



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Republique Algerienne Democratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة -

Université Elchahide Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

En : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Par : BELGHIT Meriem & ARAISSIA Imen

Sujet

Conception et réalisation d'un système de transmission pour une éolienne de pompage d'eau

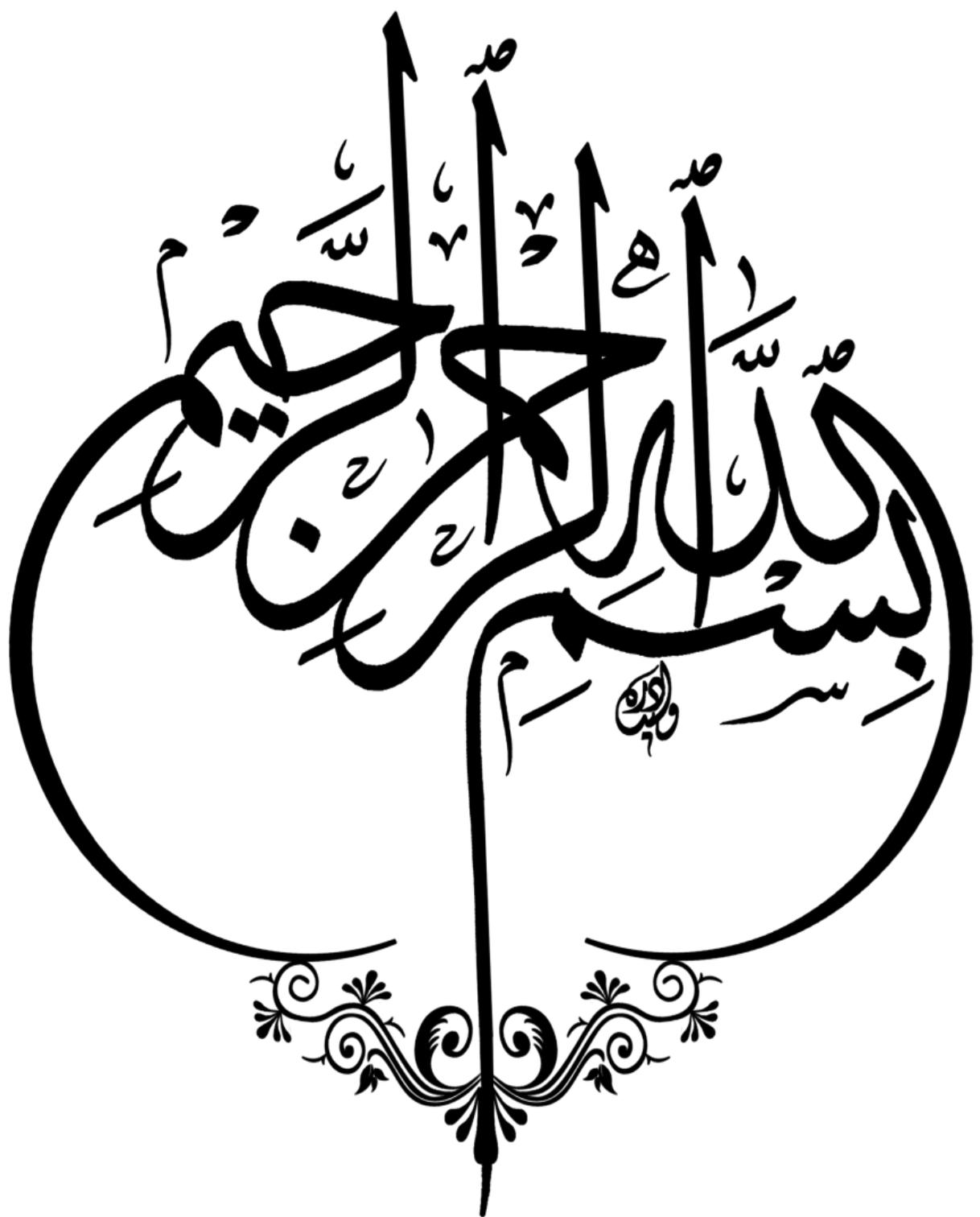
Présenté et soutenu publiquement, le 17/09/2023, devant le jury composé de :

BELGHALEM Hadj
HADJAB Abdelhakim
MAALIM Madani
MDOUKI Ramzi
KERSAS AISSA
MOKRANE ALDJIA

MAA
MAA
MCA
Prof
RSE
MCA

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur

Promotion : 2022/2023



Remerciements

*Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur **HADJAB Abdelhakim**, pour sa confiance et pour m'avoir aidé à mener à bien ce travail.*

*J'exprime ma reconnaissance à Monsieur, le docteur **BELGHALEM Hadj** qui a accepté de présider le jury.*

*Que Messieurs, **MAALIM Madani** ; **MDOUKI R** ; **KERSAS AISSA**. Ainsi Madame **MOKRANE ALDJIA**, trouvent l'expression de ma gratitude pour avoir accepté de faire partie du jury.*

*Un merci spécial au Monsieur **AGGOUN R** et Monsieur **MANSOURI L**, au chef du département **YOUNES R**, au responsable du laboratoire **Fawez** et à tous les professeurs qui nous ont accompagnés dans notre parcours universitaire.*

*Nous remercions également le directeur de l'usine de Lannabib d'Elma **El-Abyad**, Tébessa, et les employés de l'administration, notamment*

***Mr. KHALFOUN**, ainsi que tous les ouvriers de l'atelier de mécanique qui nous ont aidés à terminer les pièces de la machine.*

Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

À Ma mère et mon père, qui ont su me motiver afin de réussir dans ma vie, qui ont consacré leur vie en pour mon bonheur et mon bien être.

À Mes sœurs et frères, toute ma famille et Mes amis, qui ont toujours été un grand appui pour moi.

À Mes enseignants, mes amis et mes collègues durant Cinq ans de ma formation

Enfin, tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Meriem

A ma mère et mon père qui m'ont encouragé tout au long de la période de travail et m'ont fourni tout le soutien et l'assistance. Merci pour votre amour. Tous mes remerciements et ma gratitude.

A mon frère et Ma sœur, son mari et ses enfants Merci pour votre soutien et amour.

Merci à Mes enseignants, à mon binôme d'avoir participé à ce travail et mes amis et mes collègues pour le temps que nous avons passé ensemble.

Merci à tous ceux qui m'ont soutenu dans ce travail.

Imen

Résumé

Ce travail porte sur l'étude d'un système de pompage d'eau utilisant une éolienne à axe horizontal. Dans notre travail, nous avons présenté une approche générale de la conception d'un système de pompage. Cette approche commence par des généralités sur les composants de ce système. Le dimensionnement des pièces du système passe par un calcul énergétique, cinématique et un calcul de résistance. Vient ensuite l'étape de conception assistée par ordinateur pour modéliser et simuler le système de transmission. Enfin les composants du système sont fabriqués par les différentes méthodes de fabrication : tournage, taillage des engrenages, moulage, découpe plasma et soudage. Nous avons conclu ce travail par une conclusion générale.

Abstract

This work concerns the study of a water pumping system using a horizontal axis wind turbine. In our work, we presented a general approach to the design of a pumping system. This approach begins with generalities about the components of this system. The sizing of the system parts involves an energy and kinematic calculation and a resistance calculation. Next comes the computer-aided design stage to model and simulate the transmission system. Finally, the components of the system are manufactured using different manufacturing methods: turning, gear cutting, molding, plasma cutting and welding. We concluded this work with a general conclusion

ملخص

يتعلق هذا العمل بدراسة نظام ضخ المياه باستخدام توربينات الرياح ذات المحور الأفقي. قدمنا في عملنا نهجا عاما لتصميم نظام الضخ. يبدأ هذا النهج بالعموميات حول مكونات هذا النظام. يتضمن تحديد حجم أجزاء النظام حساب الطاقة والحركية وحساب المقاومة. بعد ذلك تأتي مرحلة التصميم بمساعدة الكمبيوتر لنمذجة ومحاكاة نظام نقل الحركة. وأخيراً، يتم تصنيع مكونات النظام باستخدام طرق تصنيع مختلفة: الخراطة، قطع التروس، القولية، قطع البلازما واللحام. واختتمنا هذا العمل بخاتمة عامة

Table des matières

Remerciements	I
Dédicace	II
Résumé	III
Table des matières	IV
Index Des Figures.....	VI
Index Des tableaux	IX
Nomenclature	X
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I : SYSTEME DE POMPAGE EOLIENNE

I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. HISTORIQUE.....	3
I.3. SYSTEME DE POMPAGE.....	5
I.4. CHAINE D'ENERGIE D'UN SYSTEME DE POMPAGE D'EAU.....	5
I.5. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE POMPAGE D'EAU.....	6
I.6. ELEMENTS DU SYSTEME DE POMPAGE D'EAU.....	6
I.6.1. Les Pompes	7
I.6.1.1. Définition	7
I.6.1.2. Les types des pompes.....	7
I.6.1.3. Les avantages et Les inconvénients des pompes à pistons.....	10
I.6.2. Les éoliennes.....	11
I.6.2.1. Définition d'une éolienne.....	11
I.6.2.2. L'énergie éolienne	12
I.6.2.3. Les avantages et Les inconvénients de L'énergie éolienne	12
I.6.2.4. Applications de l'énergie éolienne	13
I.6.2.5. Le vent en Algérie.....	13
I.6.2.6. Le vent en Tébessa.....	14
I.6.2.7. Type d'éolienne.....	16
I.6.2.7.1. Les éoliennes à axe vertical.....	16
I.6.2.7.2. Les éoliennes à axe horizontal	18
I.6.2.8. Les composants d'une éolienne de pompage.....	22
I.6.2.9. Les avantages et Les inconvénients de l'éolienne à axe horizontal	23
I.7. CONCLUSION	24

CHAPITRE II : SYSTEME DE TRANSMISSION

II.1. INTRODUCTION.....	28
II.2. TRANSMISSION ET TRANSFORMATION DU MOUVEMENT.....	28
II.3. SYSTEME DE TRANSMISSION	28
II.4. FONCTION DE SYSTEME DE TRANSMISSION	28
II.5. DEFINITION D'UN REDUCTEUR.....	29
II.6. CONSTITUTION D'UN REDUCTEUR	29
II.6.1. Les engrenages.....	30
II.6.1.1. Types des engrenages	31
II.6.1.1.1. Les engrenages à axes parallèles à denture droit externe.....	31
II.6.1.1.2. Caractéristiques géométriques d'une roue à axes parallèles à denture droit externe.....	32
II.6.2. Les roulements.....	33
II.6.2.1. Compositions d'un roulement.....	33
II.6.2.2. Types des roulements	34
II.6.3. Système Bielle-manivelle	35

