

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEUR
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
D'EBOLOWA
DEPARTEMENT DE GENIE
MECANIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TECHNICAL TEACHER
TRAINING COLLEGE OF
EBOLOWA
DEPARTMENT OF
MECHANICAL
ENGINEERING

Filière
CONSTRUCTION MECANIQUE

**CONCEPTION ET SIMULATION (SUR
SOLIDWORKS) D'UN MOULE POUR
TUBE DE POTEAU CONIQUE EN
BETON : CAS DES POTEAUX CAMTEL**

Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement
Technique et
Professionnel de 2e grade (DIPET II)

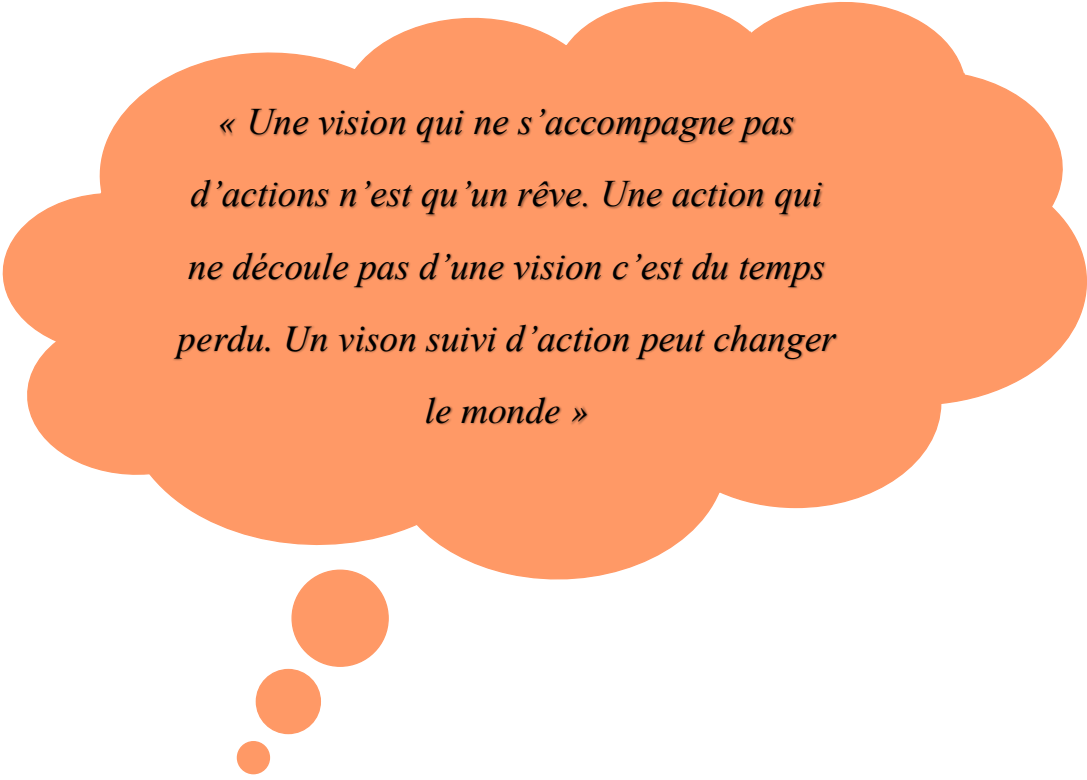
Par : **MBONSE SAH Vincent**

Sous la direction de
M. CHENGOUE MBOUYAP Anatole
Enseignant
Pr. KANAA Thomas
Chef de Département

Année Académique : 2019 - 2020



ÉPIGRAPHIE



*« Une vision qui ne s'accompagne pas
d'actions n'est qu'un rêve. Une action qui
ne découle pas d'une vision c'est du temps
perdu. Un vision suivi d'action peut changer
le monde »*

NELSON MANDELA

DEDICACE

*A mes parents pour leur soutien, leur patience, leur
encouragement durant ma formation ;*

*A M. BENTEK et son épouse pour leur profonde
considération et accueil ;*

A mes sœurs et frères ainsi à toute ma famille ;



REMERCIEMENTS

« Une seule main ne saurait faire un paquet », dit un proverbe africain. Ce travail étant un effort consenti de plusieurs personnes, nous voulons ainsi dire notre gratitude à l'endroit de tous ceux et celles qui, d'une manière ou d'une autre ont contribué à la rédaction de ce mémoire. Nous pensons ainsi à :

- ♥ **Pr. KANAA THOMAS**, Chef de département **génie mécanique** (GME) pour son éducation, ses orientations et ses divers conseils ;
- ♥ **M. CHENGOUE MBOUYAP Anatole** ; Mon encadreur pour les encouragements, les remarques, les conseils et surtout la disponibilité ;
- ♥ **Pr. SALOME DJAKOMO ESIANE**, Directeur de l'**ENSET d'Ebolowa** Pour le cadre convivial qu'elle nous donne pour nos études et de veiller à ce que l'on ait un bon encadrement durant notre formation ;
- ♥ A tout le personnel enseignant en générale et ceux du département du Génie Mécanique de l'**ENSET d'Ebolowa** en particulier pour les cours, et conseils reçus pendant notre formation, Il s'agit principalement de : **Pr. ATANGANA ; Pr. BETENE ; Dr. KOUMI ; Dr. TAWE ; M. ATANGANA ; M. MENYOUNG EVINI ; M. EMATA ; M. KENGNE ; Dr. NNENGUE ; M. NGONGANG ;**
- ♥ A la grande famille **SAH**, les conseils et les encouragements m'ont permis de braver bien des difficultés ;
- ♥ A la famille **BEN TEK** ;
- ♥ A Tous mes camarades de promotion pour leur collaboration et esprit de solidarité qui a toujours régnés entre nous ;

Il nous serait difficile de citer tout le monde. Ainsi, Nous exprimons notre profonde gratitude à tous ceux dont les noms n'ont pas été cités et qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

AVANT-PROPOS

Ecole Normale Supérieur d'Enseignement Technique de Yaoundé I à Ebolawa (ENSET d'Ebolawa), situé à METYKPWALE, sous l'appellation initiale palais. Cette structure a été créée en 2018 par son Excellence PAUL Biya suite à la réforme universitaire de 1993 suivant le décret présidentiel N° 18-00008/MINESUP/DAUQ du 23 février 2018. Celui-ci constitue aujourd'hui l'un des établissements de l'université de Yaoundé I avec un effectif de 803 étudiants, un nombre important d'enseignants permanents et compétents.

L'ENSET d'Ebolawa a pour vocation principale de dispenser une formation initiale en enseignement dans les domaines industriels, commerciaux pour en faire des professeurs de CETIC et de Lycées Technique. A ce titre, il forme en six semestres (trois ans), les étudiants qui obtiennent par la suite un Diplôme d'Enseignement Technique de premier grade (DIPET I) dans les parcours suivants :

- Electrotechnique (EL) ;
- Fabrication Mécanique (FM) ;
- Mécanique automobile (MA) ;
- Construction Mécanique (CM) ;
- Industrie textile d'habillement (IH) ;
- Economie (ECO) ;
- Gestion financière et comptable (GFC) ;
- Management de l'information et des organisations (MIO) ;
- Informatique fondamentale (IF) ;
- Métiers bois (MB) ;
- Industrie du bois (IB) ;
- Marketing (MK) ;
- Maintenance industrielle des systèmes électroniques (MIE) ;
- Maintenance hospitalière et biomédicale (MHBIO) ;
- Nutrition humaine et diététique (ESF) ;
- Topographie (TOPO) ;

L'ENSET d'Ebolawa forme également en quatre semestres (deux ans), les étudiants qui obtiennent par la suite un Diplôme d'Enseignement Technique du second grade (DIPET II) dans les parcours suivants :

- Electrotechnique (EL) ;

- Fabrication Mécanique (FM) ;
- Mécanique automobile (MA) ;
- Construction Mécanique (CM) ;
- Industrie textile d'habillement (ITH) ;
- Economie (ECO) ;
- Gestion financière et comptable (GFC) ;
- Exploitation forestière et gestion durable ;
- Métiers bois (MB) ;
- Industrie du bois (IB) ;
- Marketing (MK) ;
- Communication administrative (CAD) ;
- Agriculture (AGRI) ;
- Informatique industrielle (II) ;
- Technologie de l'Information et de la Communication (TIC) ;
- Conseillers d'orientation (CO) ;
- Tourisme (TO) ;

C'est dans la perspective de l'obtention du DIPET II que nous avons travaillé sur le thème : « **CONCEPTION ET SIMULATION (SUR SOLIDWORK) D'UN MOULE POUR TUBE DE POTEAU CONIQUE EN BETON : CAS DES POTEAUX CAMTEL** ».

La réalisation de ce document a été placée sous notre entière responsabilité ; cependant il faut souligner que nous avons bénéficié du soutien académique de nos encadreurs et d'une importante série d'informations tirée dans les documents de diverses disciplines.

Nous espérons que les résultats auxquels nous sommes parvenus serviront de base de recherche encore plus poussée à l'avenir, dans l'optique d'aider les secteurs de transport de ligne aériennes dans les problèmes liée au moulage de poteau en béton.

RESUME

Dans le souci de promouvoir l'innovation dans le secteur de Génie civil de l'Afrique en générale et en particulier du Cameroun d'une part, d'autre part de permettre aux Camerounais de réaliser eux-mêmes ces propres produits à moindre coût ce qui apportera de nouvelles opportunités d'emplois et de réduire le taux de chômage, le présent projet de fin d'étude, a pour objectif de mettre sur pied d'un moule capable de satisfaire les exigences des opérateurs locaux des secteurs de transport de ligne aérienne en acquisition des supports en béton. C'est ainsi que nous avons mené une réflexion portant sur le thème : « **CONCEPTION ET SIMULATION (SUR SOLIDWORK) D'UN MOULE POUR TUBE DE POTEAU CONIQUE EN BETON : CAS DES POTEAUX CAMTEL** ». Pour mener à bien notre étude, nous avons dans un premier temps recensé quelques solutions existantes, dégagé leurs limites afin d'émettre/de proposer des solutions qui répondent au mieux aux exigences de notre cahier de charge celles-ci ont été évaluées selon plusieurs critères pondérés qui nous ont conduits vers un choix définitif. Par la suite, nous avons effectué l'étude conceptuelle en nous appuyant sur le schéma cinématique pour déterminer les conditions optimales de fonctionnement. Après avoir effectué l'étude mécanique et dimensionnelle des éléments importants du mécanisme, nous avons fait l'étude graphique, qui consiste à ressortir le dessin d'ensemble et les dessins de définition de certaines pièces de la machine. Enfin nous avons simulé puis à l'estimation des coûts du prototype qui, après les tests, a fonctionné.

MOTS CLES : moule, poteau en tube, béton précontrainte, machine centrifuge.

ABSTRACT

In order to promote innovation in the civil engineering sector of Africa in general and in particular of Cameroon on the one hand, on the other hand to allow the Cameroonian to make his own products at a lower cost which will bring new job opportunities and reduce the unemployment rate, this end of study project aims to develop a mould capable of satisfying the requirements of local operators in the airline transport sector by acquisition of concrete supports. This is how we conducted a reflection on the theme: "**DESIGN AND SIMULATION (ON SOLIDWORK) OF A MOLD FOR CONCRETE POST TUBE IN CONCRETE: CASE OF CAMTEL POSTS**". To carry out our study, we first identified some existing solutions, identified their limits in order to issue / propose solutions that best meet the requirements of our specifications, these were evaluated according to several criteria weighted which led us to a final choice. Subsequently, we carried out the conceptual study based on the kinematic diagram to determine the optimal operating conditions. After carrying out the mechanical and dimensional study of the important elements of the mechanism, we did the graphic study, which consists in bringing out the overall drawing and the definition drawings of certain parts of the machine. Finally, we simulated and then estimated the costs of the prototype which, after the tests, worked.

KEY WORDS: mould, tube post, prestressed concrete, centrifugal machine.

SOMMAIRE

ÉPIGRAPHIE.....	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
AVANT-PROPOS	iv
RESUME.....	vi
ABSTRACT	vii
SOMMAIRE	viii
LISTE DE FIGURES	xii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiv
LISTE DES SYMBOLES	xv
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Contexte et l'intérêt de l'étude	1
1.1- Contexte de l'étude	1
1.2- Intérêt de l'étude	1
2. Problématique liée à l'étude	2
3. Objectif de l'étude	2
3.1- Objectifs général.....	2
3.2- Objectifs spécifiques	2
Plan de présentation du mémoire	2
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES MOULES ET LES SUPPORTS DE LIGNE ARIENNE (POTEAU)	3
1.1 Généralités sur le moule	3
1.1.1- Moulage	3
1.1.2- Art du moulage	3
1.1.3- Différents types de moulage	4
1.1.4- Moules non permanents	4
1.1.5- Moule non permanent en métallurgie	5
1.1.6- Moule non permanent en génie civil.....	7
1.1.7- Moulages permanents	9
1.1.8- Moules permanents en fonderie	9
1.1.9- Moules permanents en génie civil.....	13
1.2- Généralité sur les supports de ligne aérienne (poteau).....	19
1.2.1- Supports en bois	19
1.2.2- Supports en béton.....	21

1.2.3- Supports en acier	23
CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTERATURE	26
2.1- Moule pour poteau en béton précontraint conique	26
2.1.1- Principe de fonctionnement	27
2.2- Machine de filature centrifuge	27
2.2.1- Paramètre technique	28
2.3- Moule conique et cylindrique	29
2.3.1- Principe de fonctionnement	30
2.3.2- Spécification des moules.....	30
2.3.3- Caractéristiques du coffrage de poteau en béton conique.....	31
2.4- Avantages de moule a poteau conique en béton.....	32
CHAPITRE 3 : ETUDE DE CONCEPTION (ANALYSE FONCTIONNELLE)	35
3.1- analyse externe	35
3.1.1- Etude du besoin.....	35
3.1.2- Analyse du besoin	35
3.1.3- Validation du besoin	36
3.2- Etude de faisabilité	37
3.2.1- Diagramme pieuvre.....	37
3.2.2- caractérisation des fonctions de service	38
3.2.3- Comparaison et histogramme des fonctions	39
3.3- analyse interne (FAST : Function Analysis System Technic)	40
3.4- Diagramme S.A.D.T.....	41
3.5- Recherche et étude critique des solutions	42
3.5.1- Première solution : Moule vibrant pour poteau en tube de béton conique	42
3.5.2- deuxième solution : Moule avec règle vibrante pour poteau en tube de béton conique	42
3.5.3- troisième solution : Moule centrifuge pour poteau en tube de béton conique	43
3.5.2- Description et fonctionnement	44
3.6- Choix de la solution.....	45
Chapitre 4 : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS, CONCEPTION ET SIMULATION)	46
4.1- Etude fonctionnelle	46
4.2- Hypothèses générales de calcul.....	46
4.3- dimensionnement de la tôle Acier	46
4.4- masse du moule	48
4.5- dimensionnement de la machine centrifuge	49
4.5.1- Inventaire des torseurs d'actions mécaniques.....	50
4.5.2- Détermination du moment idéale de torsion	54

4.5.3- Calcul du diamètre de l'arbre.....	54
4.5.4- vitesse critique de rotation de l'arbre.....	55
4.5.5- dimensionnement du moteur.....	55
4.5.6- dimensionnement des clavettes.....	57
4.5.7- dimensionnement du roulement.....	59
4.5.9- dimensionnement de la courroie.....	59
4.5.10- Dimensionnement de l'accouplement.....	65
4.6- Etude graphique.....	67
4.6.1- Dessin d'ensemble.....	67
4.6.2- Dessin de définition.....	67
4.7 Simulation sur SolidWorks.....	68
4.7.1 Introduction.....	68
4.7.2 Les principaux types d'analyse :.....	68
4.7.3 Simplificateur du modèle.....	69
4.7.4 Choix du matériau de construction.....	70
4.7.5 Conditions aux limites.....	70
4.7.6 Chargements et conditions aux limites.....	71
4.7.7 Maillage des systèmes.....	72
4.7.8 Traitement et présentation des résultats.....	73
CHAPITRE 5 : ETUDE DE RENTABILITE.....	76
1. Analyse du marché et évaluation des couts.....	76
1.1 Analyse du marché.....	76
1.1.1 Particularité du secteur d'activité.....	76
1.1.2 Évolution du secteur d'activité.....	76
1.1.3 Possibilité de part de marché.....	76
1.2 Clientèle visée.....	76
1.2.1 Profil de la clientèle visée.....	76
1.2.2 Potentiels de la clientèle visée.....	76
1.2.3 Zones potentielles d'implantation.....	76
1.3 Faits saillants du sondage.....	76
1.3.1 Attentes et besoins des clients.....	76
1.4 Concurrence.....	77
1.4.1 Grille d'analyse des principaux concurrents.....	77
1.4.2 Analyse concurrentielle de l'utilisation de notre moule.....	77
1.5 Etude financière.....	77
1.5.1 Coût les au matériel.....	77
1.5.2 Tableau récapitulatif de l'actif à l'ouverture de l'entreprise.....	79

*Conception et simulation (sur SOLIDWORKS) un moule pour tube de poteau conique en
béton : Les cas poteaux CAMTEL*

1.6	Evaluation du prix de vent de la plumeuse	79
1.6.1	Coût de la production	79
CONCLUSION GENERALE		82
REFERENCES WEBOGRAPHIE.....		83
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		84
ANNEXES		85

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : procédés obtention des pièces brutes en fonderies [2].....	4
Figure 2 : moulage en sable [2]	5
Figure 3 : moulage en carapace [3]	6
Figure 4: moulage à cire perdue [3]	7
Figure 5 : coffrage en carton de poteau en béton [5].....	9
Figure 6 : principe du moulage en coquille par gravité [5]	10
Figure 7 : pièce obtenue par moulage de gravité [7]	10
Figure 8 : principe du moulage en coquille sous-pression [5]	11
Figure 9 : coffrage en bois.....	14
Figure 10 : coffrage poteau métallique.....	14
Figure 11 : moule de parpaing traditionnel [6]	15
Figure 12 : pondeuse semi -automatique [8].....	16
Figure 13 : moule autoportant pour dalle et prédalle [9].....	17
Figure 14 : moule simple hydraulique a colonne [7]	17
Figure 15 : Moule double hydraulique pour escalier [7].....	18
Figure 16 : moule carré/rectangulaire et son produit [10].....	18
Figure 17 : poteau en bois [8].....	19
Figure 18 : poteau en béton [10]	22
Figure 19: poteau métallique [9]	24
Figure 20 : moule métallique pour poteau en béton [9]	26
Figure 21 : Diagramme bête à corne	36
Figure 22 : diagramme pieuvre	37
Figure 23 : Diagramme PARETO	40
Figure 24 : Diagramme FAST	40
Figure 25 : diagramme S.A.D.T (niveau A-0)	41
Figure 26 : Modélisation cinématique de la solution n°1 du moule vibrant pour poteau	42
Figure 27 : Modélisation cinématique de la solution n°1 du moule avec règle vibrante pour poteau en beton.....	43
Figure 28 : Schéma cinématique du moule centrifuge	44
Figure 29 : Modélisation des efforts extérieurs sur la machine centrifuge	50
Figure 30 : Diagramme des efforts de cohésions et moments de cohésions	54

Figure 31 : schématisation de la clavette montée.....	58
Figure 32 : section de la courroie trapézoïdale D.....	60
Figure 33 : système de transmission par courroie	60
Figure 34 : représentation de la transmission est la suivante	60
Figure 35 : schéma montrant l'action des efforts sur les poulies	64
Figure 36 : accouplement à plateau.....	66
Figure 37 : Des Organes du système de suiveur simplifié	69
Figure 38 : Les déplacements imposés du nouveau système.3D	71
Figure 39 : chargement en vitesse angulaire	71
Figure 40 : chargement de la pression dans le moule.....	72
Figure 41 : chargement de la charge sur les roues 3D.....	72
Figure 42 : maillage 3D du moule pour poteau conique	73
Figure 43 : Contrainte de Von mises du moule.....	74
Figure 44 : les déplacements sur le moule 3D	74
Figure 45 : les déformations sur le moule 3D	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristique de la machine a filature	27
Tableau 2 : caractéristique d'un moule conique.....	29
Tableau 3 : caractéristique d'un moule cylindrique	30
Tableau 4 : spécification de béton précontraint conique du moule (DMZ)	31
Tableau 5 : spécification de béton précontraint cylindriques (DMD).....	31
Tableau 6 : caractérisation des fonctions	38
Tableau 7 : Tri croisé	39
Tableau 8 : Poids des fonctions et leurs pourcentages	39
Tableau 9 : désignation du schéma cinématique du moule centrifuge.....	44
Tableau 10 : récapitulatif des efforts et moments de cohésions.....	53
Tableau 11 : expérimentation vitesse de rotation.....	56
Tableau 12 : récapitulatif de la transmission par courroie	65
Tableau 13 : Information sur le maillage global de système.....	70
Tableau 14 : Information sur le maillage global de système.....	73
Tableau 15 : Résultats de l'analyse statique du système– valeurs extrêmes.....	73
Tableau 16 : Grille d'analyse des principaux concurrents	77
Tableau 17 : Analyse concurrentielle de l'utilisation de notre moule.....	77
Tableau 18 : Coût les au matériel.....	78
Tableau 19 : investissement environnement	78
Tableau 20 : récapitulatif de l'actif à l'ouverture de l'entreprise.....	79

LISTE DES SYMBOLES

P_v : Pression (charge surfacique répartie)	e : Épaisseur de la plaque
f : Flèche de la plaque	r : Rayon de la plaque
σ_{adm} : Contrainte admissible	E : Module d'élasticité longitudinal
ν : Coefficient de Poisson	r : Rapport de réduction
ρ_B : masse volumique (béton)	φ_g :
V_c : Vitesse critique (arbre)	
T_Z : Effort tranchant en Z	H : hauteur du demi-franc
T : Torseur	MF_Z : Moment fléchissant en Z
M_{it} : Moment idéal de torsion	MF_y : Moment fléchissant en y
MF : Moment idéal de flexion	N : Effort normale en x
T_y : Effort tranchant en y	q : Charge
P_{th} : Puissance théorique (moteur)	η_c : Rendement (courroie)
η_p : Rendement (Palier)	P_m : Puissance moteur
F_r : Force radial	F_a : Force axial
L_H : Durée de vie	d_{pp} : Diamètre de la petite poulie
D_{gp} : diamètre de la grande poulie	K_L : Coefficient longueur de la courroie
K_θ : Coefficient angle d'enroulement	T_0 tension initiale (courroie)
T : tension du brin tendu	t : tension du brin mou
F_c : force centrifuge	f : facteur de frottement
θ : Angle d'enroulement sur la petite poulie	ρ : masse linéique

INTRODUCTION GENERALE

Le but de cette introduction est de présenter le thème qui meublera l'ensemble des travaux de ce mémoire pour cela, il sera question de le situer d'abord dans le contexte de l'étude avant de ressortir le problème de la recherche et les différents objectifs à atteindre.

1. Contexte et l'intérêt de l'étude

1.1- Contexte de l'étude

On les surnomme communément poteaux de téléphone ou bien encore poteaux électriques. Plus spécifiquement, ces poteaux sont désignés comme étant des poteaux « d'utilité publique » Le poteau d'utilité publique, comme le dit son nom, permet aux diverses instances, publiques et privées, d'y installer des équipements destinés aux services publics, électricité, télécommunication, éclairage des rues, etc. On en voit rarement un seul, on les retrouve généralement en série. Les poteaux d'utilité publique, reliés par des câbles forment le réseau de **distribution** aérien. Celui-ci se distingue du réseau de **transport** d'électricité, supporté par des pylônes qui acheminent l'énergie à haute tension sur de longues distances [1].

Notre travail s'exécute dans un contexte où, marqué par la recherche permanente d'une nouvelle gamme de moule qui sera bénéfique pour les sociétés utilisant les lignes aériennes. Ces structures pour développer son réseau téléphonique doit mettre un point sur acquisition et la qualité de support (poteau), mais l'un des plus grands écueils qu'on peut imputer aux poteaux c'est l'acquisition et leurs disponibilités. L'autre grand écueil des poteaux en béton provient du fait que les fabricants locaux privilégient l'esprit commerçant à celui d'entrepreneur. En effet les entreprises qui évoluent dans ce domaine achètent simplement des licences d'exploitation des sociétés françaises ou chinoises en la matière : devenant ainsi de simples exécutants au lieu d'être des acteurs.

1.2- Intérêt de l'étude

La concrétisation de ses travaux de recherche permettra à court terme :

- Sur le plan industriel de promouvoir l'innovation dans le secteur de Génie civile de l'Afrique en générale et en particulier du Cameroun d'une part ;

- D'autre part il permettra au Camerounais de réaliser lui-même ces propres produits à moindre coût ce qui apportera des nouvelles opportunités d'emplois et réduire le taux de chômage ;

2. Problématique liée à l'étude

Comment concevoir un modèle de moule pouvant permettre la réalisation rapide, efficace et à moindre coût un tube de poteau conique en béton ?

3. Objectif de l'étude

3.1- Objectifs général

Le but de notre travail portera sur étude et conception d'un model moule à tube de poteau conique en béton pour ligne téléphonique.

3.2- Objectifs spécifiques

L'atteinte de l'objectif général mentionné ci-dessus, est liée à la concrétisation d'un ensemble d'objectifs spécifiques notamment :

- Étude dimensionnelle (calcul des efforts appliqués au support, calcul des efforts de charges etc....) sur le moule à améliorer ;
- Etude conceptuelle sur SOLIDWORKS : Concevoir sur SOLIDWORKS un tube de poteau et le moule modulable qui nous permettra de réaliser notre prototype étudié ;
- Simuler et interpréter les résultats obtenus.

Plan de présentation du mémoire

- ✚ INTRODUCTION GENERALE
- ✚ CHAPITRE 1 : Généralité sur la thématique
- ✚ CHAPITRE 2 : Revue de la littérature
- ✚ CHAPITRE 3 : Etude de conception
- ✚ CHAPITRE 4 : Dimensionnement des éléments, conception et simulation
- ✚ CHAPITRE 5 : Etude de rentabilité
- ✚ CONCLUSION ET PERSPECTIVE

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LES MOULES ET LES SUPPORTS DE LIGNE ARIENNE (POTEAU)

Ce chapitre introduit les notions nécessaires à la compréhension de la problématique traitée dans ce mémoire. Ainsi nous explicitons d'abord la notion de **moule** (permanent et non permanent), dans cette partie précisément nous abordons les différents types de moule, ensuite nous parlons des **supports (poteaux) des lignes aériennes**, en outre nous traitons des différents types existant en relevant bien évidemment leurs avantages et inconvénients de chacun.

1.1 Généralités sur le moule

1.1.1- Moulage

Le moulage est un procédé qui consiste à réaliser des pièces par coulée et solidification d'un matériau dans un moule présentant l'empreinte de la pièce à obtenir. Cette technique est souvent la plus économique pour l'obtention de produits finis ou semi-finis et pour des pièces de formes complexes, des séries de pièces identiques ou pour des pièces massives.

Un moule est l'ensemble des éléments appropriés, délimitant l'empreinte, et recevant le métal liquide qui après solidification donnera la pièce. Un moule comprend une ou plusieurs parties qui peuvent être séparées l'une de l'autre (châssis, chapes, coquilles). La surface commune aux deux demi moules porte le nom de plan de joint même si cette surface ne forme pas un plan. On distingue deux types de moules, à savoir les moules non permanents et les moules permanents [2].

1.1.2- Art du moulage

Un moulage réussi demande beaucoup de réflexion et de goût. Avant toute opération, il faut étudier minutieusement les formes, en sentir les moindres détails. Avec un peu d'expérience, cette observation attentive du modèle alliée à un peu de pratique permet de déterminer le choix de la technique, et des produits à utiliser.

C'est principalement le travail du modelleur, qui d'après la pièce à réaliser, détermine les modèles à réaliser, les empreintes dans les moules, les noyaux ; le tout en tenant compte des impératifs de démoulage, de retrait de la matière. Le modelleur est celui qui dessine les

outillages au bureau d'études, mais aussi celui qui réalise les modèles à l'atelier d'outillage [3].

