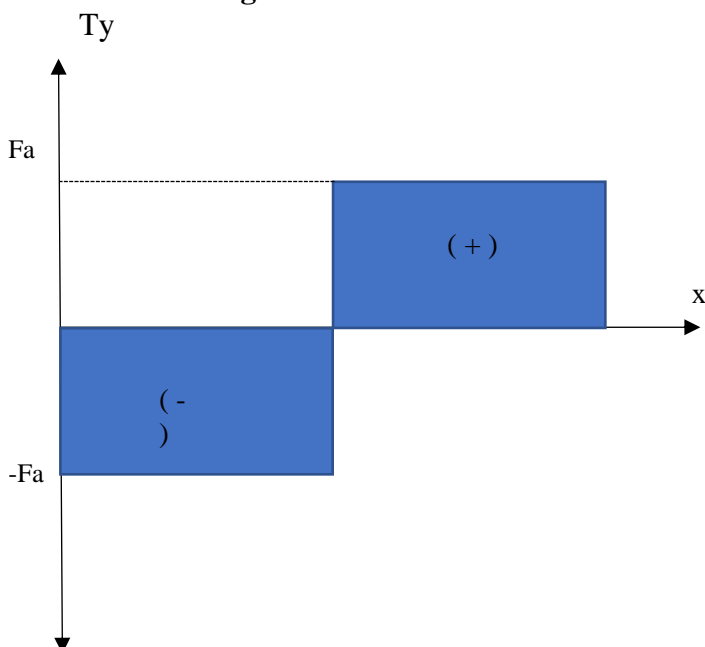
4. Traçage des diagrammes :

Les diagrammes des efforts intérieurs désignent le tracé des efforts subis en fonctions de la position le long de la poutre.

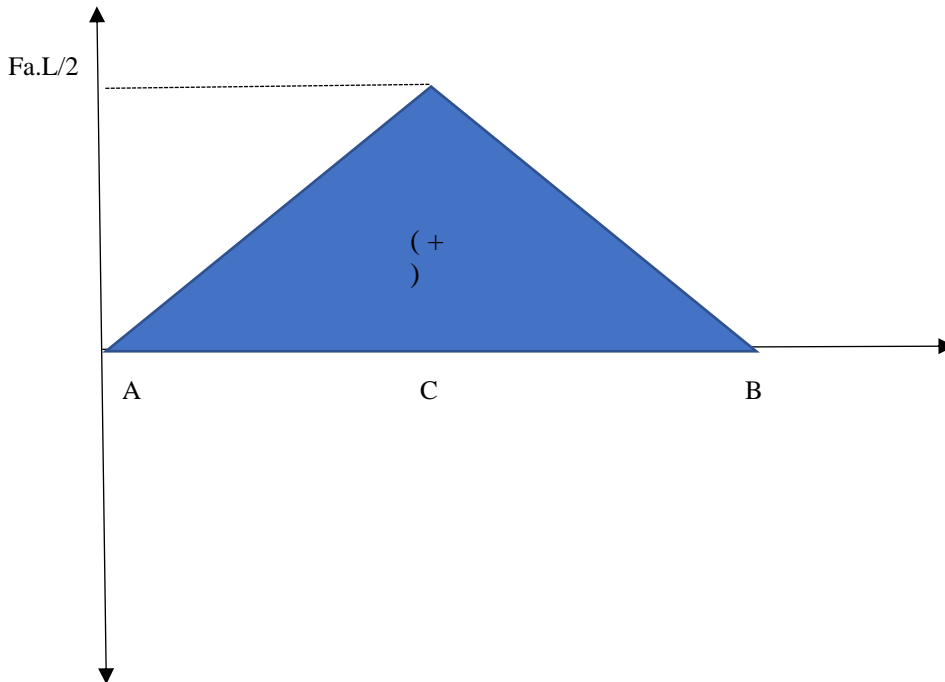
Les principaux diagrammes des efforts intérieurs sont ceux de l'effort tranchant (T_y) :

$$T_y \text{ Maxi} = F_b$$

4.1. Diagramme des efforts tranchants :



4.2. Diagramme des moments fléchissant :



5. Calcul

5.1. Calcul de la flèche :

On a $f = R_c - x$

Or $R_c = x^2 + (L/2)^2$

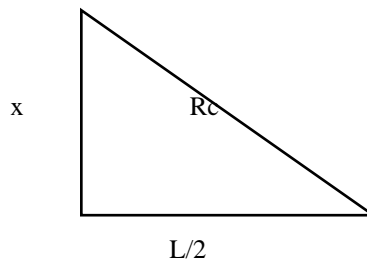
$$X^2 = R_c^2 - (L/2)^2$$

$$x = \sqrt{R_c^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \sqrt{300^2 - \left(\frac{200}{2}\right)^2}$$

$$x = 282.84 \text{ mm}$$

$$f = R_c - x = 300 - 282.84 = 17.16 \text{ mm}$$

$$f = 17.16 \text{ mm}$$



5.2. Calcul de l'effort de cintrage :

$$\frac{M f_z}{I g z} * \frac{D-d}{2} \geq R_m$$

$$\frac{\frac{F_c * L}{4} * \frac{D-d}{2}}{I g z} \geq R_m$$

$$\frac{F_c * L * (D-d)}{8 * I g z} \geq R_m$$

$$F_c \geq \frac{8 \times R_m \times I_{gz}}{L \times (D-d)} \quad \text{avec} \quad I_{gz} = \frac{\pi \times (D-d)}{2}$$

$$F_c = \frac{8 \times R_m \times \pi (D^4 - d^4)}{64 \times L (D-d)} = \frac{R_m \times \pi \times (D^4 - d^4)}{8 \times L \times (D-d)}$$

$$AP : F_c = \frac{560 \times \pi (60^4 - 58^4)}{8 \times 200 \times (60 - 58)} = 100037N$$

$$F_c = 100KN$$

5.2. Calcul de l'effort tangentiel :

$$F_t = f \times F_c ; \text{ avec } f : \text{force de frottement}$$

$$F_t = 0,2 \times 100037 = 20007,4N$$

5.3. Calcul du couple à vide :

$$C = F_t \times R_g ; \text{ avec } R_g : \text{Rayon du galet}$$

$$AP : C = 20007,4 \times 65 \times 10^{-3} = 1300,481N.m$$

$$C = 1300.481N.m$$

5.4. Calcul du rapport global d'engrenage :

$$r_g = 0.413 \times 0.1410 \times 0.16 = 0.00931 ; \quad r_g : \text{rapport global}$$

5.5. Calcul du couple de sortie :

$$C_s = C \times r_g = 1300.481 \times 0.00931 = 12.11N.m$$

5.6. Calcul du puissance de sortie :

$$P_s = C_s \times W_s = \frac{12.11 \times \pi \times 1410}{30} = 1788 \text{ w}$$

$$P_s = 1788 \text{ W}$$

5.7. Calcul du puissance moteur :

$$\mu = 0.85 ; \quad \mu : \text{Rendement de l'engrenage}$$

$$P_m = \frac{1788}{0.85} = 2.2KW$$

$$P_m = 2.2KW$$

$$r_1 = \frac{de}{ds} = \frac{60}{145} = 0.413$$

$$C_1 = C \cdot r_1 = 1300.481 \cdot 0.413 = 537.1 \text{ N.m}$$

$$R_{pg} = 112 \text{ Mpa}$$

$$dp \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 537.1 \times 10^3}{\pi \times 112}} = 29 \text{ mm}$$

$$dp = 29 \text{ mm}$$

Arbre 2 :

$$r_2 = \frac{36}{254} = 0.141$$

$$C_2 = C \times r_2 \times r_1 = 1300.481 \times 0.141 \times 0.413 = 75.73 \text{ N.m}$$

$$R_{pg} = 112 \text{ Mpa}$$

$$dp \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 75.73 \times 10^3}{\pi \times 112}} = 15.1 \text{ mm}$$

$$dp = 15.1 \text{ mm}$$

Arbre 1 :

$$r_3 = \frac{40}{256} = 0.16$$

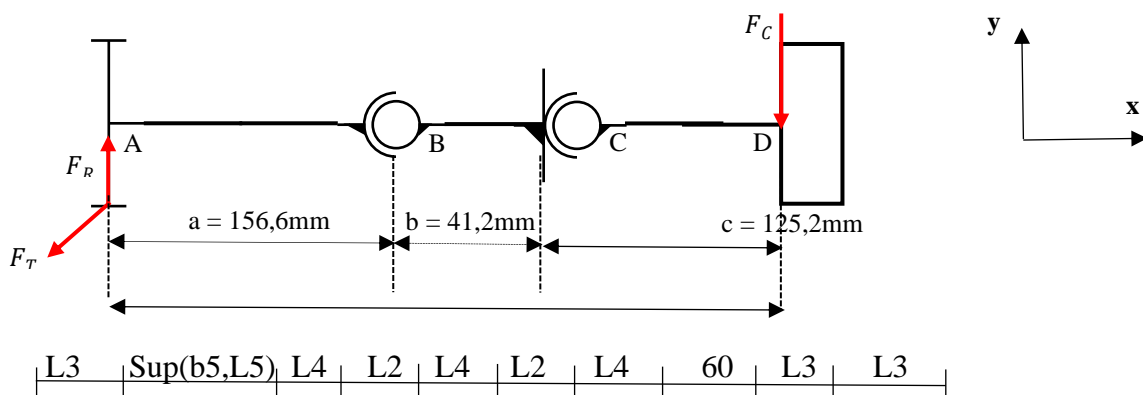
$$C_3 = C \times r_3 \times r_2 \times r_1 = 1300.481 \times 0.16 \times 0.141 \times 0.413 = 12.11 \text{ N.m}$$

$$dp \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 12.11 \times 10^3}{\pi \times 112}} = 8.2 \text{ mm}$$

$$dp = 8.2 \text{ mm}$$

Pour la sécurité du système, on prend **dp = 29mm** pour l'engrenage.

6. Dimensionnement de l'arbre du petit galet :



$$560 < Re < 620$$

$$Reg = 0.8 * Re = 0.8 * 560 = 448 \text{ N/mm}^2 ; s = 4$$

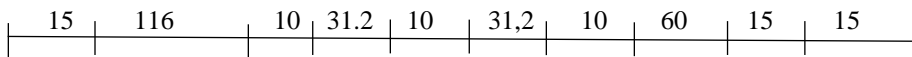
S : coefficient de sécurité

$$Rpg = \frac{Reg}{s} = \frac{448}{4} = 112 \text{ Mpa}$$

$$dp \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 1300.481 \times 10^3}{\pi \times Rpg}} = 39 \text{ mm}$$

$$L3 = 15 \text{ mm} ; b5 = 0.8 * Dr = 0.8 * 145 = 116 \text{ mm} ; L4 = 10 \text{ mm} ;$$

$$L2 = 0.8 * dp = 0.8 * 39 = 31.2 \text{ mm} ; L5 = 20 \text{ mm}$$



$$\begin{cases} F_t = \frac{2 \times C_F}{d_G} = \frac{2 \times 1300.481 \times 10^3}{145 \times 10^{-3}} = 17937.66 \text{ N} \\ F_R = F_t \times \tan(20^\circ) = 6528.77 \text{ N} \end{cases}$$

$$F_t = 17937.66 \text{ N}$$

$$F_R = 6528.77 \text{ N}$$

6.1. Les torseurs des liaisons mécanique :

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_E \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ F_R & 0 \\ F_T & 0 \end{matrix} \right\} ; \left\{ \begin{matrix} \zeta_B \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} x_B & 0 \\ y_B & 0 \\ z_B & 0 \end{matrix} \right\} ; \left\{ \begin{matrix} \zeta_C \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ y_C & 0 \\ z_C & 0 \end{matrix} \right\}$$

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_D \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ -F_C & 0 \\ 0 & 0 \end{matrix} \right\}$$