II.6.3.1. Bielle-manivelle d'un système de pompage	36
II.6.4. Axes et arbres	37
II.7. CONCLUSION.....	39

CHAPITRE III : CALCUL DU SYSTEME DE TRANSMISSION

III.1. CALCUL ENERGETIQUE	42
III.2. CALCUL DU REDUCTEUR.....	43
III.2.1. Calcul du couple sorti.....	43
III.2.2. Calcul de l'entraxe aw	45
III.2.3. Calcul du module des roues dentées	47
III.2.4. Calcul des nombres de dents des roues dentées.	48
III.2.5. Caractéristiques géométriques des roues dentées ($\alpha = 20^\circ$).....	48
III.3. CALCULS DES REACTIONS DES ARBRES	50
III.3.1. Torseurs statiques aux points A, F, E, D, et G	50
III.3.2. Application du principe fondamental de la statique au point A	52
III.3.3. Dimensionnement du réducteur.....	55
III.3.4. Calcul de vérification d'arbre menant	60
III.3.4.1. Vérification de résistance de l'arbre menant	64

CHAPITRE IV : CONCEPTION SOLIDWORKS

IV.1. INTRODUCTION	70
IV.2. PRESENTATION DE LOGICIEL DE CONCEPTION "SOLIDWORKS"	70
IV.3. DESCRIPTION DE LA CONCEPTION D'ARBRE MENE "ARBRE DE SORTIE".....	70
IV.4. CONCEPTION DES COMPOSANTS DU SYSTEME DE POMPAGE D'EAU.....	83
IV.4.1. Roue éolienne.....	84
IV.4.2. Le réducteur	85
IV.4.3. Pompe à piston.	93
IV.5. ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DU SYSTEME DE POMPAGE D'EAU.....	94
IV.5.1. Assemblage d'arbre menant.....	94
IV.5.2. Assemblage d'arbre mené	96
IV.5.3. Assemblage de réducteur	98
IV.5.4. Assemblage d'éolienne	101
IV.6. CONCLUSION	102

CHAPITRE V : FABRICATION DES PIECES DU REDUCTEUR

V.1. INTRODUCTION	104
V.2. LES PROCEDES DE FABRICATION.....	104
V.2.1. Le moulage	104
V.2.1.1. Moulage en sable.....	104
V.2.2. Tournage.....	109
V.2.2.1. Le Tour	109
V.2.3. Fraisages	118
V.2.3.1. La Fraiseuse.....	118
V.2.3.2. Operations de fraisage	119
V.2.4. Soudage	122
V.2.4.1. Soudage du carter	122
V.3. CONCLUSION.....	124
Conclusion générale	126
Annexe	127

Index Des Figures

Chapitre I

Figure I. 1 : ruines des moulins à vent qui ont fonctionné en Afghanistan.	3
Figure I. 2 : Le moulin à vent américains.	4
Figure I. 3 : Exemple type d'un système de pompage.	5
Figure I. 4: Schéma représente la chaîne d'énergie d'un système de pompage d'eau.	5
Figure I. 5 : Principe de fonctionnement pour une éolienne du pompage d'eau.	6
Figure I. 6 : système de pompage éolienne.	6
Figure I. 7 : Classification des pompes.	7
Figure I. 8 : Une pompe centrifuge de type Aspiration Axiale.	7
Figure I. 9 : Classification des pompes centrifuges.	8
Figure I. 10 : Classification des pompes volumétrique.	8
Figure I. 11 : pompes à membrane.	9
Figure I. 12 : représente schématiquement les Principes des pompes.	10
Figure I. 13 : Schéma représente les types d'énergie produit par le vent.	11
Figure I. 14 : ferme d'éoliennes.	11
Figure I. 15 : Atlas de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol.	14
Figure I. 16 : Graphe de la Vitesse du vent en Tébessa en 2023.	15
Figure I. 17 : Les éoliennes à axe horizontal et à axe vertical.	16
Figure I. 18 : rotor Savonius.	17
Figure I. 19 : rotor Darrieus.	17
Figure I. 20 : la direction du vent.	18
Figure I. 21 : Moulins à vent hollandais.	18
Figure I. 22 : aérogénérateur.	19
Figure I. 23 : composants d'Un aérogénérateur.	20
Figure I. 24 : Eoliennes à pompage d'eau.	21
Figure I. 25 : Un rotor multiple et Gouvernails.	22
Figure I. 26 : Les composants d'une éolienne de pompage.	22

Chapitre II

Figure II. 1 : Réducteur à engrenages à deux étages.	29
Figure II. 2 : Réducteur d'un système de pompage.	30
Figure II. 3 : Constitution d'un engrenage.	30
Figure II. 4 : Types d'engrenages.	31
Figure II. 5 : engrenage à axes parallèles à denture droit externe.	31
Figure II. 6 : Caractéristiques géométriques d'une roue.	32
Figure II. 7 : Composition d'un roulement.	33
Figure II. 8 : système bielle-manivelle.	35
Figure II. 9 : système bielle-manivelle.	36
Figure II. 10 : Débit instantané d'une pompe à simple effet.	37
Figure II. 11 : Schéma représente l'arbre menant (l'arbre d'entrée).	38
Figure II. 12 : Schéma représente l'arbre mené (l'arbre de sortie).	38

Chapitre III

Figure III. 1 : Graphique du coefficient de puissance (C_p) par rapport au Vitesse spécifique (λ) pour différentes conceptions d'éoliennes et d'éoliennes.	43
Figure III. 2 : schéma bielle manivelle	43
Figure III. 3 : schéma représente l'assemblage de l'arbre menant.	50
Figure III. 4 : Schéma représente les dimensions de l'arbre menant.	53
Figure III. 5 : arbre menant.	55
Figure III. 6: Dimensions E, C, <i>DLdtr</i>	58
Figure III. 7 : Dimensions des clavettes parallèles ordinaires et des rainures de clavettes (NF EE 27-656).	60
Figure III. 8 : Schéma du réducteur (a) et les efforts agissant sur les arbres (b).	61
Figure III. 9 : Schéma représente les dimensions de l'arbre menant.	62
Figure III. 10 : Moment de flexion dans les plans XAZ /XAY et Moment de torsion.	63
Figure III. 11 : arbre menant	64
Figure III. 12 : Roulements type BC.	128
Figure III. 13: Dimensions des couvercles et des logements des roulements.	129

Chapitre IV

Figure IV. 1 : logo SOLIDWORKS.	70
Figure IV. 2 : interface SOLIDWORKS 2020.	70
Figure IV. 3 : Choisir le mode de conception « Pièce ».	71
Figure IV. 4 : Écran principal de SOLIDWORKS.	71
Figure IV. 5 : Créer « un plan de face ».	72
Figure IV. 6 : dessiner « Esquisse 1 ».	72
Figure IV. 7 : Création un volume par révolution pour « esquisse 1 ».	73
Figure IV. 8 : la Forme final d'esquisse 1 après la révolution.	73
Figure IV. 9 : Créer « un plan de face ».	74
Figure IV. 10 : dessiner un rectangle « esquisse 2 ».	74
Figure IV. 11 : tracer deux axes de construction.	75
Figure IV. 12 : exécuter la deuxième gorge par symétrie.	75
Figure IV. 13 : Créer un enlèvement de matière avec révolution pour « esquisse 2 ».	76
Figure IV. 14 : la forme finale d'esquisse 2 après l'enlèvement de matière.	76
Figure IV. 15 : créer « plan 1 ».	77
Figure IV. 16 : plan 1.	77
Figure IV. 17 : Tracer une rainure de clavette « esquisse 3 ».	78
Figure IV. 18 : réaliser la deuxième rainure par symétrie.	78
Figure IV. 19 : la deuxième rainure.	79
Figure IV. 20 : effectuer un enlèvement de matière extrudée pour « esquisse 3 ».	79
Figure IV. 21 : la forme finale d'esquisse 3 après l'enlèvement de matière.	80
Figure IV. 22 : Créer « un plan de face ».	80
Figure IV. 23 : créer une « esquisse 4 » pour faire un centrage.	81
Figure IV. 24 : effectuer un enlèvement de matière avec révolution pour « esquisse 4 ».	81
Figure IV. 25 : la forme finale d'esquisse 4 après l'enlèvement de matière.	82
Figure IV. 26 : chanfrein dans les extrémités d'arbre.	82
Figure IV. 27 : la forme finale d'arbre mené.	83

Figure IV. 28 : la mise en plan de roue éolienne.	84
Figure IV. 29 : la mise en plan de carter.	85
Figure IV. 30 : la mise en plan de carter.	86
Figure IV. 31 : la mise en plan d'arbre menant.	87
Figure IV. 32 : la mise en plan d'arbre mené.	88
Figure IV. 33 : la mise en plan d'arbre menant et arbre mené.	89
Figure IV. 34 : la mise en plan de roue menant et roue mené.	90
Figure IV. 35 : la mise en plan de guide / bielle / poulie.	91
Figure IV. 36 : la mise en plan d'axe / bielle / bagues.	92
Figure IV. 37 : la mise en plan de la pompe à piston.	93
Figure IV. 38 : vue isométrique pour l'assemblage d'arbre menant.	94
Figure IV. 39 : la mise en plan d'assemblage d'arbre menant.	95
Figure IV. 40 : vue isométrique pour l'assemblage d'arbre mené.	96
Figure IV. 41 : vue de face pour l'assemblage d'arbre mené.	96
Figure IV. 42 : la mise en plan d'assemblage d'arbre mené.	97
Figure IV. 43 : vue de face pour l'assemblage de réducteur.	98
Figure IV. 44 : vue de droite pour l'assemblage d'arbre mené.	98
Figure IV. 45 : vue de dessus pour l'assemblage d'arbre mené.	99
Figure IV. 46 : vue isométrique pour l'assemblage d'arbre mené.	99
Figure IV. 47 : la mise en plan de réducteur.	100
Figure IV. 48 : la mise en plan d'éolienne.	101