1.1.3- Différents types de moulage

On peut classer les procédés de fonderie selon trois grands secteurs :

- les fonderies d'arts et d'ornements (non étudiées),
- les fonderies de pièces unitaires, d'outillage et de petites séries (*moulage en moule non permanent*),
- les fonderies pour moyennes et grandes séries (*moulage en moule permanent*) : secteur automobile, agricole...

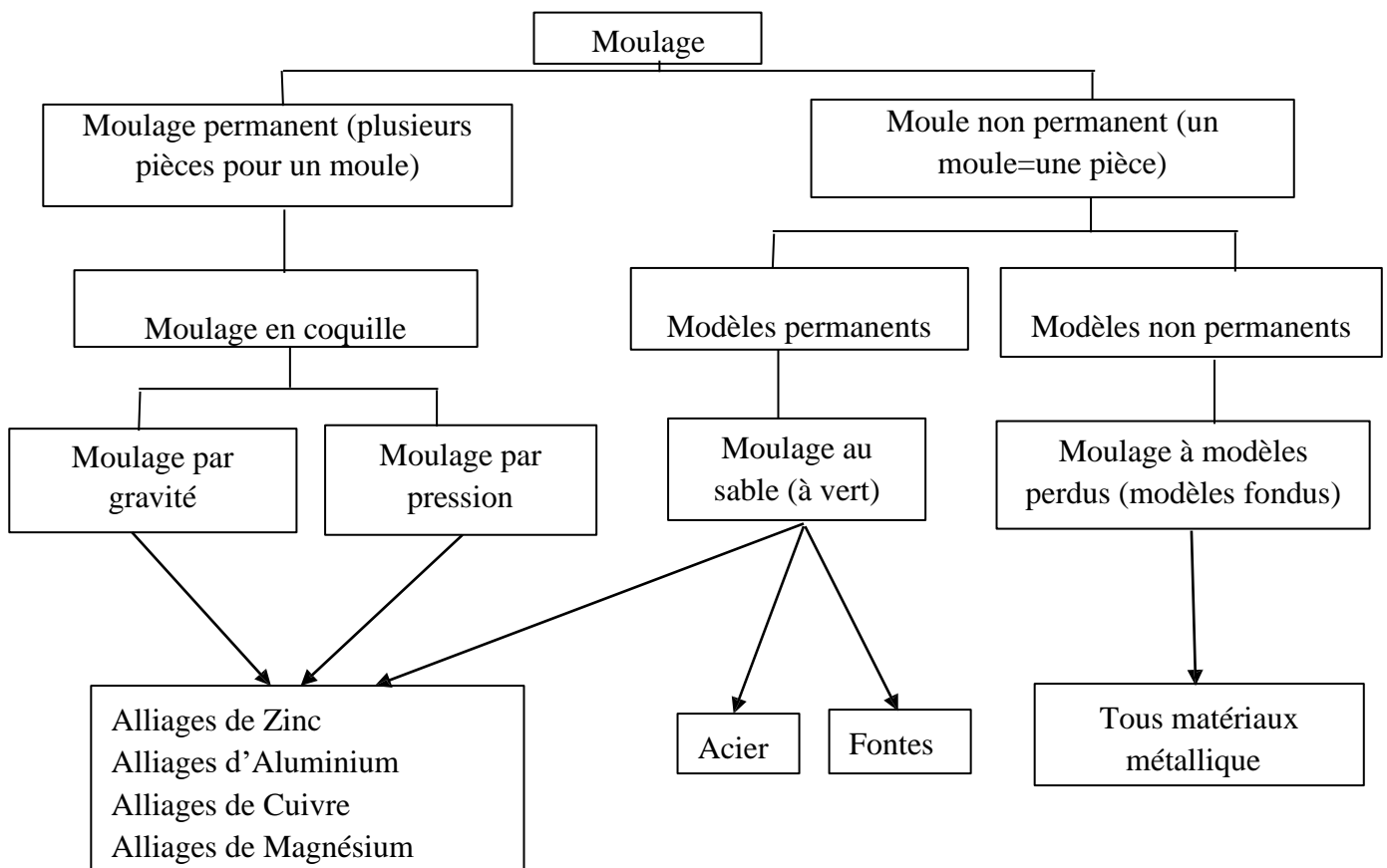


Figure 1 : procédés obtention des pièces brutes en fonderies [2]

1.1.4- Moules non permanents

Dans le cas présent le moule dit « non permanent » sera détruit lors de la phase de fabrication de la pièce, en effet celui-ci est détruit pour l'extraction de la pièce moulée.

Pour réaliser ces moules non permanents il est utilisé différents types de matériaux et procédés, moulage en sable, en plâtre, en céramique, en coquille, cire perdue, polystyrène expansé. Le moule doit posséder certaine propriété, il doit être rigide pour conserver la forme de l’empreinte, perméable il pour échapper l’air chaud et les gaz, une stabilité thermique pour supprimer les risques de fissure au contact du métal.

Les moules peuvent être fait de différentes manières. Manuellement : Le sable est tassé dans les deux parties du châssis métallique autour du modèle qui est ensuite retiré, le sable prend de ce fait l’empreinte du modèle. En cire perdue : Un modèle réalisé en cire perdue est recouvert par un matériau réfractaire, la cire est ensuite fondue et évacuer. En polystyrène expansé, de la même manière que pour la cire perdue mais le modèle est en polystyrène expansé et qu’il fond lors du contact avec le métal liquide.

En moule non permanent dans la métallurgie et le génie civil nous pouvons citer :

Moulage en sable ;

Moulage en carapace ;

Moulage a la cire perdue ;

Coffrage perdu (dans le génie civil).

1.1.5- Moule non permanent en métallurgie

1.1.5.1- Moulage en sable

Le matériau est coulé dans un moule en sable. Le moule sera détruit après la fabrication de chaque pièce, il faut donc refaire un moule pour chaque pièce.

Le moule est fabriqué en au moins deux parties. Chaque partie ayant une empreinte donnant la moitié des formes de la pièce. Pour chaque partie du moule on utilise donc un modèle (en métal, bois etc....) qui enfoncé dans le sable va laisser son empreinte dans la partie du moule. Le modèle est ensuite extrait du moule avant que les deux parties du moule soient assemblées.

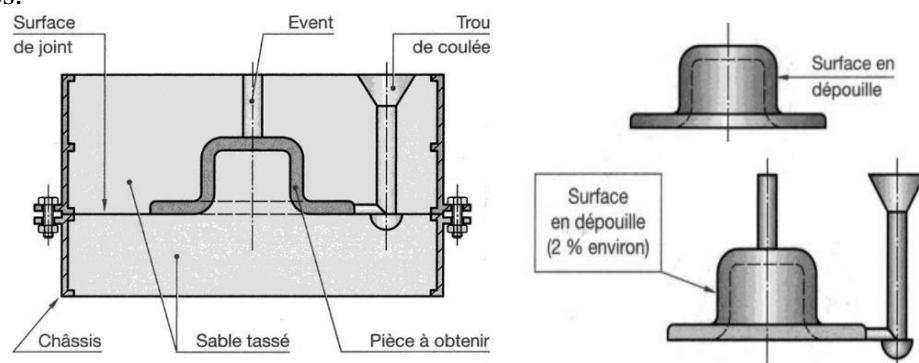


Figure 2 : moulage en sable [2]

Lorsque la pièce a des formes intérieures qui empêchent toute extraction du modèle, on insère entre les deux parties du moule, puis détruit après démoulage de la pièce

Le moule en sable est obtenu à partir d'un modèle généralement en bois, en résine ou en métal. L'avantage avec cette méthode est le fait que le sable est réfractaire (il résiste à la chaleur), et que le moule ne coute pas très cher à fabriquer. Mais ici la précision n'est pas au rendez-vous tout comme l'état de surface et le démoulage s'effectue avec destruction du moule [4].

- Moulage en sable humide (ou moulage à vert) ;
- Moulage sable à durcissement thermique ;
- Moulage sable à durcissement chimique.

1.1.5.2- moulage en carapace

Le **procédé Croning** ou **moulage carapace**, consiste à concevoir un modèle en sable qui peut être soit une carapace soit un noyau. C'est un mélange fait de sable+résine+catalyseur est injecté dans un moule métallique chauffé. Au contact de cette chaleur (entre 200 à 300°) le sable durcit par polymérisation. Le sable Croning (marque déposée) est un sable mélangé à une résine thermoplastique et à un catalyseur.

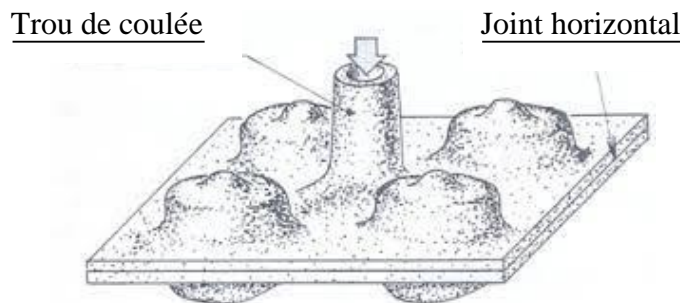


Figure 3 : moulage en carapace [3]

Pour la fabrication série, comme pour l'automobile, les outillages sont montés sur des machines automatiques, chauffés par jets de gaz ou résistances électriques. Les moules obtenus sont très précis, qu'ils soient pleins pour les carapaces ou évidés pour les noyaux.

1.1.5.3- moulage à cire perdue

Ce procédé de moulage, dit à haute précision, consiste à réaliser le modèle dans une matière facile à éliminer par chauffage (cire ou résine). Le prix de revient de ce procédé est élevé mais

il permet d'obtenir des pièces de haute qualité.

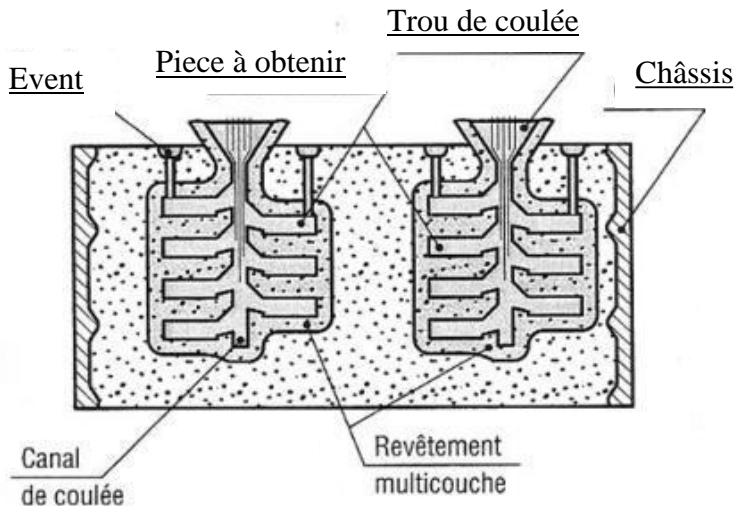


Figure 4: moulage à cire perdue [3]

Différentes phases du procédé de moulage à la cire perdue :

- fabrication du modèle en cire ;
- revêtement du modèle à l'enduit réfractaire ;
- mise en place et maintien de la grappe de modèles dans le sable fin spécial ;
- destruction du modèle par chauffage ;
- coulée de l'alliage en fusion ;
- après solidification, décochage de la grappe de pièces ;
- ébarbage complet.

1.1.6- Moule non permanent en génie civil

1.1.6.1- Définition du Coffrage

Le coffrage est une structure provisoire qui permet de mouler le béton frais en attendant sa prise puis son durcissement. Dans le cas de **coffrage de poteau** de forme simple (rond ou carré) on utilise souvent des coffrages perdus (utilisable une seule fois). Les coffrages outils sont utilisés surtout dans les chantiers importants avec de nombreux poteaux carrés ou rectangulaires à réaliser (roulement à organiser). Ils peuvent être permanent et non permanent

❖ Les différents types de coffrage

La peau de coffrage détermine l'aspect final du poteau de béton qui reste souvent brut de

décoffrage : elle peut être en contreplaqué, en bois, en métal, mixte en bois et métal ou en carton. Les coffrages classiques utilisés sont :

- Le coffrage traditionnel en panneaux de bois ou de contreplaqué : le montage et le démontage sont rapides (moule permanent).
- Le coffrage en carton pour des poteaux de section circulaire ou carrée : couramment employé, il est facile à mettre en œuvre car léger mais sans possibilité de réemploi (moule non permanent).
- Le coffrage composé de 2 demi-coquilles en métal ou bois qui en glissant l'un sur l'autre permettent de coffrer des poteaux de formes carrées ou rectangulaires de différentes tailles (moule permanent).
- Le coffrage en forme d'ailes de moulin, composé de 4 panneaux triangulaires ou en équerre. Ils glissent ou s'assemblent les uns contre les autres pour coffrer des poteaux carrés et rectangulaires de multiples dimensions (moule permanent).

1.1.6.2- Coffrage perdue

Coffrage perdue est un élément coffrant non réutilisable (carton par exemple) ou laissé en place après le durcissement du béton.

Il dispose d'une grande flexibilité de forme (largeur, hauteur, courbe, pente, ouverture) et est utilisé pour réaliser des projets de construction : piscine, maison ou immeuble. Ce coffrage est composé d'une trame en acier galvanisé et inoxydable dans laquelle sont insérés des panneaux coffrant. Tous les panneaux sont sur-mesure et pré-calepinés en usine.

Les panneaux de coffrage peuvent être de différent type d'isolant ou simplement en fibre ciment. Pour les murs d'une maison ou d'une habitation quelconque, les panneaux arrivent sur le chantier avec toutes les ouvertures pré-coffrées. Il faut agraffer les panneaux de coffrage perdus les uns aux autres pour pouvoir réaliser n'importe quel type de projet de construction.

- **Le coffrage de poteau en carton**

Dans ce cas on utilise des **tubes de carton** obtenus par « spiralage » : des bandes de cartons sont contrecollées entre elles et revêtues d'un film étanche intérieur. Cette peau plastique permet d'obtenir un béton lisse et de décoffrer simplement. Ces coffrages cartons sont légers et donc faciles à manipuler, et malgré tout peu déformables à partir du moment où ils ne sont pas trop exposés à l'eau (un film plastique protecteur extérieur est proposé par les fournisseurs).

Le décoffrage se fait à l'aide d'un outil tranchant (comme un cutter) et par déchirement (en réhumidifiant)



Figure 5: coffrage en carton de poteau en béton [5]

Ces tubes cylindriques sont proposés avec des profils intérieurs qui permettent de faire des poteaux carrés, hexagonaux, octogonaux, ou avec cannelures. Les hauteurs standard sont de 3 à 4 m avec un diamètre de 20 à 50 cm. Vous pouvez trouver aussi des tubes de 6 m et d'un diamètre de 50 à 100 cm, et même des tubes de 8, 10 et 12 m pour un diamètre de 20, 25 ou 30 cm.

1.1.7- Moulages permanents

Le moulage permanent est un moulage en métal réutilisable plusieurs fois et est souvent utilisé dans les productions de masse et dans les fonderies (carrosseries, usinage...). Le moule est le même pour toutes les pièces de la série.

Un moule permanent en fonderie à une durée de vie de 150.000 injections pour les alliages d'aluminiums, 500.000 à 1 million pour les alliages de zinc et 20.000 à 40.000 pour les alliages de cuivre.

Le moule est induit d'un poteyage (liquide de protection pour le moule) avant de mettre du métal en fusion dedans pour protéger le moule. La dépouille est prévue pour extraire la pièce sans provoquer l'effritement lors de la sortie du moule.

Nous distinguons plusieurs types de moule permanents en fonderie et en génie civil.

1.1.8- Moules permanents en fonderie

1.1.8.1- Moulage en coquille

Le moulage en coquille est du métal en fusion coulé à la pression atmosphérique (comme pour le moulage sable) dans un moule divisé en deux parties. Elle permet de donner la forme extérieure de la pièce moulée. On coule directement le métal liquide à l'aide d'une louche ou d'une petite poche de

coulée par gravité dans l'empreinte du moule. Nous distinguons plusieurs moulages en coquille à savoir :

- **Moulage par gravité ;**

Le moule métallique est composé de parties assemblées (en fonte ou en acier mi-dur) positionnées par des goujons, un canal de coulée, des événements, des tirées d'air, des extracteurs pour l'éjection de la pièce et un ou plusieurs noyaux.

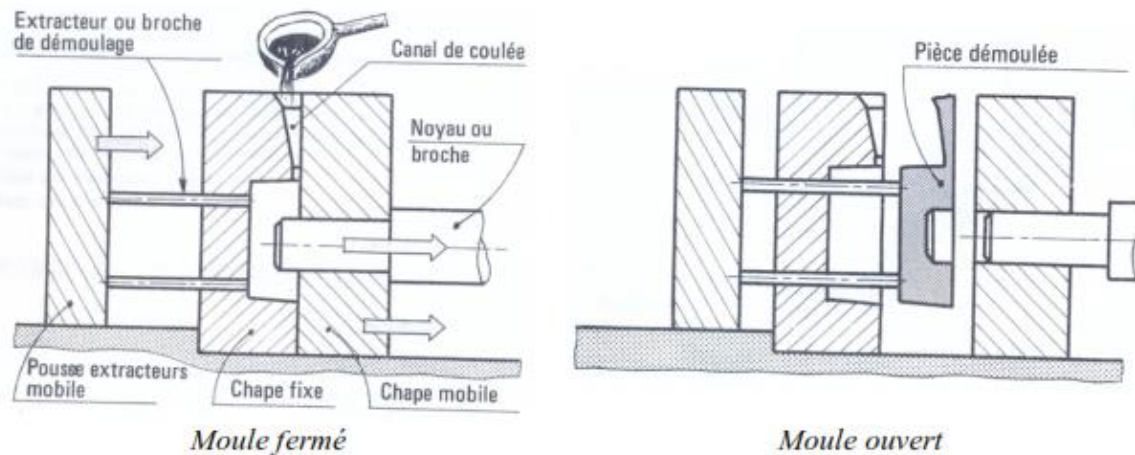


Figure 6: principe du moulage en coquille par gravité [5]



Figure 7: pièce obtenue par moulage de gravité [7]

❖ **Avantages et inconvénients du moulage par gravité**

Ce type de moulage convient pour une production élevée et pour des petites pièces qui ont des épaisseurs uniformes et des trous simples.

- Avec ce procédé, on ne peut pas concevoir des trous de diamètre inférieurs à 6mm.
- Avec ce procédé, on ne peut pas mouler des filets extérieurs ou intérieurs ainsi que des rainures.

- Par rapport au moulage en sable, ce procédé favorise l'obtention des pièces plus uniformes et des tolérances serrées, un état de surface meilleur et des coûts de fabrication moindres.
 - Une coquille supporte de 5 000 coulées pour les métaux lourds jusqu'à 20 000 pour les métaux légers.
 - prix de revient des coquilles chers.
- **Moulage sous-pression ;**

Dans ce procédé, le métal liquide est injecté dans le moule de la machine sous pression (30 à 100 N/mm²). Le moulage sous pression est utilisé pour réaliser des grandes séries de pièces ayant une configuration compliquée et des dimensions précises. Il nécessite une machine comprenant une pompe à injection du métal fondu, des éléments mobiles qui assurent le moulage et le démoulage des pièces et un système de refroidissement des moules. L'état de surface obtenu avec ce type de moulage permet dans de nombreux cas, d'utiliser les pièces moulées sans usinage.

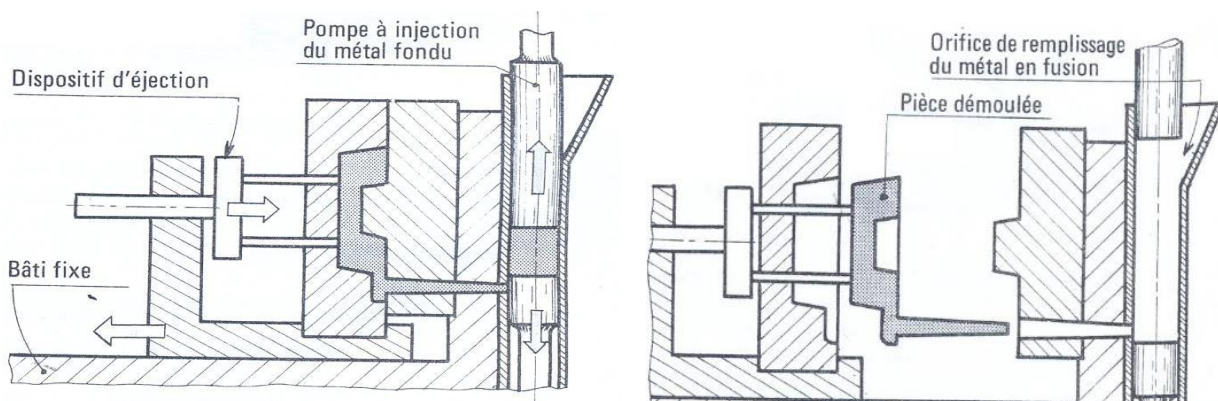


Figure 8: principe du moulage en coquille sous-pression [5]

❖ **Avantages et inconvénient du moulage sous pression**

- Ce procédé peut se faire sans dépouille.
- Ce procédé permet de couler des filets extérieurs ou intérieurs ainsi que des roues dentées, des cornières, des pièces d'horlogerie, des jouets, d'appareils électroménagers, etc.
- Ce procédé favorise la production d'un grand nombre de pièces moulées avec précision (tolérances serrées).
- Il permet le moulage des pièces minces.
- Il permet de reproduire des détails fins.

- La fabrication des pièces à prix concurrentiels, par ce procédé de moulage, se limite aux métaux non ferreux.
- Les dimensions des pièces moulées sont limitées.

1.1.8.2- Moulage par centrifugation

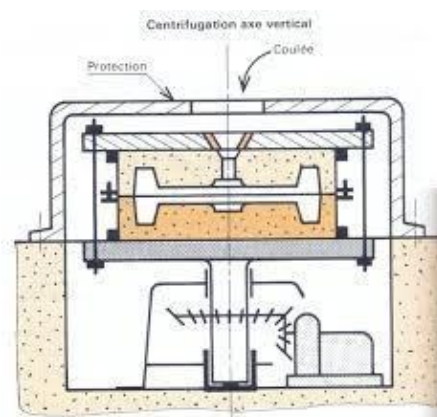
Utilisé presque dans la totalité des cas pour fabriquer des corps creux cylindriques sans noyau, le moulage par centrifugation consiste à couler le métal liquide dans un moule animé d'un mouvement de rotation autour de son axe principal. Les masses liquides sont soumises à une force centrifuge tendant à les éloigner de l'axe de rotation et à les plaquer contre les parois du moule. D'une façon générale, le moule tourne à une vitesse telle qu'il crée une accélération moyenne de l'ordre de plusieurs centaines et jusqu'à 1000 m/s ou plus, dans certains cas.

- **Principe**

La centrifugation, appelée encore coulée sous-pression centrifuge est un procédé utilisé pour produire des pièces de révolution tels que les tubes, les couronnes, etc sans usage d'un noyau. Le moule est mis en rotation selon un cycle pendant la coulée et la solidification de l'alliage. En général le moule est métallique, mais il peut être garni intérieurement d'un revêtement réfractaire ou en sable. Les parois du moule appliquent à l'alliage une accélération centripète de 15 à 30 fois l'accélération de la pesanteur. La centrifugation se fait sur des machines à axe vertical, horizontal ou oblique.

- **Gamme de production**

L'alliage liquide est mis en contact et maintenu en position dans la cavité du moule en le soumettant à une accélération très importante en faisant tourner l'ensemble (moule et alliage) autour d'un axe horizontal, vertical ou oblique. Le moule en sable peut être réalisé directement sur la machine à centrifuger.



- **Avantages du procédé**

Les avantages que présente ce procédé sont :

- aucune perte de métal : évite l'usage des noyaux axiaux pour les pièces de révolution.
- possibilité d'empiler des couches diverses de matériaux.
- propriétés mécaniques élevées du produit coulé, structure à grains fins et rendement élevé.

L'inconvénient réside dans le coût élevé des équipements et installations.

1.1.8.3- Moulage en coulée continue (lingotière)

Après fusion et traitement éventuel dans un four de maintien, le métal liquide est coulé dans une filière ou une coquille, refroidie par circulation d'eau, ayant la forme du profil à fabriquer.

A la sortie de cette filière, une couche solidifiée assure la tenue de l'ensemble jusqu'à la fin de la solidification [6].

Le métal en fusion se trouvant dans un four de maintien passe dans une filière en graphite refroidie. La barre profilée, totalement solidifiée, est tirée au moyen de galets qui servent également de guides, puis tronçonnée à la longueur voulue. Les installations de cette technique peuvent être verticales, courbes ou horizontales. Les deux dernières permettent de réduire la hauteur des infrastructures.

1.1.9- Moules permanents en génie civil

1.1.9.1- Le coffrage de poteau en bois (coffrage traditionnel)

Les bois de coffrage doivent être bien plans, sans impuretés et avec des angles bien droits. Les bois les plus couramment utilisés sont :

- Les tasseaux ou liteaux de 27 × 27 mm ou 41 × 41 mm ;
- Les voliges de 100 ou 115 mm de largeur et de 12 ou 15 mm d'épaisseur ;
- Les planches de 120 à 330 mm de largeur et 27 à 41 mm d'épaisseur ;
- Les chevrons de 60 × 60 mm ou 80 × 80 mm ;
- Les bastaings de 160 ou 185 mm de largeur sur 65 mm d'épaisseur ;
- Les madriers de 225 mm de largeur et 75 ou 100 mm d'épaisseur



Figure 9: coffrage en bois

Les dimensions classiques des coffrages bois sont limitées à une hauteur maximale de 4 m. Leurs sections carrées varient de 200×200 mm à 400×400 mm. Leurs sections rectangulaires courantes sont de 200×250 mm, 200×300 mm et 300×400 mm.

1.1.9.2- Le coffrage de poteau métallique ou mixte

Ce sont des coffrages de professionnels en ailes de moulin ou en demi-coquilles, qui permettent de réaliser des poteaux de différentes dimensions tout en assurant une verticalité parfaite (grâce à des vérins). La peau coffrant est en tôle de 4 mm d'épaisseur et donc résistante aux chocs. L'équerrage se fait à la base grâce à des étais. Pour les très grandes sections, vous pouvez utiliser des coffrages à piston qui permettent des sections rectangulaires allongées (1 m et plus).



Figure 10: coffrage poteau métallique

Le coffrage est un composant indispensable dans l'industrie de la construction et peut être qualifié de forme temporaire ou permanente dans laquelle le béton est coulé, ce qui devient ensuite dur. Les coffrages sont utilisés dans le monde entier depuis des centaines d'années pour faciliter la construction de structures de toutes tailles et de toutes formes. Indéniablement, la construction a été la pierre angulaire de la civilisation actuelle et le coffrage a joué un rôle crucial dans notre développement.

Pour répondre à différents besoins, différents types de coffrage sont disponibles ; néanmoins, chacun d'eux sert de moule dans lequel le béton est distribué, ce qui permet de le solidifier dans la forme façonnée. De nos jours, un éventail de coffrage (**coffrage de plancher**, coffrage de dalle, coffrage grim pant...) est utilisé dans la construction. En fonction du type de structure en construction et du budget du projet, un coffrage approprié est utilisé pour la construction [5].

1.1.9.3- Moule traditionnel



Figure 11: moule de parpaing traditionnel [6]

1.1.9.4- Pondeuse (parpaing, pavé etc..)

Une machine de parpaing semi-automatique ou manuelle également connue sous le nom de machine de fabrication de parpaing est un type de machines de construction BTP. Comme son nom l'indique, elle est utilisée dans la production ou la fabrication des agglos comme le parpaing (brique en ciment), les pavés autobloquants, les hourdis, les bordures préfabriquées...