6.2. Transfert des torseurs au point D :

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_E \end{matrix} \right\} \xrightarrow{\text{en D}} \left\{ \begin{matrix} 0 & -72.5 F_T \\ F_R & -L F_T \\ F_R & L F_R \end{matrix} \right\}$$

$$M_D = M_E + DE \wedge R_E = 0 + \begin{pmatrix} -72.5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_R \\ F_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -72.5 F_T \\ L F_T \\ -L F_R \end{pmatrix} 0$$

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_B \end{matrix} \right\} \xrightarrow{\text{en D}} \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & F_T \\ x_B & 0 \\ y_B & (c+b) z_B \\ z_B & - \end{array} \right\} \quad (c+b) y_B$$

$$M_D = M_B + DB \wedge R_B = 0 + \begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} -(c+b) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ (c+b) z_B \\ -(c+b) y_B \end{pmatrix}$$

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_C \end{matrix} \right\} \xrightarrow{\text{en D}} \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ y_C & c \cdot z_C \\ z_C & -c \cdot y_C \end{array} \right\}$$

$$M_D = M_C + DC \wedge R_C = 0 + \begin{pmatrix} -c \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ y_C \\ z_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ cz_C \\ -c \cdot y_C \end{pmatrix}$$

6.3. P.F.S au point D :

$$\boxed{\left\{ \zeta \right\} = \overrightarrow{0}}$$

$$\left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 72.5F_T \\ F_R & LF_T \\ F_T & -LF_R \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c|c} x_B & 0 \\ y_B & (c+b)z_B \\ z_B & -(c+b)y_B \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ y_C & cz_C \\ z_C & -cy_C \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ -F_c & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0 \end{matrix} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_B = 0 \quad (1) \\ F_R + y_B + y_C - F_c = 0 \quad (2) \\ F_T + z_B + z_C = 0 \quad (3) \\ -72.5F_T = 0 \quad (4) \\ LF_T + (c+b)z_B + cy_C = 0 \quad (5) \\ -LF_R - (c+b)y_B - cy_C = 0 \quad (6) \end{array} \right.$$

$$(6) \Rightarrow y_C = \frac{-(LF_R + (c+b)y_B)}{c}$$

$$(2) \Rightarrow F_R + y_B + \frac{-(LF_R + (c+b)y_B)}{c} - F_C = 0$$

$$\Rightarrow y_B = \frac{F_C + 63399.5}{-0.33} = -163436.5N$$

$$y_B = -163436.5N$$

$$(2) \Rightarrow F_R + y_B + y_C - F_C = 0 \Rightarrow y_C = F_C - F_R - y_B$$

$$y_C = -223344N$$

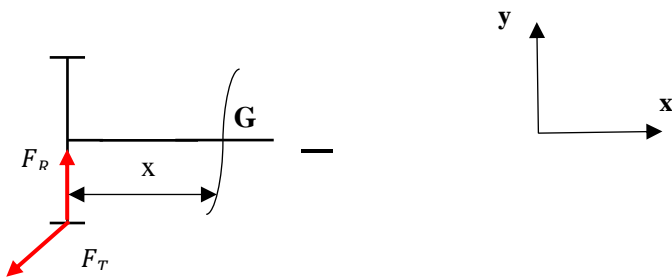
$$(5) \Rightarrow z_C = \frac{-LF_T - (c+b)z_B}{c}$$

$$(3) \Rightarrow F_T + z_B + \frac{-LF_T - (c+b)z_B}{c} = 0$$

$$z_B = -85876N$$

$$z_C = -67938.8N$$

Torseur de cohésion : ($0 < x < a$)



$$\left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ F_R & 0 \\ F_T & 0 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{En A}} \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & -72.5F_T \\ F_R & 0 \\ F_T & 0 \end{array} \right\}$$

$$M_A = M_E + AE \wedge R_E = 0 + \begin{pmatrix} 0 \\ -72.5 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_R \\ F_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -72.5F_T \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\left\{ \begin{array}{c|c} 0 & -72.5F_T \\ F_R & 0 \\ F_T & 0 \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{En G}} \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & -72.5F_T \\ F_R & F_T \cdot x \\ F_T & -F_R \cdot x \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 72.5F_T \\ -F_R & -F_T \cdot x \\ -F_T & F_R \cdot x \end{array} \right\}$$

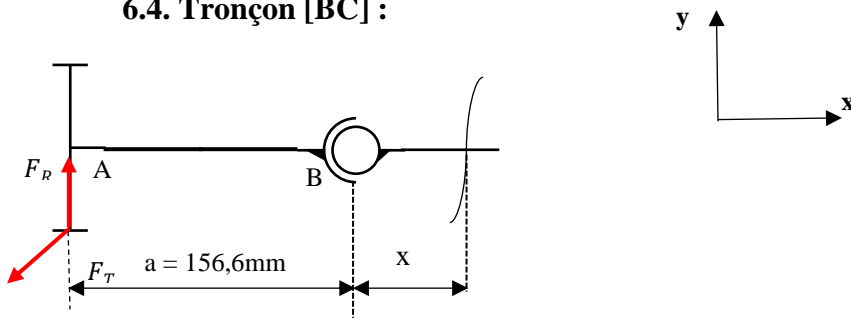
$$M_G = M_A + GA \wedge R_A = \begin{pmatrix} -72,5F_T \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_R \\ F_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -72,5F_T \\ F_T \cdot x \\ -F_R \cdot x \end{pmatrix}$$

Condition aux limites :

$$\text{Si } x=0 \quad \begin{cases} T_y = -F_R \\ M_{fz} = 0 \end{cases}$$

$$\text{Si } x=a \quad \begin{cases} T_y = -F_R \\ M_{fz} = F_R \cdot a \end{cases}$$

6.4. Tronçon [BC] :



$$\begin{Bmatrix} 0 \\ -F_R \\ -F_T \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} 72,5F_T \\ -F_T \cdot x \\ F_R \cdot x \end{vmatrix} - \begin{Bmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} 0 \\ (x-a)z_B \\ (a-x)y_B \end{vmatrix} = \begin{Bmatrix} -x_B \\ -F_R - y_B \\ -F_T - z_B \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} -72,5 - F_T \\ (a-x)z_B - F_T \cdot x \\ (x-a)y_B + F_R \cdot x \end{vmatrix}$$

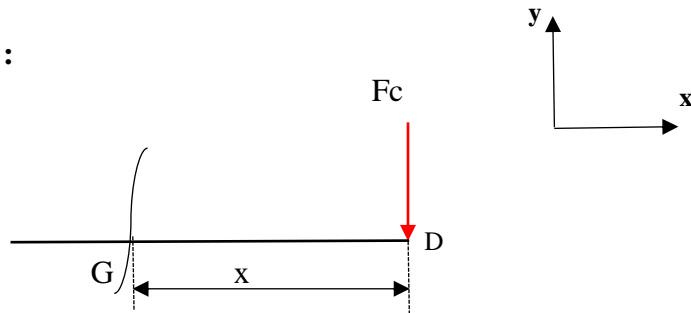
$$M_G = M_B + GB \wedge R_B = 0 + \begin{pmatrix} -(x-a) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ (x-a)z_B \\ (a-x)y_B \end{pmatrix}$$

Conditions aux limites : (a < x < (a+b))

$$\text{Si } x=a \quad \begin{cases} T_y = -F_R - y_B \\ M_{fz} = F_R \cdot a \end{cases}$$

$$\text{Si } x=(a+b) \quad \begin{cases} T_y = -F_R - y_B \\ M_{fz} = b \cdot y_B + F_R \cdot (a + b) \end{cases}$$

6.5. Tronçon [DC] :



$$\left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ -F_c & 0 \\ 0 & -F_c \cdot x \end{array} \right\}$$

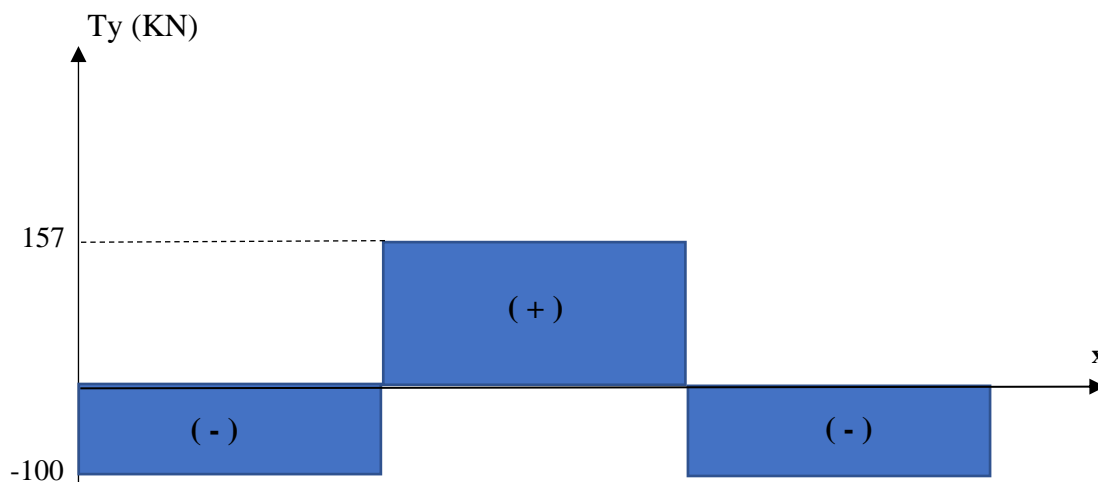
$$M_G = M_D + GD \wedge R_D = 0 + \begin{pmatrix} x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ -F_c \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -F_c \cdot x \end{pmatrix}$$

Conditions aux limites : ($0 < x < c$)

Si $x=0$ $\left\{ \begin{array}{l} T_y = -F_c \\ M_{fz} = 0 \end{array} \right.$

Si $x=c$ $\left\{ \begin{array}{l} T_y = -F_c \\ M_{fz} = -F_c \cdot c \end{array} \right.$

Diagramme des effort tranchants :