Chapitre V

Figure V. 1 : Composants du sable de moulage.	104
Figure V. 2 : Méthode de mélange des composants du sable.	105
Figure V. 3 : le modèle en bois.	105
Figure V. 4 : Méthode pour combler les lacunes dans le modèle en bois.	105
Figure V. 5 : Autres modèles que nous avons essayés (on argile et on polystyrène).	106
Figure V. 6 : des châssis supérieur et inférieur en bois.	106
Figure V. 7 : Préparation de l'aluminium pour la fusion.	106
Figure V. 8 : Four de laboratoire.	107
Figure V. 9 : Le processus de l'empreinte inférieure.	107
Figure V. 10 : Le processus de préparation de l'empreinte supérieure.	107
Figure V. 11 : l'empreinte supérieure.	108
Figure V. 12 : Le processus de remmoulage.	108
Figure V. 13 : Le processus de coulée d'aluminium fondu dans le moule.	108
Figure V. 14 : Le processus d'extraction du modèle.	109
Figure V. 15 : Schéma montrant les pièces d'un tour.	109
Figure V. 16 : Une photo montrant le tour avec lequel les arbres ont été fabriqués.	110
Figure V. 17 : Le brut des arbres.	110
Figure V. 18 : Photos des axes (arbres) finies.	118
Figure V. 19 : Schéma montrant les pièces d'une fraiseuse.	119
Figure V. 20 : Une photo montrant la fraiseuse avec lequel les engrenages ont été fabriqués.	119
Figure V. 21 : Les opérations de fraisage.	119
Figure V. 22 : Le processus de préparation de brut des engrenages.	120

Figure V. 23 : Four des traitements thermiques.....	120
Figure V. 24 : l'usinage des pièces cylindriques.	120
Figure V. 25 : Les pièces cylindriques avant et après l'usinage.....	121
Figure V. 26 : Une photo montrant le taillage des engrenages.....	121
Figure V. 27 : Photos des engrenages finies.	122
Figure V. 28 : Les étapes de réalisation du carter.....	123

Index Des tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1 : Les avantages et les inconvénients des pompes à piston.....	10
Tableau I. 2 :la Vitesse du vent en Tébessa en 2023.	15

Chapitre II

Tableau II. 1 : Série principale des modules normalisée des roues.	32
Tableau II. 2 : Caractéristiques géométriques d'une roue.....	32
Tableau II. 3 : Types des roulements.	34

Chapitre III

Tableau III. 1 : Caractéristique d'une roue à denture droite normale.	48
Tableau III. 2: Caractéristique d'un pignon à denture droite normale.	49
Tableau III. 3 : Dimension Le de l'arbre menant à l'endroit de montage de l'accouplement.	58
Tableau III. 4: Les diamètres extérieurs d1' des entretoises pour les roulements à contact radial.....	59
Tableau III. 5 : Dimensions des clavettes parallèles ordinaires et des rainures de clavettes 59	59
Tableau III. 6 : Valeurs recommandées du facteur de largeur de la face d'engrenage ψ_{ba}	127
Tableau III. 7 : Traitement thermique et dureté des matériaux.	127
Tableau III. 8 : Valeurs standard de l'entraxe aw	128
Tableau III. 9: Valeurs standard de m.....	128
Tableau III. 10 :Roulements à une rangée de billes à contact radial de série légère02,type BC.....	128
Tableau III. 11 :Dimensions E, C, DLdtr d'après NF E 27-041.	129
Tableau III. 12 :Dimensions des couvercles et des logements des roulements.....	130

Nomenclature

D	Diamètre de l'éolienne	(m)
R	Rayon de l'éolienne	(m)
V_m	Vitesse moyenne du Vent	(m/s)
ρ	Masse volumique de l'air	(Kg/m ³)
P_0	La puissance instantanée du vent	(W)
A	Surface balayée par l'éolienne	(m ²)
C_p	Le coefficient de puissance	(Sans unité)
P	La puissance mécanique	(W)
λ	Vitesse spécifique	(Sans unité)
ω_1	Vitesse angulaire d'entrée	(rad/s)
ω_2	Vitesse angulaire de sortie	(rad/s)
N_1	La vitesse de rotation à l'entrée du réducteur	(tr/min)
N_2	Vitesse de rotation à la sortie du réducteur	(tr/min)
Q_v	Le débit moyen d'eau	(l/s)
S	Section du piston	(mm ²)
d_p	Diamètre du piston	(mm)
r	Rayon du maneton	(mm)
U	Le rapport de transmission du réducteur	(Sans unité)
C_1	Le couple d'entrée du réducteur	(N.m)
C_2	Le couple de sortie du réducteur	(N.m)
a_w	L'entraxe	(mm)
K_{HB}	Le coefficient de concentration de charge	(Sans unité)
E_{eq}	Le module d'élasticité ou module de Young	(MPa)
$[\sigma_H]$	La contrainte de contact admissible	(MPa)
Ψ_{ba}	Coefficient de largeur de la face d'engrenage	(Sans unité)
E_1	Module d'élasticité du pignon	(MPa)
E_2	Module d'élasticité de la roue	(MPa)

$\sigma_{H \text{ lim}}$	La contrainte limite de contact pour la roue et le pignon	(MPa)
$\sigma_{b \text{ lim}}$	La contrainte limite de flexion pour la roue et le pignon	(MPa)
H_m	La dureté de la roue et du pignon	(MPa)
N_{H01}	Nombre de cycle de base du pignon	(cycles)
N_{H02}	Nombre de cycle de base de la roue	(cycles)
N_{HE1}	Nombre de cycles équivalent du pignon	(cycles)
N_{HE2}	Nombre de cycles équivalent de la roue	(cycles)
K_{HL1}	Coefficient de durée de vie du pignon	(Sans unité)
K_{HL2}	Coefficient de durée de vie du roue	(Sans unité)
S_{H1}	Facteur de sécurité du pignon	(Sans unité)
S_{H2}	Facteur de sécurité de la roue	(Sans unité)
$[\sigma_{H1}]$	La contrainte de contact admissible pour le pignon	(MPa)
$[\sigma_{H2}]$	La contrainte de contact admissible pour la roue	(MPa)
b_2	Largeur de denture de la roue	(mm)
N_{b01}	Nombre de cycles de base pour la flexion du pignon	(cycles)
N_{b02}	Nombre de cycles de base pour la flexion de la roue	(cycles)
N_{bE1}	Nombre de cycles équivalent pour la flexion du pignon	(cycles)
N_{bE2}	Nombre de cycles équivalent pour la flexion de la roue	(cycles)
$[\sigma_{b1}]$	Contrainte de flexion admissible pour le pignon	(MPa)
$[\sigma_{b2}]$	Contrainte de flexion admissible pour la roue	(MPa)
$[\sigma_b]$	Contrainte de flexion admissible	(MPa)
$\{T\}$	Torseur	(N)
$\{\vec{R}\}$	Vecteur résultant	(N)
$\{\vec{M}\}$	Moment du torseur	(N.m)

Introduction générale

L'eau est considérée comme une source essentielle à la vie de tous les êtres vivants. L'homme dépend de l'eau dans tous les aspects des diverses activités de la vie pratique, telles que l'agriculture, l'industrie, etc., comme l'a récemment révélé la Société d'eau et d'assainissement en Algérie "SEAAL" que la quantité d'eau consommée par une personne atteint environ 430 litres par jour, ce qui dépasse la moyenne mondiale estimée à 120 litres. C'est ce qui a fait de l'Algérie l'un des pays qui souffrent du manque d'eau, notamment dans les villages et les zones reculées et désertiques. Par conséquent, l'Algérie a eu recours à l'exploitation des eaux souterraines situées sous la surface de la terre, mais les méthodes d'extraction de celles-ci nécessitent de grandes sources d'énergie, qui sont généralement coûteuses et peu économiques. Par conséquent, il est nécessaire de réfléchir aux moyens d'extraire l'eau en utilisant des énergies naturelles et renouvelables telles que l'énergie solaire ou l'énergie éolienne.

L'utilisation de l'énergie éolienne pour pomper les eaux souterraines est l'une des applications les plus importantes en tant qu'énergie alternative en raison des économies qu'elle permet de réaliser à long terme, en plus de bénéficier de l'eau utilisée quotidiennement, en particulier dans les zones reculées et les terres désertiques. Nous avons donc construit un système de pompage éolienne pour extraire cette eau du sol à un niveau d'utilisation, car ce système se compose d'une éolienne avec une tour et une pompe à piston en plus d'un système de transmission bien pensé pour améliorer l'efficacité de cette machine, c'est ce qui a été inclus dans notre mémoire.

Cette mémoire contient cinq chapitres présentés comme suite :

Le premier chapitre a présenté l'historique avec des définitions et les éléments du système de pompage suivi par des généralités sur les pompes et les éoliennes.

Le deuxième chapitre traite le système de transmission et généralité sur le réducteur et son composant.

Le troisième chapitre est consacré aux lois mathématiques permettant de dimensionner le réducteur et l'éolienne et d'estimer les réactions des arbres et dimensionner leur composant.

Le quatrième chapitre, se consacrer à la conception des tous les composantes du système avec le logiciel de SOLIDWORKS.

Le cinquième chapitre, Ce dernier chapitre explique les procédés de fabrication que nous avons utilisées pour réalise ce système.

Chapitre I

Systeme de pompage éolienne

I.1. Introduction

L'eau souterraine est considérée comme un trésor de la nature, mais son extraction est difficile car elle est généralement disponible dans les égouts et les puits où l'énergie est nécessaire pour l'élever au niveau d'utilisation, alors l'homme a pensé aux moyens les plus simples de l'obtenir, alors il a utilisé des pompes qui s'est développée tout au long de l'histoire, au début elle dépendait de l'effort humain puis l'énergie des animaux de trait a été utilisée, puis l'énergie naturelle a été utilisée, comme l'énergie du soleil et du vent.

Dans ce chapitre, nous parlerons du système de pompage éolien et c'est éléments « les pompes et les éoliennes ».