Cette machine est connue sous plusieurs noms :

- Machine de parpaing
- Pondeuse a parpaing
- Machine a parpaing
- Machine pondeuse de brique
- Machine de fabrication a parpaing
- Machine de fabrication de brique

Le **parpaing** est un bloc de béton ou agglos rectangulaire de taille standard avec des cavités qui est utilisé dans la construction de bâtiments. Il est aussi appelé brique en ciment dans certains pays. Le parpaing est également connu sous le nom d'unité de maçonnerie en béton produit par des machines de fabrication de blocs de béton ou machine de brique. Le parpaing est l'un des nombreux produits préfabriqués en béton utilisés dans la construction. La plupart des blocs creux en béton (ou parpaing) comportent une ou plusieurs cavités [8].



Figure 12: pondeuse semi -automatique [8]

Ce type de machine à blocs de béton fonctionne à l'aide d'un opérateur et d'autres personnes pour collecter les parpaings (blocs creux ou autres) après la fabrication. Des chariots élévateurs de même que des robots de cubages peuvent être également utilisés pour remplacer le travail effectué par des personnes physiques. Le prix de cette machine de parpaing semi- automatique ou manuelle (prix de la machine de fabrication de parpaing) dépend en général de la capacité de production de la machine.

1.1.9.5- Moule spécifique

Moule autoportant pour dalle et prédalle. Nous fabriquons des systèmes pour de nombreux types d'éléments précontraints.



Figure 13: moule autoportant pour dalle et prédalle [9]

- Moule pour colonne ;

Moule simple pour fabriquer une colonne. Ces moules peuvent être actionnés avec côtés détachables or rabattables ou avec système hydraulique pour effectuer l'aperture et la fermeture du moule.

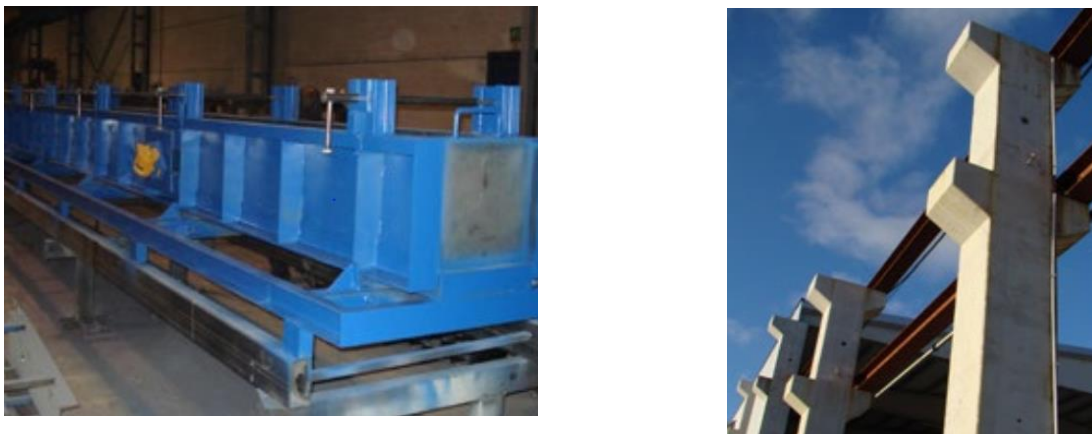


Figure 14: moule simple hydraulique a colonne [7]

- Autres moules pour travaux public.
- Moule double hydraulique pour la fabrication de deux unités d'escalier. L'hauteur de l'escalier et la profondeur des marches peut être conçue selon les spécifications du client et il peut également fabriquer un tronçon complet en comprenant un palier.

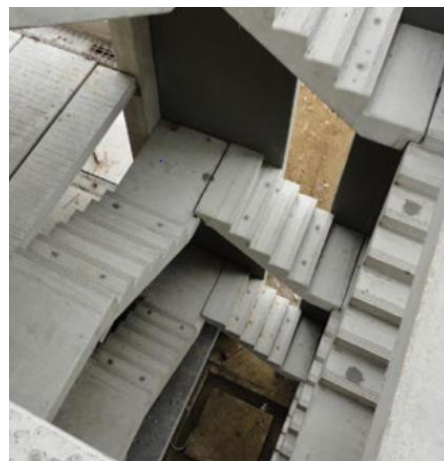


Figure 15: Moule double hydraulique pour escalier [7]

1.1.9.6- moulage de poteau carré et Rectangle en béton

Le moule carré pour béton est fait de tôle d'acier pressée (10mm avec longitudinal et circulaire plaque d'acier sur le corps du cylindre pour former une structure solide et stable pour garantir la longue durée de vie. Le moule en acier à pote carré est traité en segments et globalement assemblé afin de faciliter le transport, assemblez rapidement et maintenez commodément. Il est essentiel dans la fabrication du poteau en béton précontraint carré ainsi que des poteaux non précontraints



Figure 16: moule carré/rectangulaire et son produit [10]

Caractéristiques du moule en acier de poteau carré concret :

- Nouvelles conceptions avec l'acier traditionnel de cannelure et l'acier carré de nouveau-style;
- de fabrication exquise. Les quatre courbes de filet du moule sont contrôlées strictement dans les 20 degrés pas le degré habituel 26-30 des usines générales. (le radian plus petit a une demande plus élevée pour les équipements d'usine et la technologie des travailleurs);

- le tour plus long peut usiner tous les ensembles de moule dont la longueur est à moins de 15 mètres (moule ne sera pas usiné jusqu'à ce que la connexion à la bride soit polie et que la connexion soit lisse. Cependant, d'autres usines usinent habituellement le moule dans des segments et se connectent alors, la non-concordance de hauteur se produira dans la connexion), améliore la concentricité de la roue et de la bride ;
- l'extérieur est concis, la garniture de soudage, la languette et la rainure bien scellées

1.2- Généralité sur les supports de ligne aérienne (poteau)

1.2.1- Supports en bois

Les supports en bois sont généralement utilisés pour les lignes à basse et moyenne tension. Ils sont constitués d'arbres écorcés, qui doivent réunir certaines conditions. Un poteau en bois est défini par :

- les caractéristiques du bois ;
- ses dimensions ;
- sa classe qui est définie par l'effort nominal qu'il peut admettre.



Figure 17: poteau en bois [8]

1.2.1.1- Caractéristiques du bois

Les caractéristiques du bois utilisés comme poteau électrique comprennent : l'essence, la provenance et les qualités du bois. Les essences utilisées sont : le pin, le sapin, le mélèze et l'épicéa. Le sapin est le plus utilisé. Les bois sont écorcés et unis à la plane. Ils doivent être sains, exempts de nœuds vicieux qui les rendent cassants. Les poteaux doivent être aussi droits que possibles. Il n'est toléré qu'une faible déviation dans la partie qui s'élève au-dessus du sol. Ils doivent avoir les qualités du bois adulte [9].

1.2.1.2- Dimensions et charge de rupture

Les poteaux sont répartis en cinq classes : classe A, classe B, classe C, classe D et classe E. Pour chaque classe, les diamètres d au sommet, et D à un mètre de la base diffère pour des poteaux

de même hauteur (annexe 1). Pour chacune de ces classes, la charge de rupture s'exprime en newtons. L'effort nominal disponible est mesuré à 0,25 m du sommet. Le bois naturel étant susceptible de se détériorer très rapidement, il est nécessaire qu'il subisse un traitement qui augmente sa durée de service [10].

1.2.1.3- Traitement des poteaux bois

La durée d'un poteau peut atteindre 20 ans si l'on utilise certains procédés de conservation, mais la durée moyenne garantie par les fournisseurs n'excède pas 14 ans.

➤ **Traitement par immersion (Procédé Kyan) ;**

Pour ce traitement, on utilise des arbres écorcés et séchés que l'on empile dans un bassin étanche et on verse ensuite une solution aqueuse de bichlorure de mercure (1 Kg pour 150 L d'eau) jusqu'à ce que la profondeur d'imprégnation atteigne environ 15 mm

➤ **Traitement par injection simple (Procédé Boucherie) ;**

Ce traitement s'applique aux arbres fraîchement abattus en toute saison. Le pied du poteau est enveloppé d'une calotte étanche reliée à un réservoir contenant une solution aqueuse de sulfate de cuivre, à raison d'un kilogramme pour 100 L d'eau. A défaut de sulfate de cuivre, on peut utiliser le chlorure de zinc. L'injection est poussée jusqu'à ce que la solution apparaisse à l'autre bout du poteau.

➤ **Traitement par injection en vase clos ;**

Les poteaux sont séchés à l'air libre, puis placés dans un autoclave pour y recevoir une solution antiseptique sous pression (la créosote). Plusieurs modes opératoires sont adaptés pour ce traitement, mais chacun d'eux concerne une ou certaines essences seulement. La créosote est un liquide incolore, d'odeur forte, extrait du goudron de houille par distillation.

1.2.1.4- Avantages et inconvénients dans l'utilisation des poteaux bois

• **Avantages**

Les poteaux en bois traités sont largement utilisés dans l'électrification rurale. En effet. L'avantage marqué du poteau bois, est un coût global de ligne substantiellement moindre que celui réalisé avec des supports en acier ou en béton ; tout en offrant une durée de vie respectable. Entre autres avantages, nous pouvons citer :

- ils sont plus légers par rapport à leurs équivalents bétons ou métaux ;
- ils présentent une plus grande facilité de manutention par rapport aux autres supports ;
- ils sont plus faciles à escalader ;
- ils ne sont sujets à la casse durant le transport ;
- ils peuvent être produit et traités localement (eucalyptus)

- ils sont à la base d'un matériau brut dont la production, contrairement au ciment ou à l'acier, n'est pas hautement consommatrice d'énergie ;
- ils permettent une plus grande souplesse pour le placement des armements et tolèrent des modifications une fois sur le terrain. De plus, les poteaux bois ne subissent pas les agressions des zones côtières où l'air marin peut provoquer la corrosion des poteaux métalliques ainsi que les ferraillements dans les poteaux en béton.

- **Inconvénients**

Malgré ses avantages multiples, les poteaux bois présentent cependant quelques inconvénients notoires :

- ils sont susceptibles d'être attaqués par les termites ;
- ils requièrent normalement un haubanage ou un contre-fichage aux angles et en arrêt ;
- et ils sont susceptibles de prendre feu lors des incendies ou lors d'un défaut d'isolement (pollution ou perforation des isolateurs), si aucune précaution n'est prise lors de la conception ou de l'entretien

1.2.2- Supports en béton

Les Romains utilisaient déjà une sorte de béton, la pouzzolane : il s'agit d'un dépôt volcanique qui se solidifie si on le mélange avec de l'eau et de la chaux. Le portland, inventé en Angleterre en 1824, est un ciment obtenu par calcination à 1500°C d'un mélange d'argile et de calcaire que l'on broie ensuite finement. Lorsqu'on le mélange à de l'eau, il durcit et devient très résistant en raison de sa forte teneur en silicates de calcium anhydres. Ce matériau présente le gros avantage de pouvoir être employé à l'état plastique, voire fluide ; il peut donc être coulé en moules de n'importe quelle forme ; il se solidifie ensuite pour devenir comme de la roche qu'on aurait modelée. On lui attribue des charges de compression allant jusqu'à 45 kg/cm². Notons qu'il existe des bétons spéciaux tolérant des charges de 400 kg/cm². Afin d'accroître la résistance d'un béton, on peut simplement augmenter la proportion de ciment. Toutefois, si le rapport eau/ciment reste constant, l'augmentation de la quantité de ciment implique celle de l'eau et cela conduit à un mélange qui se contracte considérablement lorsqu'il durcit. Pour limiter ce retrait, on est amené à réduire la proportion d'eau, au point d'obtenir des bétons exceptionnellement secs, mais qui par ailleurs présente un manque de fluidité [11].

1.2.2.1- Supports en béton armé

Le béton de ciment présente des résistances à la compression relativement élevées, mais sa résistance à la traction est faible (de l'ordre du dixième de la résistance à la compression). Ce qui fait de lui un matériau fragile.

Pour pallier les inconvénients dus à cette fragilité, on associe au béton des armatures en acier ; le matériau résultant de cette association est le béton armé. La réalisation d'un élément d'ouvrage en béton armé comporte les quatre opérations suivantes l'exécution d'un coffrage (moule) en bois ou en métal, la mise en place des armatures dans le coffrage, la mise en place et « serrage » du béton dans le coffrage et le décoffrage après durcissement suffisant du béton. Dans la mise en œuvre traditionnelle, ces différentes opérations sont effectuées *m situ*, c'est-à-dire à l'emplacement même que l'élément occupe dans l'ouvrage.

Par opposition, dans les techniques de préfabrication, les quatre opérations énoncées précédemment sont réalisées soit en atelier, soit sur le chantier, et elles sont suivies d'opérations de manutention (transport, levage), de mise en place et d'assemblage des éléments préfabriqués.

Dans le cadre de la transmission des efforts de compression, le béton est plus économique que l'acier et son association avec des armatures en acier lui permet de résister à des efforts de flexion dans des conditions économiquement compétitives.

1.2.2.2- Support en béton précontrainte

Un ouvrage en béton est dit en béton précontraint quand il est soumis à un système d'efforts créés artificiellement pour engendrer des contraintes permanentes qui, composées avec les contraintes dues aux charges extérieures, donnent des contraintes totales comprises entre des limites que le béton peut supporter indéfiniment, en toute sécurité.



Figure 18: poteau en béton [10]

1.2.2.3- Avantages et inconvénients de l'utilisation des poteaux en béton

- **Avantages**

Les poteaux en béton présentent les avantages suivants :

- L'esthétique ;
- Ils ne nécessitent pas d'entretien une fois mis en place ;
- Ils sont autoportants (pas d'haubanage ni de contre-fichage) ;
- Ils possèdent un meilleur contenu local (ciment, fer, main-d'œuvre).

- **Inconvénients**

Les poteaux en béton sont largement défavorisés comparés à ceux en bois ou en acier pour ce qui est du transport, de la manutention et de l'érection à cause de leurs masses importantes de leur fragilité.

Pour ce qui est des problèmes liés à leur fabrication, nous pouvons relever les insuffisances suivantes :

- L'absence de test de résistance des matériaux durant la construction ;
- Le manque de soins dans le choix et le mélange des matériaux ;
- Une période de séchage insuffisante ;
- Le manque de soins dans la disposition des aciers des armatures ;
- La nécessité de les mettre dans des massifs en béton (car ayant des efforts nominaux égaux ou supérieurs à 300 daN ou possédants des hauteurs de plus de 12 m).

1.2.3- Supports en acier

Lorsque le réseau doit être étendu dans des zones sans accès routier, les poteaux en bois et en béton peuvent être encombrants ou trop lourds à transporter. Dans ce cas, les poteaux en aciers peuvent être très intéressants.

La force de cet alliage est celle de pouvoir supporter les efforts de traction des forces exercées par les câbles et les forces des vents. Les qualités intrinsèques de l'acier sont exemptes de deux inconvénients sérieux : la fragilité aux basses températures et leur prédisposition à la fatigue. De nos jours, il existe toute une gamme d'aciers propres à satisfaire à tous les besoins. Le critère les différenciant est leur limite d'élasticité ; En effet, la pièce d'acier soumise à une traction croissante est élastique jusqu'à cette valeur. Au-delà, l'acier, tout en conservant sa résistance, subit une déformation permanente, de telle sorte que lorsqu'on fait cesser la traction, il ne revient pas à ses dimensions d'origine. Cette déformation plastique augmente au fur et à mesure que s'accroît la traction au-dessus de la limite d'élasticité, jusqu'à une nouvelle limite à partir de laquelle la déformation n'est plus possible et la pièce se casse [12] L'acier doux a une limite d'élasticité, de 2500 à 3000 kg/cm² et une limite de rupture variant entre 4400 et 5200 kg/cm², mais pour la construction de structures métalliques on lui attribue une résistance admissible d'environ 1500 kg/cm². L'acier T1 d'origine américaine, est certainement le

plus résistant ; sa limite d'élasticité est de 6280 kg/cm² et il a une résistance admissible de 3140 kg/cm². De plus, il est soudable, bien plus résistant à la corrosion que l'acier doux et supporte des basses températures qui rendent les aciers fragiles au choc. Mais son prix est son plus gros inconvénient. En général, on utilise plutôt un des nombreux aciers

spéciaux de caractéristiques mécaniques comprises entre celles du T1 et de l'acier doux [11].



Figure 19: poteau métallique [9]



1.2.3.1- Avantages et inconvénients dans l'utilisation des poteaux métalliques

- **Avantages**

Les poteaux en acier offrent les avantages suivants :

- Longue durée de vie ;
- Permettent l'utilisation de longues portées ;
- Facilité de transport et d'érection ;
- Nécessitent peu d'entretien ;
- Sont autoportant.

- **Inconvénients**

Cependant ils présentent quelques insuffisances : contrairement aux poteaux béton, le contenu local est nul (ce qui peut changer avec l'avènement de la SOSETRA : c'est une société qui est spécialisée dans la fonderie en acier) ;

- Contrairement aux poteaux bois, ils nécessitent des fondations en béton armé ;
- Ils sont plus coûteux que les autres types de supports.

Pourquoi utiliser le bois plutôt que le béton ou le métal ? D'abord, c'est le matériau le plus économique. On pourrait cependant penser que le béton et le métal sont plus acceptables pour

l'environnement. Mais des études ont montré que si l'on considère l'énergie, les matériaux et les rejets environnementaux en jeu dans la « vie » d'un poteau (c'est-à-dire l'extraction de la matière première, la fabrication du poteau, son usage puis sa mise au rebut), le bois demeure la plus écologique des solutions. Ce matériau présente aussi d'autres qualités essentielles. Il est le plus résistant, car le métal est sensible à la rouille, et les sels de déglacage dans les pays du nord attaquent le béton. Une autre caractéristique technique, qui peut sembler anodine, désavantage également le métal et le béton : l'impossibilité pour un monteur de ligne de grimper avec des crampons dans des poteaux faits de ces matériaux ! Il faut alors utiliser une nacelle, ce qui n'est pas toujours possible... En fait, le béton et le métal sont employés pour des raisons esthétiques.

Le bois représente donc encore la meilleure des solutions. Pour fabriquer des poteaux, on utilise en Amérique du Nord surtout des pins rouges âgés de 75 ans. Le bois est très résistant aux chocs et la fabrication d'un poteau demande relativement peu d'énergie [13].

Cependant, la longévité d'un poteau de bois est considérablement réduite par des agents biologiques comme les insectes, les bactéries et les champignons, qui l'apprécient comme repas ou comme abri. Dans certains cas, les effets engendrés par ces agents biologiques peuvent être accentués par la chaleur, l'humidité et la teneur en oxygène du bois. Pour augmenter la durée de vie d'un poteau de bois, on doit donc le traiter aux petits oignons ... ce qui implique l'utilisation de produits toxiques

CHAPITRE 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

Dans ce chapitre il est essentiellement question de présenter les types de moule pour poteaux en béton conique en tube qui existe en donnant leurs différentes caractéristiques, ensuite faire une étude critique.

2.1- Moule pour poteau en béton précontraint conique

La machine de fabrication de poteaux électriques en béton précontraint est une sorte d'équipement de moulage qui a utilisé pour fabriquer une variété de diamètres et de longueurs différents de poteaux en béton armé et d'autres produits en ciment. La machine de fabrication de poteaux électriques en béton précontraint est actionnée par un moteur à variation continue télécommander. Il fonctionne en douceur et a une plage de vitesse variable. Ainsi, la production de tuyaux et pieux en béton est bonne à la qualité.

La base de la machine est soudée dans la structure de type boîte, la robustesse et la durabilité. Les roulements sont scellés et fiables, longue durée de vie. L'équipement de contrôle électrique aléatoire est complet et facile à utiliser.



Figure 20: moule métallique pour poteau en béton [9]

Le moule centrifugé pour poteau en béton centrifuge est l'équipement de formage de poteau en béton le plus important dans une usine de production de poteaux en béton. Il est conçu et fabriqué en accord avec les spécifications des poteaux en béton. Sa longueur varie de 6 à 18 m et son diamètre est de 110 à 350mm. Nous pouvons aussi personnaliser les spécifications des moules de poteau en fonction des exigences du client.

Le moule de poteau béton effectue une rotation sur la machine de filage centrifuge à une vitesse de 400RPM à 600RPM. La vitesse du moteur est de 1100RPM à 1960RPM. Ces moules peuvent donc fabriquer des poteaux en béton de rectitude et de qualité supérieure. Notre moule de poteau en béton est fabriqué à partir de plaque d'acier de 10m. les roues porteuses sont en acier moulé. Le coffrage réutilisable pour poteau est strictement conforme aux exigences

requis en termes de dimensions. Il offre une structure compacte, un assemblage et désassemblage faciles. De plus, sa force et sa rigidité sont impressionnantes.

2.1.1- Principe de fonctionnement

Il se détaille sur quatre points à savoir :

Ajouter la boue dans le moule, il est conduit rapidement et tourné à la même vitesse de la machine. Chaque composant est séparé et libéré et libéré sous la force centrifuge. Habituellement, plus la boue tourne rapidement, plus l'effet de séparation de la boue est important.

La sédimentation centrifuge est l'utilisation de densité différente de chaque composant dans la boue, qui est tourné sous la force centrifuge. Pour réaliser la séparation liquide-solide (ou liquide-liquide).

La vitesse de séparation est lente lorsque la viscosité de la boue est élevée.

Il est bon pour la sédimentation centrifuge quand la boue densité est différente dans chaque composant.

2.2- Machine de filature centrifuge

La machine de filature centrifuge pour le poteau électrique en béton filé précontraint est une sorte d'équipement de moule, qui est utilisé pour produit des poteaux en béton armé et d'autre produit en ciment avec une variété de diamètre et de longueur différents.

La machine à filer centrifuge pour les poteaux en béton filé précontraint est actionnée par un moteur à variation continue télécommande. Il fonctionne en douceur et a une plage de vitesse variable. Ainsi, la production de tuyaux en béton est de bonne qualité.

Tableau 1: caractéristique de la machine a filature

Diamètre intérieur supérieur (mm)	Bande de roulement (mm)	Diamètre de roue courante (mm)	Longueur (m)
150	2000	600	7-12
170	2000	600	7-12
190	2000	650	7-15
230	2000	650	6-9
300	2000	600	6-9
350	2000	650	6-12
310	2000	650-780	6-15

2.2.1- Paramètre technique

Centrifugeuse

- Arbre : $\Phi 130\text{mm}$
- Rouleau de support : $\Phi 600\text{mm}$
- L'épaisseur du remorqueur : 50mm
- Couplage : raccord à éclipser
- Entraxe : 950mm
- Structure d'assemblage des roues et des arbres : manchon conique
- Vis de terre : $M30 \times 600\text{mm}$

Machine automatique de soudure de cage de squelette de poteau

- Cadre de soudure diamètre : $\Phi 300- \Phi 600$
- Longueur squelette en acier soudé : $0-15$
- Diamètre applicable de barre d'acier : $\Phi 7.1 \Phi 9.0 \Phi 10.7 \Phi 12.6$
- Bague diamètre de la barre : $\Phi 4- \Phi 6$
- Distance de barre d'anneau : $0-150\text{mm}$
- Puissance motrice : 8.4Kw
- Courant de soudage : 300Kw

Béton mangeoire

- Modèle : WLJ15
- Volume de trémie : 1.5m^3
- Productivité : $10\text{m}^3/\text{h}$
- Puissance du moteur en cours d'exécution : 2.2Kw
- Compresseur d'air : 0.14m^3
- Entraxe des rails : 1350mm
- Dimensions : $2730 \times 1850 \times 2640\text{mm}$
- Diamètre du cylindre : $\Phi 90$

Poteau électrique machine de tension

- Tension : 6010KN
- Piston zone : 1250cm^2
- Diamètre de perforation : 150mm
- Déclenchement : 200mm
- Pression nominale : 50Mpa

- Double pompe à huile avec débit haute pression 7l/min, débit basse pression 20l/min, haute pression 60Mpa, basse pression 5Mpa.

Poteau en béton filé YB300 machine de tension

- Force montante : 3316KN
- Course d'étirement : 300mm
- Pression d'huile évaluée : 60Mpa
- Diamètre du trou traversant : 120mm
- Zone de piston de traction : 615.5cm²

Barre en acier machine de creusement

- Transformateur : 15Kw
- La force de serrage maximale est de 50T lorsque la pression d'air est de 7.2kg/cm
- La force de rupture maximum est 16T quand la pression d'air est 7.2kg/cm
- Diamètre de coupe de la barre d'acier : $\Phi 7.1$ $\Phi 9.0$ $\Phi 10.7$ $\Phi 12.6$
- Contrôleur : écran tactile intelligent

2.3- Moule conique et cylindrique

Machine centrifuge pour poteaux en béton est conçu et fabriqué pour les tuyaux en béton armé centrifuge dans un seul moule pour les tuyaux de diamètre large et les moules multiples filature pour filature de moules de petite et moyenne taille. La machine est totalement sur mesure et les spécifications sont disponibles en fonction de l'application des utilisateurs finaux.

- Conception unique de fente, changez la limite de vis entre le support de roulement et la plaque de base avec le soit de carte et boulon. Les deux côtes hautes et bas du panneau de la machine à filer, sous la surface et les deux côtés de support de roulement passe par un usinage fin.
- L'arbre de connexion est un arbre entier, pour éviter la concentration de contrainte provoquée par les changements de diamètre de l'arbre résultant en le phénomène d'arbre cassé.
- Le coté limite de la roue de support est amovible. Il est pratique pour les utilisateurs de remplacer.
- Armoire de conversion de fréquence de la machine à filer enregistre le paramètre de processus de chaque tuyau et sortie rapports, fournit l'interface de communication de données informatiques de bureau.

Tableau 2: caractéristique d'un moule conique

Moules	Petit diamètre de tête (mm)	Écart de rouleau (mm)	Longueur (m)
Conique électrique	100	2000	6-7
	110	2000	6-7
	120	2000	6-8
	130	2000	6-8
	150	2000	6-10
	170	2000	6-12
	190	2000	7-12
	190	2000	15-18
	230	2000	6-9

Tableau 3: caractéristique d'un moule cylindrique

Moule	Diamètre intérieur (mm)	Écart de rouleau (mm)	Longueur (m)
Moule électrique de mêmes diamètres	300	2000	4,5,6,9
	400	2000	4,5,6,9
	500	2000	4,5,6,9
	550	2000	4,5,6,9
	600	2000	4,5,6,9

Ce béton précontraint filé pole moule en acier est utilisé pour l'électronique pole concrets de décisions. Sa principale la fabrication de la technologie est la tension longitudinale par fils en acier. Alors il peut évincer l'excès d'eau dans le béton en vertu de la force centrifuge. Ainsi, il peut grandement améliorer la densité de béton et la force. Afin de former le béton plus rapidement pour répondre à la conception force de plus de 70% étuvage peut être effectué de façon à raccourcir le cycle dégageant du moule.

2.3.1- Principe de fonctionnement

Le moule en acier devrait travailler de concert avec pole la filature de la machine. L'acier moule doit être placé sur la machine de filature en douceur.

Mettre le lisier mélangé dans le moule et le tourner dans des directions différentes en vertu de l'entraînée par un moteur. Dans ce processus, la redondance de l'eau dans le béton est libérée par la force de centrifuge, et le béton est dense et haute résistance. Et puis, le pôle de formes autour de la paroi interne du pôle moule.

2.3.2- Spécification des moules

La technologie de soudage : cela favorise la finition lisse de la paroi du moule, et élimine l'inégale des traces de trous de rivet de sorte que les poteaux en béton apparence sera sensiblement améliorée.

Le vérin est changé à U-type raidisseurs longitudinaux qui peut considérablement augmenter la rigidité et résistance en flexion de l'acier moule.

Installer le logement avec un joint en caoutchouc, afin de prévenir la fuite pour assurer la qualité.