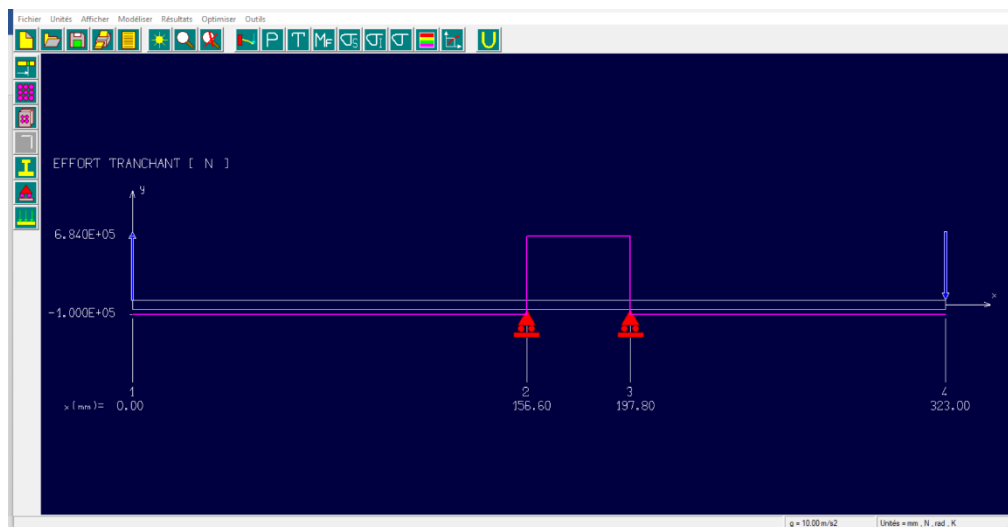
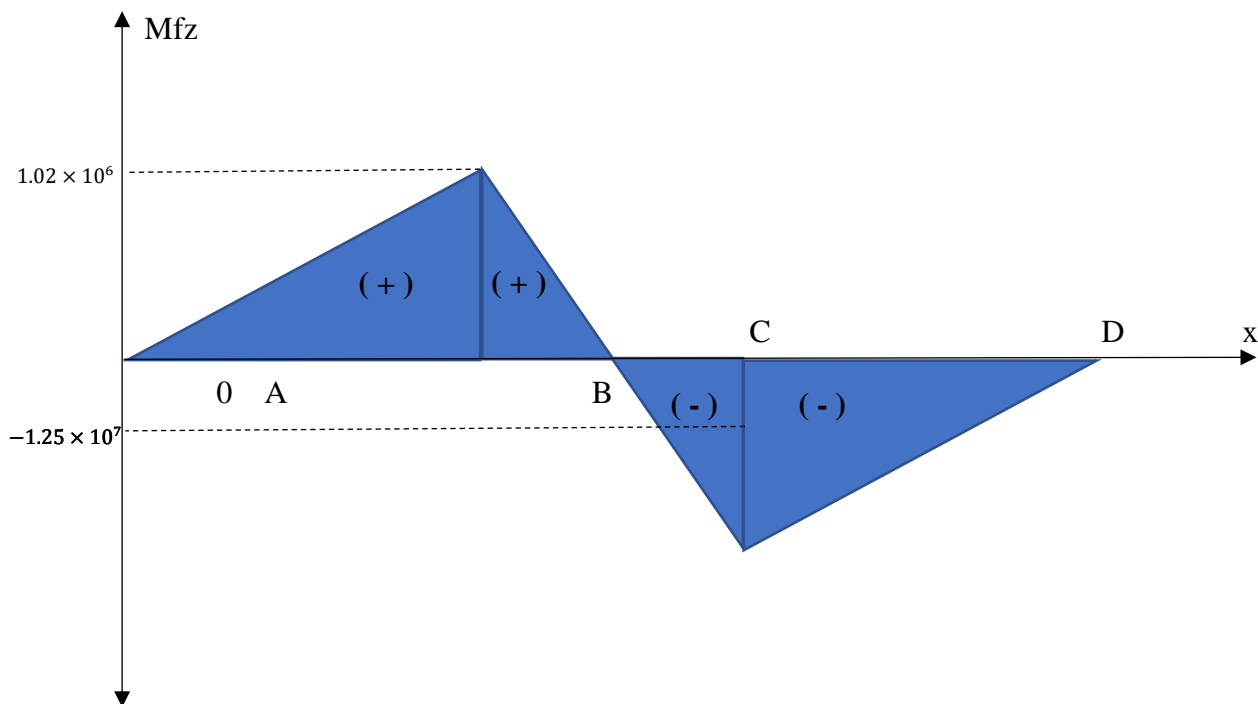


Figure 33 : Modélisation sur RDM6

Diagramme des moments fléchissant :



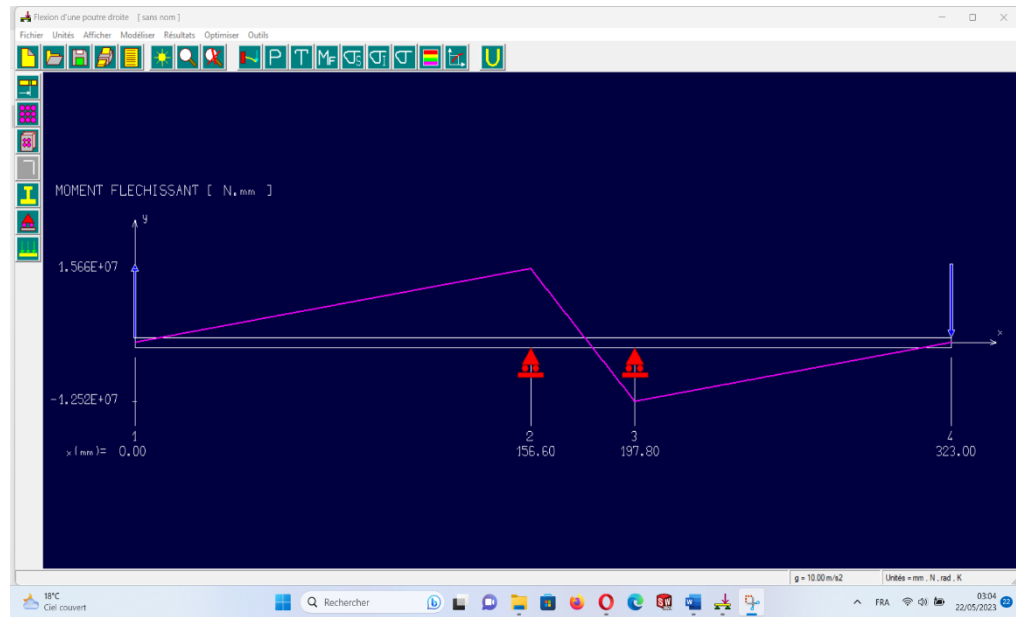


Figure 34 : Modélisation sur RDM6

7.Caractéristique de différents pignons :

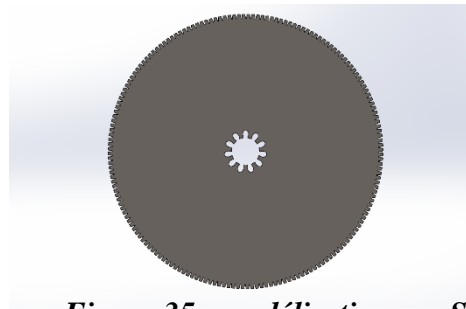


Figure 35 : modélisation sur SolidWorks

Module	m	$m = 1,5$
Nombre de dents	z	$Z = 168\text{dents}$
Pas	p	$P = m \cdot \pi = 5\text{mm}$
Saillie	ha	$ha = m = 1,5\text{mm}$
Creux	hf	$hf = 1,25 \cdot m = 1,875\text{mm}$
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf = 3,375\text{mm}$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z = 252\text{mm}$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 \cdot m = 255\text{mm}$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2,5 \cdot m = 248,25\text{mm}$

Tableau 15 : Caractéristique de pignon

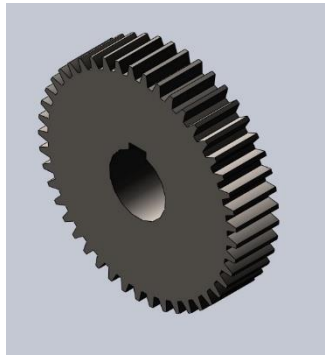


Figure 36 : Modélisation sur SolidWorks

Module	m	$m = 3$
Nombre de dents	z	$Z = 83\text{dents}$
Pas	p	$P = m \cdot \pi = 10\text{mm}$
saillie	ha	$ha = m = 3\text{mm}$
Creux	hf	$hf = 1,25 \cdot m = 3,75\text{mm}$
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf = 6,75\text{mm}$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z = 249\text{mm}$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 \cdot m = 255\text{mm}$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2,5 \cdot m = 241,5\text{mm}$

Tableau 16 : caractéristiques de pignon

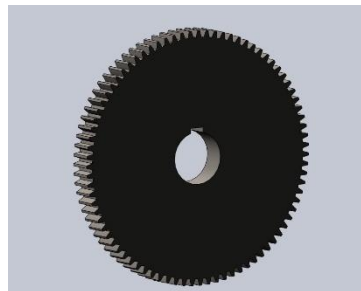


Figure 37 : Modélisation sur SolidWorks

Module	m	$m = 3$
Nombre de dents	z	$Z = 45\text{dents}$
Pas	p	$P = m \cdot \pi = 10\text{mm}$
saillie	ha	$ha = m = 3\text{mm}$
Creux	hf	$hf = 1,25 \cdot m = 3,75\text{mm}$
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf = 6,75\text{mm}$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z = 135\text{mm}$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 \cdot m = 141\text{mm}$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2,5 \cdot m = 127,5\text{mm}$

Tableau 17 : caractéristiques de pignon

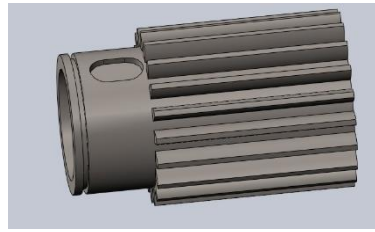


Figure 38 : modélisation sur SolidWorks

Module	m	$m = 1,5\text{mm}$
Nombre de dents	z	$Z = 24\text{dents}$
Pas	p	$P = m \cdot \pi = 4,71\text{mm}$
saillie	ha	$ha = m = 1,5\text{mm}$
Creux	hf	$hf = 1,25 \cdot m = 1,87\text{mm}$
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf = 3,37\text{mm}$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z = 36\text{mm}$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 \cdot m = 39\text{mm}$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2,5 \cdot m = 28,14\text{mm}$

Tableau 18 : caractéristiques de pignon

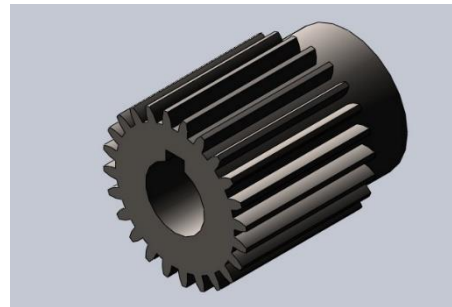


Figure 39 : Modélisation sur SolidWorks

Module	m	$m = 3$
Nombre de dents	z	$Z = 20\text{dents}$
Pas	p	$P = m \cdot \pi = 10\text{mm}$
saillie	ha	$ha = m = 3\text{mm}$
Creux	hf	$hf = 1,25 \cdot m = 3,75\text{mm}$
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf = 6,75\text{mm}$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z = 60\text{mm}$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 \cdot m = 66\text{mm}$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2,5 \cdot m = 52,5\text{mm}$

Tableau 19 : Caractéristiques de pignon

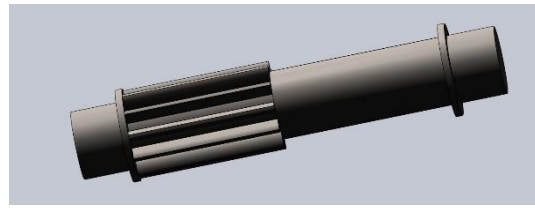
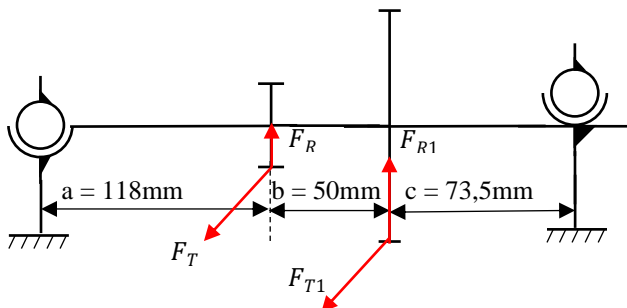


Figure 40 : Modélisation sur SolidWorks

Module	m	$m = 3$
Nombre de dents	z	$Z = 11 \text{ dents}$
Pas	p	$P = m \cdot \pi = 10 \text{ mm}$
saillie	ha	$ha = m = 3 \text{ mm}$
Creux	hf	$hf = 1,25 \cdot m = 3,75 \text{ mm}$
Hauteur de dent	h	$h = ha + hf = 6,75 \text{ mm}$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z = 33 \text{ mm}$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2 \cdot m = 39 \text{ mm}$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2,5 \cdot m = 31,5 \text{ mm}$

Tableau 20 : caractéristiques de pignon

8. Arbre des roues 2:



$$\left\{ \begin{array}{l} F_T = \frac{2 \times C}{d} = \frac{2 \times 537}{66 \times 10^{-3}} = 16272.7 \text{ N} \\ F_R = F_T \times \tan(20^\circ) = 5922.8 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{T1} = \frac{2 \times C}{D} = \frac{2 \times 537}{241.5 \times 10^{-3}} = 4228.3 \text{ N} \\ F_{R1} = F_{T1} \times \tan(20^\circ) = 1539 \text{ N} \end{array} \right.$$