I.2. Historique

L'origine exacte de la première utilisation de l'énergie éolienne n'est pas connue. Cependant, les archéologues ont trouvé des preuves que des bateaux à voile étaient utilisés au Moyen-Orient il y a 7000 ans. Aucune date n'existe pour la première application pratique de l'énergie éolienne, mais les premiers moulins à vent semblent avoir été utilisés dans le Moyen-Orient (Mésopotamie et Perse) selon des preuves documentaires datant d'environ 500-900 après JC. Dès le début, les principales utilisations de l'énergie éolienne étaient le pompage de l'eau et la mouture du grain. Les premières machines persanes étaient des panémons, avec des voiles de tissu ou de nattes de roseau tournant autour d'un axe vertical. [1] Il est mentionné qu'Hammourabi utilisait des moulins à vent pour l'irrigation dans les plaines de Mésopotamie. Il existe des preuves écrites de l'utilisation assez précoce de l'énergie éolienne en Afghanistan. Aujourd'hui encore, on trouve des ruines de ces moulins à vent qui ont fonctionné pendant des siècles en Iran et en Afghanistan Figure (I.1). [2]

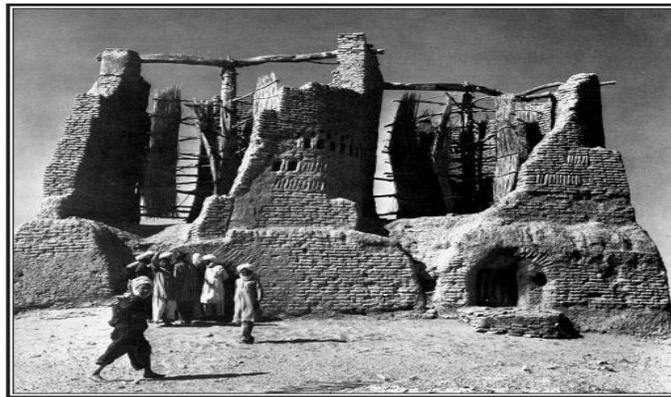


Figure I. 1 : ruines des moulins à vent qui ont fonctionné en Afghanistan.[3]

Les moulins à vent les plus anciens du monde ont été développés en Chine et il s'agissait d'un moulin à vent à axe vertical ayant de longues bandes métalliques incurvées comme pales. Le rotor du moulin à vent était relié à une grande poulie comportant de nombreux petits seaux d'eau montés sur une corde. [4] Les moulins à vent et des pompes à axe horizontal sont apparus en Europe à l'époque médiévale, que l'on pense avoir été introduits du Moyen-Orient par les croisés. La technologie des éoliennes a néanmoins continué d'évoluer dans les zones rurales et au milieu du XIXe siècle, les petites pompes éoliennes à plusieurs pales étaient devenues courantes dans les fermes aux États-Unis, où elles fournissaient un moyen bon marché et fiable de pomper l'eau

à l'ère pré-électrique (Figure I.2) C'est la combinaison des conceptions américaines de moulin à vent et de la technologie naissante des générateurs électriques qui a donné au monde sa première éolienne à axe horizontal. C'était cependant la deuxième éolienne au monde à fonctionner, la première étant un axe vertical. [1] Plus tard, des moulins à vent à axe horizontal ont également été utilisés pour l'électricité. Avec les avantages croissants de la technologie, plus de travaux de recherche ont été menés, ce qui a abouti à une conception à jour. La conception du moulin à vent est efficace dans les endroits où la vitesse du vent varie de faible à modérée. Pour les endroits où la vitesse du vent est élevée, la conception aérodynamique des pales est utilisée et ce type d'éoliennes est utilisé pour la production d'électricité. [4]



Figure I. 2 : Le moulin à vent américains. [2]

Avec le développement de la machine à vapeur et en raison des avantages économiques de l'exploitation des combustibles fossiles, les efforts de développement des moyens d'utilisation de l'énergie éolienne ont été relégués au second plan dans de nombreux pays. À la fin du XIXe siècle, alors que l'électricité était utilisée pour transporter et consommer de l'énergie, l'énergie thermique et hydraulique devenant les sources privilégiées, l'énergie éolienne est tombée encore plus en disgrâce. Cependant, certains pays manquaient de ressources suffisantes en carburant et en eau, ce qui les a amenés à chercher d'autres moyens de produire de l'électricité.

Alors que la crise énergétique imminente devenait évidente après la Seconde Guerre mondiale, les gouvernements de nombreux pays européens ont sérieusement réfléchi à l'énergie éolienne en tant que source supplémentaire viable. Dans le monde entier, l'intérêt pour l'énergie éolienne s'est donc accru.

Une autre raison de l'intérêt mondial pour le développement de centrales éoliennes est l'augmentation rapide de la demande d'énergie électrique et l'épuisement conséquent des combustibles fossiles, à savoir le pétrole et le charbon, dont les réserves sont limitées. L'épuisement des réserves, l'augmentation de la demande et certains facteurs de politique mondiale ont contribué à une forte augmentation du coût de la production d'énergie thermique. De nombreux endroits n'ont pas non plus le potentiel de générer de l'énergie hydraulique. La production d'énergie nucléaire était autrefois traitée avec beaucoup d'optimisme, mais connaissant les risques environnementaux associés à d'éventuelles fuites de centrales nucléaires, la plupart des pays ont décidé de ne plus en installer. [5]

Le développement de l'énergie éolienne s'est accéléré lorsque, dans les premières décennies du XXe siècle, la technologie aéronautique a permis de mieux comprendre les forces agissant sur les pales se déplaçant dans l'air. Cela aboutit au développement de turbines à deux ou trois pales.

Des dizaines de machines différentes convertissant l'énergie éolienne en ses autres formes ont été inventées, Grâce aux efforts d'innombrables scientifiques et ingénieurs de diverses disciplines, l'énergie éolienne est à nouveau considérée comme une énergie renouvelable. Le processus complet de recherche implique des informations et des expériences dans de nombreux domaines de connaissances, par ex. aérodynamique, science des matériaux, génie mécanique et électrique.

I.3. Système de pompage

Le rôle premier d'une pompe est d'aspirer et de refouler efficacement des fluides dans un système. Il est plus facile de maintenir une haute efficacité de pompage et de satisfaire aux exigences de la pompe en matière de débit, lorsque l'on comprend les exigences d'un procédé. Afin de démontrer la méthode générale d'analyse requise pour obtenir le fonctionnement optimal d'un système de pompage, on peut faire appel à un système simple de transfert des fluides d'un réservoir à travers un filtre, puis, vers un deuxième réservoir (voir la figure I.3). [6]

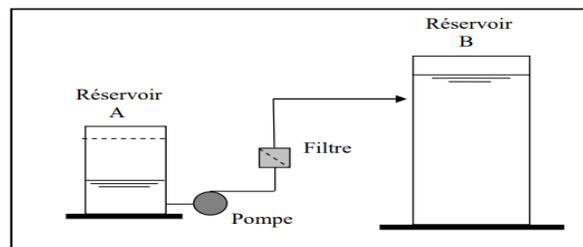


Figure I. 3 : Exemple type d'un système de pompage.

I.4. Chaîne d'énergie d'un système de pompage d'eau

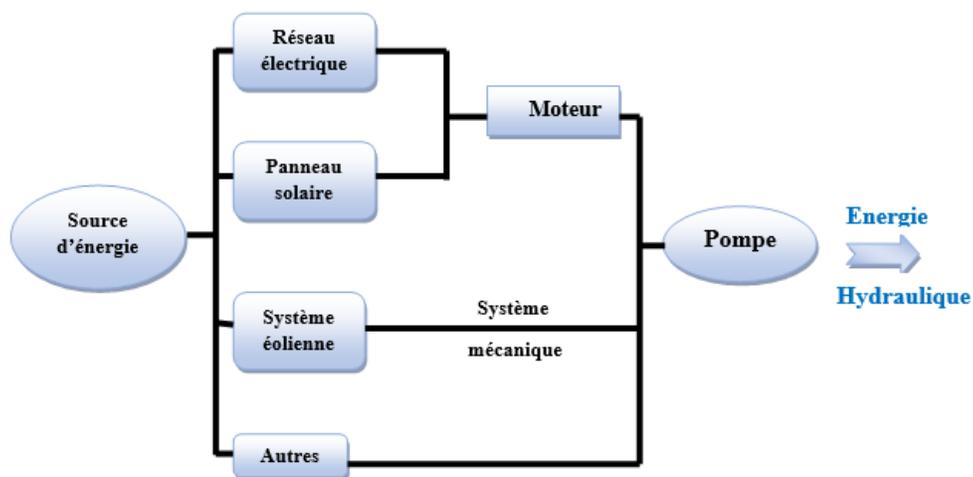


Figure I. 4: Schéma représente la chaîne d'énergie d'un système de pompage d'eau.

I.5. Principe de fonctionnement du système de pompage d'eau

Plusieurs systèmes sont utilisés pour transformer le mouvement de rotation de l'éolienne en mouvement de translation utilisable par la pompe.

Une éolienne fonctionne en ralentissant le vent et en extrayant une partie de son énergie dans le processus. Pour un axe horizontal, l'axe du rotor est maintenu horizontal et aligné parallèlement à la direction du vent. Les pales des éoliennes sont fixées à un arbre central. L'énergie extraite fait tourner l'arbre pour produire l'énergie mécanique. Les pales du rotor sont généralement conçues pour être orientées devant (au vent) ou derrière (sous le vent) de la tour. Les machines au vent ont besoin d'un gouvernail ou d'un autre mécanisme pour maintenir l'orientation. Les machines sous le vent produisent de l'ombre au vent et de la turbulence dans la trajectoire des pales. Cela peut être très sérieusement affecté par la tour. [7] L'arbre est monté sur deux roulements pour faire tourner le système de transmission, Le pignon est fixé sur l'axe de l'éolienne entraîne une roue dentée plus grande, ce qui articulé le système bielle manivelle qui permet la tige de la pompe de transférer le mouvement à la pompe.

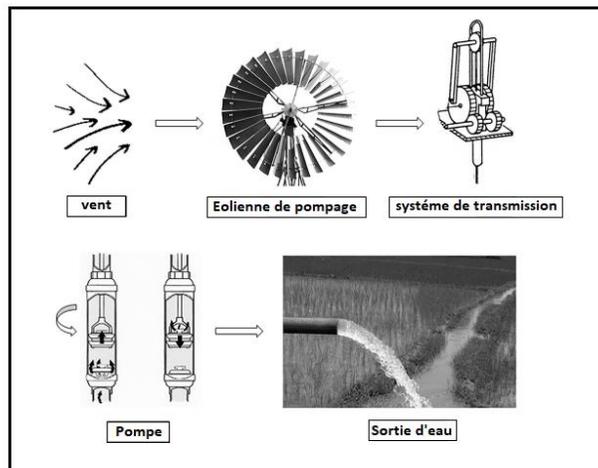


Figure I. 5 : Principe de fonctionnement pour une éolienne du pompage d'eau.[7]

I.6. Eléments du système de pompage d'eau

Le système qu'on va étudier est un système de pompage éolienne est résumé dans la figure (Figure I.6).

Il est constitué généralement de :

- Une pompe Volumétrique « à piston » ;
- Une éolienne ;
- Une boîte de transmission « réducteur ».