Tableau 4: spécification de béton précontraint conique du moule (DMZ)

Diamètre intérieur de l'extrémité supérieure (mm)	Empattement (mm)	Longueur (m)	L'exécution de diamètre de roue (mm)
100	2000	6-7	500
110	2000	6-7	500
120	2000	6-8	500
130	2000	6-8	500
150	2000	6-10	600
170	2000	6-12	600
190	2000	7-12	600
190	2000	15-18	600
230	2000	6-9	700
310	2000	6-9	700
350	2000	6-9	700
390	2000	6-9	700

Tableau 5: spécification de béton précontraint cylindriques (DMD)

Diamètre intérieur de l'extrémité supérieure (mm)	Distance (mm) de roue	Longueur (m)	L'exécution de diamètre de roue (mm)
300	2000	4.5 6 9	600
400	2000	4.5 6 9	700
500	2000	4.5 6 9	700
550	2000	6 8 10	700
600	2000	6 8 10	700

2.3.3- Caractéristiques du coffrage de poteau en béton conique

Le poteau en béton doit avoir une faible fuite, une exploitation pratique et un traitement facile. Le poteau à joint à rainure et languette offre une grande performance d'étanchéité, mais le sable peut facilement entrer dans rainure, ce qui complique le nettoyage.

La roue classique assemblée peut tomber facilement car le bouton est facile à dévisser et se détacher. La roue est soudée et adopte une plaque d'acier A3 comme matières premières ce qui augmente l'intensité est la sécurité

2.4- Avantages de moule a poteau conique en béton

- **Soudage** : il possède les bonnes caractéristiques pour appliquer une soudure à dioxyde de carbone ;
- **Essai centrifuge** ;
- **Mesure de rectitude.**

CHAPITRE 3 : ETUDE DE CONCEPTION (ANALYSE FONCTIONNELLE)

3.1- analyse externe

Pour concevoir un produit, il est nécessaire au préalable de bien identifier les services à satisfaire par le produit : c'est-à-dire identifier toutes les fonctions que le produit devra remplir durant toute sa durée de fonctionnement et les caractériser. Pour y parvenir à ce résultat, rien de mieux que de mener une analyse fonctionnelle au début de notre projet ; Cette analyse permettra d'éviter les pièges classiques de la conception tels que (l'aveuglement, le manque d'objectivité, la mauvaise gestion des priorités). Cela nous permettra également d'aboutir à la synthèse d'une solution fiable tant sur le plan technique que sur le plan économique. Pour mener à bien cette analyse fonctionnelle, nous allons dans l'ordre chronologique suivre les grands axes suivants :

- L'analyse du besoin (en utilisant le diagramme bête à corne) ;
- Etude de faisabilité (en utilisant le diagramme de pieuvre) ;
- Analyse interne (en utilisant le diagramme F.A.S.T).

3.1.1- Etude du besoin

Encore appeler méthode APTE, cet outil nous permet de formuler, le besoin qui suscite la conception du produit, à travers les différentes interactions entre les constituants de l'environnement direct dudit produit. Il sera énoncé sous forme de diagramme appelé : « Diagramme bête à corne ».

3.1.2- Analyse du besoin

L'analyse du besoin ici nous a conduits à effectuer des recherches dans les sociétés (ENEO et CAMTEL) des villes plus précisément dans la ville de Douala et Bafoussam. Nous constatons qu'il utilise en majorité les poteaux en béton importé de l'extérieur en venant de préférences des pays tel qu'Afrique du sud, Chine et le Maroc. Après cette recherche, on constate un besoin fort d'un moule simple et économique qui s'impose dans nos sociétés d'où la conception d'un moule pour poteau en béton en tube conique.

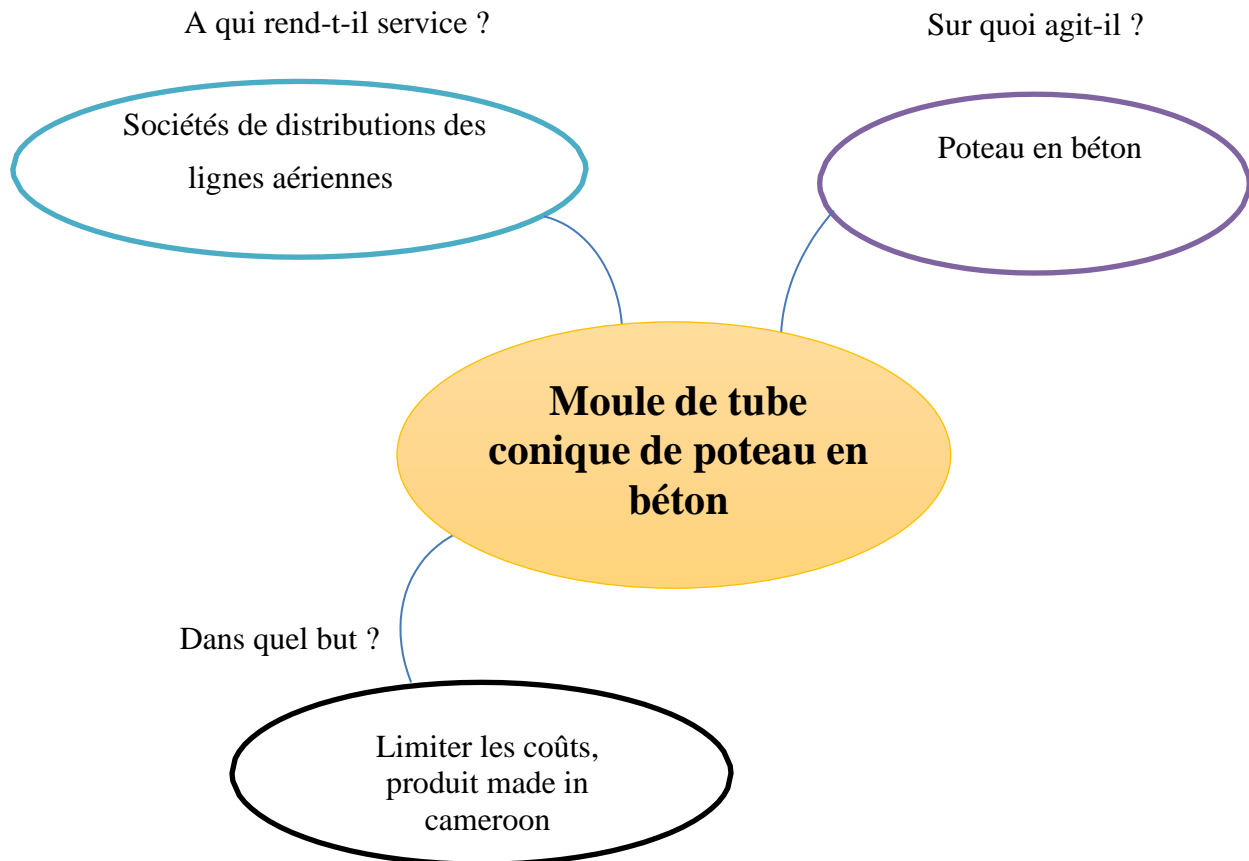


Figure 21: Diagramme tête à corne

3.1.3- Validation du besoin

La réalisation d'un moule de tube de poteau conique en béton requiert un choix du matériau de bonne qualité car :

- Les poteaux issus d'un moule fabriqué à partir des matériaux de mauvaise qualité peuvent entraîner une mauvaise surface de rugosité du poteau ;
- Gagner en temps et avoir une bonne rentabilité ;
- Résister au plus à l'effort mécanique lors du fonctionnement.

• **Qu'est ce qui pourrait le faire évoluer ?**

Les facteurs qui pourraient le faire évoluer sont :

- La demande croissante des poteaux ;
- L'implantation des industries de fabrication de poteau ;
- L'application rigoureuse des normes en matière des poteaux en béton.

- **Qu'es ce qui pourrait le faire disparaître ?**

La disparition du produit pourrait être due à :

- Importation des produits ;
- Une machine concurrentielle moins dispendieuse.

Il en ressort que le produit a un fort potentiel d'évolution par ricochet, la disparition de ce produit est peu probable.

3.2- Etude de faisabilité

3.2.1- Diagramme pieuvre

Nous faisons appel à L'A.F. B ici car elle va nous permettre de traduire le besoin par des fonctions à réaliser (ou fonction de service) par notre appareil. Pour ce faire, nous allons donc utiliser le diagramme de pieuvre (fig.) en répondant à la question : « pourquoi la machine a été conçue ? » pour matérialiser les fonctions principales (FP) et les fonctions contraintes (FC) en répondant à la question : « De quoi l'équipement a-t-il besoin pour assurer sa fonction principale ? » tout ceux-ci constitue les fonctions de services de notre appareil avec le milieu extérieur, tout en supposant que nous sommes dans des conditions normales d'utilisation.

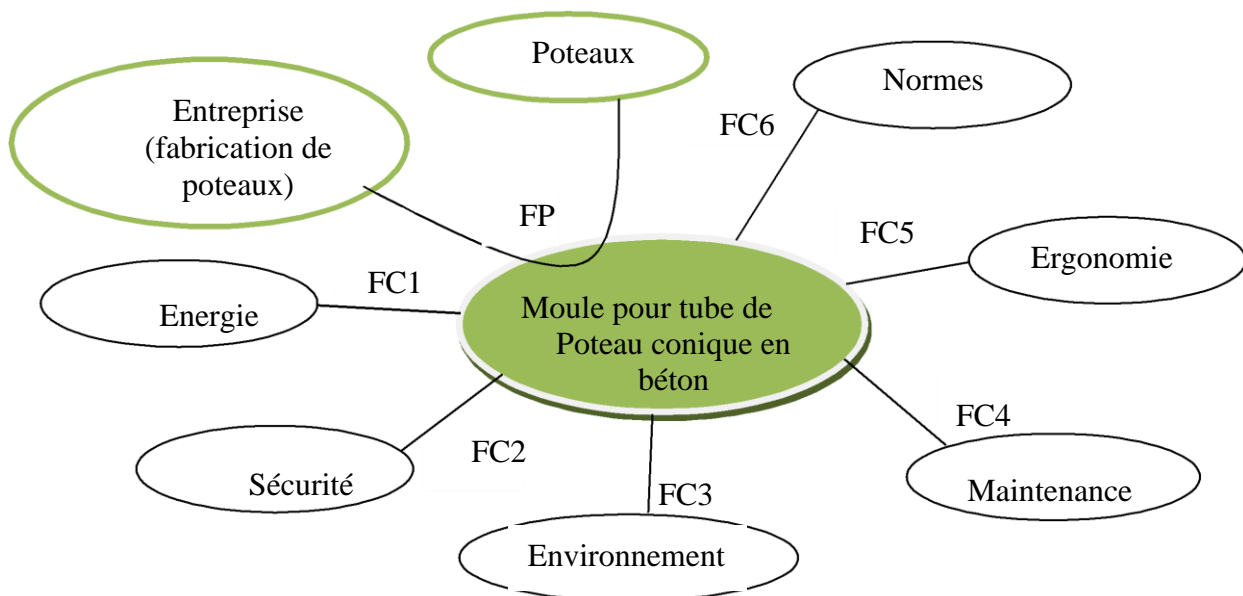


Figure 22: diagramme pieuvre

FC1 : utiliser l'énergie électrique

FC2 : réduire les risques liés à son utilisation

FC3 : faciliter la maintenance

FC4 : simplifier l'utilisation

FC5 : respecter la réglementation en vigueur, concernant les matériaux de construction et les produits de moulage

3.2.2- caractérisation des fonctions de service

Il s'agit ici de ressortir les critères d'appréciations des fonctions identifiées plus haut, de les quantifier (qualifier éventuellement) et de définir le niveau de rigueur avec lequel elles devront être prise en compte lors de la conception du produit.

Tableau 6: caractérisation des fonctions

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
FP	Quantité de poteau à fabriquer		F1
FC1	Energie électrique	230-400V	F1
FC2	Protection utilisateur	Risque accident moyenne	F2
FC3	Nuisance sonore	Inferieure 30 db	F1
	Odeurs	Acceptable	F0
	Détritus	Déchets au sol	F2
FC4	Interchangeabilité Standardisation Accessibilité Démontabilité	Optimal	F2
FC5	Forme	Non modulable	F0
	Disposition des éléments de commande	Optimal	
	Gabarit (en m)		
	Dispositif de dialogue H-M	Minimum	F2
FC6	Résistance	Durée de vie du dispositif	F1
	Sanitaire	Acceptable	F1

Légende des flexibilités :

F0 : flexibilité nulle

F1 : peu négociable

F2 : négociable

F3 : très négociable

3.2.3- Comparaison et histogramme des fonctions

Les fonctions étant maintenant connues et caractérisées, il est question de les confrontées afin de dégager leurs apports respectifs dans réalisation du produit final (solution de l'étude). Ceci se fera à l'aide de la méthode du tri croisé.

- **Méthode du tri croisé**

Il s'agit d'une méthode d'analyse comparative des fonctions. Elle repose sur la quantification, de l'importance relative d'une fonction par rapport à une autre et se présente sous forme de tableau. Pour ce faire l'on adopte le code de comparaison suivant ;

- **0** : niveau égal
- **1** : légèrement supérieur
- **2** : moyennement supérieur
- **3** : supérieur

Tableau 7: Tri croisé

	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	Poids	%
FP	FP/2	FP/1	FP/2	FP/3	FP/3	FP/1	12	27,90
	FC1	FC1/1	FC1/2	FC1/2	FC1/3	FC1/1	9	20,93
		FC2	FC2/2	FC2/3	FC2/3	FC2/1	9	20,93
			FC3	FC3/1	FC3/2	FC3/1	4	9,30
				FC4	FC4/1	FC4/2	3	6,98
					FC5	FC5/2	2	4,65
						FC6	4	9,30
							43	100

Les pourcentages obtenus, dans la dernière colonne représentent dès lors le poids de chacune des fonctions.

- **Histogramme des fonctions : Diagramme Pareto**

Pour une meilleure lisibilité ces données peuvent être représentées sous forme de diagramme : diagramme de Pareto qui nous permet de ressortir graphiquement les poids cumulés des fonctions de contraintes et ainsi de dégager les fonctions de contraintes (celles qui contribuent à près de 80% de poids total). Pour cela, il faut d'abord réorganiser les fonctions par poids décroissant.

Tableau 8: Poids des fonctions et leurs pourcentages

Fonctions	Poids (%)	Cumulés (%)
FP	27.90	27.90
FC1	20.93	48.83
FC2	20.93	69.76
FC3	9.30	79.06
FC4	6.98	86.04
FC5	4.65	90.69

FC6	9.31	100
TOTAL	100	

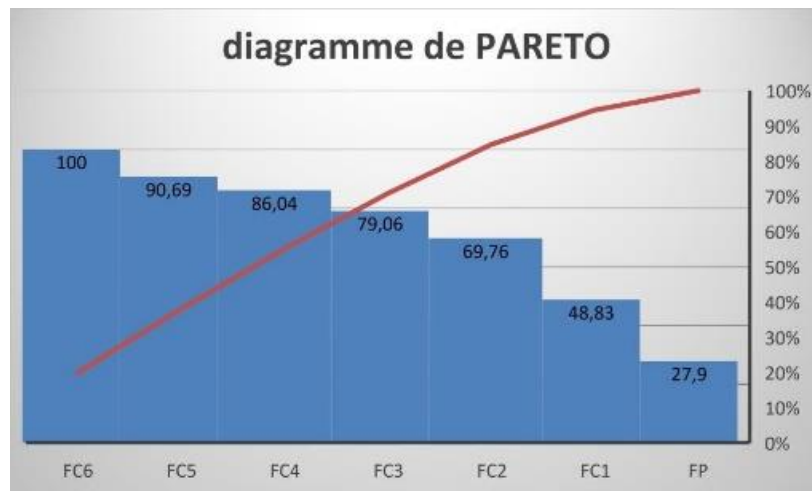


Figure 23: Diagramme PARETO

L'on peut dès lors conclure que les fonctions prioritaires sont FP, FC1, FC2 et FC3 qui constituent à elles 79,06% des contraintes à la solution.

3.3- analyse interne (FAST : Function Analysis System Technic)

L'AFT nous permettra de faire la transition entre L'AFB (qui reste étrangère aux préoccupations d'ordre technologique), et la conception détaillée, qui entre de plain-pied dans les considérations technologiques ; pour ce faire nous allons utiliser le diagramme F.A.S.T.

Le F.A.S.T d'un produit donné doit représenter les arbres des fonctions de services qui sont susceptibles d'être développées

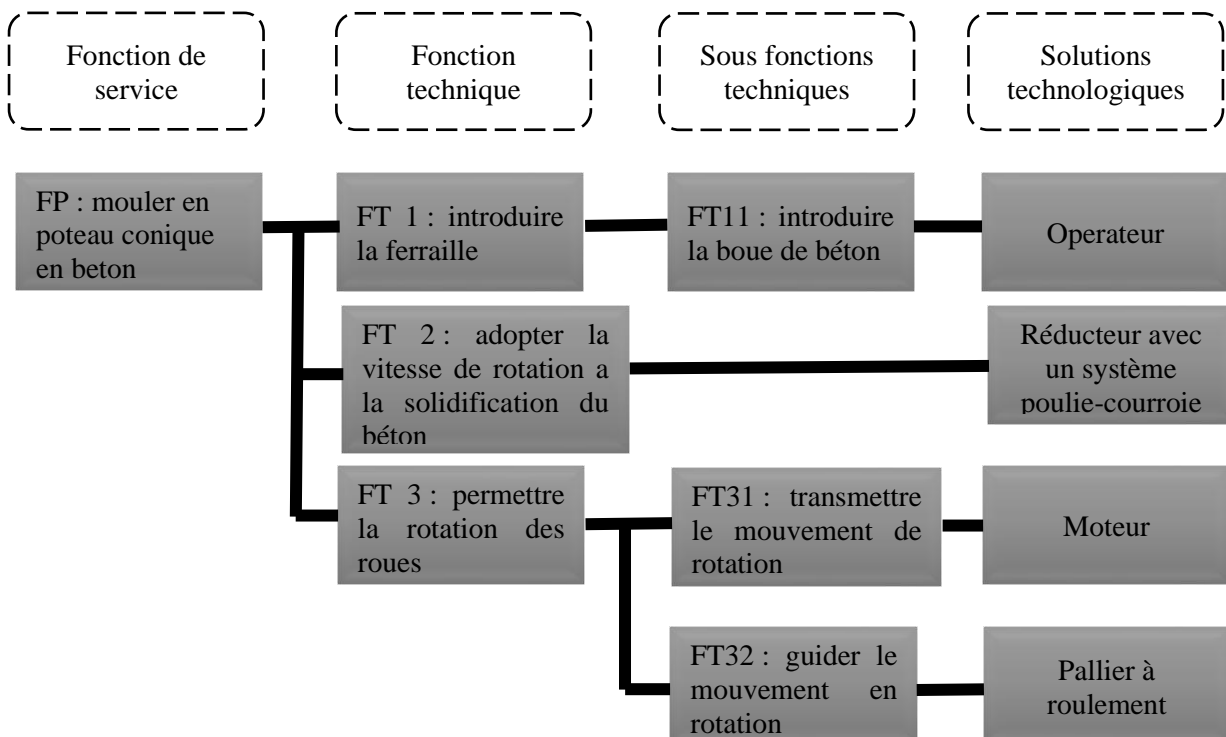


Figure 24: Diagramme FAST

3.4- Diagramme S.A.D.T

Le modèle SADT est un diagramme à « boîtes descendantes », il part du général pour aller au particulier. La description du système s'effectue alors sous la forme d'une suite cohérente. A partir d'une première analyse qui définit la fonction globale du système ainsi que la frontière avec les interacteurs (voir diagramme pieuvre), cette fonction globale est décomposée par niveaux successifs. Ceci permet de partir d'un système complexe à un système technologique.

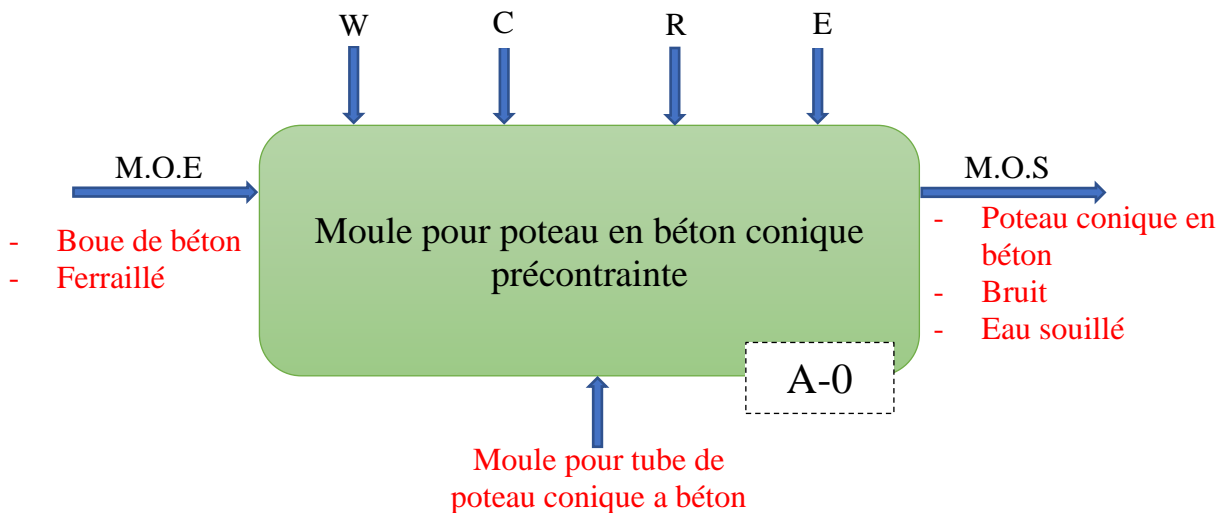


Figure 25: diagramme S.A.D.T (niveau A-0)

- **W** (contraintes d'alimentation en énergie) : Energie électrique ;
- **C** (contrainte de configuration) : consigne sur la quantité de boue de béton et la ferraille ;
- **R** (contraintes de réglage) : consigne la vitesse de rotation ;
- **E** (contraintes d'exploitation : ordre de l'opérateur.

L'analyse commence par le niveau A-0, représente le système global, dans notre cas il s'agit de notre moule à poteau. Comme intrant à notre système, nous avons la ferraille tressée en forme du poteau et la boue de béton, et après transformation nous obtenons poteau conique en béton, ainsi que des produits non désirés notamment les eaux usées, le bruit et les vibrations de la machine. Ensuite l'analyse se poursuit avec le niveau A-0.

Le niveau A-0 présente toujours le système dans son ensemble, toutefois il ressort les différents éléments constitutifs de système, leur ordre d'intervention dans le processus global ainsi que leurs liens à travers l'évolution des flux, des intrants aux produits.

3.5- Recherche et étude critique des solutions

3.5.1- Première solution : Moule vibrant pour poteau en tube de béton conique

a) - Schéma de principe

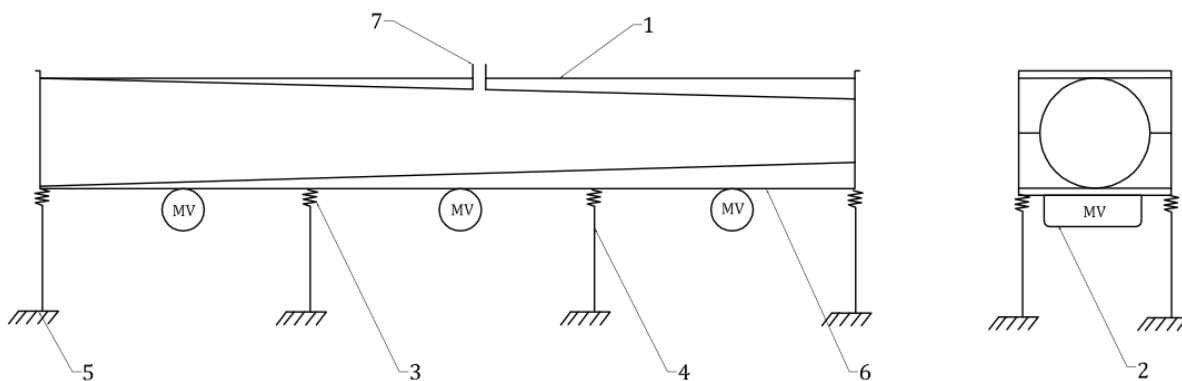


Figure 26: Modélisation cinématique de la solution n°1 du moule vibrant pour poteau

b) – Légende

Tableau 9: Légende de la solution n°1

N°	Noms
1	Moule
2	Vibrateur
3	Ressort
4	Support table vibrante
5	Bâti
6	Table vibrante
7	Orifice de coulée

c)- Description et fonctionnement

La ferraille est introduit dans le moule **1**, puis est refermé par un assemblage de boulon, Le coulage du béton se fait progressivement par couche par l'intermédiaire de orifice **7**. Le moule **1** est mis en mouvement par le système vibrateur + table vibrante (**2+6**), qui reçoit son mouvement du moteur électrique dont la vitesse et la fréquence sont variables

d)- Avantages et Inconvénients

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Manipulation facile	Nuisance sonore
Encombrement réduit	Maintenance difficile
Qualité moyenne	Cout élevé
	Fissure
	Eau souillé

3.5.2- deuxième solution : Moule avec règle vibrante pour poteau en tube de béton conique

a) - Schéma de principe

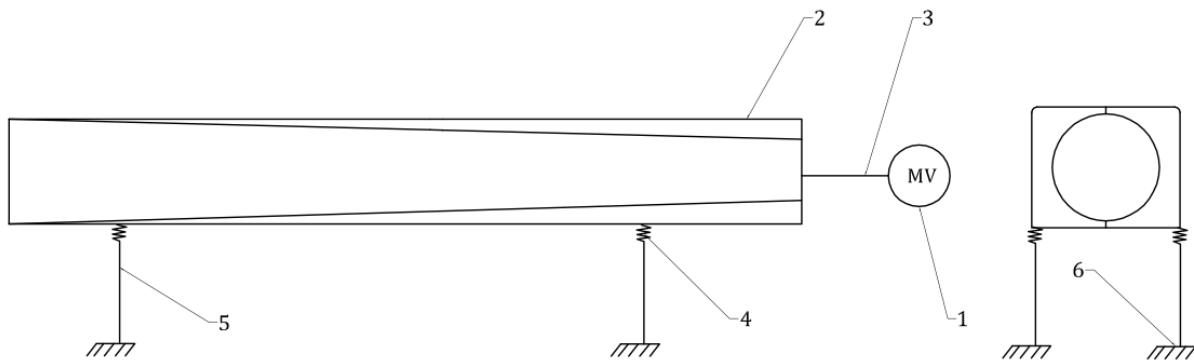


Figure 27: Modélisation cinématique de la solution n°1 du moule avec règle vibrante pour poteau en béton

b) – Légende

Tableau 10:Légende de la solution n°2

Repérage	Désignations
1	Moule
2	Vibreux
3	Règle vibrante
4	Ressort
5	Support table
6	Bâti
7	Orifice de coulée

c)- Description et fonctionnement

La ferraille est introduit dans le moule **1**, puis est refermé par un assemblage de boulon, Le coulage du béton se fait progressivement par couche par l’intermédiaire de orifice **7**. Le moule **1** est statique mais le béton est mis en mouvement par le système de règle vibrante + vibreur (**3+2**). Pour éviter une ségrégation, il faut limiter le temps de vibration. La règle doit être retirer quand le béton commence à briller (laitance en surface).

d)- Avantages et Inconvénients

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Coût moyenne	Démoulage difficile
Encombrement réduit	Maintenance difficile
Qualité moyenne	Nuisance sonore
	Fissure
	Eau souillé

3.5.3- troisième solution : Moule centrifuge pour poteau en tube de béton conique

a) - Schéma de principe

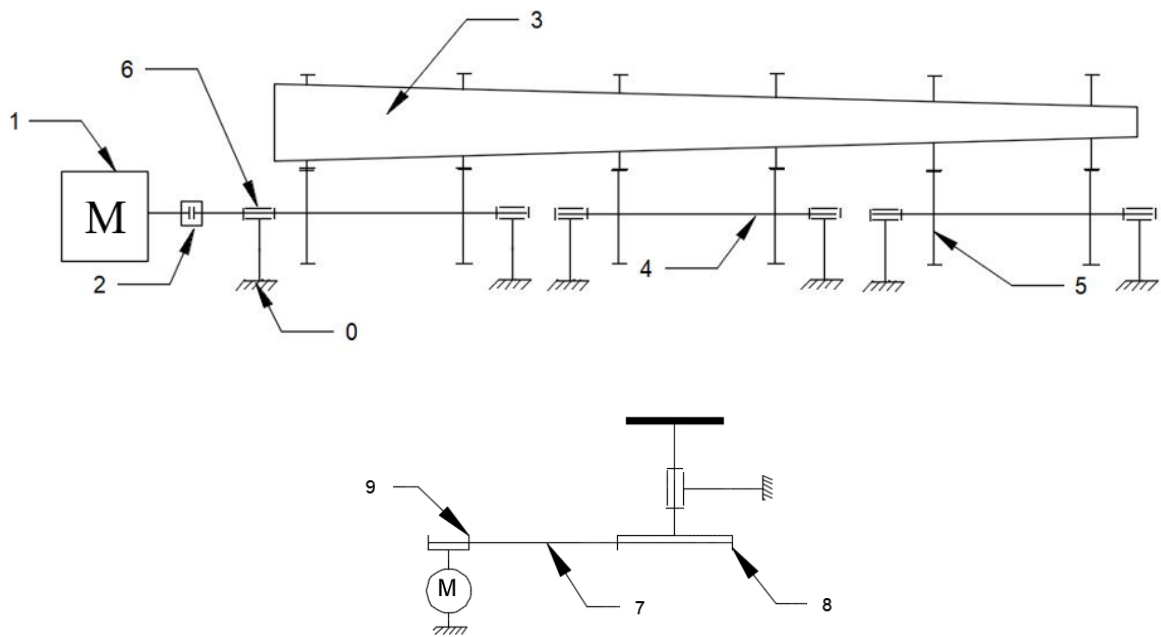


Figure 28: Schéma cinématique du moule centrifuge

b) – Légende

Tableau 11: désignation du schéma cinématique du moule centrifuge

Repérage	Désignation
0	Bâti
1	Moteur
2	Accouplement
3	Corps du moule
4	Arbre
5	Roue
6	Palier
7	Courroie
8	Grande poulie
9	Petite poulie

3.5.2- Description et fonctionnement

La boue de béton et la ferraille sont introduit dans le moule **3**, puis est refermé par un assemblage de boulon (vis a œil). Actionner le moteur **1** qui transmettra son mouvement a la machine tournante (constituer de **4+5**) via la courroie **7** et la grande poulie **8**. Il est conduit rapidement et tourne à la même vitesse de la machine. Chaque composant est séparé et libéré sous la force centrifuge. Habituellement, plus la boue tourne rapidement, plus l'effet de séparation de boue est important. La sédimentation centrifuge est l'utilisation de densité différente de chaque composant dans la boue, qui est tourné sous la force centrifuge. Pour réaliser la séparation liquide-solide (ou liquide-liquide). La vitesse de séparation est lente lorsque la viscosité de la boue est élevée ; il est bon pour la sédimentation centrifuge lorsque la densité de la boue est différente dans chaque composant.

d)- Avantages et Inconvénients

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Manipulation facile	Encombrant
Densité du béton plus élevée	Cout élevé
Maintenance facile	Eau souillé
Temps de moulage rendu	

3.6- Choix de la solution

Nous allons procéder par une analyse des critères pondérés et choisir la solution la plus appropriée à la demande. Les critères d'évaluation sont les suivants :

- Effort de l'opérateur lors du moulage ;
- Le coût ;
- Temps de moulage ;
- Facilité d'entretien et d'utilisation ;
- Efficacité de la machine ;
- Possibilité d'exécuter plusieurs tâches ;
- Congestion de la machine.