Les torseurs des actions mécaniques :

$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_A \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} x_A & 0 \\ y_A & 0 \\ z_A & 0 \end{array} \right\} ; \left\{ \begin{array}{c} \zeta_E \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ F_R & 0 \\ F_T & 0 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_F \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ F_{R1} & 0 \\ F_{T1} & 0 \end{array} \right\} ; \left\{ \begin{array}{c} \zeta_D \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ y_D & 0 \\ z_D & 0 \end{array} \right\}$$

Transfert des torseur F au point B

$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_B \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & -33 F_T \\ F_R & 0 \\ F_T & 0 \end{array} \right\}$$

$$M_B = M_E + BE \wedge R_E = 0 + \begin{pmatrix} 0 \\ -33 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_R \\ F_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -33F_T \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Transfert de torseur F au point C :

$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_C \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & -127.F_{T1} \\ F_{R1} & 0 \\ F_{T1} & 0 \end{array} \right\}$$

$$M_C = M_F + CF \wedge R_C = 0 + \begin{pmatrix} 0 \\ -127 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_{R1} \\ F_{T1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -127.F_{T1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Transfert des torseurs au point D :

$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_A \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c|c} x_A & 0 \\ y_A & 241,5 z_A \\ z_A & -241,5 y_A \end{array} \right\}$$

$$M_D = M_A + DA \wedge R_A = 0 + \begin{pmatrix} -241,5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 241,5 z_A \\ -241,5 y_A \end{pmatrix}$$

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_B \end{matrix} \right\} \quad \left\{ \begin{matrix} 0 & -33F_T \\ F_R & (c+b) \cdot F_T \\ F_T & -(c+b) \cdot F_R \end{matrix} \right\}$$

$$M_D = M_B + DB \wedge R_B = \begin{pmatrix} -33F_T \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -(c+b) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_R \\ F_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -33F_T \\ (c+b) F_T \\ -(c+b) F_B \end{pmatrix}$$

$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_C \end{matrix} \right\} \quad \left\{ \begin{matrix} 0 & -127,5 \cdot F_{T1} \\ F_{R1} & F_{T1} \cdot c \\ F_{T1} & -F_{R1} \cdot c \end{matrix} \right\}$$

$$M_D = M_C + DC \wedge R_C = \begin{pmatrix} -127,5 \cdot F_{T1} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -c \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_{R1} \\ F_{T1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -127,5 \cdot F_{T1} \\ F_{T1} \cdot c \\ -F_{R1} \cdot c \end{pmatrix}$$

P.F.S au point D :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_B = 0 \quad (1) \\ y_A + F_R + F_{R1} + y_D = 0 \quad (2) \\ z_A + F_T + F_{T1} + z_D = 0 \quad (3) \\ 241,5 \cdot z_A + (c + b) \cdot F_T + F_{T1} \cdot c = 0 \quad (4) \\ -241,5 y_A - (c + b) F_R - F_{R1} \cdot c = 0 \quad (5) \end{array} \right.$$

$$(4) \Rightarrow z_A = \frac{-(c+b) \cdot F_T - F_{T1} \cdot c}{241,5} = -9608,5N$$

$$z_A = -9608,5N$$

$$(5) \Rightarrow y_A = \frac{-(c+b) F_R - F_{R1} \cdot c}{241,5} = -3497,2N$$

$$y_A = -3497,2N$$

$$(3) \Rightarrow z_D = -z_A - F_T - F_{T1} = -10892,5N$$

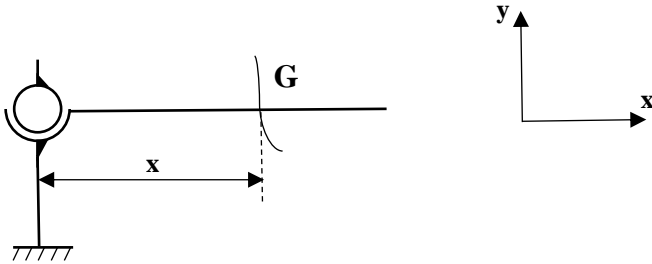
$$z_D = -10892,5N$$

$$(2) \Rightarrow y_D = -y_A - F_R - F_{R1} = -3964,6N$$

$$y_D = -3964,6N$$

Torseurs de cohésion :

Tronçon [AB] : (à gauche)



$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_A \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{En G}} \left\{ \begin{array}{c|c} -x_A & 0 \\ -y_A & -z_A \cdot x \\ -z_A & y_A \cdot x \end{array} \right\}$$

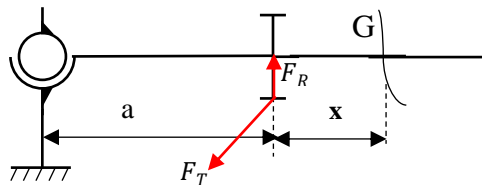
$$M_G = M_A + GA \wedge R_A = 0 + \begin{pmatrix} -x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \\ z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ z_A \cdot x \\ -y_A \cdot x \end{pmatrix}$$

Conditions aux limites : (0 < x < a)

$$\text{Si } x=0 \left\{ \begin{array}{l} T_y = -y_A \\ M_{fz} = 0 \end{array} \right.$$

$$\text{Si } x=a \left\{ \begin{array}{l} T_y = -y_A \\ M_{fz} \end{array} \right.$$

Tronçon [BC] :



$$\left\{ \begin{array}{c} \zeta_B \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{En G}} \left\{ \begin{array}{c|c} 0 & -33F_T \\ F_R & (x-a)F_T \\ F_T & (a-x)F_R \end{array} \right\}$$

$$M_G = M_B + GB \wedge R_B = \begin{pmatrix} -33F_T \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -(x-a) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ F_T \\ F_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -33F_T \\ (x-a)F_T \\ (x-a)F_R \end{pmatrix}$$

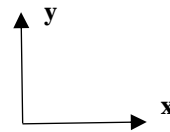
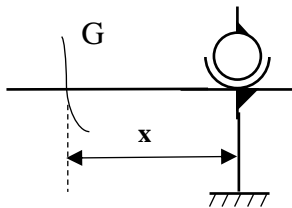
$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_B \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} -x_A & 0 \\ -y_A & -z_A \cdot x \\ -z_A & y_A \cdot x \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} 0 & 33F_T \\ -F_R & (a-x)F_T \\ -F_T & (x-a)F_R \end{matrix} \right\}$$

Condition aux limites : (a < x < (a+b))

Si x=a $\left\{ \begin{matrix} Ty = -y_A - F_R \\ Mfz = y_A \cdot a \end{matrix} \right.$

Si x=(a+b) $\left\{ \begin{matrix} Ty = -y_A - F_R \\ Mfz = (a+b)y_A + b \cdot F_R \end{matrix} \right.$

Tronçon [CD] :



$$\left\{ \begin{matrix} \zeta_D \end{matrix} \right\} \xrightarrow{\text{En G}} \left\{ \begin{matrix} 0 & 0 \\ y_D & -z_A \cdot x \\ z_D & y_A \cdot x \end{matrix} \right\}$$

$$M_G = M_B + GB \wedge R_B = 0 + \begin{pmatrix} x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} 0 \\ y_D \\ z_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -z_A \cdot x \\ y_A \cdot x \end{pmatrix}$$

Condition aux limites :

Si x=0 $\left\{ \begin{matrix} Ty = y_D \\ Mfz = 0 \end{matrix} \right.$

$$\text{Si } x=c \begin{cases} T_y = y_D \\ M_{fz} = y_A \cdot x \end{cases}$$

Diagramme des efforts tranchant :

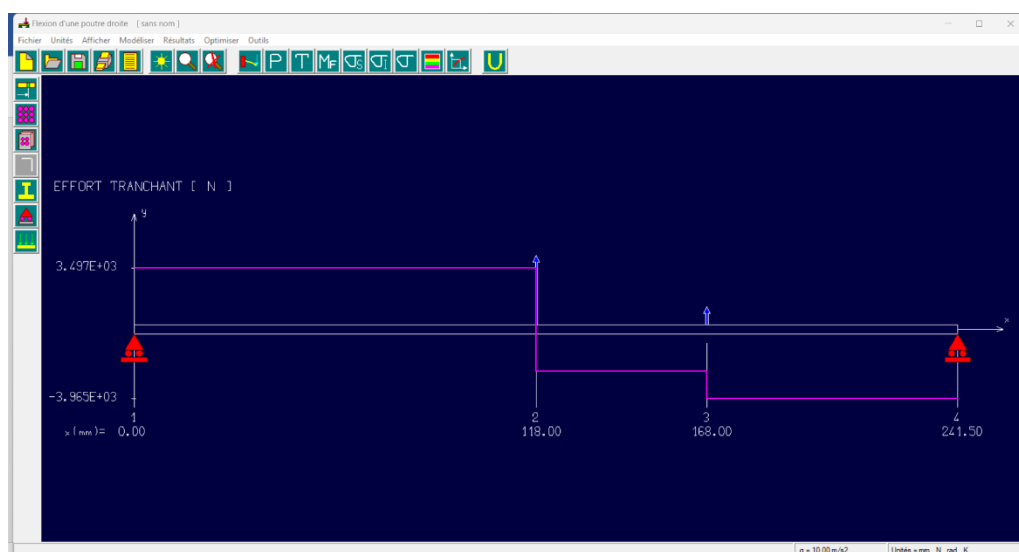
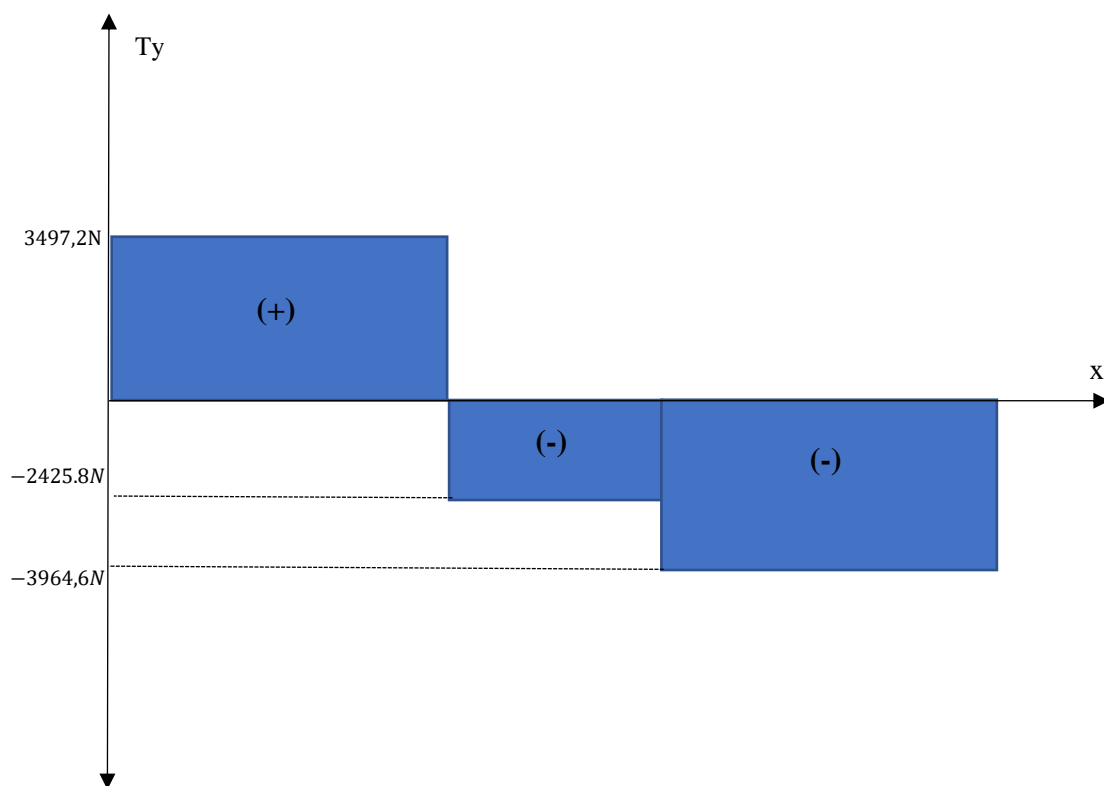