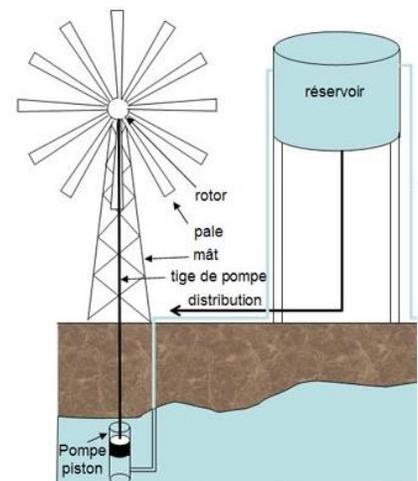


Figure I. 6 : système de pompage éolienne. [8]

I.6.1. Les Pompes

I.6.1.1. Définition

Les pompes sont des machines qui servent à transmettre l'énergie d'une source extérieure au fluide dans le but de déplacer le fluide en question d'un endroit à un autre par l'augmentation de l'énergie de celui-ci toute en vainquant la gravité. [9]

Par conséquent, les pompes sont classées selon leur principe de fonctionnement en deux catégories :

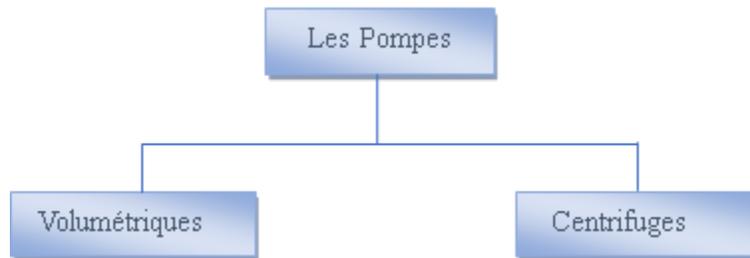


Figure I. 7 : Classification des pompes.

I.6.1.2. Les types des pompes

a) Les pompes Centrifuges

Une pompe centrifuge est une machine réceptrice qui augmente la pression d'un liquide. [10] Dans les pompes centrifuges, une roue, par son mouvement de rotation, communique au liquide de l'énergie cinétique ou un mouvement. [11]

Le grand avantage des pompes centrifuges réside dans sa simplicité ; sa construction ne pose pas de problème majeur, car nulle part une grande précision n'est demandée.

En effet, on peut accepter jusqu'à un jeu de quelques millimètres sans inconvénient. [12]



Figure I. 8 : Une pompe centrifuge de type Aspiration Axiale. [13]

On peut les classer selon le type de l'écoulement dans les deux catégories suivantes :

- **Classification des pompes centrifuges**

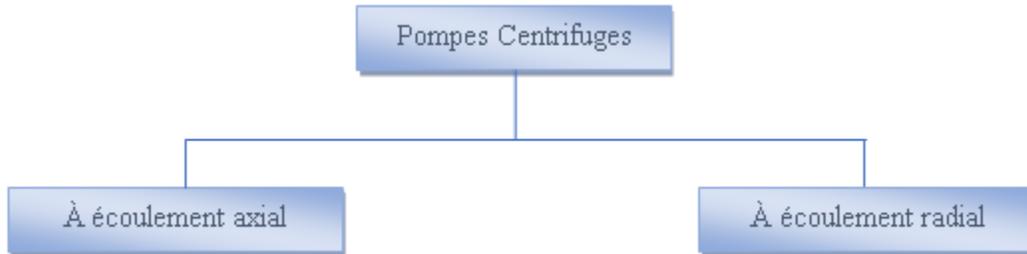


Figure I. 9 : Classification des pompes centrifuges.

b) Les pompes Volumétriques

Ces pompes connaissent une utilisation bien moins généralisée que celle des turbopompes. Elles sont limitées aux pompages des fluides visqueux. D'une façon générale elles conviennent pour élever de faibles débits à des pressions élevées. [14]

Les pompes volumétriques sont classées dans les catégories suivantes :

- **Classification de pompes volumétriques**

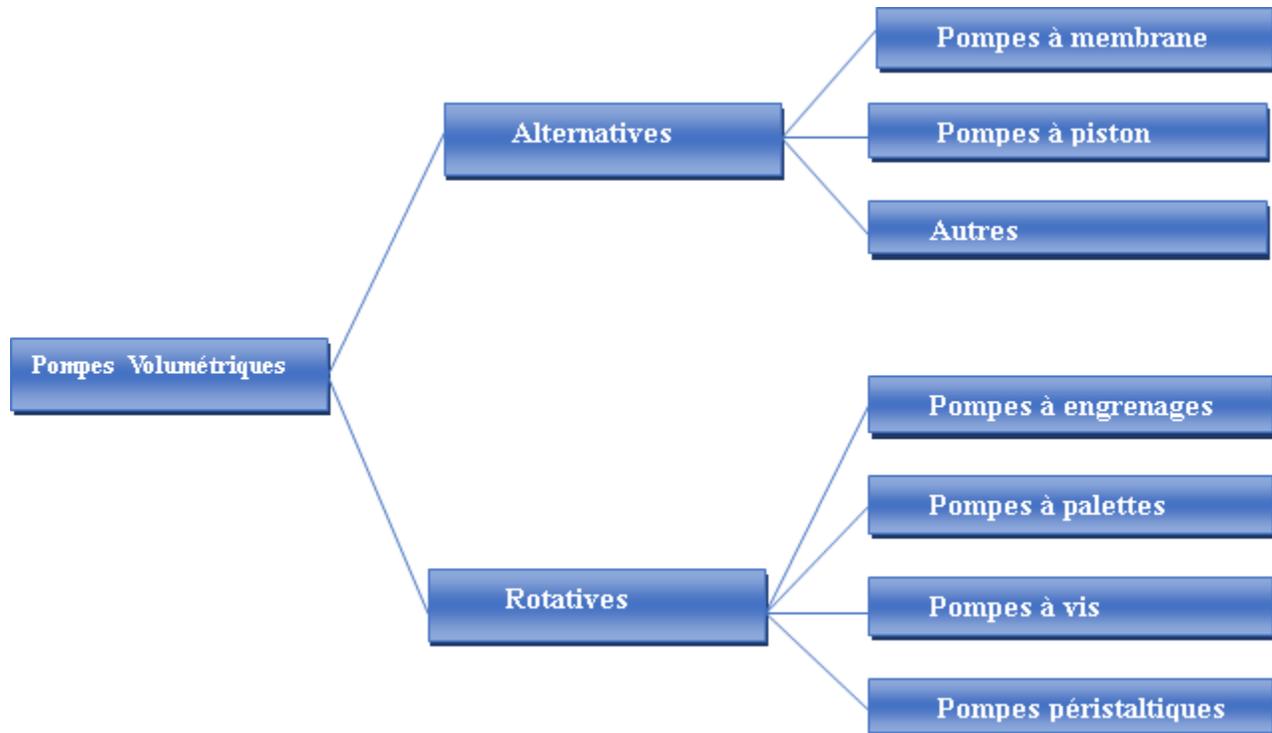


Figure I. 10 : Classification des pompes volumétrique.

➤ Pompes rotatives

Ces pompes montrent un grand succès pour le transfert des liquides visqueux, sont simple de point de vue de construction. Elles sont caractérisées par l'absence des soupapes ou de clapets et l'obtention de débit régulier et peuvent être élevés. [15]

➤ Pompes Alternatives

Les pompes alternatives se distinguent par le mouvement de translation alternatif de leurs éléments élémentaires. Le fluide est aspiré par un premier mouvement de translation et refoulé par un deuxième. [16]

Les pompes volumétriques alternatives usuelles font appel à deux principes :

❖ Pompes à membrane

Dans ce type de pompes, le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériaux élastiques. La membrane est entraînée par l'intermédiaire d'un liquide tampon comprimé et décomprimé grâce aux mouvements alternatifs d'une pompe à piston. Le produit véhiculé se trouve ainsi entièrement isolé de la partie mécanique de la pompe, et peut présenter un caractère relativement corrosif. [17]

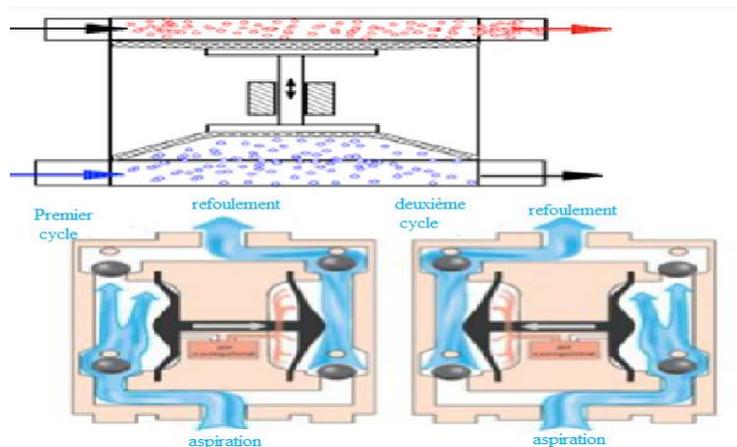


Figure I. 11 : pompes à membrane. [18]

❖ Pompes à pistons :

Parmi toutes les pompes volumétriques existantes, c'est sans doute la variante la plus utilisée. Le mérite revient à son très bon rendement et à son excellent rapport poids/puissance. Son principe de fonctionnement repose sur la paire piston/cylindre. Les pistons effectuent deux mouvements alternatifs de translation rectilignes dans leurs cylindres respectifs. Le premier mouvement sert à aspirer le fluide depuis le port d'aspiration en créant un vide dans le cylindre et le deuxième éjecte le fluide contenu dans le cylindre vers le port de refoulement. Ce genre de pompe admet l'utilisation d'un système à clapets.

Ils peuvent être scindés en deux groupes selon la disposition des pistons par rapport à l'axe de rotation

• **Pompes à pistons axiaux** : Dans ce cas, les pistons se trouvent dans une position axiale. Soit parallèlement à l'axe de rotation soit avec une inclinaison qui ne dépasse pas les 45° par rapport à l'axe de rotation

• **Pompes à pistons radiaux** : Pour ce type de pompes, les pistons se trouvent dans une position radiale formant une étoile. Ils sont placés perpendiculairement à l'axe de rotation tout en respectant un décalage d'un angle $\alpha = \frac{2\pi}{Z}$ entre deux pistons successifs, avec Z le nombre de pistons. Ainsi, le mouvement alternatif des pistons se fait radialement. [16]

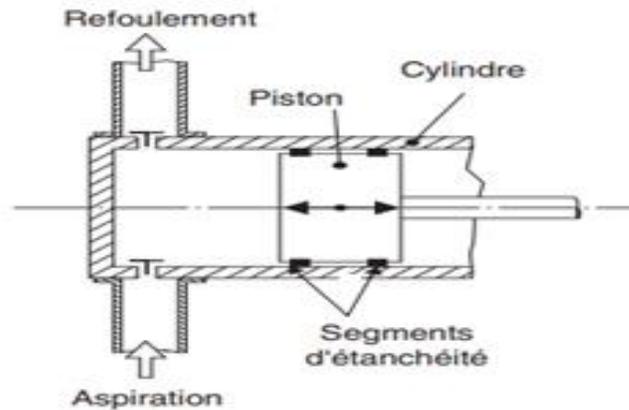


Figure I. 12 : représente schématiquement les Principes des pompes.