¹Lorsqu'un critère est avantageux, sa pondération est de 4 ; Quand il est dans la moyenne, la pondération est égale à 2 ; et le critère est mauvais lorsque sa valeur est 1. En sommes, nous avons le classement des critères suivant :

Numéro	Critères	Pondérations		
		Solution 1	Solution 2	Solution 3
1	Effort de l'opérateur lors du moulage	4	1	4
2	Coût	3	1	4
3	Temps de moulage	3	2	3
4	Facilité d'entretien et d'utilisation	4	3	4
5	Efficacité de la machine	2	1	3
6	Encombrement de la machine	3	2	3
Sommes		17/28	10/24	21/24

Au regard des solutions que nous venons de proposer et vu l'analyse de chacune d'elle, nous portons notre choix sur la troisième solution : “**Moule centrifuge pour poteau en tube de béton conique**” car c'est elle qui répond au mieux aux exigences technologiques, économiques et environnementales de notre cahier de charge.

¹ Flexibilité : 1= mauvais ; 2= moyen ; 3= bon critère ; 4= très bon critère.

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS, CONCEPTION ET SIMULATION)

Ce chapitre est consacré au dimensionnement de certains éléments c'est-à-dire, la détermination des dimensions et caractéristique physiques normalisée et recommandées des différents constituants du moule à béton, en accord avec le cahier de charge défini au début du chapitre précédent ; ceci passe par la détermination de l'épaisseur de la tôles acier, ensuite le dimensionnement mécanique des éléments du moule, machine centrifuge (arbre, roue et palier) et enfin des éléments du réducteur (moteur, poulie et courroie). Il est également dédié à la conception assistée par ordinateur puis interprétation.

4.1- Etude fonctionnelle

Le moule a poteau en béton conique creux que nous proposons de concevoir fourni les fonctions suivantes.

- Fonction d'entrée : Assurée par l'opérateur ;
- Fonction de transmission : Le moteur électrique 1 transmet son mouvement de rotation à la machine de filature par l'intermédiaire d'un accouplement 2 ;
- Fonction de guidage : Cette fonction est assurée par des paliers entraînant les roues ;
- Fonction énergétique : tension électrique ;

4.2- Hypothèses générales de calcul

4.3- dimensionnement de la tôle Acier

Il s'agira pour nous ici de calculer l'épaisseur de la tôle acier pour supporter la charge de la boue de béton+ferraille

- Hypothèses
 - Epaisseur d'enveloppe constante ;
 - Gamme de la tôle d'Acier AE 1150 ;
 - Symétrie géométrique (pas de point d'inflexion, ni anguleux) ;
 - Contraintes réparties uniformément suivant épaisseur ;
 - La flèche est petite par rapport à l'épaisseur.

<u>Notations</u> :	P_s	pression (charge surfacique répartie) N/mm^2
	e	épaisseur de la plaque mm
	f	flèche de la plaque mm
	r	rayon de la plaque mm
	σ_{adm}	contrainte admissible N/mm^2
	E	module d'élasticité longitudinal N/mm^2
	ν	coefficient de Poisson –
	r	rapport de réduction

Le but recherché ici est de trouver l'épaisseur de la tôle permettant de fabriquer le corps de notre moule.

Déterminons la contrainte admissible

$$\boxed{\sigma_{adm} = \frac{R_e}{s}} \quad (1)$$

$$AN : \sigma_{adm} = \frac{1150}{4,5} = 255,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{adm} = 255,56 \text{ N/mm}^2$$

Recherche de l'épaisseur minimale

$$\boxed{e_{min} \geq r \cdot R \sqrt{\frac{3}{11} (3 + \nu) \frac{P_s}{\sigma_{adm}}}} \quad (2)$$

$$AN : e_{min} \geq 180 \times 0,7 \sqrt{\frac{3}{11} (3 + 0,3) \frac{17,5}{255,56}} = 12,6$$

$$e_{min} = 13 \text{ mm}$$

Recherche de la pièce correspondante

$$\boxed{f_{max} = \frac{3}{16} (5 + \nu) (1 - \nu) \frac{P_s r^4}{E e^3}} \quad (3)$$

$$AN : f_{max} = \frac{3}{16} (5 + 0,3) (1 - 0,3) \frac{17,5 \cdot 180^4}{210000 \cdot 13^3}$$

$$f_{max} = 0,12 \text{ mm}$$

Remarquons que l'épaisseur de la tôle de notre moule serait, pour la même valeur de la contrainte admissible de :

$$e_{min} = 12,6 \text{ mm}$$

Il en résulte une disproportion très nette entre les épaisseurs du fond et du réservoir ; une plaque plane ne constitue pas une solution économique au problème.

4.4- masse du moule

Notre moule est constitué de trois éléments (tube conique acier, plaque d'acier de renfort, roue volant) encastrer les uns par rapport aux autres. La détermination de la masse sera indispensable pour le dimensionnement de la machine centrifuge.

- **Masse du tube conique acier M_{tube}**

$$M_{tube} = V \times d$$

$$\text{or } V = V_2 - V_1 = \frac{\pi \cdot h}{3} ((R_2^2 + r_2^2 + R_2 \times r_2) - (R_1^2 + r_1^2 + R_1 \times r_1))$$

$$V = V_2 - V_1 = \frac{3,14 \times 11}{3} ((0,18^2 + 0,1^2 + 0,18 \times 0,1) - (0,171^2 + 0,091^2 + 0,171 \times 0,091))$$

$$V = 0,083 \text{ m}^3$$

$$d = 8 \text{ g/cm}^3 \text{ Ou } d = 8000 \text{ kg/m}^3$$

$$M_{tube} = 0,083 \times 8000$$

$$M_{tube} = 664 \text{ Kg}$$

- **Masse des roues**

Un vocabulaire spécifique définit les différentes parties d'une roue monobloc. En plus de sa fonction principale d'assurer le roulement, chaque partie joue important dans le fonctionnement du système.

- Le boudin assure avec la forme conique de la jante de guidage du moule et empêche du déraillement
- Les dimensions de la roue et son poids dépendent du matériel roulant

Donnée :

- **Densité de l'acier :** 7770 Kg/m³
- **Volume :** $V = \pi \times (R^2 - r^2) \times h \Rightarrow V = 3,14 \times (0,225^2 - 0,205^2) \times 0,080$

$$V = 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

- **Masse d'une roue :** $M_{roue} = V \times d$

$$M_{roue} = 2,16 \cdot 10^{-3} \times 7770$$

$$M_{roue} = 21,9 \text{ Kg}$$

Notre moule porte six (6) roues donc la masse des roues est : $M_{roues} = 131,4 \text{ Kg}$

- **Masse de la barre acier rectangulaire**

Cette barre de renfort en acier permettra la minimisation de la déformation du moule en particulier lors du fonctionnement. Ici nous donnerons les caractéristiques liées a un type acier nécessaire dans notre mécanisme.

- Type acier : **laminé à chaud**
- Qualité : **S235JR**
- Dimension : largeur x épaisseur x longueur - **50mm × 10mm × 4m**
- Densité : **7000 Kg/m³**
- Nombre de barre : **5**

Déterminons la masse d'une barre acier

$$M_{barre} = V \times d$$

calculons le volume $V = l \times e \times L$

$$\text{AN: } V = 0,05 \times 0,01 \times 4$$

$$V = 0,02\text{m}^3$$

deduire la masse $M_{barre} = 0,2 \times 7000$

$$M_{barre} = 14 \text{ Kg}$$

Pour cinq barres nous aurons une masse de :

$$M_{barre} = 14 \times 5 = 70 \text{ Kg}$$

Nous pouvons conclure que la masse du moule est presque équivalent a la somme des masses du tubes acier, roues et barre acier.

$$M_{moule} = M_{tube} + M_{roue} + M_{barre} \quad (4)$$

$$\text{AN: } M_{moule} = 664 + 131.4 + 70$$

$$M_{moule} = 865.4 \text{ Kg}$$

4.5- dimensionnement de la machine centrifuge

- **Hypothèse**

- Le système admet un plan de symétrie $(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)$;
- Toutes les liaisons sont supposées parfaites ;
- Les liaisons sont pivot en **A, B, C, D, E** et **F** ;
- En **N**, on a le couple moteur \vec{C}_e transmis à l'arbre par l'accouplement ;

- Masse du moule en acier ; $P_{\text{moule}} = 865.4 \text{ Kg}$
- Masse volumique du béton précontraint : $\rho = 1450 \text{ daN/m}^3$. Soit $V = 0.167\text{m}^3$ et $P = 243 \text{ Kg}$

Pour la modélisation de notre mécanisme nous choisir une charge uniformément répartie, pour la simple raison que :

- Le rapport de réduction est de **0.7** des deux surfaces d'extrémité ;
- La surface du moule est très petit par rapport a la longueur du moule **11 >>> 0.36** .

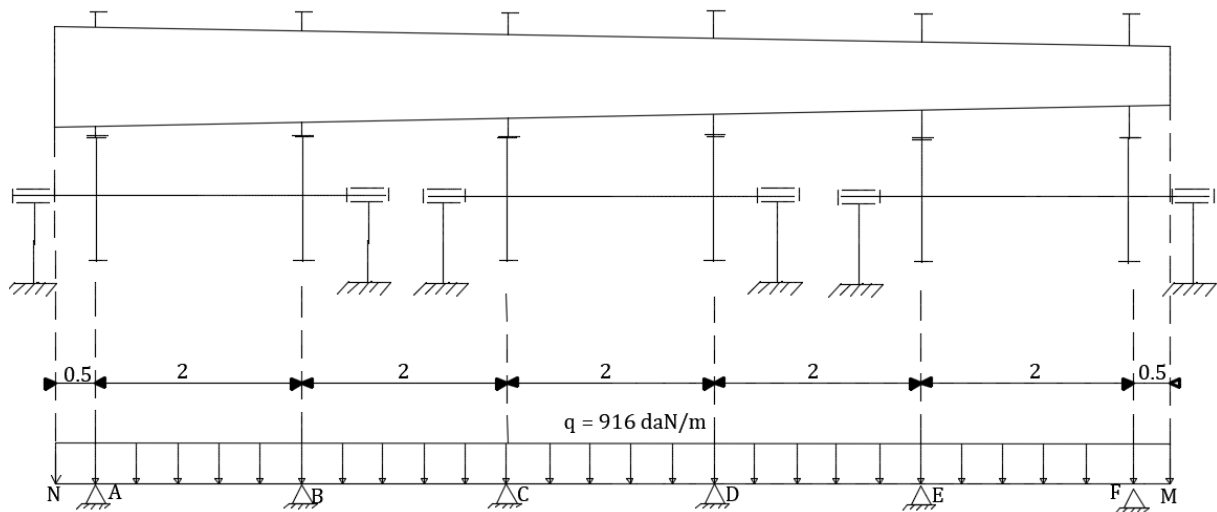


Figure 29: Modélisation des efforts extérieurs sur la machine centrifuge

4.5.1- Inventaire des torseurs d'actions mécaniques

- **Hypothèse**

- La rigidité EI constante

- **Déterminons les réactions aux appuis**

Pour ce cela nous allons utiliser la méthode trois moment

Degré d'hyperstaticité

$$d = N - 2$$

N : nombre d'appui

$$d = 6 - 2$$

$$d = 4 \quad \text{fois } d''\text{hyperstaticité}$$

Point B :

$$2M_A + 2(2 + 2)M_B + 2M_C = -6EI(\varphi_{Bg} + \varphi_{Bd})$$

$$-6EI(\varphi_{Bg} + \varphi_{Bd}):$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Bg} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Bd} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$-6EI(\varphi_{Bg} + \varphi_{Bd}) = -3664 \text{ daN.m}^2$$

Et $M_A = q.x = -458 \text{ daN.m}^2$

$$\text{Donc : } 2M_A + 8M_B + 2M_C = -3664$$

$$\mathbf{8M_B + 2M_C = -2748 \text{ daN.m}^2}$$

Point C :

$$2M_B + 2(2 + 2)M_C + 2M_D = -6EI(\varphi_{Cg} + \varphi_{Cd})$$

$$-6EI(\varphi_{Cg} + \varphi_{Cd}) :$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Cg} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Cd} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$-6EI(\varphi_{Cg} + \varphi_{Cd}) = -3664 \text{ daN.m}^2$$

Et $M_B = -\frac{1}{4}M_C - 343,5$

$$2M_B + 8M_C + 2M_D = -3664$$

$$\mathbf{\frac{15}{2}M_C + 2M_D = -2977 \text{ daN.m}^2}$$

Point D :

$$2M_C + 2(2 + 2)M_D + 2M_E = -6EI(\varphi_{Dg} + \varphi_{Dd})$$

$$-6EI(\varphi_{Dg} + \varphi_{Dd}) :$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Dg} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Dd} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$-6EI(\varphi_{Dg} + \varphi_{Dd}) = -3664 \text{ daN.m}^2$$

Et $M_C = -\frac{4}{15}M_D - 397$

$$2M_C + 8M_D + 2M_E = -3664$$

$$\mathbf{\frac{112}{15}M_D + 2M_E = -2876 \text{ daN.m}^2}$$

Point E :

$$2M_D + 2(2 + 2)M_E + 2M_F = -6EI(\varphi_{Eg} + \varphi_{Ed})$$

$$-6EI(\varphi_{Eg} + \varphi_{Ed}) :$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Eg} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$\Rightarrow -6EI\varphi_{Ed} = -q \frac{l^3}{4} = -916 \frac{2^3}{4} = -1832$$

$$-6EI(\varphi_{Eg} + \varphi_{Ed}) = -3664 \text{ daN.m}^2$$

$$\text{Et } M_D = -\frac{15}{56}M_E - 385$$

$$2M_D + 8M_E + 2M_F = -3664$$

$$\frac{418}{56}M_E + 2M_F = -2894 \text{ daN.m}^2$$

Point F :

$$M_F = -q \cdot x = -916 \times 0.5 = -458$$

$$M_F = -458 \text{ daN.m}^2$$

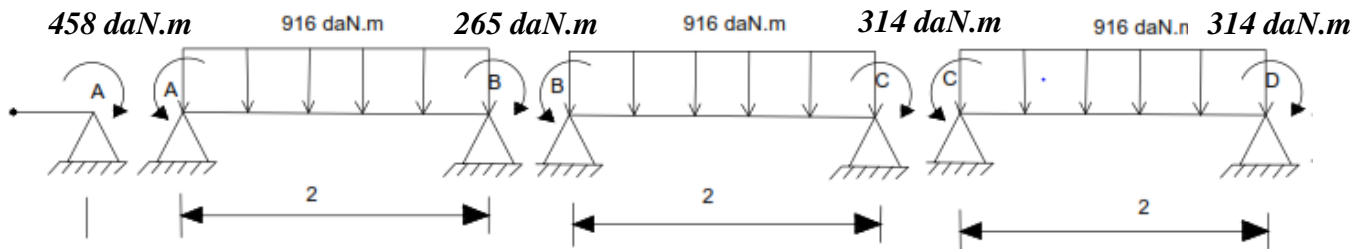
On peut en déduire :

$$M_F = M_A = -458 \text{ daN.m}$$

$$M_B = M_E = -265 \text{ daN.m}$$

$$M_C = M_D = -314 \text{ daN.m}$$

Calculons les réactions : par le principe de la décomposition (superposition)

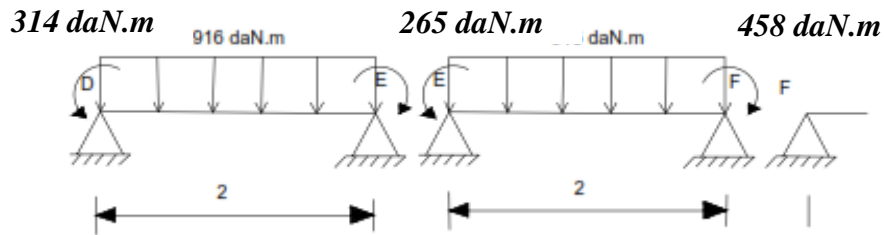


Les réactions dues aux charges extérieures :

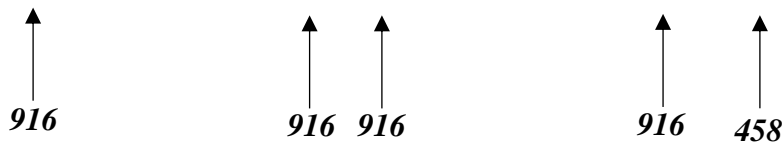


Les réactions dues aux moments appliqués aux niveaux des appuis :





Les réactions dues aux charges extérieures :



Les réactions dues aux moments appliqués aux niveaux des appuis :



Les réactions totales :

$$R_A = 1277,5 \text{ KN} \quad R_B = 1953 \text{ KN}$$

$$R_C = 1856,5 \text{ KN} \quad R_D = 1856,5 \text{ KN}$$

$$R_E = 1953 \text{ KN} \quad R_F = 1277,5 \text{ KN}$$

- **Tableau récapitulatif des efforts et moments de cohésions**

Tableau 12: récapitulatif des efforts et moments de cohésions

X	0 ≤ x ≤ 0,5		0,5 ≤ x ≤ 2,5		2,5 ≤ x ≤ 4,5		4,5 ≤ x ≤ 6,5		6,5 ≤ x ≤ 8,5		8,5 ≤ x ≤ 10,5		10,5 ≤ x ≤ 11	
N (daN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T (daN)	0	458	819,5	1012,5	940,5	940,5	916	916	940,5	940,5	1012,5	816,5	458	0
T (daN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _t (daN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{fy} (daN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{tz} (daN)	0	-114,5	-114,5	-307,5	-307,5	-258,5	-258,5	160,5	160,5	-13,5	-13,5	375,5	-114,5	0

Diagramme des efforts tranchants et des moments fléchissant

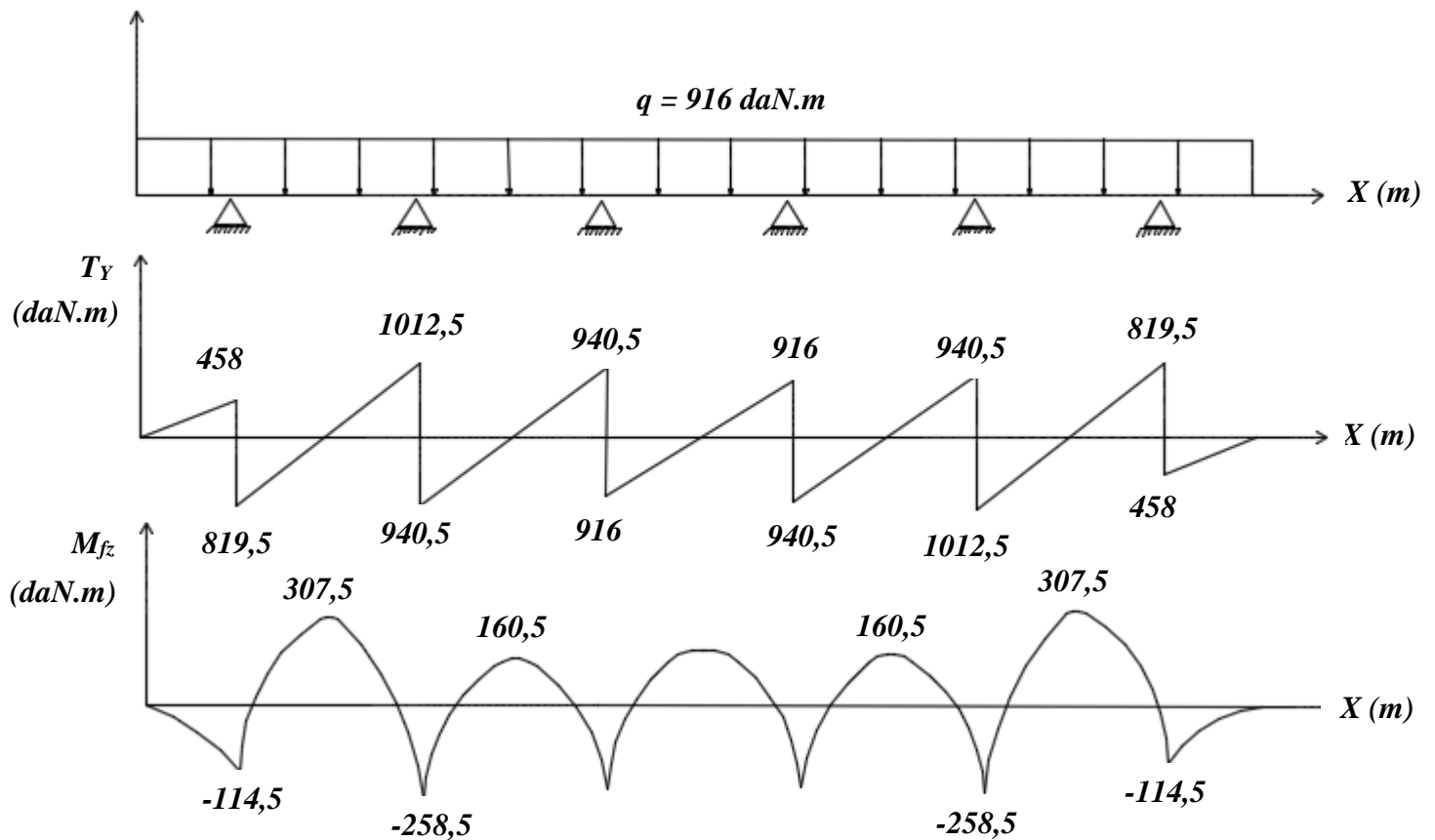


Figure 30: Diagramme des efforts de cohésions et moments de cohésions

4.5.2- Détermination du moment idéal de torsion

- Calcul du moment fléchissant résultant

D'après les diagrammes, la section la plus sollicitée sur la broche est la section en **E** avec

$$M_{f_{\max}} = \sqrt{M_{fy_{\max}}^2 + M_{fz_{\max}}^2} \Rightarrow M_{f_{\max}} = \sqrt{0^2 + 375,5^2} = 375,5^2 \text{ daN.m}$$

- Calcul du moment idéal de torsion

$$M_{t_{\max}} = \sqrt{M_{fz_{\max}}^2 + M_{t_{\max}}^2} \Rightarrow M_{it} = \sqrt{375,5^2 + 0^2} = 375,5^2 \text{ daN.m}$$

- Moment idéal de flexion

$$M_{fi} = \frac{1}{2} (M_{f_{\max}} + M_{t_{\max}}) \Rightarrow M_{fi} = \frac{1}{2} (375,5^2) \Rightarrow M_{fi} = 7,05 \cdot 10^4 \text{ daN.m}$$

4.5.3- Calcul du diamètre de l'arbre

Dans cette section, le dimensionnement de la section de l'arbre de la machine centrifuge se fait selon le critère de TRESCA ($\tau_{\max} \leq \tau_p$) ceci parce qu'il est soumis à la flexion. L'arbre est en acier X5CrNi18-10 et a subi une trempe à eau à 850° et un Revenu de 550° qui lui confère

une résistance $R_e = 350$ MPa. D'après le tableau de choix des Résistances à la limite élastique en fonction de des caractéristiques de l'acier, nous choisissons $s=4$ pour précision

- Condition de résistance $\tau_{\max} \leq \tau_{pe}$

$$\frac{Mt_i}{\left(\frac{I_0}{V}\right)} \leq \tau_{pe} \Rightarrow \frac{16 Mit}{\pi d^3} \leq \frac{R_e}{2s} \Rightarrow \boxed{d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot s \cdot Mit}{\pi \sigma_e}}} \quad (5)$$

avec $\tau_{pe} = \frac{R_e}{2s}$

A.N :

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times 4 \times 70500}{\pi \times 350}} \quad \text{Alors} \quad d \geq 99,40 \text{ mm}$$

Nous choisissons le diamètre minimal : **d = 100 mm**

4.5.4- vitesse critique de rotation de l'arbre

Un arbre possède une vitesse critique de rotation encore appelé fréquence naturelle de vibration latérale

- Déformation en torsion

$$\boxed{N_c = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{G \cdot I_G}{L} \cdot \left(\frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2}\right)}} \quad (6)$$

I_1, I_2 : moment quadratique polaire de deux éléments montés sur l'arbre

L : longueur de l'arbre

I_G : le moment quadratique de l'arbre

G : le module de glissement

$$AN : N_c = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{G \cdot I_G}{L} \cdot \left(\frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2}\right)}$$

4.5.5- dimensionnement du moteur

Il est question pour nous de choisir le moteur le mieux adapté aux besoins de sollicitations calculées. Pour y parvenir, nous calculons la puissance et la vitesse de rotation du moteur.

a) Expérience N°1 : détermination de la vitesse de rotation

Pour déterminer la vitesse de rotation du moule, l'entreprise chinoise abaliba a fait un ensemble expérience donnant le temps de sédimentation du béton dans un moule et le nombre de tour en fonction de la masse volumique du béton. Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13: expérimentation vitesse de rotation

Essaie	Masse volumique du béton (daN/m ³)	Temps de sédimentations (min)	Nombre de tour de la plaque tournante (tr/s)
1	2750	11	400
2	3000	12	400
3	3100	11	450
4	3500	10	480
5	3750	10	550

De ces essais, il en ressort que pour une masse volumique moyenne de béton ; $M_{\text{moy}} = 1450$ daN/m³ et pour un temps de sédimentation $T_{\text{moy}} = 8$ min, nous obtenons une rotation moyenne de $N_{\text{moy}} = 400$ tr/s.

b) Déterminons la charge nécessaire

Ici, nous calculerons les poids des éléments consécutifs de la machine (machine centrifuge et moule) pour pouvoir estimer effort considérable qui nous permettra de déterminer le couple nécessaire et la puissance du moteur.