Figure 41 : Modélisation sur RDM6

Diagramme des moments fléchissant :

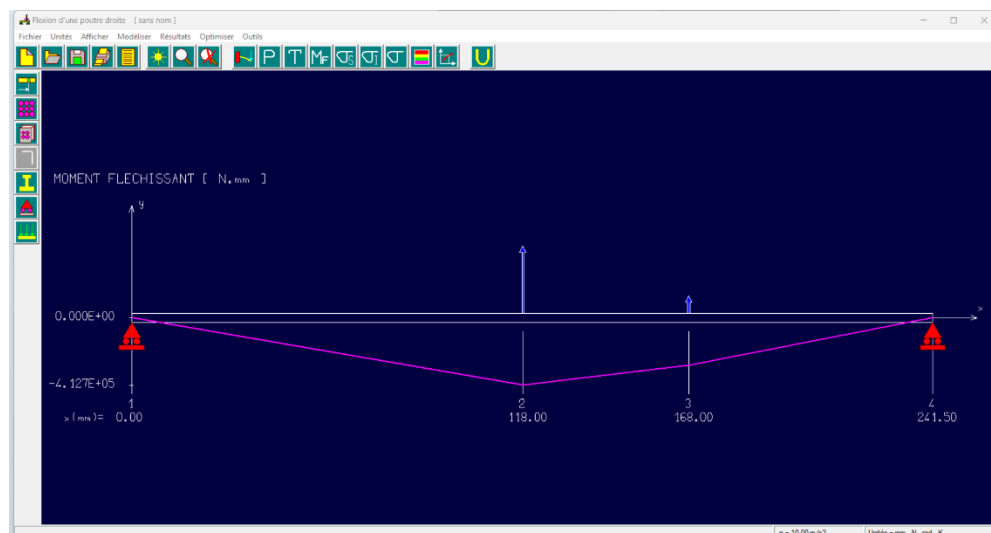
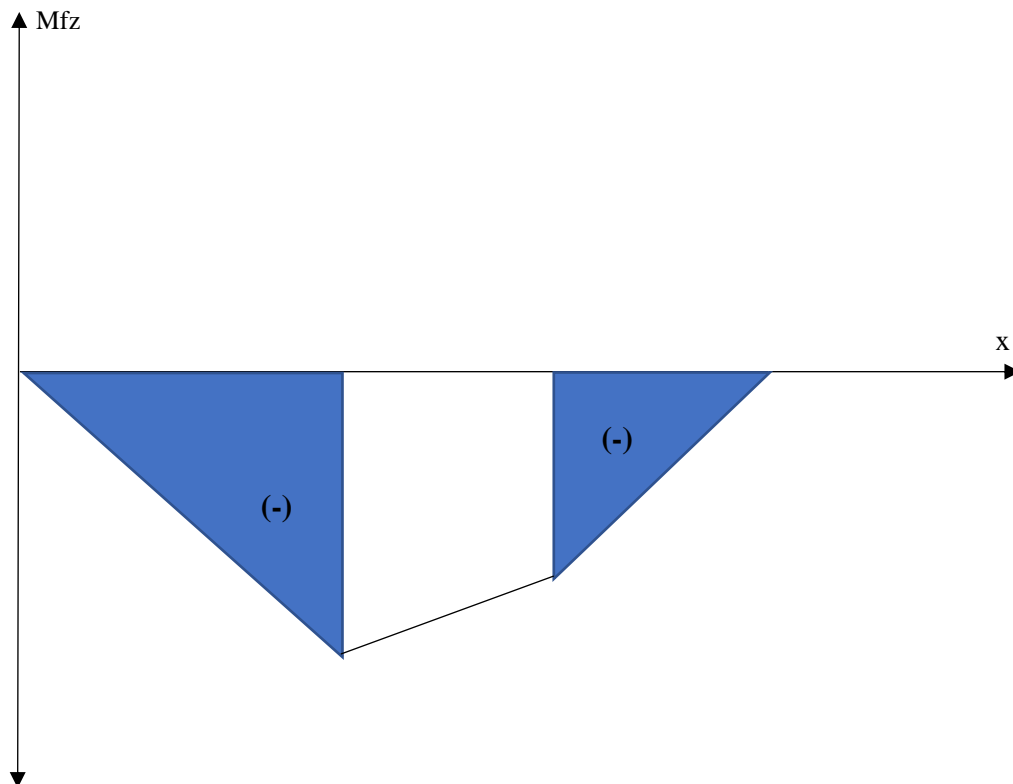
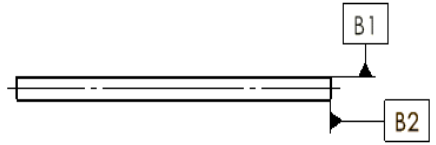
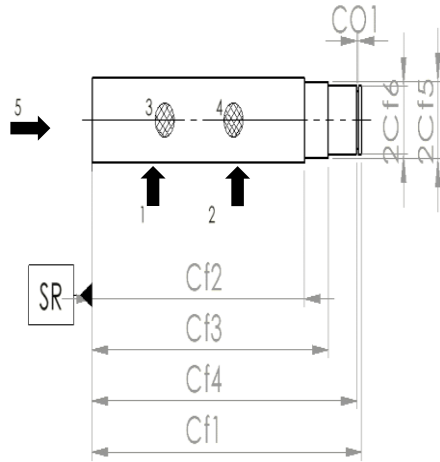


Figure 42 : Modélisation sur RDM6

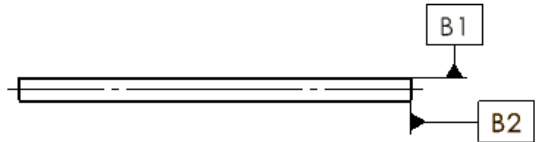
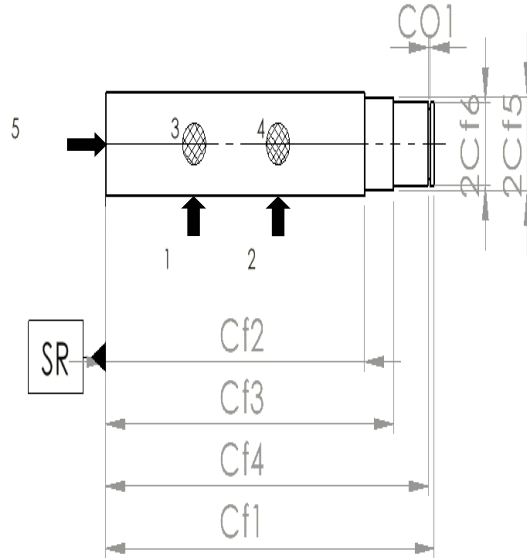
Conclusion

Cette partie est destinée à la détermination de la taille, la sélection et la vérification de résistances différent composant du support. Cette étude garantit sa fiabilité et durable.

Chapitre 5 : Réalisation

Phases	Opération	M.O	Machines / Outils	Croquis
Ph10	<p>Débitage</p> <p>Contrôle de brute</p> <p>B1=300mm</p> <p>B2=50mm</p>		<p>Scie</p> <p>Pied à coulisse</p>	
P20	<p>Tournage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage long (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>a) Dressage</p> <p>Cf1 = 292mm</p> <p>Cf2 = 222,2mm</p> <p>Cf3 = 247,2mm</p> <p>Cf4 = 277,2mm</p> <p>b) Chariotage</p> <p>2Cf5 = 45mm</p> <p>2Cf6 = 40mm</p> <p>c) Chanfreinage</p> <p>d) Centrage de trou $\phi 8$</p> <p>e) Gorge</p> <p>CO1 = 1,5mm</p>	Tour par allèle	<p>Outil à dresser</p> <p>Outil à charioter</p> <p>Outil à chanfreiner</p> <p>Outil à tronçonner</p> <p>Foret à centrer</p> <p>Outil à fileter</p> <p>Vc = 250 m/min</p> <p>f = 0.3mm/dent</p>	

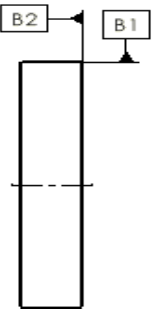
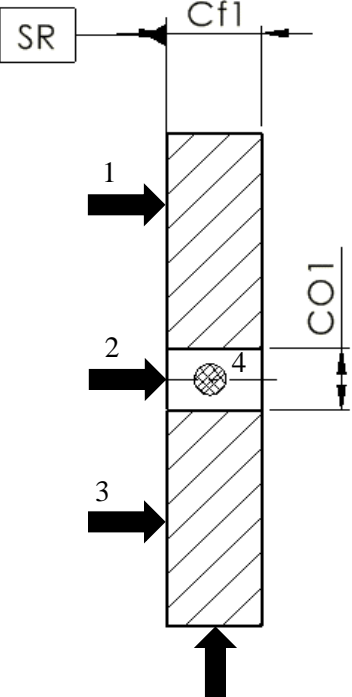
Ph3 0	<p>Tournage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par un montage entre pointe</p> <p>a) Dressage Cf7 = 25mm Cf8 = 125mm Cf9 = 201,5mm</p> <p>b) Chariotage 2Cf10 = 40mm</p> <p>c) Gorge Cf10 = 1.5mm</p> <p>d) Filetage M30P2</p>	Tourner par allègement	<p>Outil à charioter</p> <p>Outil à dresser</p> <p>$V_c = 250\text{m/min}$</p> <p>$f = 0.3\text{mm/dent}$</p>	
Ph40	<p>Fraisage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par un montage mixte</p> <p>Rainurage Cm1 = 62mm ; profondeur = 3mm</p>	Fraiseuse numérique	<p>Fraise 2 taille d'un plat $\phi 10$</p> <p>$V_c = 120\text{m/min}$</p> <p>$F = 0.035\text{m/dent}$</p> <p>t</p>	
Ph50	<p>Fraisage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par un montage mixte</p> <p>Rainurage Cm2 = 8mm ; profondeur = 3mm</p>	Fraiseuse numérique	<p>Fraise 2 taille d'un plat $\phi 10$</p> <p>$V_c = 120\text{m/min}$</p> <p>$F = 0.035\text{m/dent}$</p> <p>t</p>	

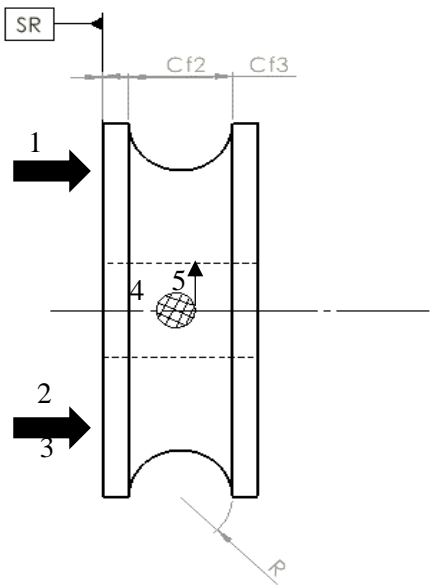
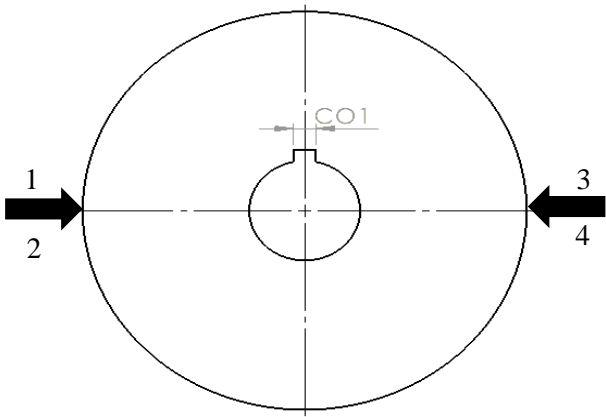
Phases	Opération	M.O	Machines / Outils	Croquis
Ph10	Débitage Contrôle de brute B1=260mm B2=50mm		Scie Pied à coulisse	
P20	<p>Tournage : Le référentiel de mise en position est défini par : Centrage long (1,2,3,4) Butée (5)</p> <p>a) Dressage Cf1 = 250mm Cf2 = 211,7mm Cf3 = 214,7mm Cf4 = 244,7mm</p> <p>b) Chariotage 2Cf5 = 45mm 2Cf6 = 40mm</p> <p>c) Chanfreinage</p> <p>d) Centrage de trou $\phi 8$</p> <p>e) Gorge CO1 = 1.5mm</p>	Tourner par allègement	<p>Outil à dresser Outil à charioter Outil à chanfreiner Outil à tronçonner Foret à centrer Outil à fileter</p> <p>Vc = 250 m/min f = 0.3mm/dent</p>	