I.6.1.3. Les avantages et Les inconvénients des pompes à pistons

Tableau I. 1 : Les avantages et les inconvénients des pompes à piston. [19]

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Simple dans sa conception • Auto-amorçant • Appuyez sur les hautes altitudes • Sa Vitesse est proportionnelle à certaines situations • Du type à déplacement positif 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacité faible • Sa voix est haute • Différentes pressions selon le type utilisé

I.6.2. Les éoliennes

I.6.2.1. Définition d'une éolienne

Le mot « éolienne » vient d'Éolien nom Grèce antique (en grec 'Aiolos'), une éolienne est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en :

- Énergie électrique, dans le cas d'un aérogénérateur.
- Énergie mécanique, dans le cas d'une éolienne de pompage.

Le vent exerce une force sur le rotor via les pales de l'éolienne et le met en rotation.

Lorsque plusieurs éoliennes sont installées sur un même site, on parle de « parc » ou de « ferme » d'éoliennes.

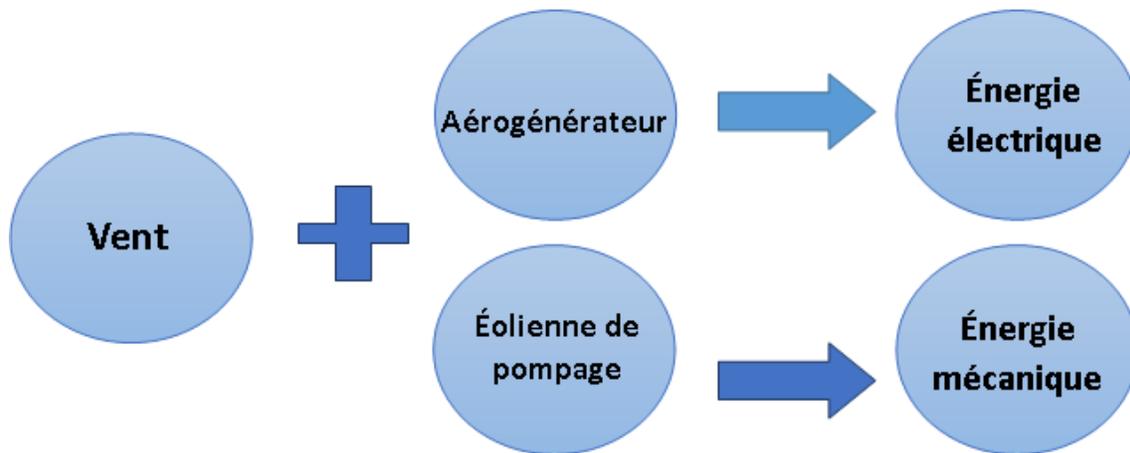


Figure I. 13 : Schéma représente les types d'énergie produit par le vent.



Figure I. 14 : ferme d'éoliennes. [1]

I.6.2.2. L'énergie éolienne

Le vent est connu depuis longtemps de l'homme comme source naturelle d'énergie mécanique. La technologie de l'énergie éolienne a évolué au cours de cette longue période. Parmi les diverses sources d'énergie renouvelables, l'énergie éolienne est devenue la source d'énergie électrique la plus viable et est économiquement compétitive par rapport aux sources conventionnelles.

L'énergie éolienne est l'une des formes d'énergie renouvelable les plus disponibles et les plus exploitables, c'est une forme concentrée d'énergie solaire, Les vents soufflent d'une région de pression atmosphérique plus élevée vers une région de pression atmosphérique plus basse. La différence de pression est causée par :

- a) Le fait que la surface de la terre n'est pas uniformément chauffée par le soleil
- b) La rotation de la terre.[5]

Le soleil chauffe l'atmosphère de manière inégale, le rayonnement solaire absorbé diffère aux pôles et à l'équateur. En effet, l'énergie absorbée à l'équateur est supérieure à celle absorbée aux pôles, ce qui rend certaines parties plus chaudes que d'autres. La chaleur du soleil provoque les plaques d'air plus chaudes de l'expansion puis montent, tandis qu'aux pôles plus froids les plaques d'air se contracte et s'affaisse pour les remplacer, créant des courants de recirculation entre ces régions. Ainsi, un flux d'air alternatif qui se traduit par du vent.

On pourrait aisément prévoir la direction des vents dominants si elles n'étaient pas perturbées par les orages, les obstacles naturels ou les dépressions cycloniques. [20]

I.6.2.3. Les avantages et Les inconvénients de L'énergie éolienne

Les avantages

- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable.
- L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées.
- C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables. C'est parce qu'il ne nécessite pas d'importation et qu'il est facilement disponible.
- C'est une solution efficace pour alimenter les zones reculées avec l'énergie.
- Une source d'énergie qui ne provoque pas de pollution parce qu'il n'y a pas aucune émission de gaz dans l'atmosphère lors de sa production.

Les inconvénients

- Les vitesses et les directions variables du vent rendent difficile l'utilisation du vent comme source d'énergie constante, qui produit une qualité de puissance n'est pas toujours Satisfaisant.
- Le bruit et impact visuel produit par les aérogénérateurs peut être dérangeant et sont donc limités à des zones éloignées des fermes et également éloignées des réserves fauniques.
- Les parcs éoliens besoin des grandes surfaces.

- Les éoliennes peuvent nuire à la migration des oiseaux en étant un obstacle mortel. En effet, les pales en rotation sont difficilement visibles par mauvais temps ou la nuit.
- L'investissement initial dans la construction et l'installation de machines éoliennes est très coûteux.
- Elles défigurent le paysage

I.6.2.4. Applications de l'énergie éolienne

- Production d'électricité.
- Pompage d'eau.
- Utilisé pour déplacer des navires et des voiliers.
- Moudre les grains.

I.6.2.5. Le vent en Algérie

Si on veut aujourd'hui utiliser les énergies renouvelables, solaire, éolienne ou géothermique comme sources d'exploitation dans plusieurs domaines, tels que le pompage, la production électrique ou autres, il est impératif de quantifier cette énergie et ceci par la production des différentes cartes énergétiques.

Cette étude a été réalisée par Dr. Nachida Kasbadji Merzouk.

Dans ce cadre, la présente étude a été établie pour la production de la carte des vents de l'Algérie à la hauteur standard de 10 mètres du sol. Sachant que les différentes éoliennes produites sont généralement à des altitudes supérieures ou égales à 25 mètres du sol. Nous mentionnerons seulement la carte des vitesses moyennes annuelles du vent estimé à une altitude de 10 mètres au-dessus du sol

Les vitesses moyennes annuelles du vent, produites par l'Office National de la Météorologie, ont été incluses, afin d'affiner le tracé des cartes.

Ces données ont permis la production de la carte des vents de l'Algérie, à des altitudes de 10 et 25 mètres du sol. Les résultats ont montré qu'en Algérie, les vitesses du vent varient entre 1 et 5,5 m/s à 10 mètres du sol et que ces dernières passent de 1 à 7 m/s, à 25 mètres du sol. Les régions les plus ventées sont situées dans la région du sud, soit aux environs d'Adrar. On remarque, par ailleurs une multitude de microclimats (région de Tiaret).

- **Atlas préliminaire du vent à 10 mètres**

En figure (I.15), est présentée la carte des vitesses moyennes annuelles du vent estimé à une altitude de 10 mètres au-dessus du sol. Les vitesses obtenues à l'aide de l'interpolation varient de 1 à 6 m/s.

On remarque que la majorité du territoire se trouve classé dans la gamme de vitesses allant de 3 à 4 m/s, (région des Hauts Plateaux et le Sahara). Les vitesses du vent augmentent et sont maximales dans les régions situées au centre du grand Sahara (Adrar, In Salah et Timimoun).

On distingue plusieurs microclimats, à savoir autour d’Oran, Tiaret, In Aménas, ainsi que les environs de Biskra, où les vitesses de vent enregistrées sont supérieures 4 m/s.

Enfin, la côte Ouest de la méditerranéenne, le Hoggar, ainsi que la région de Béni Abbès présentent les vitesses moyennes annuelles les plus faibles (< 3 m/s). [21]

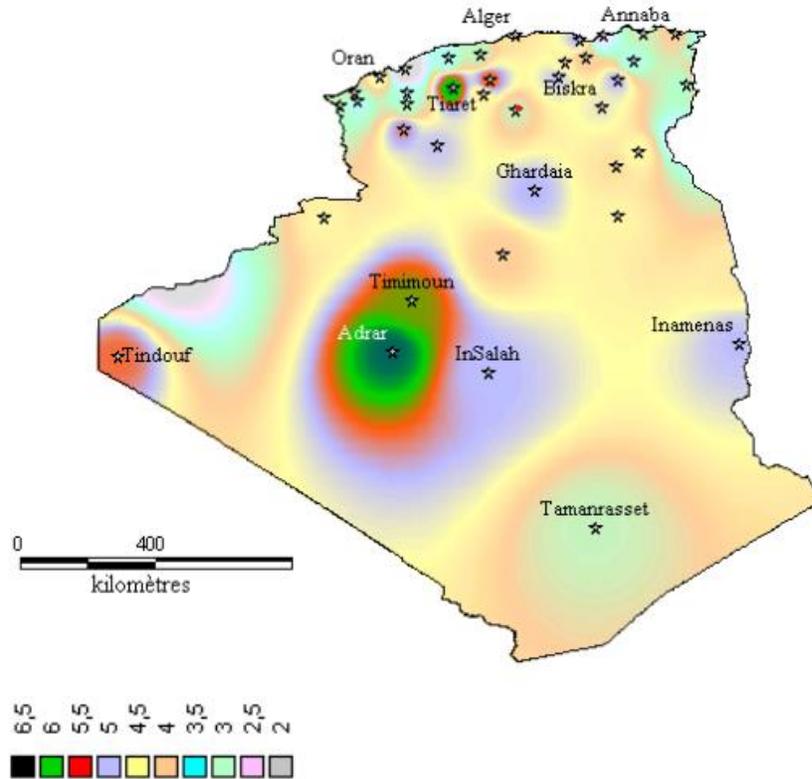


Figure I. 15 : Atlas de la vitesse moyenne du vent de l’Algérie estimée à 10 m du sol. [20]

I.6.2.6. Le vent en Tébessa

La hauteur de la wilaya de Tébessa au-dessus du niveau de la mer varie entre 867m et 900m.