- Machine centrifuge

Organe	Matière	Nombre	Masse (Kg)	Masse totale (Kg)
Roue	Acier 13Cr-4Ni	12	21.5	258
Arbre	Acier C60	6 (3 de 2 m et 3 de 3 m)	42,8 (pour 1 m)	642
Accouplement	Acier S275	4	34	136

Nous obtenons masse de la machine centrifuge estimer à $M_{\text{mc}} = 1036$ Kg

Nous avons :

- Masse du moule en acier ; $M_{\text{moule}} = 865.4$ Kg
- Masse volumique du béton précontraint : $\rho = 1450$ daN/m³. Soit $V = 0.167$ m³ et $P = 243$ Kg

En additionnant les différentes masses, nous obtenons une masse de notre équivalent à 2145 Kg soit une force $F = 21$ KN

- Couple crée sur la machine

$$C_{ma} = F \cdot D \quad (7)$$

AN :

$$C_{ma} = 2145 \times 0,11 = 231 \text{ KN} \cdot m$$

$$C_{ma} = 235,95 \text{ N} \cdot m$$

Ce couple nous permet de calculer la puissance théorique du moteur :

$$P_{th} = C_{ma} \cdot \omega = C_{ma} \cdot 2\pi N$$

AN :

$$P_{th} = 235,9 \times 2 \times \pi \times 400$$

$$P_{th} = 183 \text{ KN}$$

Les rendements standards dus à la transmission par courroie et aux paliers sont respectivement

$$\eta_c = 0,95 \text{ et } \eta_p = 0,99$$

La puissance du moteur peut donc s'exprimer :

$$P_m = \frac{P_{th}}{\eta_c \eta_p} \quad (8)$$

AN :

$$P_m = \frac{183 \cdot 10^3}{0,95 \times 0,99} = 630,5 \text{ KN}$$

Les caractéristiques du moteur qui pourra nous permettre de respecter notre cahier de charge au niveau du tamisage sont :

$$P_m = 195,16 \text{ KN et } N = 400 \text{ tr/min}$$

Le moteur standard dont les caractéristiques s'approchent le plus de celles souhaitées ci-dessus est le PLS 355 LB délivrant une puissance de 285 KN avec une vitesse de 750 tr/min **annexe**

C'est donc ce moteur que nous utiliserons pour notre machine. Dans la suite, nous allons déterminer les efforts créés par ce moteur sur les de notre machine.

4.5.6- dimensionnement des clavettes

L'objectif ici est de déterminer la longueur minimale de la clavette qui liera en rotation l'arbre à la roue réceptrice. Les accouplements récepteurs sont montés sur l'arbre moteur à l'aide d'une liaison encastré par clavetage ; Il est donc question ici de donner les caractéristiques de ces clavettes. [22].

Le matage étant prépondérant sur le cisaillement, nous nous contenterons de dimensionner nos clavettes au matage. Pour définir la résistance de la clavette, le principal paramètre mis en jeu est la longueur L de la clavette car les autres dimensions sont normalisées.

La figure ci-dessous nous montre une clavette montée entre un arbre et un moyeu afin de les rendre solidaire. [23]

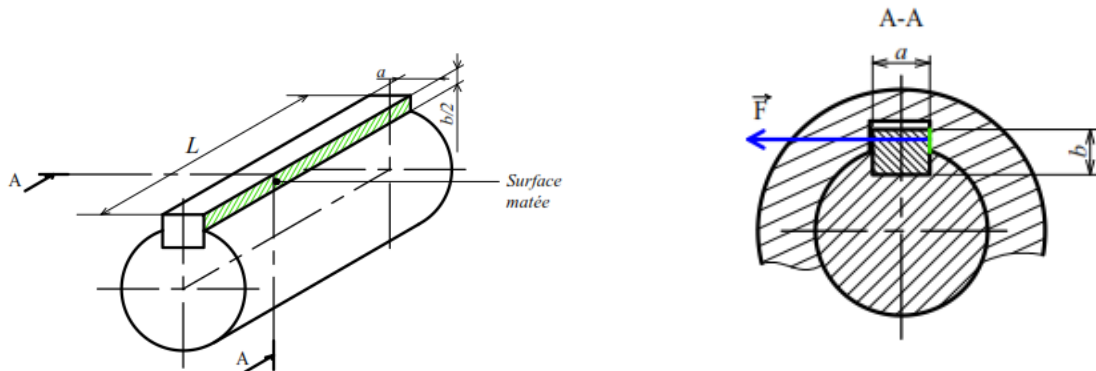


Figure 31: schématisation de la clavette montée

- **Caractéristique de la clavette et paramètre de calcul**

- **Clavetage du moteur**

Données :

- Diamètre de l'arbre du moteur $d=100\text{mm}$;
- Couple résistant $C_r = 235,95 \text{ N.m}$;
- Clavette normalisée pour un $\Phi 100$ nous avons $a=28 \text{ mm}$ et $b=16 \text{ mm}$;
- Acier spécial a clavettes : $R_m = 1000 \text{ N/mm}^2$ et $R_e = 850 \text{ N/mm}^2$
- Coefficient de securité $s = 5$

- **L'effort exercé sur la clavette**

Donné par la relation : $F = \frac{2 \cdot C_r}{d}$

- **Dimensionnement au cisaillement**

$$\tau \leq \tau_{adm \text{ cis}}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_r}{a \cdot L \cdot d} \leq \tau_{adm \text{ cis}} \Leftrightarrow L \geq \frac{2 \cdot C_r}{a \cdot d \cdot \tau_{adm \text{ cis}}}$$

$$\tau_{adm \text{ cis}} = 0.58 \frac{R_e}{s} = 0.58 \cdot \frac{850}{5} = 98,6 \text{ N/mm}^2$$

$$L \geq \frac{2 \cdot C_r}{a \cdot d \cdot \tau_{adm \text{ cis}}} = \frac{2 \times 236 \cdot 10^3}{28 \times 100 \times 98,6} = 13,51 \Rightarrow L = 15 \text{ mm}$$

- **Calcul au matage**

$$p_{adm \text{ mat}} = 40 \text{ N/mm}^2$$

$$L \geq \frac{4 \cdot C_r}{b \cdot d \cdot p_{adm \text{ mat}}} = \frac{4 \times 236 \cdot 10^3}{16 \times 100 \times 40} = 105,6 \Rightarrow L = 110 \text{ mm}$$

Nous choisissons une longueur normalisée qui satisfait aux conditions. L'abaque de clavette normalisée proposée par le memento de dessin industriel Tome II nous donne : clavette parallèle, forme A, $28 \times 16 \times 110$ (annexe 4 et 5) [22], [23]

4.5.7- dimensionnement du roulement

Le guidage en rotation de l'arbre est assuré par des roulements à rotule sur rouleaux conique. En fonction des charges appliquées à ces roulements, nous choisirons les dimensions normalisées dans le catalogue. (Annexe 3)

- **Roulement pour palier**

- $F_y = 14162 \text{ N}$, $F_z = 162 \text{ N}$
- La fréquence de rotation de l'arbre est $N = 410 \text{ trs/min}$

- **Détermination de la charge statique du roulement**

$P = XF_y + YF_a$ Or $F_a = F_x$ pour les roulements à une rangée de billes, $x=1$

$P = F_r$ La charge radiale F_r se décompose en deux ; on a donc $F_r = \begin{vmatrix} F_y \\ F_z \\ 0 \end{vmatrix}$

$$P = \sqrt{(14162)^2 + (162)^2} = 14162,9 \text{ N}$$

La durée de vie souhaitée est $L_H = 10000$

- **Détermination de la charge dynamique de base**

$$L_H = \frac{10^6}{60N} \left(\frac{c_r}{P}\right)^n \Rightarrow c_r = P \left(\frac{60 \times N \times L_H}{10^6}\right)^{\frac{1}{n}} \text{ or } n = 3$$

$$c_r = (14263)^3 \left(\frac{10000 \times 410 \times 10}{10^6}\right)^{\frac{1}{3}} \\ \Rightarrow C = 3,448 \text{ KN}$$

Pour un diamètre $D = 100 \text{ mm}$ de l'arbre, le memento de dessin industriel tome II à la page 137 nous propose un roulement dont les caractéristiques sont les suivantes : Charge dynamique de base $C = 3,12 \text{ KN}$, un diamètre extérieur $D = 150 \text{ mm}$ et une largeur $B = 52 \text{ mm}$. La désignation normalisée de ce roulement est donc SKF 61820-Y.

4.5.9- dimensionnement de la courroie

- a) **Détermination de la courroie**

D'après les caractéristiques du moteur : $P_m = 285 \text{ KW}$, $N = 750 \text{ tr/min}$ nous pouvons choisir le type de courroie dans l'abaque des courroies [annexe 3].

D'après le nomogramme pour choix des courroies trapézoïdales étroites, nous retenons la courroie de type D. Ses dimensions (en mm) sont représentées ci-dessous :

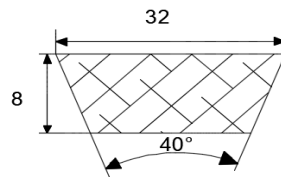


Figure 32: section de la courroie trapézoïdale D

A partir du type courroie, nous déterminons les dimensions caractéristiques au montage

b) Calcul des diamètres de la grande et la petite poulie

Le système de transmission par courroie se présente comme suit :

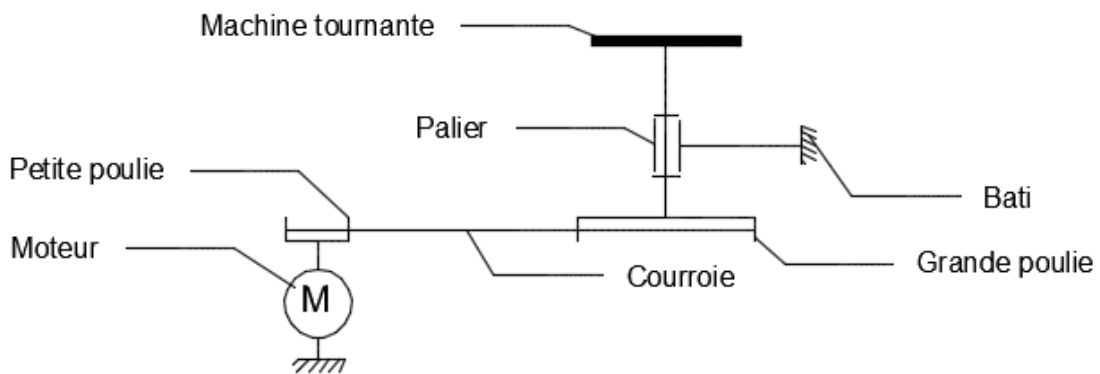


Figure 33: système de transmission par courroie

c) Calcul du rapport de transmission

$$k_t = \frac{N_s}{N_e} = \frac{d_{pp}}{D_{gp}} \quad (9)$$

AN :

$$k_t = \frac{400}{1050}$$

$$k_t = 0,38$$

La représentation simplifiée de cette transmission est la suivante :

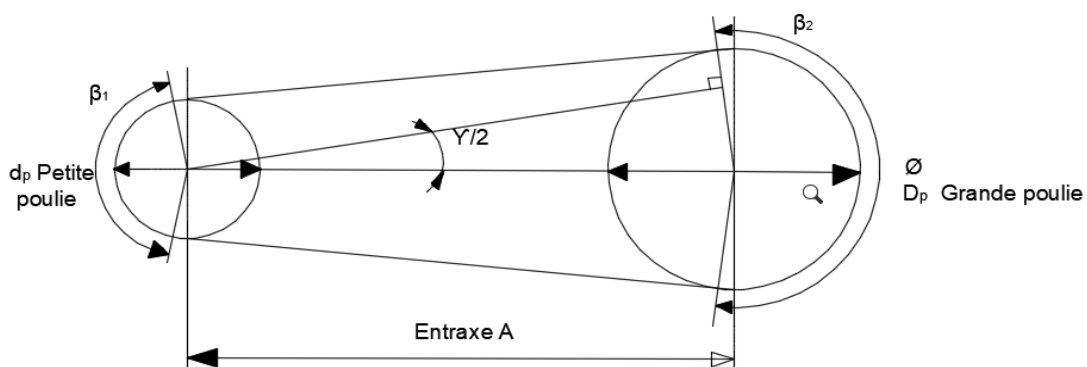


Figure 34: représentation simplifiée de la transmission est la suivante

Le choix du diamètre de la petite poulie s'effectue à l'aide du type de courroie. Le nomogramme [annexe 3] pour le choix des courroies trapézoïdales nous permet de prendre un diamètre de 355 mm pour la petite poulie :

$$d_{pp} = 355 \text{ mm}$$

Nous pouvons dès lors déterminer le diamètre de la grande poulie, par la relation ci-dessous :

$$D_{gp} = \frac{d_{pp}}{k}$$

Avec :

- D_{gp} Diamètre de la grande poulie
- K rapport de transmission

AN :

$$D_{gp} = \frac{355}{0.38}$$

Le diamètre normalisé [annexe 5] le plus proche a la valeur suivante :

$$D_{gp} = 960 \text{ mm}$$

d) Calcul préliminaire de l'entraxe (A)

L'entraxe représente la distance entre les axes de la petite et de la grande poulie. Il doit être choisi dans un intervalle défini par la formule ci-dessous :

$$0,7(D_{gp} + d_{pp}) \leq A \leq 2(D_{gp} + d_{pp}) \quad (10)$$

$$\Rightarrow 1228,5 \leq A \leq 2457$$

En fonction de notre encombrement nous pouvons choisir la valeur moyenne suivante :

$$A = 1850 \text{ mm}$$

e) Calcul des angles d'enroulement

Angle entre les branches de la courroie (γ)

Nous avons la relation :

$$\gamma = 2 \times \arcsin \left(\frac{D_{gp} - d_{pp}}{2A} \right) \quad (11)$$

$$\text{AN: } \gamma = 2 \times \arcsin \left(\frac{960 - 355}{2 \times 1850} \right) = 32,91^\circ$$

$$\gamma = 32,91^\circ$$

Soient β_1 et β_2 respectivement les angles d'enroulement sur la petite et la grande poulie, nous avons les relations :

$$\boxed{\beta_1 = 180 - \gamma} \quad \text{et} \quad \boxed{\beta_2 = 180 + \gamma} \quad (12)$$

$$\beta_1 = 180 - \gamma = 147,09^\circ$$

$$\beta_2 = 180 + \gamma = 212,91^\circ$$

f) Calcul de la longueur de la courroie

Une approximation de la longueur de la courroie est donnée par la relation suivante :

$$\boxed{L \approx 2A + \frac{\pi(D_{gp} + d_{pp})}{2} + \frac{(D_{gp} - d_{pp})^2}{4A}} \quad (13)$$

AN :

$$L \approx 2 \times 1850 + \frac{\pi(960 + 355)}{2} + \frac{(960 - 355)^2}{4 \times 1850} = 6602,92$$

La valeur normalisée la plus proche de cette valeur est [annexe 3] :

$$L = 6840 \text{ mm}$$

g) Calcul de la valeur définitive de l'entraxe

A partir de cette valeur normalisée de la courroie, nous devons recalculer la valeur précédente de l'entraxe en fonction de cette nouvelle longueur, ceci par soucis d'adéquation. De l'équation, nous obtenons l'équation de second degré d'inconnu A suivante :

$$\boxed{8A^2 + [2\pi(D_{gp} + d_{pp}) - 4L]A + (D_{gp} + d_{pp})^2 = 0} \quad (14)$$

AN :

$$8A^2 - 9082,6A + (1755)^2 = 0$$

$$8A^2 - 9082,6A + (1755)^2 = 0$$

Après résolution nous obtenons deux valeurs de l'entraxe dont une seule respecte le critère de choix préliminaire (14) présenté plus haut :

$$A = 1965 \text{ mm}$$

h) Calcul de la vitesse périphérique

il s'agit la vitesse linéaire de la courroie, elle permet de déterminer la puissance de base transmissible par la courroie, elle-même composante de la puissance admissible pour une courroie.

Cette vitesse se calcule par la relation ci-contre :

$$V = \pi \cdot d_p \cdot \frac{N}{60000} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} AN: \quad V &= \pi \cdot 360 \cdot \frac{1488}{60000} = 28,64 \\ V &= 28,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

- Calcul du nombre de courroie

Le nombre de courroie se calcul par le rapport de la puissance à transmettre \mathbf{P} , par la puissance admissible pour une courroie \mathbf{P}_{adm} :

$$n = \frac{P}{P_{adm}} \quad (16)$$

Avec :

$$P_{adm} = P_b \cdot K_\theta \cdot K_L \quad (17)$$

Où :

- P_b est la puissance de base qui s'obtient à partir du type de la courroie, du diamètre primitif et de la vitesse périphérique. Par interpolation sur le tableau des puissances de bases des courroies trapézoïdales [annexe 3] nous obtenons

$$P_b = 26,19 \text{ KN}$$

- K_θ est un coefficient qui tient compte de l'angle d'enroulement sur la petite roue [annexe 3]

$$K_\theta = 0,91$$

- K_L est un coefficient qui tient compte de la longueur de la courroie

$$K_L = 1,05$$

Dès lors, nous obtenons la puissance admissible : $P_{adm} = 25,02 \text{ KN}$

A partir de la puissance admissible et de la puissance de moteur, nous calculons le nombre de courroie nécessaire au système de transmission conformément à la formule.

Nous obtenons :

$$n = 7,8 \approx 8 \text{ courroies}$$

Ainsi, huit courroies est suffisante pour transmettre la puissance au moteur a arbre.

i) Calcul de la résultante (F) des tensions de la courroie au niveau du palier

la figure ci-dessous présente son point d'application sur chaque palier :

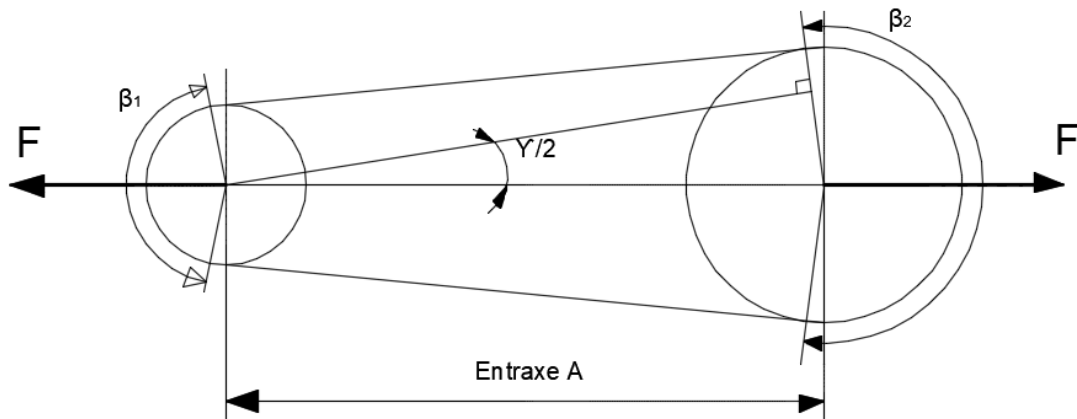


Figure 35: schéma montrant l'action des efforts sur les poulies

Elle se calcule par la formule suivante :

$$F = 2 \times T_0 \quad (18)$$

Afin de déterminer T_0 , nous utiliserons les équations (dérivant de l'équilibre des forces dans les brins la courroie) suivantes :

$$\begin{cases} T + t = 2 \cdot T_0 \\ T - t = \frac{C}{r_p} \\ \frac{T - F_c}{t - F_c} = e^{f\theta} \end{cases}$$

Avec :

- T_0 tension initiale dans la courroie, appliquée au niveau de l'installation ;
- T tension du brin tendu ;
- t tension du brin mou ;
- F_c force centrifuge $F_c = \rho V^2$
- f facteur de frottement
- ρ masse linéique
- θ Angle d'enroulement sur la petite poulie

De ces équations, nous obtenons l'expression de la tension initiale de la courroie

$$T_0 = \rho V^2 + \frac{e^{f\theta} + 1}{e^{f\theta} - 1} \times \frac{C}{d_{pp}} \quad (19)$$

$$AN: \quad T_0 = 0,068 \times 2,475^2 + \frac{e^{0,7 \times 2,9} + 1}{e^{0,7 \times 2,9} - 1} \times \frac{C}{355 \cdot 10^{-3}}$$

$$T_0 = 101.5N$$

La tension appliquée à la courroie au niveau des paliers est :

$$F = 2 \times 101,5 = 203 N$$

Les valeurs caractéristiques de la transmission par courroie sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14: récapitulatif de la transmission par courroie

Type de courroie	Trapézoïdale D	
Section (mm × mm)	9 × 32	
Rapport de transmission	0,27	
Diamètre petite poulie (mm)	355	
Diamètre grande poulie (mm)	1400	
Angle d'enroulement	Petite poulie	147,09°
	Grande poulie	212,91°
Longueur de la courroie (mm)	6840	
Vitesse périphérique (m.s ⁻¹)	28,64	
Nombre	08	
Réaction au niveau du palier (N)	203	

4.5.10- Dimensionnement de l'accouplement

Le choix de l'accouplement est fonction de :

- Le couple maximal à transmettre
- La vitesse de rotation maximale
- La nature des défauts d'alignement des deux arbres
- Les caractéristiques du moteur et du récepteur et des conditions de fonctionnement (fréquence de démarrages, chocs et vibrations, température de service, ...)
- L'encombrement

Pour notre système nous utiliserons un mâchon a plateaux accouplés par adhérence

Donnée :

$$b = 110 \text{ mm} \quad f = 0,15$$

$$e = 70 \text{ mm}$$

$$Z = 6$$

$$K_f = 0.12$$

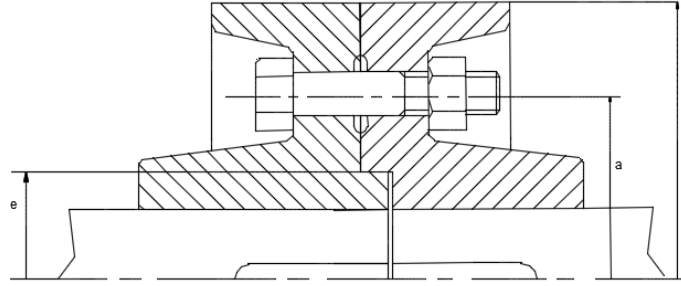


Figure 36: accouplement à plateau

$$C = \frac{p \cdot \pi \cdot (b^2 - e^2) \cdot D_m \cdot f}{8 \cdot K_f}$$

- P la pression en contact entre les deux plateaux
- f le coefficient de frottement
- Z le nombre de boulons.
- $D_m = 2(b^3 - e^2)/[3(b^2 - e^2)]$ est le diamètre moyen de contact
- C couple transmissible par l'accouplement
- K_f coefficient de sécurité au glissement

Le moment maximal appliquer sur l'accouplement doit vérifier :

$$M_{max} \leq M_t \Rightarrow P_{min} = \frac{8 \cdot K_f \cdot C}{\pi(b^2 - e^2) \cdot D_m \cdot f}$$

AN :

$$P_{min} = \frac{8 \times 0,12 \times 746 \cdot 10^3}{\pi(110^2 - 70^2) \times 122,8 \times 0,15}$$

$$P_{min} = 1,719$$

Cette pression doit vérifier les conditions de résistance au matage $p \leq p_{mat}$

Force axiale exercé par les boulons pour créer la pression minimale P_{min} :

$$F_{b min} = \frac{P_{min} \cdot \pi \cdot (b^2 - e^2)}{4 \cdot Z}$$

$$F_{b min} = \frac{1,719 \times 3,14 \times 7200}{4 \times 6}$$

$$F_{b min} = 1619 \text{ N}$$

La contrainte normale dans un boulon $\sigma = \frac{F_b}{S}$:

Avec $S = \pi \cdot d^2 / 4$ est la surface de section d'un boulon :

$$AN: \quad \sigma = \frac{F_b}{S}$$

La condition de résistance de la vis s'écrit : $\sigma \leq \sigma_{max}$

$$d'ou \mathbf{d}_{min} = \sqrt{\frac{8 \cdot C \cdot K_f}{\sigma_{adm} \cdot D_m \cdot \pi \cdot f \cdot Z}}$$

AN :

$$\mathbf{d}_{min} = \sqrt{\frac{8 \cdot C \cdot K_f}{\sigma_{adm} \cdot D_m \cdot \pi \cdot f \cdot Z}}$$

$$\mathbf{d}_{min} = 18 \text{ mm}$$

4.6- Etude graphique

Dans cette sous-partie, nous allons présenter : le dessin d'ensemble 3D de la machine ainsi que les différents dessins de définition des pièces qui subiront un usinage.

4.6.1- Dessin d'ensemble

Le dessin de l'ensemble sera représenté suivant trois vu

- Vu d'ensemble (folio 1/11) ;
- Détail (folio 2/9 et folio 3/11).
- Nomenclature (folio 4/11)

4.6.2- Dessin de définition

Dans cette sous-partie, figurent les dessins de définition de quelques pièces de la machine à savoir :

- Moule (folio 5/11) ;
- Roue (folio 6/11) ;
- Couvercle (folio 7/11) ;
- Support de fondation (folio 8/11) ;
- Arbre (folio 9/11) ;
- Tendeur (folio 10/11) ;
- vue ensemble du palier (folio 11/11) ;

4.7 Simulation sur SolidWorks

4.7.1 Introduction

Le logiciel utilisé pour les simulations numériques en modèle éléments finis tridimensionnels est SOLIDWORKS/Simulation (version 2018). SOLIDWORKS/Simulation (précédemment connu comme COSMOS Works) est un système d'analyse de conception totalement intégré à SOLIDWORKS. SOLIDWORKS/Simulation permet d'obtenir, à partir d'un seul écran, des solutions d'analyse fréquentielles, thermiques, de contraintes, de flambement et d'optimisation. Grâce à ses solveurs rapides, SOLIDWORKS/Simulation permet de résoudre rapidement des problèmes de grande ampleur, sur notre ordinateur personnel. SOLIDWORKS/Simulation est proposé en plusieurs configurations pour répondre à nos besoins d'analyse. SOLIDWORKS/Simulation raccourcit le délai de mise sur le marché en réduisant le temps et le travail nécessaires pour définir la solution optimale

4.7.2 Principaux types d'analyse :

SOLIDWORKS/Simulation permet d'effectuer les principaux types d'analyses des structures voire. Les paragraphes ci-dessous listent la totalité des modules offerts par SOLIDWORKS/Simulation.

- ✓ **Les études statiques** : proposent des outils pour l'analyse des contraintes linéaires des pièces et des assemblages chargés au moyen de chargements statiques.
- ✓ **Les études fréquentielles** proposent des outils d'analyse des modes et fréquences naturels. Une telle analyse est essentielle dans la conception ou dans de nombreux composants chargés à la fois de façon statique et dynamique.
- ✓ **Les études dynamiques** analysent les objets forcés par des charges variant avec le temps. Des exemples type sont les charges de choc de composants montés sur des véhicules, les turbines chargées par des forces oscillantes, les composants d'aviation chargés de façon aléatoire, etc.
- ✓ **Les études linéaires** (petites déformations structurelles, modèles créés avec un matériau de base) ainsi que les études non linéaires (grandes déformations structurelles, charges importantes et matériaux avancés) sont disponibles.
- ✓ **Les études de flambage** analysent la performance des pièces minces chargées en compression.
- ✓ **Les études thermiques** proposent des outils d'analyse du transfert thermique par l'intermédiaire de la conduction, de la convection et du rayonnement.
- ✓ **Les études de test de chute** servent à analyser la contrainte créée par des pièces mobiles rencontrant un obstacle.