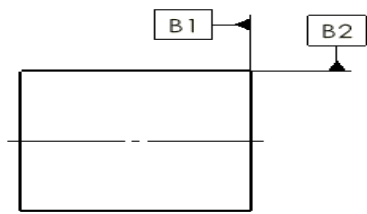
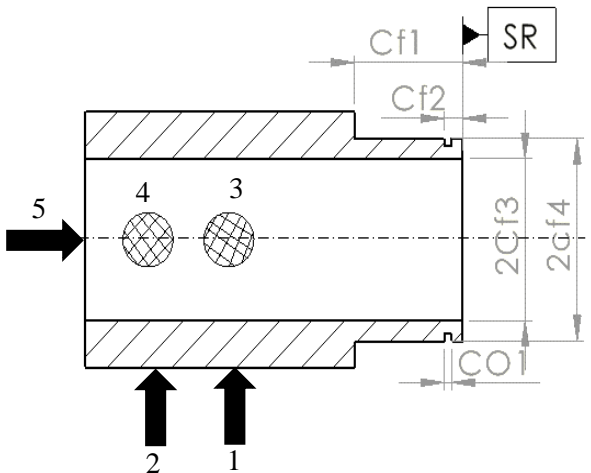
Ph30	<p>Tournage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par un montage entre pointe</p> <p>a) Dressage</p> <p>Cf7 = 3mm Cf8 = 87,5mm Cf9 = 169mm</p> <p>b) Chariotage</p> <p>2Cf10 = 40mm</p> <p>c) Gorge</p> <p>Cf10 = 1.5mm</p> <p>d) Filetage</p> <p>M30P2</p>	Tour par allèle	<p>Outil à charioter</p> <p>Outil à dresser</p> <p>Vc = 250m/min</p> <p>f = 0.3mm/dent</p>	
Ph40	<p>Fraisage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par un montage mixte</p> <p>Rainurage</p> <p>Cm1 = 62mm ; profondeur = 3mm</p>	Fraiseuse numérique	<p>Fraise 2 taille d'un plat φ10</p> <p>Vc = 120m/min</p> <p>F = 0.035m/dent</p>	
Ph50	<p>Fraisage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par un montage mixte</p> <p>Rainurage</p> <p>Cm2 = 8mm ; profondeur = 3mm</p>	Fraiseuse numérique	<p>Fraise 2 taille d'un plat φ10</p> <p>Vc = 120m/min</p> <p>F = 0.035m/dent</p>	

Phases	Opération	M.O	Machines / Outils	Croquis
Ph10	Contrôle de brute B1=65mm B2=160mm		Pied à coulisse (1/50)	
P20	Tournage : Le référentiel de mise en position est défini par : Centrage court (1,2,3,4) Butée (5) a) Dressage Cf1 = 60mm b) Centrage $\phi 8$ c) Perçage $\phi 10$ d) Perçage $\phi 20$ e) Alésage $\Phi 30$ f) Alésage CO1 = 40mm	Tour par allèle	Outil à dresser Foret à centrage $\phi 8$ Foret $\phi 10$ Foret $\phi 20$ Alésoir $\Phi 30$ Alésoir $\Phi 40$	

Ph30	<p>Tournage :</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage court (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>a) Fraisage</p> <p>Cf2 = 10mm</p> <p>Cf3 = 50mm</p> <p>R = 20mm</p>	Faiseuse numérique	Fraise 2 taille	
Ph40	<p>Etau limeur hydraulique</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>a) Clavetage</p> <p>CO1 = 8mm</p>	Etau limeur hydraulique	Etau limeur e=8mm	

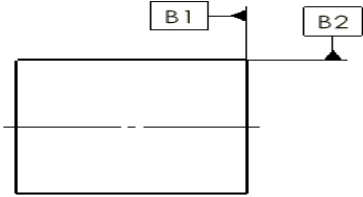
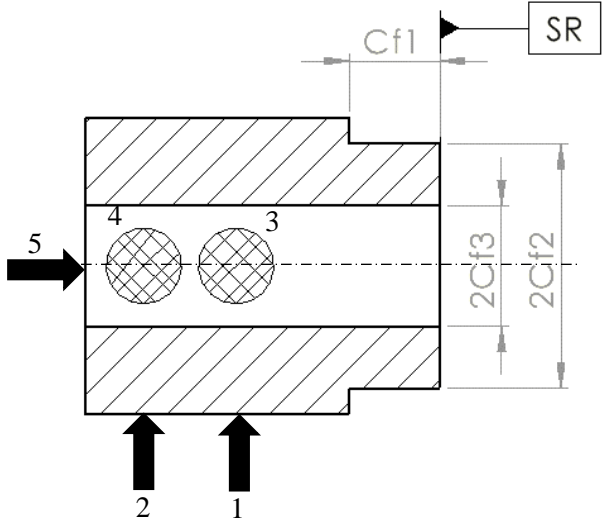
Phase s	Opération	M.O	Machine s / Outils	Croquis
Ph10 Ph10	Contrôle de brute B1=65mm B2=130mm		Pied à coulisse (1/50)	
P20	Tournage : Le référentiel de mise en position est défini par : Centrage court (1,2,3,4) Butée (5) g) Dressage Cf1 = 60mm h) Centrage $\phi 8$ i) Perçage $\phi 10$ j) Perçage $\phi 20$ k) Alésage $\phi 30$ l) Alésage CO1 = 40mm	Tou r par allè le	Outil à dresser Foret à centrer $\phi 8$ Foret $\phi 10$ Foret $\phi 20$ Alésoir $\phi 30$ Alésoir $\phi 40$	

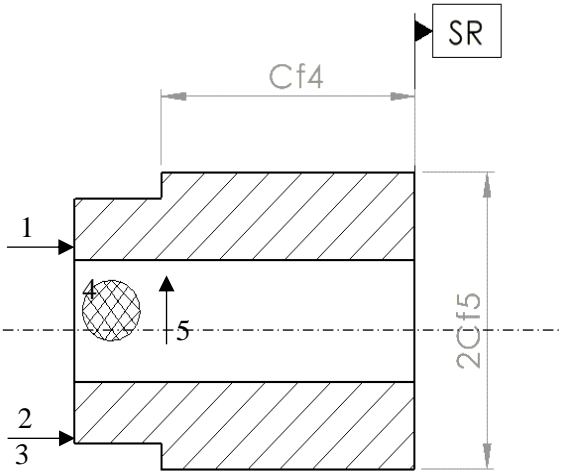
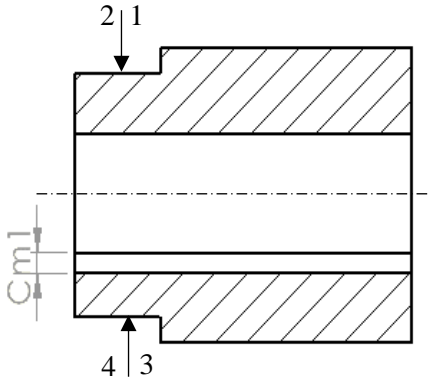
Ph30	<p>Fraisage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage court (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>a) Fraisage</p> <p>Cf2 = 10mm</p> <p>Cf3 = 50mm</p> <p>R = 20mm</p>	Faiseu se numéri que	Fraise 2 taille $\phi 20$	
Ph40	<p>Clavetage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>CO1 = 20mm</p> <p>Profondeur=3mm</p> <p>;</p>	Etau limeur hydrau lique	Etau limeur	

Phases	Opération	M.O	Machines / Outils	Croquis
Ph10	Contrôle de brute B1=70mm B2=80mm		Pied à coulisse (1/50)	
P20	<p>Tournage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage long (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>a) Dressage en ébauche</p> <p>Cf1 = 30mm Cf2 = 5mm</p> <p>b) Chariotage</p> <p>2Cf4 = 52,5mm</p> <p>c) Gorge</p> <p>CO1 = 2mm</p> <p>d) Centrage</p> <p>φ8</p> <p>e) Perçage</p> <p>φ10</p> <p>f) Perçage</p> <p>φ20</p> <p>g) Alésage</p> <p>2Cf3 =φ42H7p6</p>	Tour par allèle	<p>Outil à dresser</p> <p>Foret à centrer φ8</p> <p>Outil à tronçonner</p> <p>Foret φ10</p> <p>Foret φ20</p> <p>Alésoir φ30</p> <p>Alésoir φ40</p>	

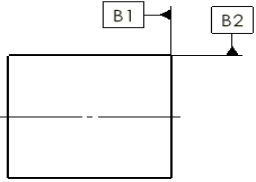
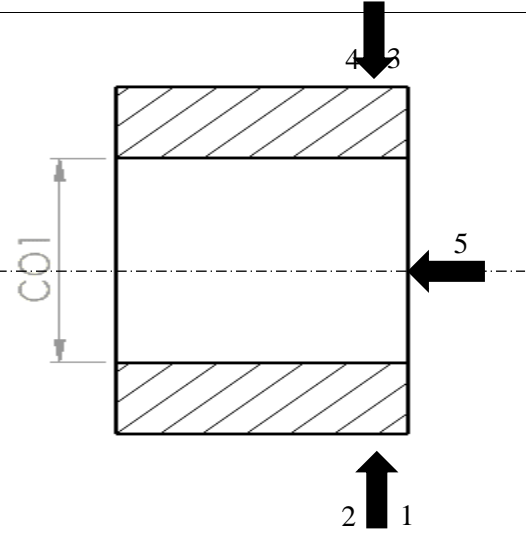
Ph30	<p>Tournage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage long (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>a) Dressage</p> <p>$Cf5 = 75\text{mm}$</p> <p>b) Chariotage en ébauche puis en finition</p> <p>$2Cf6 = 66\text{mm}$</p>	Tour par allèle	Fraise 2 taille $\phi 20$	
Ph40	<p>Taillage en ébauche puis en finition</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage long (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>$2Cf7 = 61,2\text{mm}$;</p> <p>pas = 10mm</p>	Taillage se d'engrénage		

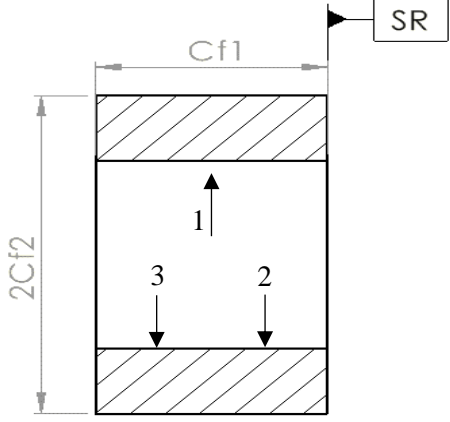
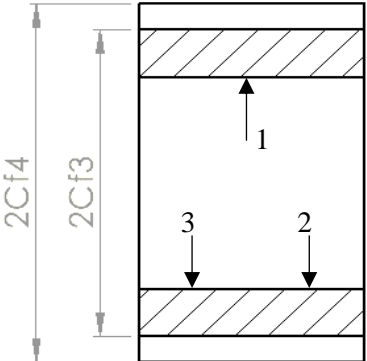
Ph50	<p>Rainurage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>$Cm1 = 20mm$ $e = 12mm$; profondeur = $3mm$</p>	Faiseu se numéri que		
------	---	-------------------------------	--	--