Ces résultats ont été extraits du site météorologique Tout au long de l'année 2023, La Vitesse du vent maximale, minimale et moyenne en (Km/h) sont donné au tableau suivant :

Tableau I. 2 :la Vitesse du vent en Tébessa en 2023.[22]

Mois	Vitesse moyenne du vent (km/h)	Vitesse minimale du vent (km/h)	Vitesse maximale du vent (km/h)
Janvier	14	6	22
Février	15	7	24
Mars	14	6	23
Avril	14	5	23
Mai	12	4	20
Juin	10	4	19
Juillet	10	3	19
Août	9	3	18
Septembre	10	3	17
Octobre	10	4	17
Novembre	12	5	20
Décembre	13	6	21
Moyenne	11,91667	4,666667	20,25

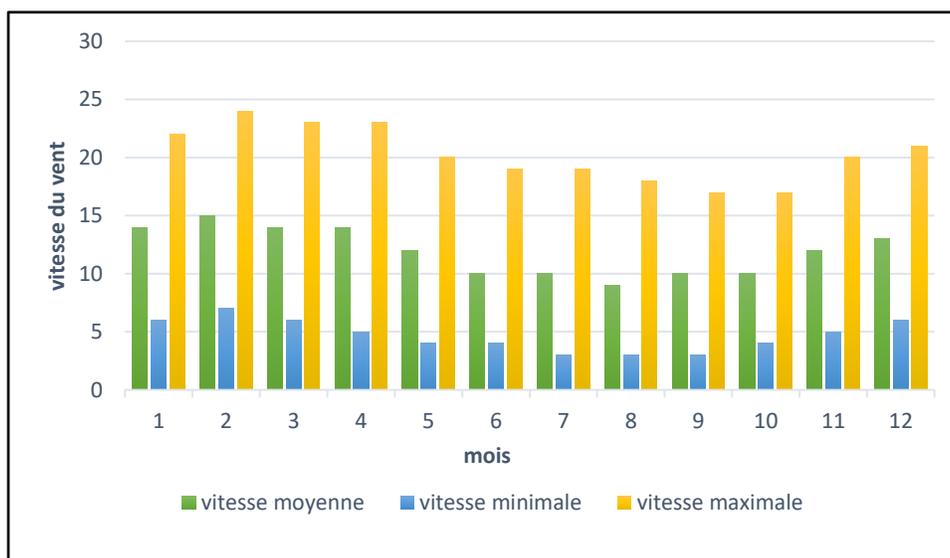


Figure I. 16 : Graphe de la Vitesse du vent en Tébessa en 2023.

I.6.2.7. Type d'éolienne

Les dispositifs de conversion de l'énergie éolienne peuvent être classés en deux types en fonction de leur alignement d'axe.

- (1) Les éoliennes à axe vertical existent en deux modèles différents.
 - Le rotor Savonius
 - Le rotor Darrieus
- (2) Les éoliennes à axe horizontal peuvent être divisées en trois types.
 - Moulins à vent 'de type hollandais
 - Moulins à vent à hélice à grande vitesse (Aérogénérateurs).
 - Moulins à vent à pompage d'eau multiples [5]

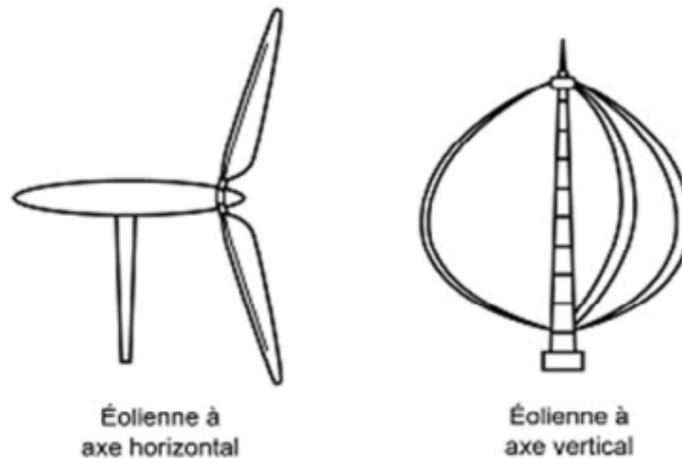


Figure I. 17 : Les éoliennes à axe horizontal et à axe vertical. [23]

I.6.2.7.1. Les éoliennes à axe vertical

C'est un ingénieur finlandais, Sigurd Savonius qui l'a préconisée en 1924. A l'origine il s'agissait de godets hémisphériques montés sur un axe vertical. Ce système a été perfectionné ensuite par le français Georges Darrieus qui a remplacé les godets par des ailettes en forme de vrille. Ces éoliennes présentent quelques avantages mais aussi pas mal d'inconvénients. [24]

Les éoliennes à axe de rotation vertical ont l'avantage de fonctionner indépendamment de la direction du vent, elles n'ont donc pas besoin d'un système de lacet pour s'orienter face au vent. Mais les éoliennes plus grandes de ce type ne se sont pas implantées en raison d'inconvénients importants comme le vent faible près du sol. [2]

a) Le rotor Savonius

Le rotor Savonius est un dispositif à axe vertical extrêmement simple qui fonctionne entièrement grâce à la force de poussée du vent. L'équipement de base est un tambour coupé en deux moitiés verticalement. Les deux parties sont fixées aux deux côtés opposés d'un arbre vertical. Lorsque le vent soufflant dans la structure rencontre deux surfaces dissemblables, l'une convexe et l'autre concave, les forces exercées sur les deux surfaces sont différentes, ce qui confère au rotor un couple. En prévoyant un certain chevauchement entre les deux tambours, le couple peut être augmenté. Le rotor Savonius n'est pas coûteux et simple, et le matériel nécessaire est généralement disponible dans n'importe quelle zone rurale, ce qui permet la construction sur place de tels moulins à vent [5], son utilité est limitée au pompage de l'eau en raison de sa faible rendement par rapport à une éolienne à pale

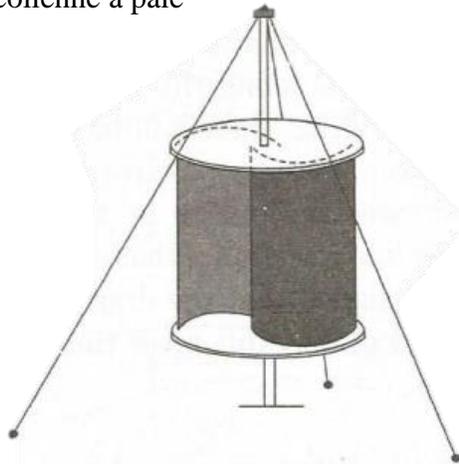


Figure I. 18 : rotor Savonius. [5]

b) Le rotor Darrieus

En 1931, un dispositif à axe vertical pour la conversion de l'énergie éolienne a été inventé par G.J. Darrieus des États-Unis. Deux lames flexibles ou plus sont fixées à un arbre vertical. Les pales s'inclinent vers l'extérieur, prenant approximativement la forme d'une parabole, et sont de section aérodynamique symétrique. [5]



Figure I. 19 : rotor Darrieus. [25]

I.6.2.7.2. Les éoliennes à axe horizontal

Aujourd'hui, les éoliennes qui sont construites dans notre environnement sont toutes du type « à axe horizontal », c'est à dire un très haut mât qui supporte une grande hélice. [24] tripale, parfois bipale ou multipale, L'axe de rotation est horizontal et le plan du rotor est vertical face au vent. L'arbre est monté sur deux paliers. Les pales du rotor sont généralement conçues pour être orientées devant (au vent/ amont) ou derrière (sous le vent/ aval) de la tour. [7]

- Amont : Le vent souffle sur le devant des pales en direction de la nacelle. Les pales sont rigides, et le rotor est orienté selon la direction du vent par un dispositif.
- Aval : Le vent souffle sur l'arrière des pales en partant de la nacelle. Le rotor est flexible, auto-orientable. [23]

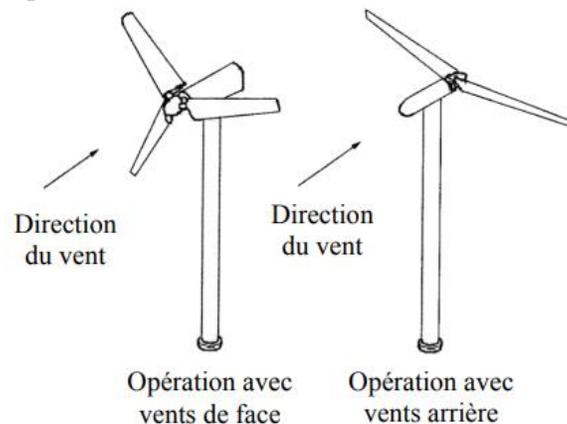


Figure I. 20 : la direction du vent. [23]

a) Moulins à vent "hollandais"

La pratique des moulins à vent traditionnels pour soulever l'eau a été introduite en Hollande à partir du début du XV^e siècle. Le moulin à vent hollandais bien connu avait été utilisé pour le drainage de l'eau comme le drainage des marécages et des lacs pour récupérer de nouvelles terres à des fins différentes. Il a ensuite été adapté à d'autres applications telles que l'approvisionnement en eau des réservoirs de stockage et l'irrigation. [4]

Ces moulins à vent fonctionnaient grâce à la poussée exercée par le vent. Les pales, généralement au nombre de quatre, étaient inclinées d'un angle par rapport au plan de rotation. Le vent, étant dévié par les pales, exerçait une force dans le sens de la rotation. Les pales étaient constituées de voiles ou de lattes de bois.