- ✓ **Les études de fatigue** analysent la résistance des pièces et des assemblages chargés de façon répétée sur de longues périodes.
- ✓ **Les études de la pression** des coques traitent les paramètres de conception dans le processus de conception des coques sous des charges de pression internes ou externes.
- ✓ **Les études non linéaires** proposent des outils permettant d'analyser les contraintes dans des pièces et des assemblages subissant des chargements importants et/ou de grandes déformations.
- ✓ **Les études d'optimisation** sont appliquées pour améliorer (optimiser) votre conception initiale en fonction d'un ensemble de critères sélectionnés tels que, notamment, la contrainte maximale, le poids et la fréquence optimale.

La procédure d'analyse de la structure du système par éléments finis peut être définie par les facteurs suivants :

- Dimensions du modèle (simplification) ;
- Type d'étude et options associées pour définir l'objectif de l'analyse ;
- Propriétés du matériau ;
- Chargements et conditions aux limites ;
- Maillage ;
- Traitement et présentation des résultats.

4.7.3 Simplificateur du modèle

Les études par éléments finis sont généralement confrontées à deux limites souvent reliées, soit la taille du système et le temps de résolution. Si le modèle est très grand comparé à la taille d'éléments demandés, alors son maillage aura besoin d'un très grand nombre d'éléments. Ce maillage aura donc besoin de beaucoup de temps pour sa génération, et ce, si le meilleur réussit à générer le maillage. Le moule comporte plusieurs éléments. Pour calculer ce système il faut réduire le nombre de pièces en ne conservant que les pièces essentielles à sa fonction (il faut exclure les vis, les écrous, les rondelles, le vérin etc...). Ces simplifications sont représentées en Figure

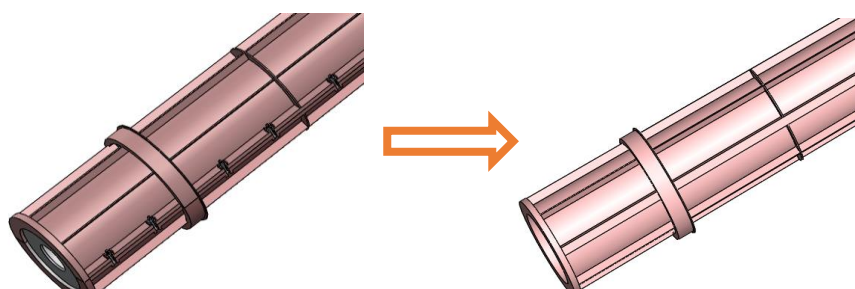


Figure 37: Des Organes du système de suiveur simplifié

4.7.4 Choix du matériau de construction

La structure des systèmes de suiveur est construite en grande majorité en Acier de construction. L'acier présente une bonne usinabilité, soudabilité, rigidité et disponibilité sur le marché. Pour des considérations techniques et économiques. La bibliothèque disponible de SOLIDWORKS/Simulation permet de réaliser une étude avec un matériau proche du matériau réel. On peut aussi rentrer, et c'est conseillé, les caractéristiques réelles du matériau utilisé. Les matériaux des différentes pièces de systèmes de suiveur sont répertoriés dans le Tableau (III.1) ci-dessous.

Tableau 15: Information sur le maillage global de système

Matériau	Module d'élasticité (GPa)	Coefficient de poisson	Limite d'élasticité (MPa)	Masse volumique (Kg/m ³)
Acier non allié	200	0,32	248,168	7800

4.7.5 Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont nécessaires pour définir l'environnement de fonctionnement du modèle. Les résultats de l'analyse dépendent directement des déplacements imposés spécifiés et des chargements appliqués.

- a) **Déplacements imposés** : Les déplacements imposés sont appliqués à des entités géométriques en tant que propriétés totalement associées à la géométrie et ajustées automatiquement en cas de modification de celle-ci. Les déplacements imposés mises en place pour le modèle de notre système est de type :
 - **Pivot fixe** : Le déplacement imposé pivot indique qu'une face cylindrique peut uniquement pivoter autour de son propre axe. Le rayon et la longueur de la face cylindrique restent constants sous l'effet d'un chargement. Cette condition revient à sélectionner le type de déplacement imposé sur une face cylindrique et à régler sur zéro la valeur des composants radiaux et axiaux. Pour nos systèmes on définit des déplacements imposés pivot pour l'axe du vérin hydraulique. Les conditions aux limites sont présentées en Figure (V.5)

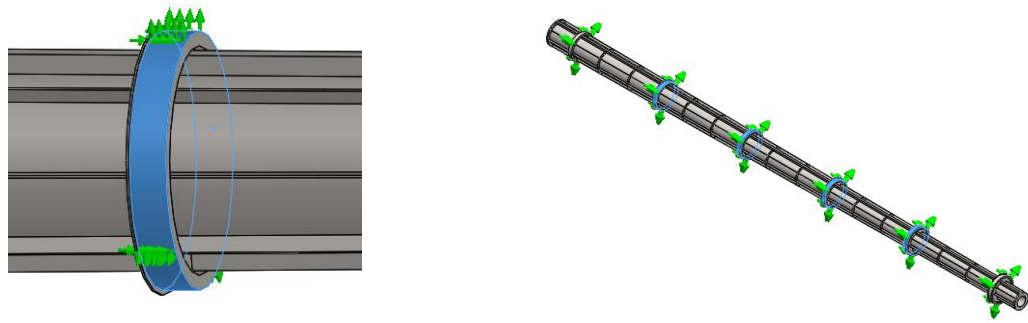


Figure 38: Les déplacements imposés du nouveau système.3D

4.7.6 Chargements et conditions aux limites

Pour le calcul de la structure de notre moule, nous avons tenu compte des charges qui agissent excédent chacun de ses éléments, dans les différentes hypothèses considérées et considérants également pour les dimensions les charges les plus défavorables dans chaque cas. Les charges à considérer seront comme suit :

- **Centrifuge** : Utilisez le PropertyManager Centrifuge pour appliquer une vitesse et une accélération angulaires à notre moule dans des études statiques, fréquentielles, de flambage ou non linéaires. Le logiciel utilise les valeurs spécifiées pour la vitesse et l'accélération angulaires, ainsi que la masse volumique, afin de calculer les charges centrifuges. Dans le cas des études non linéaires, vous pouvez définir une vitesse et une accélération angulaires dépendant du temps. Dans notre cas nous prendrons $V = 60$ rad/s.

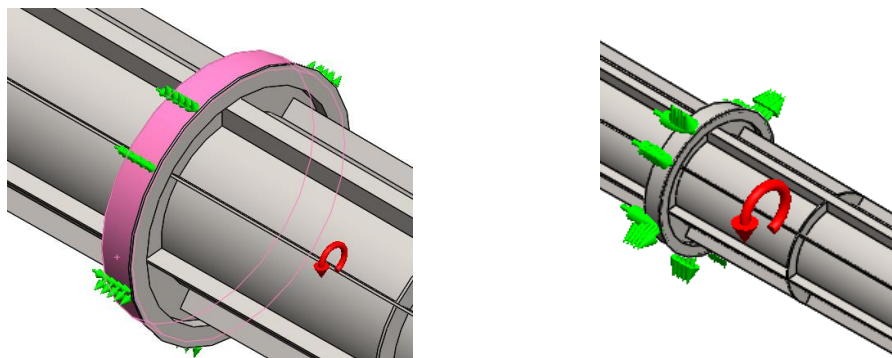


Figure 39: chargement en vitesse angulaire

- **Pression** : Vous pouvez appliquer une pression uniforme ou non uniforme (variable) à des faces dans le cadre d'études structurales (statique, fréquentielle, de flambage, non linéaire et dynamique). Dans notre cas nous allons considère comme pression l'action

que le béton exerce sur la paroi intérieure de notre moule. Nous prendrons $P = 2450$ N/mm²

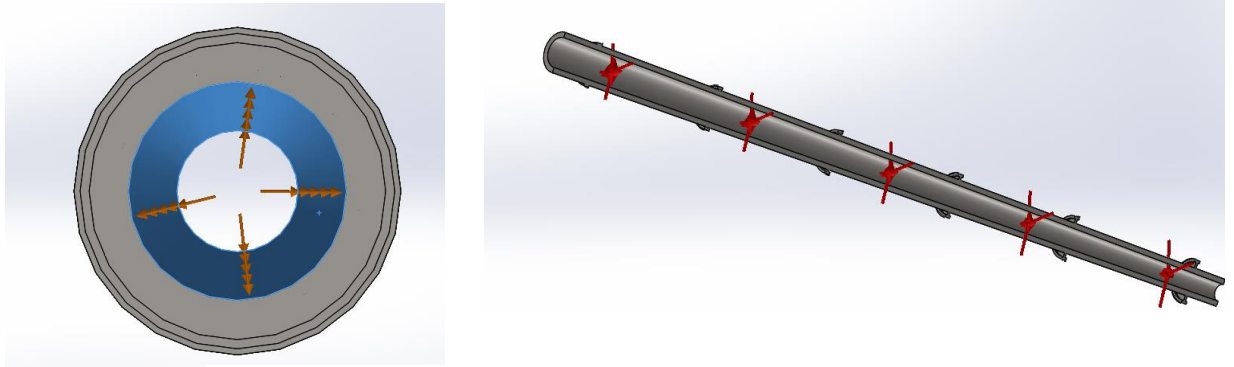


Figure 40: chargement de la pression dans le moule

- **Force** : Vous pouvez appliquer des forces, des moments ou des couples présentant une distribution uniforme sur les faces, arêtes, points de référence, sommets et poutres dans toute direction, dans le cadre d'études structurales. Charge générée par interaction des roues du moule et celles de la machine centrifuge. $Q = 1190$ N (par roue).

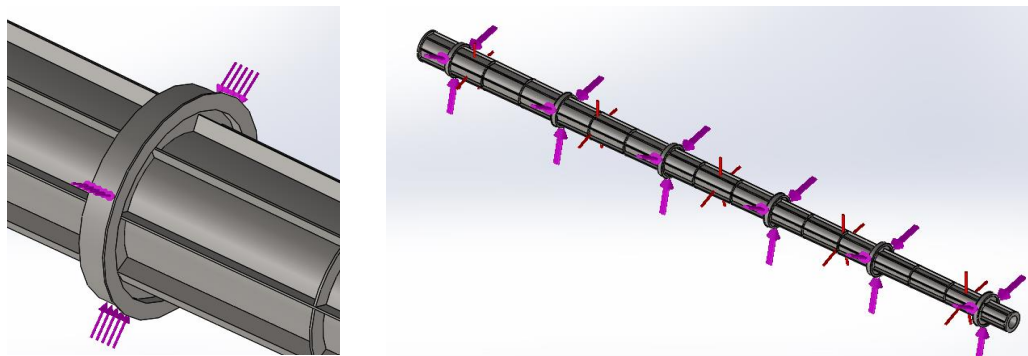


Figure 41: chargement de la charge sur les roues 3D

4.7.7 Maillage des systèmes

Le maillage de la structure est une étape cruciale et fondamentale pour la MEF. La taille des éléments joue un rôle important dans la précision des résultats. On a toutefois tendance à trop diminuer la dimension des éléments en raffinant le maillage exagérément. L'approche simple et classique consiste à utiliser un maillage de départ grossier, de diminuer la taille de moitié et de noter les changements. Si les résultats ne varient pas de façon significative, cela tend à démontrer que le premier maillage était adéquat. L'homogénéité du maillage est un autre paramètre important.

Le maillage éléments finis du suiveur solaire est généré en utilisant des éléments tétraédriques 3D. Il a été procédé aussi à un contrôle de maillage spécifique pour certaines

pièces (axes et etc...) pour lesquelles le maillage global a échoué à cause de leurs géométries complexes. Le maillage est représenté en Figure (III.16).

Informations concernant le maillage global des systèmes sont présentées dans ce Tableau :

Tableau 16: Information sur le maillage global de système

Moule	
Type de maillage	Maillage volumique
Taille de l'élément	122,227
Nombre total de nœuds	21456
Nombre total d'éléments	11516

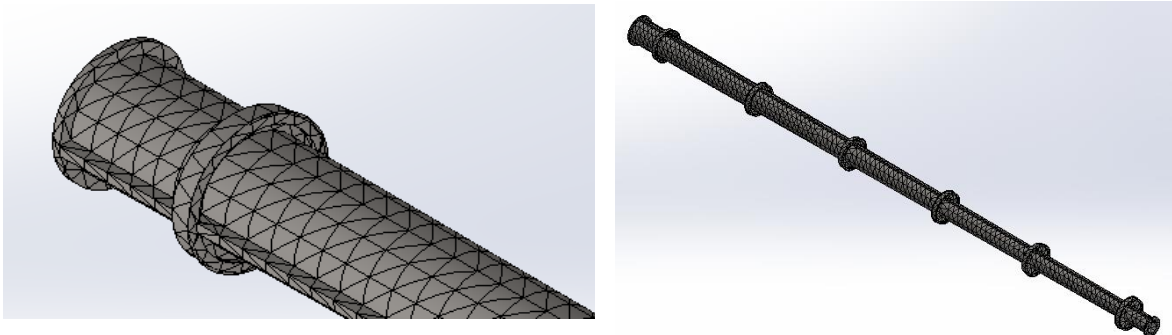


Figure 42: maillage 3D du moule pour poteau conique

4.7.8 Traitement et présentation des résultats

Les résultats de la simulation de l'analyse du comportement statique du système de suiveur sont présentés dans les Figures (III.18 à III.26) et le Tableau (III.4) qui représente les résultats réductifs de l'analyse statique du système en valeurs extrêmes.

Tableau 17: Résultats de l'analyse statique du système– valeurs extrêmes

Vitesse angulaire [rad/s]	Max Von Mises [MPa]	Max Déplacement [mm]	Max Déformation [mm]
40	4,235.10⁶ Mpa	4, 848.10⁸ mm	5,902 mm
60	4,235.10⁶ Mpa	//	//

Après l'exécution de l'analyse on obtient les résultats suivants :

a) Contrainte de Von mises :

L'analyse nous montre les Zones de contrainte maximale et minimale (Figure III.2) avec les différentes couleurs (rouge contrainte maximale), La contrainte de Von mise Maximale ou (la contrainte équivalente) est de **4,235.10⁶ Mpa** < **6,204.106 Mpa** (la limite d'élasticité du

matériau ce qui veut dire que la conception de la tête est correcte et les résultats sont satisfaisants.

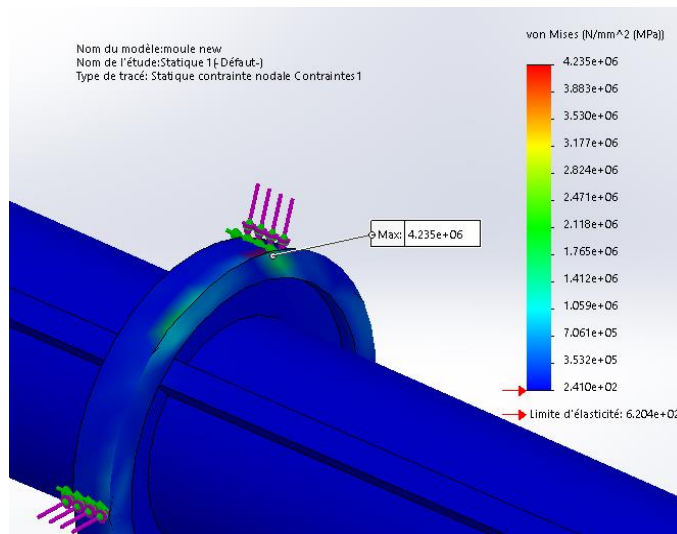


Figure 43: Contrainte de Von mises du moule

b) Les déplacements :

On remarque dans l'analyse que la valeur de déplacement maximale est de : **4, 848.10⁸ mm**
Ce qui est une valeur faible, on peut dire que c'est satisfaisant.

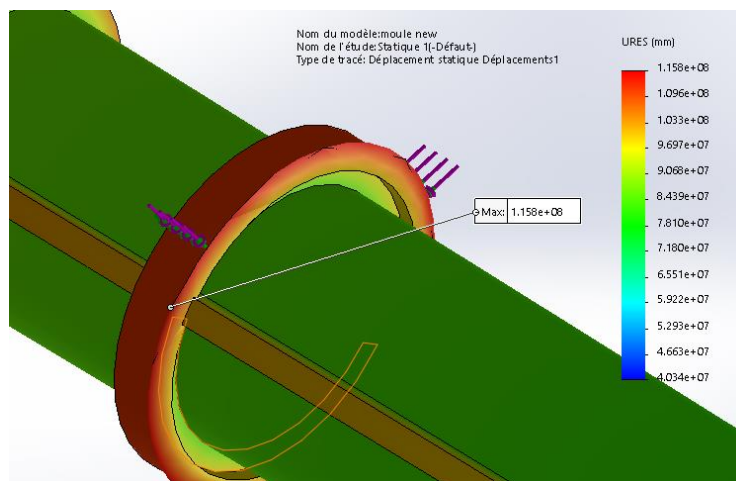


Figure 44: les déplacements sur le moule 3D

c) Les déformations :

La figure ci-dessous nous montre les différentes Zones de déformations, on remarque que la déformation maximale est de **5,902 mm** c'est une déformation faible, les résultats sont satisfaisants.

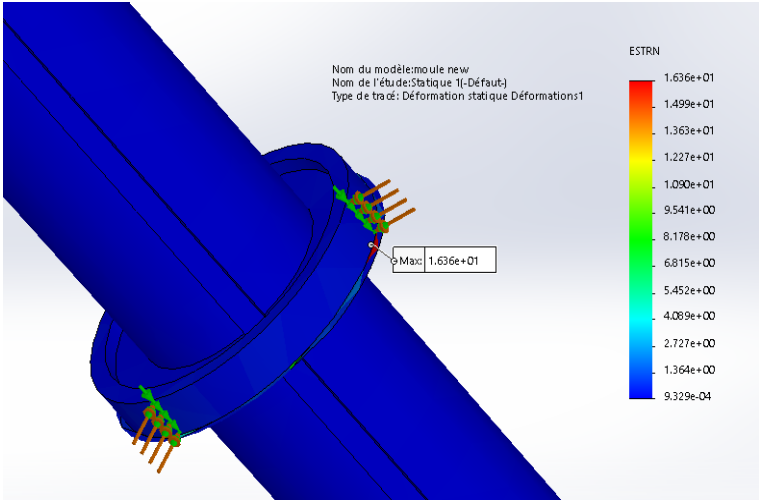


Figure 45: les déformations sur le moule 3D

CHAPITRE 5 : ETUDE DE RENTABILITE

Dans l'objectif de réaliser notre moule et de mettre sur le marché notre produit, nous avons convenu de faire une analyse financière afin d'estimer le cout de notre machine. Ce dernier est subdivisé en deux phases dont la première consistera à réaliser le moule et la seconde à le commercialiser.

1. Analyse du marché et évaluation des couts

1.1 Analyse du marché

1.1.1 Particularité du secteur d'activité

Le marché du poteau en béton conique creux n'est pas très développé au Cameroun. Les poteaux les plus rencontrés sont : le poteau en bois et le poteau en métal. Actuellement les moules pour poteaux téléphonique en béton ne sont pas encore connus dans notre pays.

1.1.2 Évolution du secteur d'activité

Le secteur d'activité de moulage des poteaux en béton est presque inconnu ou relève des acteurs industriels du domaine. Cependant, on observe de nos jours une volonté grandissante des opérateurs économique à investir dans le secteur téléphonique ou électrique, ceci peut se justifier par la prohibition de l'importation des poteaux.

1.1.3 Possibilité de part de marché

D'après nos recherches, les industries sont encore à notre portée car il n'existe presque un secteur de distribution des lignes aériennes possédants notre moule au Cameroun ;

1.2 Clientèle visée

1.2.1 Profil de la clientèle visée

- Industrie téléphonique
- Industrie électrique
- Exportateurs internationaux

1.2.2 Potentiels de la clientèle visée

Potentiel :

- CAMTEL
- ENEO

1.2.3 Zones potentielles d'implantation

- Zone CEMAC
- Afrique de l'ouest

1.3 Faits saillants du sondage

1.3.1 Attentes et besoins des clients

- Coût abordable
- Pas encombrante
- Fabrication rapide

Chapitre 5 : Etude de rentabilité

- Moins énergivore
- Esthétique

1.4 Concurrence

1.4.1 Grille d'analyse des principaux concurrents

Elle a pour rôle de ressortir les forces et les faiblesses de nos potentiels concurrents afin de mieux les anticiper dans notre stratégie de commercialisation. Le tableau ci-dessous fait état des forces et des faiblesses de nos principaux concurrents.

Tableau 18: Grille d'analyse des principaux concurrents

Critères d'analyse	Concurrence			
	Coffrage poteaux		Importation	
	Forces	Faiblesses	Forces	Faiblesses
Prix	Moyen			Élevé
Qualité		Moyen	Bonne	
Localisation		Pas de site		Pas de site
Force de vente		Aucune	International	
Disponibilité		Faible		Sur commande

1.4.2 Analyse concurrentielle de l'utilisation de notre moule

Connaissant les forces et les faiblesses de nos concurrents, dans cette section nous avons identifié et présenté les notre dans le tableau ci-dessous

Tableau 19: Analyse concurrentielle de l'utilisation de notre moule

Moule		
Critères d'analyse	Forces	Faiblesses
Prix		Moyen
Qualité	Très bonne	
Localisation	Entreprise de la place	
Force de vente		
Disponibilité	Présente	

Pour ce qui est de notre moule, il sera intéressant de profiter des faiblesses de nos concurrents pour gagner de grandes parts de marché. Pour cela le prix et les qualités sont nos atouts majeurs. Quant au prix, la force de vente, la publicité et la localisation, ils sont les secteurs dans lesquels nous devons améliorer dans le temps.

1.5 Etude financière

1.5.1 Coût les au matériel

Dans l'optique de dégager un cout global d'investissement, nous avons fait un inventaire du matière œuvre qui sera nécessaire pour le bon fonctionnement de l'activité. Le tableau ci-dessous présente estimations du coût de la matière d'œuvres.

Tableau 20: Coût les au matériel

Ref	Désignation	Caractéristiques	Qté	PU (€)	PT (€)
1	Moteur asynchrone PLS 355 LB	P= 285 Kw ; N=750 trs/min ; CN= 3678 N.m	01	9532	9532
2	Boulon à œil	Boulon M10-55 Ecrou HE M10	68	4.37	297.16
3	Boitier de démarrage Etoile-triangle	SDSI_400	01	287.62	287.5
4	Accouplement plateaux	DMK/E100	03	184.2	552.6
5	Palier à roulement à rotules sur rouleaux	SKF- 100x165x52mm	14	329.89	4618.46
6	Vis de terre M10	DIN 975	24	0.82	19.68
7	Poulie et courroie	DIN2211/2217	01	215	215
8	Clavette de type A	28x16x110	12	16.28	195.36
9	Roue en acier allié moulé	13Cr-4Ni	12	481.5	5778
10	Tôle acier laminé a chaud	850× 11000 × 15	01	896	896
11	Accessoires	Anti-houille, peinture, clé plate, papier abrasif			153
12	Tige acier allié C60		01	1086	1086
13	Fondation fonte en acier	S275	03	427.2	1281.6
Somme (14 673 503 Frs CFA)					22574.62

Inventaire liée au mobilier qui sera nécessaire pour le bon fonctionnement de l'activité représenter dans le tableau ci-dessous :

Tableau 21: investissement environnement

Investissement		
Intitulé du poste		Montant en Frs CFA
A/ site de production		
A1	Location de l'atelier de fabrication sur 1 ans	1800000
Total A		1800000
B/ matériel de bureau		
B1	Ordinateur portable	500 000
B2	Une imprimante couleur	200000
Total B		700000
C/ autres matériels		
C1	Équipement techniques (maintenance)	2500000
C2	Équipement de laboratoire	1500000
Total C		4000000
TOTAL DES INVESTISSEMENTS		6500000

1.5.2 Tableau récapitulatif de l'actif à l'ouverture de l'entreprise

Pour le lancement de notre activité, nous devons pour notre épanouissement effectuer les sorties d'argent. Ces différentes sorties d'argent constituent notre actif. Le tableau ci-dessous résume les sorties d'argent dès le début de notre activité.

Tableau 22: récapitulatif de l'actif à l'ouverture de l'entreprise

Éléments	Montant brut		Amortissement		Montant net	
Immobilisations incorporelles		1000000				1000000
Autres immobilisation incorporelle	1000000				1000000	
Immobilisations corporelles		21500000		1970000		19530000
Location atelier	1800000					
Équipement (machines)	19400000		1 940 000		17460000	
Consommables	300 000		30000		270000	
Sous-total INVESTISSEMENTS		22500000		1970000		20530000
Total		22500000		1970000		20530000

La somme des montants bruts de ce tableau (20 530 000) correspond l'investissement minimum nécessaire pour la mise sur pied du moule.

1.6 Evaluation du prix de vent de la plumeuse

Dans cette section, nous allons déterminer le prix de vente optimum de notre moule.

1.6.1 Coût de la production

- Amortissement technique : **A**

L'amortissement technique représente le taux de dégradation des investissements pendant leur utilisation et est calculé conformément à la formule :

$$A = \frac{P}{N_a \times H}$$

$N_a = 1$: le nombre d'année d'amortissement

P : la valeur de la plumeuse au début

H : le temps d'utilisation de la machine (en heure)

$$AN: \quad A = \frac{20\,530\,000}{2 \times 2300}$$

$$A = 4463 \text{ FCA/h}$$

- Frais financier : **F**

Il représente la valeur de placement du capital investi (ce que nous coute la mise à la banque de notre capital). La formule suivante permet de déterminer sa valeur :

$$F = \frac{P \times i}{2H}$$

Où : i est le taux d'intérêt de placement du capital investi ($i=10\%$)

$$AN: F = \frac{20\,530\,000 \times 0,1}{2 \times 2300}$$

$$F = 446,3 \text{ F/h}$$

- Frais d'entretien et de réparation : **R**

C'est le coût lié aux réparations (maintenance) des équipements. La formule permettant son calcul est la suivante :

$$R = \frac{P \times q}{H}$$

Où : q est la part d'entretien annuel ($q=10\%$)

$$R = \frac{20\,530\,000 \times 0,1}{2300}$$

$$R = 892,6 \text{ FCFA/h}$$

- Frais de locaux et d'encombrement : **L**

Il désigne les coûts liés à l'atelier de fabrication de la moule, il est calculé conformément à la formule :

$$L = \frac{I \times S_u}{H}$$

Où : S_u est l'aire occupée par le moule, et I prix du loyer au m^2

$$AN: L = \frac{18000 \times 110}{2300}$$

$$L = 860,86 \text{ FCFA/h}$$

- Energie : **E**

L'Energie électrique étant la principale source d'énergie de notre procès, nous calculons les frais dus à son utilisation connaissant la puissance nominale de toutes nos installations conformément à la formule suivante :

$$E = N_n \cdot P \cdot f_n$$

Où : N_n est la puissance nominale $N_n=285 \text{ KWh}$

f_n est le facteur de puissance ($f_n=0,8$)

Chapitre 5 : Etude de rentabilité

P est le prix du KWh

$$E = 78,25 \times 152 \times 0,8$$

$$E = 9515,2 \text{ FCFA}$$

- Valeur du coût horaire de machine : C_m

Dans cette partie, nous calculons le coût du a la mise en marche de la machine. Ce dernier se détermine en faisant la somme de tous les coûts précédant partant de l'amortissement a la charge salariale comme le montre la formule ci-dessous :

$$C_m = A + F + R + L + E$$

$$C_m = 4463 + 446,3 + 892,6 + 860,86 + 9515,2$$

$$C_m = 16177,96 \text{ FCFA/h}$$

- Cout du moule

Ce paragraphe nous permet de déterminer le prix du moule suivant la formule :

$$C_{moule} = C_m \times A$$

$$C_{moule} = 16177,96 \times 4463$$

$$C_{moule} = 52\ 202\ 240 \text{ FCA/moule}$$

CONCLUSION GENERALE

L'objet de toute recherche scientifique étant soit d'améliorer une situation donnée, soit de résoudre un problème posé, Notre thème, intitulé : « **CONCEPTION ET SIMULATION (SUR SOLIDWORKS) D'UN MOULE POUR TUBE DE POTEAU CONIQUE EN BETON : CAS DES POTEAUX CAMTEL** » s'inscrit bien dans ce cadre dans la mesure où sa double dimension qui est premièrement de limiter les dépenses et de permettre deuxièmement sa disponibilité, vient améliorer le secteur du génie civil. Notre méthodologie d'approche a consisté, à analyser certains modèles de moule pour support aérienne qui existent ; cette analyse nous a permis de choisir le modèle qui convient aux exigences de notre cahier de charges ; ainsi donc, le moule avec machine centrifuge a été retenu. Après une phase de détermination des paramètres d'encombrement, nous avons mené une étude conceptuelle dans le but de déterminer les dimensions des pièces, ce qui nous conduit à une phase graphique dans laquelle il a été question de ressortir le dessin d'ensemble du mécanisme ainsi que les différents dessins de définition pour déboucher par la suite à une simulation sur le logiciel SolidWorks de notre moule. Parvenu au terme de ce travail, nous avons rencontré d'énormes difficultés tout au long de l'étude ; notamment sur le manque information les moules de support aériennes existant, nous avons pu produire un travail qui est du moins considérable et en même temps, nous avons participé à promouvoir l'innovation dans le secteur de Génie civile de l'Afrique en générale et en particulier du Cameroun d'une part cela grâce à un travail acharné et sans relâche de notre part et au soutien et conseils de nos différents encadreurs. Bien sûr pour que l'étude soit sûre il faut réaliser des prototypes et faire des essais réels en vue de corriger d'éventuelles erreurs de conception. Toutefois, la perfection n'est pas du ressort de l'homme, c'est pourquoi nous allons accueillir avec un réel plaisir toute les critiques dans le sens d'une profonde amélioration de ce travail.