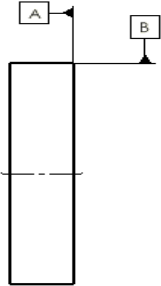
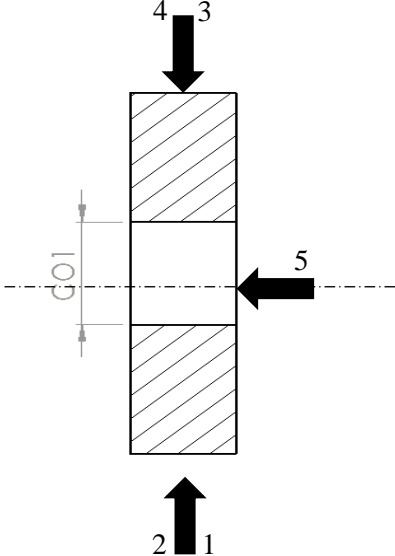
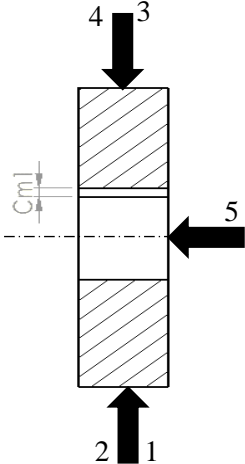
Phases	Opération	M.O	Machines / Outils	Croquis
Ph10	<p>Contrôle de MAHDIA brute</p> <p>B1=40mm B2=50mm</p>		<p>Pied à coulisse (1/50)</p>	
P20	<p>Tournage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage long (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>a) Dressage en ébauche Cf1 = 12mm</p> <p>b) Chariotage 2Cf2 = 32,25mm</p> <p>c) Centrage φ8</p> <p>d) Perçage φ10</p> <p>e) Perçage 2Cf3 = 16mm</p>	<p>Tour par allè</p>	<p>Outil à dresser Outil à charioter Foret à centrer φ10 Foret φ10 Foret φ16</p>	

Ph30	<p>Tournage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage long (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>a) Dressage</p> <p>$Cf4 = 35\text{mm}$</p> <p>b) Chariotage en ébauche puis en finition</p> <p>$2Cf5 = 39\text{mm}$</p>	Tour par allèle	<p>Outil à dresser</p> <p>Outil à charioter</p>	
Ph50	<p>Clavetage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Un centrage court (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>$Cm1 = 12\text{mm}$</p> <p>Profondeur = 3mm</p>	Etau limiteur	<p>Etau limeur</p>	


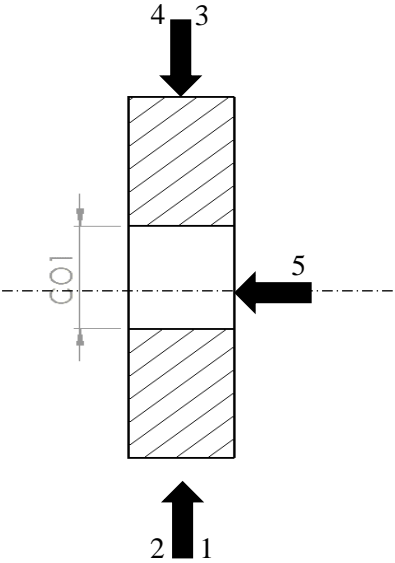
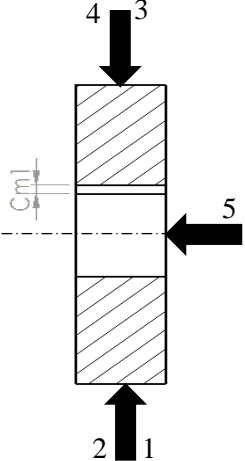
Ph40	<p>Taillage en ébauche puis en finition</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Centrage long (1,2,3,4)</p> <p>Butée (5)</p> <p>$2Cf7 = 61,2\text{mm}$; pas = 10mm</p>	<p>Tailleuse d'engrenage</p>	
------	---	------------------------------	--

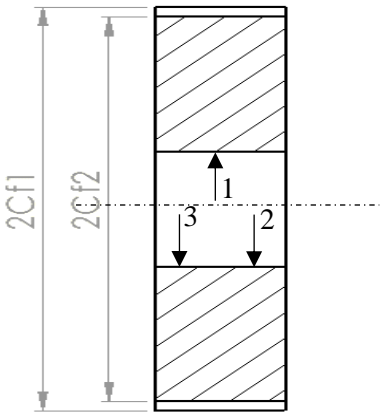
Phase s	Opération	M.O	Machine s / Outils	Croquis
Ph10 ISET MAHDIA	Contrôle de brute B1=40mm B2=55mm		Pied à coulisse (1/50)	
P20	Tournage Le référentiel de mise en position est défini par : Centrage long (1,2,3,4) Butée (5) a) Centrage $\phi 8$ b) Perçage $\phi 10$ c) Perçage $\phi 20$ d) Alésage CO1 = 30mm	Tour par allèle	Outil à dresser Outil à charioter Foret à centrer $\phi 8$ Foret $\phi 10$ Foret $\phi 16$	


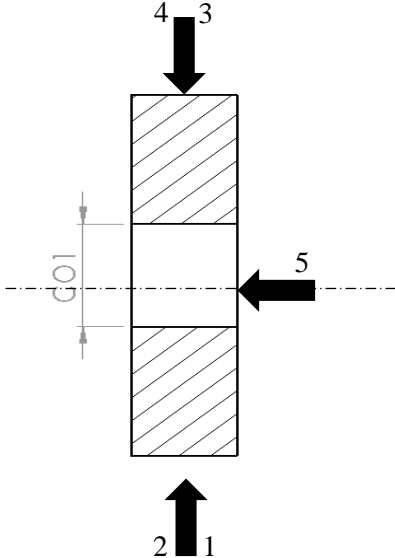
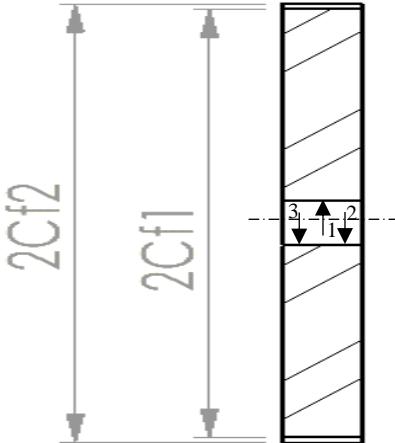
Ph30	<p>Tournage</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>a) Dressage en ébauche Cf1 = 30mm</p> <p>b) Chariotage en ébauche puis en finition 2Cf2 = 51mm</p>	Tour par allèle	<p>Outil à dresser</p> <p>Outil à charioter</p>	
Ph40	<p>Taillage en ébauche puis en finition</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>2Cf4 = 50,8mm ; pas = 10mm ; z=15dents</p>	Taillage se d'engrénage		

<p>ISSET MAHDEB</p>	<p>Contrôle de brute B1=141mm B2=30mm</p>		<p>Pied à coulisser (1/50)</p>	
<p>P20</p>	<p>Tournage Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>a) Centrage $\phi 8$ b) Perçage $\phi 10$ c) Perçage $\phi 20$ d) Alésage $\phi 30$ e) Alésage CO1 = 30mm</p>	<p>Tour par allègement</p>	<p>Outil à dresser Outil à charioter Foret à centrer $\phi 10$ Foret $\phi 20$ Alésoir $\phi 30$</p>	
	<p>Clavetage Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>Cm1 = 4,5mm e = 12mm</p>	<p>Etau limeur</p>	<p>Etau limeur</p>	

Ph30	<p>Taillage en ébauche puis en finition</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>$2Cf4 = 140,4\text{mm}$;</p> <p>pas = 10mm ;</p> <p>$2Cf3 = 133,5\text{mm}$</p> <p>$Z = 45\text{dents}$</p>	<p>Tailleuse d'engrenage</p>	
------	--	------------------------------	--

ISSET MAHDIA Ph10	Contrôle de brute $R1=260\text{mm}$ $B2=25\text{mm}$		Pied à coulisser (1/50)	
P20	Tournage Le référentiel de mise en position est défini par : f) Centrage $\phi 8$ g) Perçage $\phi 10$ h) Perçage $\phi 20$ i) Alésage $\phi 30$ j) Alésage $\phi 40$ k) Alésage $CO1 = 52.5\text{mm}$	Tourner par allègement	Outil à dresser Outil à charioter Foret à centrer $\phi 10$ Foret $\phi 20$ Alésoir $\phi 30$	
	Clavetage Le référentiel de mise en position est défini par : $Cm1 = 4,5\text{mm}$ $e = 12\text{mm}$	Etaler le lim	Etau limeur	

Ph30	<p>Taillage en ébauche puis en finition</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>$2Cf1 = 255mm$;</p> <p>pas = 10mm ;</p> <p>$Z = 83dents$</p> <p>$2Cf2 = 241,5mm$</p>	<p>Tailleuse d'engrenage</p>		 <p>The diagram shows a cross-section of a gear blank. It is a rectangle divided into three horizontal sections. The top and bottom sections are hatched. The middle section is white. A horizontal dashed line passes through the center of the middle section. To the left of the rectangle, there are two vertical dimension lines. The outer one is labeled '2Cf1' and spans the height of the hatched top and bottom sections. The inner one is labeled '2Cf2' and spans the height of the white middle section. To the right of the rectangle, there are three labels with arrows pointing to the sections: '1' points to the top hatched section, '2' points to the bottom hatched section, and '3' points to the middle white section.</p>
------	---	------------------------------	--	---

<p>ISSET MAHDI P110</p>	<p>Contrôle de brute B1=260mm B2=25mm</p>		<p>Pied à coulisse (1/50)</p>	
<p>P20</p>	<p>Tournage Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>l) Centrage $\phi 8$ m) Perçage $\phi 10$ n) Perçage $\phi 20$ o) Alésage $\phi 30$ p) Alésage CO1 = 40mm</p>	<p>Tourner par allègement</p>	<p>Outil à dresser Outil à charioter Foret à centrer $\phi 10$ Foret $\phi 20$ Alésoir $\phi 30$</p>	
	<p>Taillage en ébauche puis en finition Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>2Cf1 = 255mm ; pas = 10mm ; Z = 163dents 2Cf2 = 255mm</p>	<p>Taillage se d'engrènement</p>		

Ph30	<p>Taillage en ébauche puis en finition</p> <p>Le référentiel de mise en position est défini par :</p> <p>$2Cf1 = 255\text{mm}$;</p> <p>pas = 10mm ;</p> <p>$Z = 163\text{dents}$</p> <p>$2Cf2 = 252\text{mm}$</p>	<p>Fraise use numéri que</p>		
------	---	--	--	--

Conclusion générale

Le stage de projet de fin d'études est une étape primordiale dans la vie professionnelle. Nous avons appris aussi qu'un projet est une tâche qui pourra être indéfinie dans le temps à cause des critiques personnelles et extérieures du travail exécuté. Pour le déroulement du travail, nous pouvons dire que malgré la courte période dédiée à ce projet, nous avons effectué une bonne conception satisfaisante à **Mr Bahri Fares** responsable de l'entreprise **Mecatech**.

Commençant par le choix de la solution technologique satisfaisant au cahier des charges imposé ; passant par une étape d'étude et de dimensionnement de cette solution et finissant par la préparation d'un dossier technique. La conception de la cintruse, conformément au cahier des charges, nous a permis de prendre des responsabilités et a éveillé en nous un esprit créatif.

Ce projet, est notre première expérience professionnelle dans le domaine de construction mécanique ; notre appartenance à ce domaine a évolué après avoir passée cette belle expérience, dont nous avons consolidé les compétences acquis durant les trois années d'études et nous sommes maintenant très motivés d'aller jusqu'au bout dans ce domaine.

Liste d'annexes

Annexe 1: Caractéristique de roue droit

Annexe 2 : choix de moteur

Annexe 3 : choix de clavette

Annexe 4 : choix de roue

Annexe 5 : choix des anneaux

Annexe 6 : caractéristiques de roulement à aiguilles

Annexe 7 : choix de goupille

Annexe 8 : choix d'alliage aluminium

Annexe 9 : tableau d'élastique au glissant

Module	m	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux (§ 73.12)**
Nombre de dents	z	Déterminé à partir des rapports des vitesses angulaires : $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$
Pas	p	$p = m \cdot \pi$
Saillie	h_a	$h_a = m$
Creux	h_f	$h_f = 1,25 m$
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2,25 m$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z$
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2 m$
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5 m$

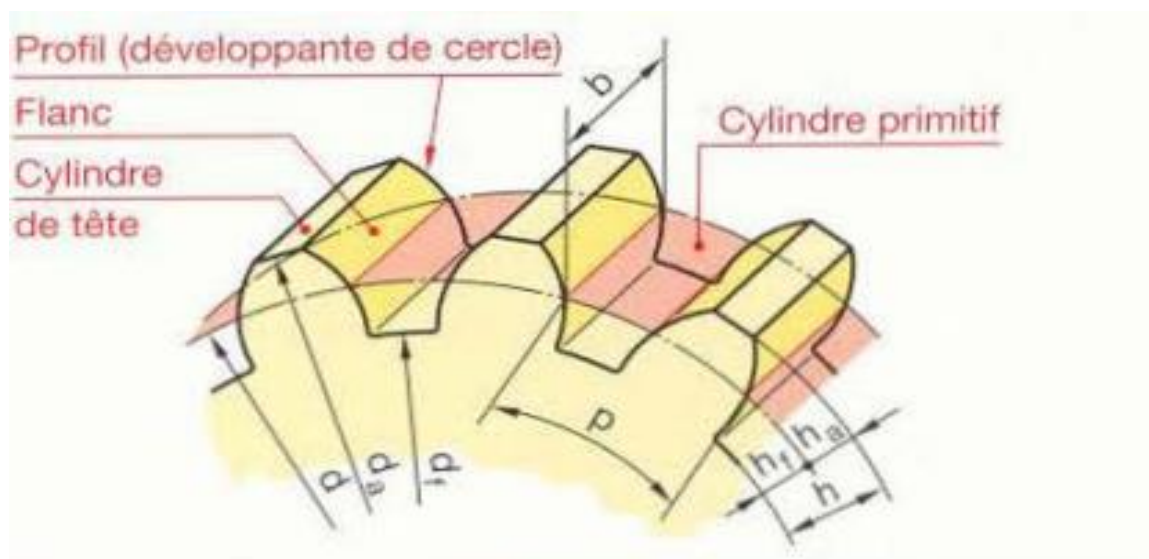
Annexe 1: Caractéristique de roue droit

Moteurs asynchrones triphasés fermés, à rotor en court-circuit																						
Type				LS 56 P			LS 63 E			LS 71 P				LS 80 L				LS 90 L			LS100L	
Puissance kW	3 000 tr/min			0,09	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,75	0,75	1,1	1,5	1,8	2,2	3						
	1 500 tr/min			–	0,09	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,55	0,75	0,9	1,5	1,8	2,2						
	1 000 tr/min			–	–	–	0,09	0,12	0,18	0,25	0,25	0,37	0,55	1,1	–	1,5						
	750 tr/min			–	–	–	–	–	0,09	0,12	0,18	0,25	–	0,55	–	0,75						
Type n°	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	
56	71	89	36	9	90	104	7	56	141	6	24	156	5	2,5	80	120	100	M6	7	85	110	
63	80	96	40	11	100	115	8	63	154	7	24,5	172	10	3	95	140	115	M8	10	95	124	
71	90	104	45	14	112	126	9	71	173	7	23	183	10	3,5	110	160	130	M8	10	102	140	
80	100	120	50	19	125	157	10	80	203	9	29	215	10	3,5	130	200	165	M8	12	123	160	
90	125	162	56	24	140	172	11	90	223	10	37	245	12	4	130	200	165	M10	12	133	180	
100	140	165	63	28	160	196	13	100	238	12	40	290	14	4	180	250	215	M12	15	138	198	

Annexe 2 : choix de moteur

d	a	b	s	j	k	d	a	b	s	j	k
de 6 à 8 inclus	2	2	0,16	$d - 1,2$	$d + 1$	58 à 65	18	11	0,6	$d - 7$	$d + 4,4$
8 à 10	3	3	0,16	$d - 1,8$	$d + 1,4$	65 à 75	20	12	0,6	$d - 7,5$	$d + 4,9$
10 à 12	4	4	0,16	$d - 2,5$	$d + 1,8$	75 à 85	22	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
12 à 17	5	5	0,25	$d - 3$	$d + 2,3$	85 à 95	25	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
17 à 22	6	6	0,25	$d - 3,5$	$d + 2,8$	95 à 110	28	16	1	$d - 10$	$d + 6,4$
22 à 30	8	7	0,25	$d - 4$	$d + 3,3$	110 à 130	32	18	1	$d - 11$	$d + 7,4$
30 à 38	10	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$	130 à 150	36	20	1,6	$d - 12$	$d + 8,4$
38 à 44	12	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$	150 à 170	40	22	1,6	$d - 13$	$d + 9,4$
44 à 50	14	9	0,4	$d - 5,5$	$d + 3,8$	170 à 200	45	25	1,6	$d - 15$	$d + 10,4$
50 à 58	16	10	0,6	$d - 6$	$d + 4,3$	200 à 230	50	28	1,6	$d - 17$	$d + 11,4$

Annexe 3 : choix de clavette



Annexe 4 : choix de roue

d	e	c	f	g	Tol. g	k	Fa*	d	e	c	f	g	Tol. g	k	Fa*
3	0,4	6,8	0,5	2,8	0 - 0,04	0,3	0,47	28	1,5	38,4	1,6	26,6	0	2,1	32,1
4	0,4	8,4	0,5	3,8	0	0,3	0,60	30	1,5	41	1,6	28,6	- 0,21	2,1	32,1
5	0,6	10,7	0,7	4,8	- 0,048	0,3	1	32	1,5	43,4	1,6	30,3	0 - 0,25	2,55	31,2
6	0,7	12,2	0,8	5,7	0 - 0,058	0,45	1,45	35	1,5	47,2	1,6	33		3	30,8
7	0,8	13,2	0,9	6,7		0,45	2,6	40	1,75	53	1,85	37,5		3,75	51
8	0,8	15,2	0,9	7,6		0,6	3	45	1,75	59,4	1,85	42,5		3,75	49
9	1	15,4	1,1	8,6		0,6	3,5	50	2	64,8	2,15	47		4,5	73,3
10	1	17,6	1,1	9,6	0 - 0,11	0,6	4	55	2	70,4	2,15	52	0 - 0,30	4,5	71,4
12	1	19,6	1,1	11,5		0,75	5	60	2	75,8	2,15	57		4,5	69,2
14	1	22	1,1	13,4		0,9	6,4	65	2,5	81,6	2,65	62		4,5	135,6
15	1	23,2	1,1	14,3		1,05	6,9	70	2,5	87,2	2,65	67		4,5	134,2
17	1	25,6	1,1	16,2		1,2	8	75	2,5	92,8	2,65	72		4,5	130
20	1,2	29	1,3	19	0 - 0,13	1,5	17,1	80	2,5	98,2	2,65	76,5	0 - 0,35	5,25	128,4
22	1,2	31,4	1,3	21	0	1,5	16,9	85	3	104	3,15	81,5		5,25	215,4
25	1,2	34,8	1,3	23,9	- 0,21	1,65	16,2	90	3	109	3,15	86,5		5,25	217

Annexe 5 : choix des anneaux

Roulements à aiguilles

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Les roulements à aiguilles supportent des charges radiales importantes sous un encombrement relativement réduit.
- Comme les roulements à rouleaux cylindriques comportant une bague sans épaulement ils ne supportent aucune charge axiale.
- Ils résistent bien aux chocs.
- Ils permettent un léger déplacement axial de l'arbre par rapport au logement.
- La bague intérieure est séparable.
- Ces roulements sont couramment utilisés : sans bague intérieure, sous forme de douilles à aiguilles ou de cages à aiguilles (sans bague extérieure et sans bague intérieure).
- L'encombrement est réduit, mais les surfaces de roulement doivent présenter une dureté et un état de surface suffisants (HRC min. = 57 ; Ra max. = 0,2).
- Les roulements à aiguilles avec étanchéité sont lubrifiés avec une graisse au lithium.
- Les roulements à aiguilles sont utilisés pour les paliers de petites et moyennes dimensions soumis à des charges radiales importantes.

Avec bague intérieure

Sans bague
Interférence

Avec étanchéité d'un seul côté

Avec étanchéité des deux côtés

Déversement admissible : ≈ 0 .

Douilles à aiguilles avec ou sans bague intérieure

Avec fond

Avec étanchéité d'un seul côté

Avec étanchéité des deux côtés

Cages à aiguilles

Figure 2:caractéristique de roulement à aiguilles

Annexe 6 : caractéristiques de roulement à aiguilles

D	d	L**
2	–	6-8-10-12-14-16-18-20
2,5	–	6-8-10-12-14-16-18-20-24
3	–	8-10-12-14-16-18-20-24-28-32-36
4	–	8-10-12-14-16-18-20-24-28-32-36-40-45-50
5	–	10-12-14-16-18-20-24-28-32-36-40-45-50-55-60
6	M4	10-12-14-16-18-20-24-28-32-36-40-45-50-55-60
8	M5	16-18-20-24-28-32-36-40-45-50-55-60-70-80-90
10	M6	24-28-32-36-40-45-50-55-60-70-80-90-100-120
12	M6	28-32-36-40-45-50-55-60-70-80-90-100-120
16	M8	40-45-50-55-60-70-80-90-100-120-140-150

Annexe 7 : choix de goupille

Nuances usuelles	R min.*	Re min.*	Emplois
EN AW-1050 [Al 99,5]	80	35	Appareils ménagers, Matériels électriques.
EN AB-21 000 [Al Cu 4 Mg Ti]	330	200	Se moule bien. S'usine très bien. Ne pas utiliser en air salin.
EN AB-43 000 [Al Si 10 Mg]	250	180	Se moule très bien. S'usine et se soude bien. Convient en air salin.
EN AB-44 200 [Al Si 12]	170	80	Se moule et se soude très bien. La forte teneur en silicium rend l'usinage difficile.
EN AB-51 300 [Al Mg 5]	180	100	Excellentes aptitudes à l'usinage, au soudage, au polissage. Résiste très bien à l'air salin.

Annexe 8 : choix d'alliage aluminium

Relation entre la résistance élastique à l'extension Re et La résistance élastique au glissement Reg	
Matériaux	Relation entre Re et Reg
Acier doux, alliages d'aluminium ($Re \leq 270$ MPa)	$Reg = 0.5 * Re$
Aciers mi-durs ($320MPa \leq Re \leq 520MPa$)	$Reg = 0.7 * Re$
Aciers durs ($Re \leq 600MPa$)	$Reg = 0.8 * Re$

Annexe 9 : tableau d'élastique au glissant