REFERENCES WEBOGRAPHIE

- [1] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/moulage> (Consulté le 05 Août 2019) ;
- [2] : http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mnp_pr%C3%A9poteau_beton%C3%A9mp_d_2008> (Consulté le 05 Août 2019) ;
- [3] : <https://www.bbqmfog.com> (Consulté le 18 Août 2019) ;
- [4] : <http://www.mdpi.com/1999-4893/3/1/63/> (Consulté le 09 Septembre 2019) ;
- [5] : http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89mnp_pr%C3%A9moulage_am%C3%A9mp_d_2008> (Consulté le 06 Septembre 2019) ;
- [6] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Grillade> (Consulté le 14 Septembre 2019) ;
- [7] : <http://jardinage.mr-bricolage.fr/les-differents-types-de-barbecues/>(Consulté le 20 Septembre 2019) ;
- [8] : <https://xirofononshand.firebaseio.com> (Consulté le 02 Octobre 2019) ;
- [9] : <https://www.amazon.fr> (Consulté le 08 Octobre 2019) ;
- [10] : <https://www.Ladepeche.fr> (Consulté le 08 Octobre 2019) ;
- [11] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Grillade> (Consulté le 10 Octobre 2019) ;
- [12] : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/charbon_de_bois (Consulté le 03 Novembre 2019) ;
- [13] : <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/houille> (Consulté le 03 Novembre 2019) ;
- [14] : <http://italtergi.it/en/motors/itg31> (Consulté le 05 Mars 2020) ;
- [15] : http://www.manicore.com/documentation/formation_petrole.html (Consulté le 09 Janvier 2020) ;
- [16] : <http://www.mdpi.com/1999-4893/3/1/63/> (Consulté le 12 Février 2020)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] TURCOTTE, Yolaine. Le poteau d'utilité publique, icône d'un autre siècle ? aménagement Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences appliquées (M.Sc.A.). Montréal : Faculté des études supérieures et postdoctorales, 2010, 149 p.
- [2] GARA, Souhir. **Procédés de mise en forme par moulage**. Alger : Dunod, 2017, 3 p.
- [3] GARA, Souhir. Moulage. Alger : Dunod, 2017, 12 p.
- [4] Guingois. **Les procédés de la transformation de la matière** (moules non permanents) Toulouse : Lycée Edouard Branly, 2014, 24 p.
- [5] CARPENTIERI, Bruno. **Interactive Coffrage en génie civil**. *Engineering* [en ligne].2010, vol. 3, n °1, p . 63 -75
- [6] Ros. **Les procédés de la transformation de la matière** (moules permanents) Toulouse : Lycée Edouard Branly, 2014, 18 p.
- [7] SKIDMORE, Gage :**description du moulage** 2008.
- [8] Ramos. **généralités transformation** de la matière (moules permanents) Toulouse : Université Edouard Branly, 2014, 182 p.
- [9] FERBRETTE, Boris. Interactive *Engineering* [en ligne]. 2010, vol. 3, n°1, p.63-75.
- [10] Charles AVRIL. **Construction des Lignes Aériennes à Hautes Tension Toulouse** :boulevard Saint SOFRELEC, 1974, 325 p.
- [11] KEXCHER, Gage : *Wikipédia : description du moulage 2008*.
- [12] Germain, GRISIS. **Le poteau d'utilité publique, icône d'un autre siècle ?** aménagement Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences appliquées (M.Sc.A.). Montréal : Faculté des études supérieures et postdoctorales, 2010, 149 p.
- [13] : LENORMAND et TINEL, **Mémento du dessin industriel tome 2**, Foucher, 1979 Paris (page 49);
- [14] : C. PILOT, **Mémotech Dessin Industriel**, Edition Casteilla 25, Paris, Mai 1986 ;
- [15] : TSOPZON ETSIAZE ERIC P et DOUANLA Bertrand, **Guide pratique de dessin et technologie de construction tome 3**, Edition Méka ;

ANNEXES

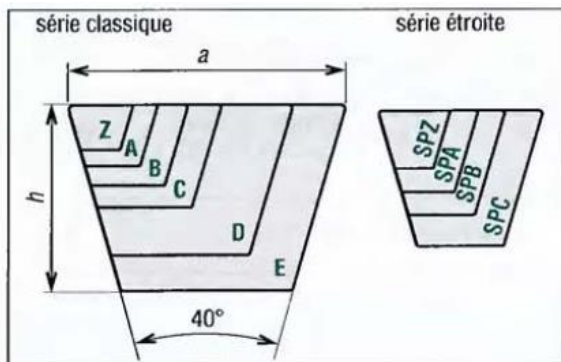
Annexe 1 : classe A des poteaux béton

Poteaux Béton classe « A » (hauteur de 9 à 14 m)												
Hauteur	9 m		10 m		11 m		12 m		13 m		14 m	
	Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)	
Effort (daN)	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.
150	1,5	0,6	1,5	0,6	1,5	0,6						
200	2	0,8	2	0,8	2	0,8	2	0,8				
250	2,5	1	2,5	1	2,5	1	2,5	1	2,5	1		
300	3	1,05	3	1,05	3	1,05	3	1,05	3	1,05	3	1,05
400	4	1,4	4	1,4	4	1,4	4	1,4	4	1,4	4	1,4
500	5	1,75	5	1,75	5	1,75	5	1,75	5	1,75	5	1,75
650	6,5	1,95	6,5	1,95	6,5	1,95	6,5	1,95	6,5	1,95	6,5	1,95
800	8	2,4	8	2,4	8	2,4	8	2,4	8	2,4	8	2,4
1000			10	3	10	3	10	3	10	3	10	3
1250			12,5	3,75	12,5	3,75	12,5	3,75	12,5	3,75	12,5	3,75
1600			16	4,8	16	4,8	16	4,8	16	4,8	16	4,8

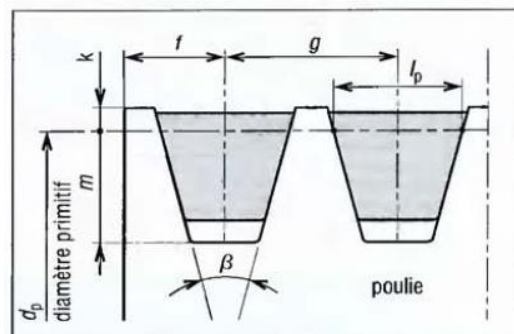
Annexe 2 : classe B des poteaux béton

Poteaux Béton classe « B » (hauteur de 9 à 18 m)																
Hauteur	9 m		10 m		11 m		12 m		13 m		14 m		16 m		18 m	
	Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)		Fn (kN)	
Effort (daN)	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.	G.L.	P.L.
150	1,5	0,9	1,5	0,9	1,5	0,9										
200	2	1,2	2	1,2	2	1,2	2	1,2								
250	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	1,5						
300	3	1,8	3	1,8	3	1,8	3	1,8	3	1,8	3	1,8				
400	4	2,4	4	2,4	4	2,4	4	2,4	4	2,4	4	2,4				
500	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3		
650	6,5	3,9	6,5	3,9	6,5	3,9	6,5	3,9	6,5	3,9	6,5	3,9	6,5	3,9	6,5	3,9
800	8	4,8	8	4,8	8	4,8	8	4,8	8	4,8	8	4,8	8	4,8	8	4,8
1000			10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6
1250			12,5	7,5	12,5	7,5	12,5	7,5	12,5	7,5	12,5	7,5	12,5	7,5	12,5	7,5
1600			16	9,6	16	9,6	16	9,6	16	9,6	16	9,6	16	9,6	16	9,6
2000			20	12	20	12	20	12	20	12	20	12	20	12	20	12
2500			25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15
3200			32	19,2	32	19,2	32	19,2	32	19,2	32	19,2	32	19,2	32	19,2

Annexe 3 : schéma de la section du montage courroie

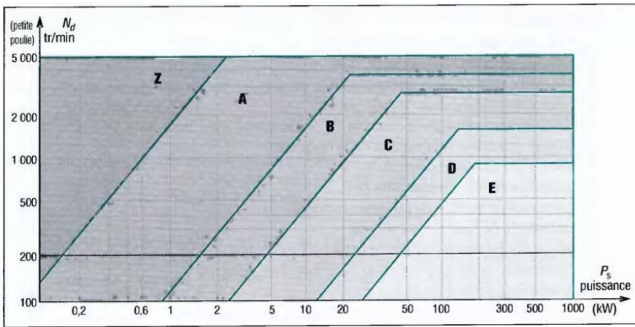


12. Séries classiques et étroites.



13. Montage sur une poulie ($\beta = 32^\circ, 34^\circ, 36^\circ, 38^\circ$).

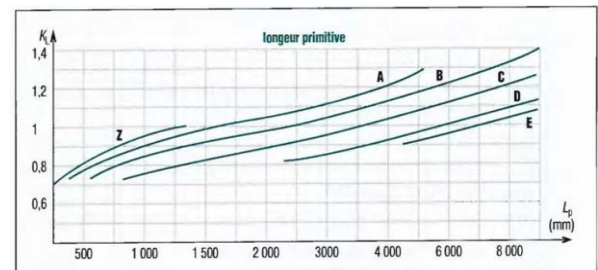
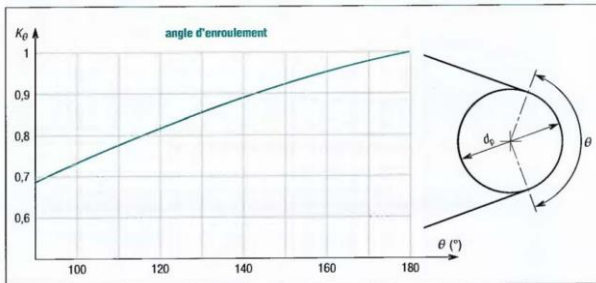
Annexe 4 : choix de la courroie



16. Graphe 1 : gamme des puissances transmissibles par type de courroie.

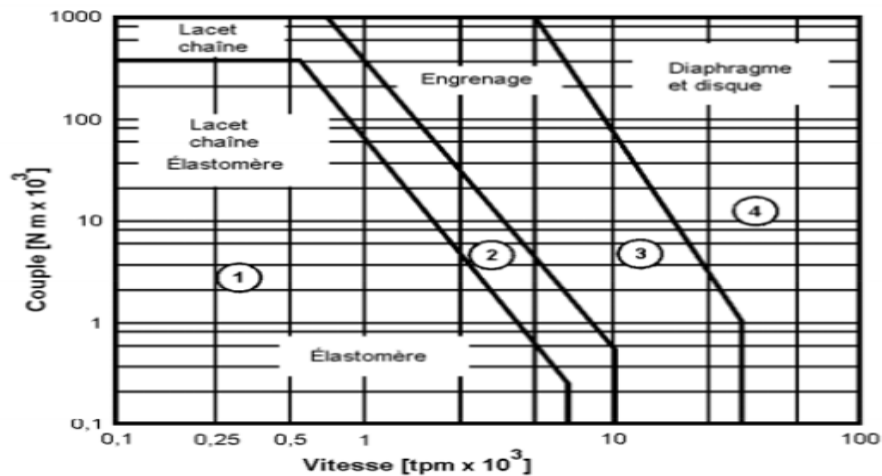
principales dimensions (en mm)	Principales dimensions trapézoïdales (ISO 4183)									
	série classique						série étroite			
	Z	A	B	C	D	E	SPZ	SPA	SPB	SPC
a	10	13	17	22	32	38	10	13	16	22
h	6	8	11	4	9	25	8	10	13	18
fp	8,5	11	14	19	27	32	8,5	11	14	19
f	7	9	11,5	16	23	28	7	9	11,5	16
g	12	15	19	25,5	37	44,5	12	15	19	25,5
k (mini)	2	2,75	3,5	4,8	8,1	9,6	2	2,75	3,5	4,8
m (mini)	7	8,7	10,8	14,3	19,9	23,4	8,5	11	14	19
dp (usuel)	50 à 630	75 à 800	125 à 1 120	200 à 2 000	355 à 2 500	500 à 2 500	63 à 630	90 à 800	140 à 1 120	224 à 2 000

Annexe 5 : coefficients dépendant de la longueur de la courroie (KL) et de l'angle d'enroulement (Kθ)



Annexe 6 : type de désalignement pour accouplement

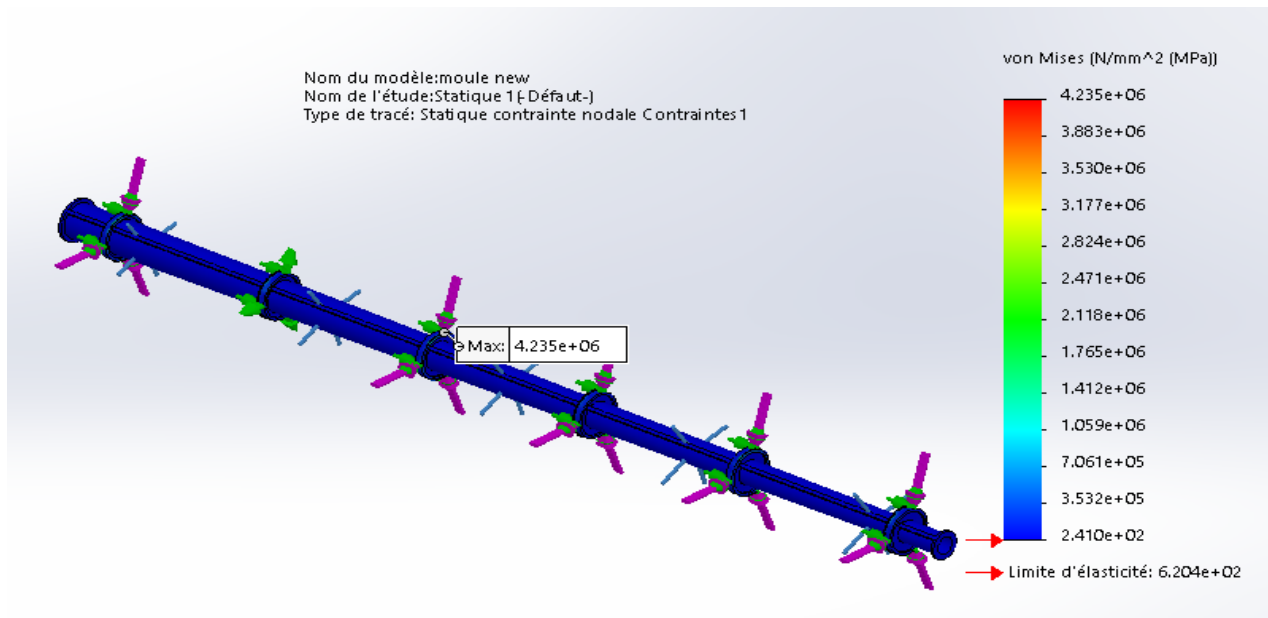
ACCOUPLLEMENT	CAPACITÉ D'ACCOMMODER UN DÉALIGNEMENT		
	RADIAL	ANGULAIRE	AXIAL
Accouplement rigide	Aucun	Aucun	Aucun
Accouplement mobile	< 1 à 2 mm	< 1 à 3°	< 6 à 7 mm
Joint de Cardan	Aucun	< 15°	Aucun

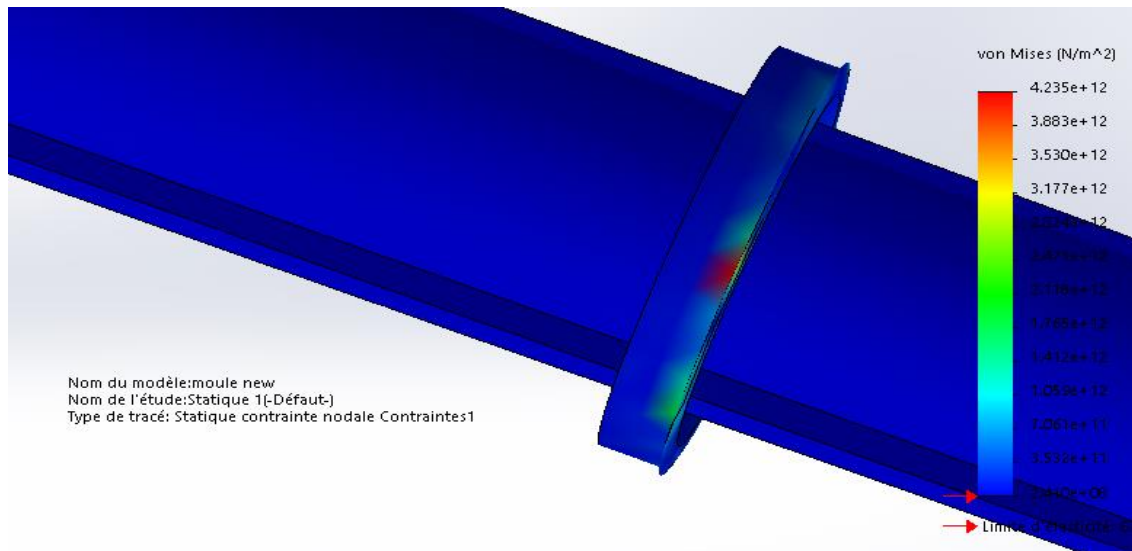


Annexe 7 : choix de moteur

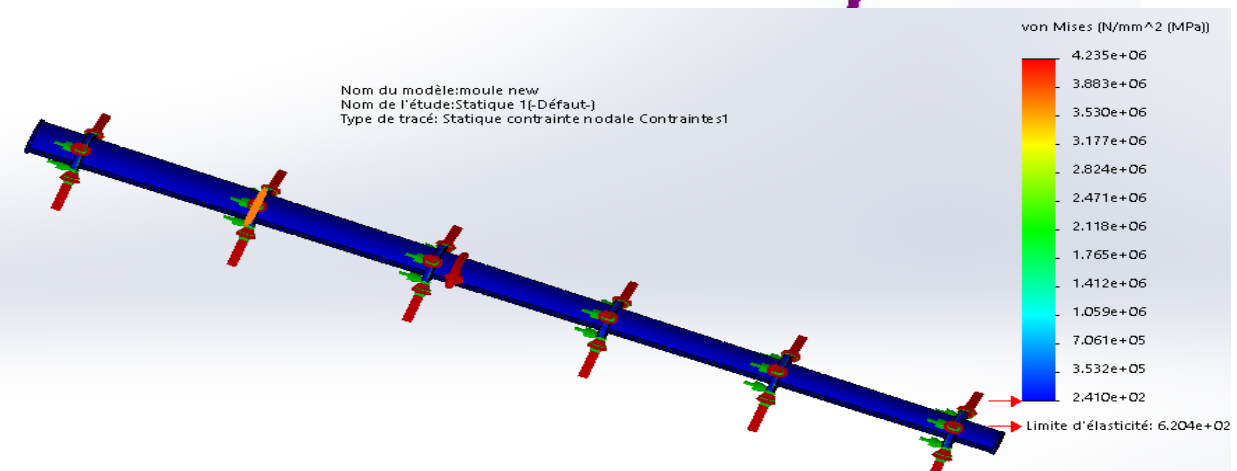
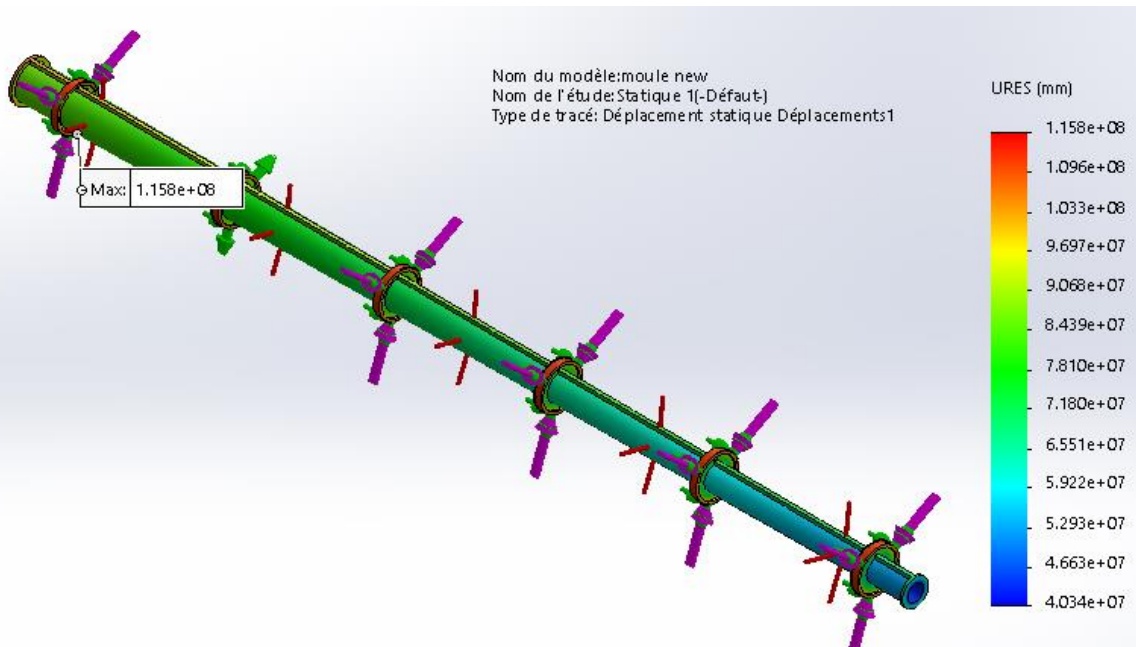
	Puissance nominale*	Vitesse nominale	Moment nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance**	Rendement CEI 60034-2 1996***	Courant démarrage / Courant nominal
Type	P_N kW	N_N min ⁻¹	M_N N.m	I_N (400 V) A	$\cos \varphi$	η	I_D / I_N
PLS 160 L	15	1450	98,8	30,2	0,83	86,4	5,9
PLS 160 L	18,5	1445	122	36,9	0,83	87,2	6,0
PLS 180 M	22	1450	145	43,5	0,83	88	6,4
PLS 180 L	30	1450	198	57,1	0,85	89,2	5,7
PLS 200 M	37	1445	245	71,4	0,84	89	5,4
PLS 200 LP	45	1465	293	84,7	0,84	91,3	6,1
PLS 225 MR	55	1465	359	101	0,86	91,5	5,9
PLS 250 SP	75	1475	486	143	0,82	92,6	6,2
PLS 250 MP	90	1475	583	167	0,84	92,8	6,5
PLS 280 SC	110	1472	714	207	0,82	93,4	5,7
PLS 280 MD	132	1470	858	245	0,83	93,7	6,2
PLS 315 S	160	1468	1041	291	0,85	93,5	6,1
PLS 315 M	200	1468	1301	363	0,85	93,6	6,3

Annexe 8 : simulation von mises

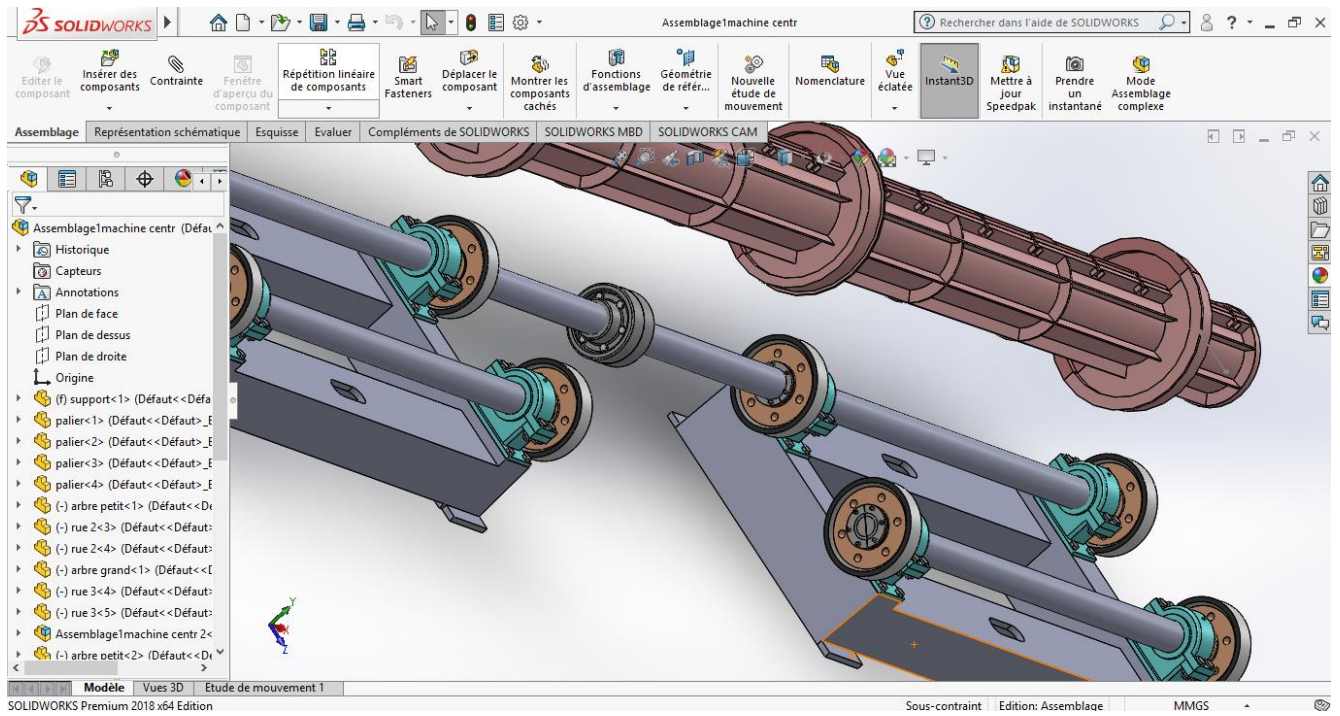




Annexe 9 : simulation contrainte de deformation



Annexe 10 : conception 3D dans solidworks



Annexe : animation dans solidworks visualize