Figure I. 21 : Moulins à vent hollandais. [24]

Au début du développement des moulins à vent, l'orientation des pales dans la direction du vent était réalisée manuellement, généralement à l'aide d'un poteau de queue. Plus tard, le système «fan-tail» a été introduit, dans lequel il y avait un petit moulin à vent derrière et perpendiculairement au principal, entraînant directement le système d'orientation. Lorsque le moulin à vent principal faisait face au vent, la queue du ventilateur ne l'était pas. Lorsque la direction du vent changeait, la queue du ventilateur tournait et retournait le moulin à vent principal vers le vent. [5]

b) Les éoliennes rapides (aérogénérateur)

Un aérogénérateur, souvent appelé éolienne, est un dispositif qui convertit une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. [27] L'une des premières éoliennes commerciales à injecter de l'électricité dans le réseau était la Vestas V-15 avec une puissance nominale de 55 kW. Déjà au début des années 1980, il était fabriqué et installé en grand nombre. [2]

Un aérogénérateur, commence à tourner à partir d'une vitesse de vent de 3 m/s. A 7m/s elle développe une puissance de 1'000 kW. Sa puissance maximum est atteinte lorsque la vitesse du vent dépasse 15 m/s (55 km/h). Au-delà de 25 m/s (90 km/h), les contraintes mécaniques deviennent excessives et fragilisent l'ensemble de l'installation. Cela nécessite l'arrêt de l'éolienne. [24]



Figure I. 22 : aérogénérateur. [28]

Les principaux composants d'une éolienne sont :

- Le mât
- La nacelle
- Le rotor

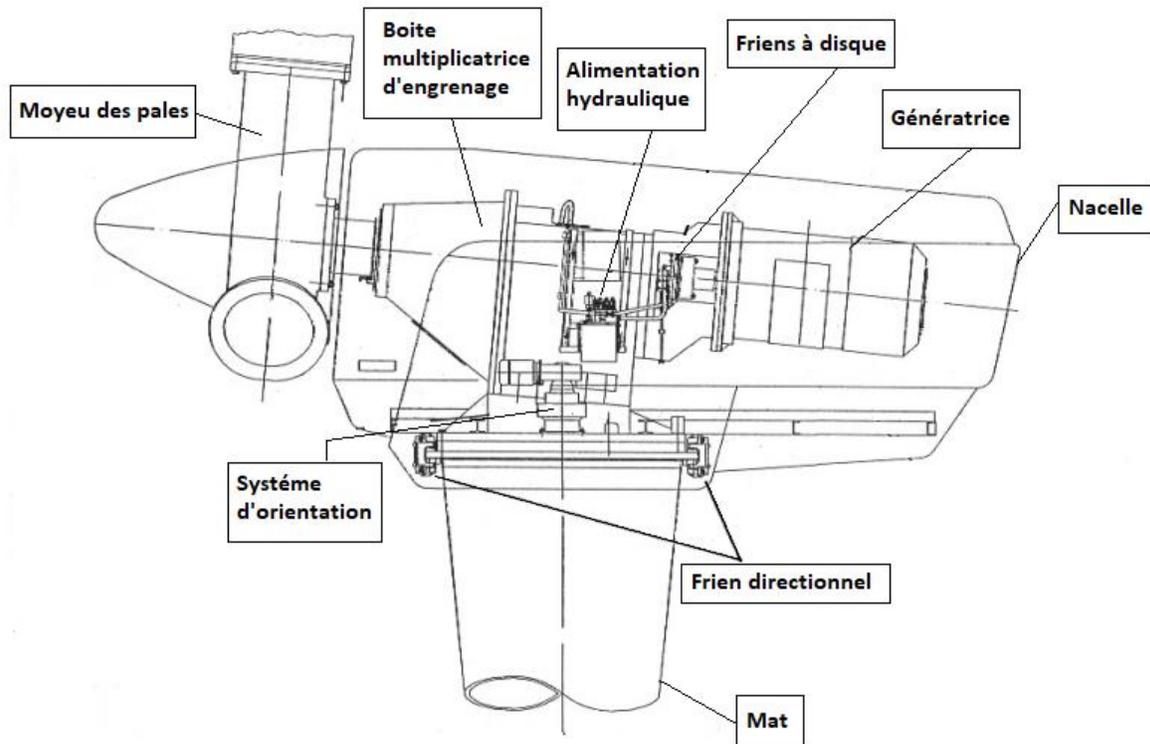


Figure I. 23 : composants d'Un aérogénérateur. [2]

c) Les éoliennes lentes (à pompage d'eau)

Le moulin à vent de la ferme américaine « Western Moulin américains » », qui a été développé au milieu du XIXe siècle. Le moulin Western était principalement utilisé pour fournir de l'eau potable aux personnes et au bétail en Amérique du Nord. De plus, il assure l'approvisionnement en eau des locomotives à vapeur des nouveaux chemins de fer qui s'étendent vers l'Ouest. La principale caractéristique de cette éolienne est la « rosace du rotor » d'un diamètre compris entre 3 et 5 m, avec plus de 20 pales en tôle, située au sommet d'une tour en treillis métallique. Il utilise un système bielle manivelle pour entraîner une pompe à piston. Le moulin à vent n'était pas seulement la première éolienne produite en série industrielle et fabriquée en métal, c'était la première éolienne avec un contrôle complètement automatique ne nécessitant aucune surveillance par un opérateur humain avec un système de lacet entièrement contrôlé automatiquement comprenant un contrôle des tempêtes qui protège le moulin à vent contre la survitesse par temps orageux. Ainsi, le moulin

à vent est encore aujourd'hui une machine "moderne" dont des dizaines de milliers sont installées avec une conception presque inchangée en Australie, en Argentine et aux États-Unis. [2]

Ces éoliennes sont à proximité, voire directement au-dessus, d'un réservoir ou château d'eau. Leur diamètre pouvait atteindre les 15 mètres sur certains modèles. Au XIXe siècle, rotors et gouvernails étaient généralement réalisés en bois. C'est pour cette raison qu'il reste peu de traces des centaines de machines installées. Les réalisations métalliques ne sont arrivées que dans un

deuxième temps pour améliorer la tenue de l'ensemble. Le rotor est cette fois placé en amont : l'orientation automatique face au vent nécessite donc un système dédié. Celle-ci est la plupart du temps assurée par l'action d'un gouvernail (encore appelé safran), constitué par une surface verticale déportée à l'aval du pylône. Il existait cependant quelques machines disposant de moulinets auxiliaires (encore appelés papillons, roses des vents), qui, en rotation, sont équivalents à des surfaces latérales. [28]

La conception des éoliennes est efficace dans les endroits où la vitesse du vent varie de faible à modérée. [4] Et Comme le moulin doit être placé directement au-dessus du puits, le critère de sélection du site concerne la disponibilité de l'eau et non le vent. Par conséquent, le moulin doit pouvoir fonctionner à des vents lents (2 à 3 m/s). Le grand nombre de pales donne un couple élevé, nécessaire à l'entraînement d'une pompe centrifuge, même par vent faible. C'est pourquoi on les appelle parfois des moulins à vent. [5]

Une éolienne constitue le meilleur moyen d'exploiter cette énergie éolienne et de l'utiliser pour pomper l'eau qui se trouve sous la surface ou pour acheminer l'eau vers un réservoir de stockage surélevé, Permettrait d'économiser beaucoup sur les coûts d'électricité qui ne cessent d'augmenter. De plus, l'énergie éolienne est disponible dans les régions éloignées qui n'ont pas encore été connectées au réseau électrique national. Une éolienne constitue le meilleur moyen d'exploiter cette énergie éolienne et de l'utiliser pour pomper l'eau qui se trouve sous la surface ou pour acheminer l'eau vers un réservoir de stockage surélevé. [29] En outre, il est probable que l'importance des systèmes de pompes éoliennes augmentera à nouveau avec l'acceptation croissante des énergies renouvelables, en particulier dans les pays en développement. Ils peuvent contribuer de manière significative au développement rural. Aujourd'hui, il existe des idées pour de nouveaux domaines d'application pour les systèmes de pompes éoliennes, non seulement pour le pompage de l'eau mais aussi pour le pompage du pétrole dans les régions éloignées et venteuses du monde. [2]



Figure I. 24 : Eoliennes à pompage d'eau. [30]

I.6.2.8. Les composants d'une éolienne de pompage

1. **Rotor** : L'éolienne est un rotor multipale monté sur un moyeu. Il peut y avoir 8, 16, 18 et 24 pales selon les paramètres de vent et la conception. Plusieurs pales sous la forme de pales incurvées (voiles) sont montées de manière rigide à un certain angle par rapport à la direction du vent. La forme incurvée des pales aide à exploiter plus d'énergie lorsque l'air passe au-dessus de la voile des pales. Lorsque toutes les pales sont montées sur le moyeu, elles forment le rotor. [4]
2. **Gouvernails** : il permet d'orienter les pales face au vent.

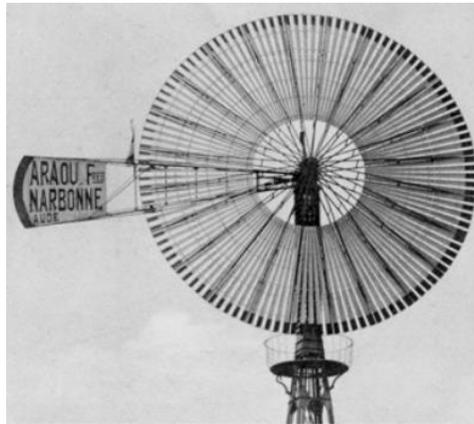


Figure I. 25 : Un rotor multipale et Gouvernails. [28]

3. **Tour** : Dans une éolienne à axe horizontal, la tour supporte l'ensemble de la machinerie, y compris les pales, le réducteur et l'équipement de contrôle. Il nécessite donc une résistance élevée, qui est obtenue avec une structure en acier ou en béton, basée sur une construction tubulaire ou en treillis. [5]

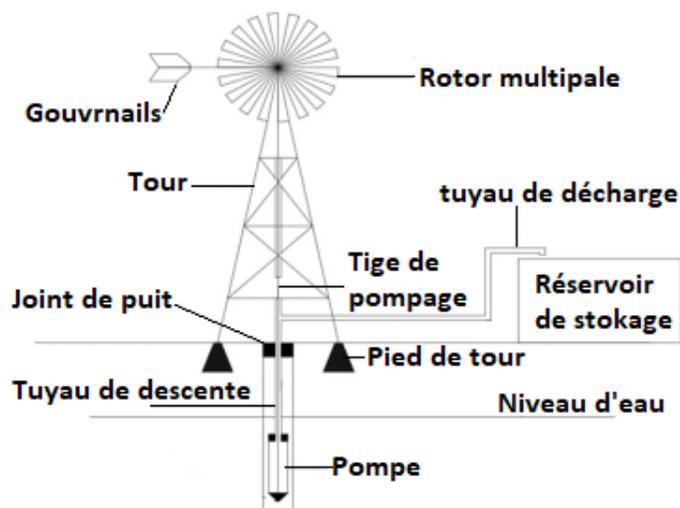


Figure I. 26 : Les composants d'une éolienne de pompage. [2]

La tour doit être suffisamment haute pour dépasser le sommet des arbres et des bâtiments à proximité afin d'éviter toute obstruction dans la trajectoire du vent à l'approche du moulin à vent.[4]

I.6.2.9. Les avantages et Les inconvénients de l'éolienne à axe horizontal

Les avantages

- Démarre avec des vents faibles
- Le processus de montage et démontage des parcs éoliens est facile, et car l'entretien est très minime sur le site il nécessite moins de dépenses de main-d'œuvre.
- Production d'électricité.
- Pompage d'eau
- Un bon rendement

Les inconvénients

- Le bruit constant qu'engendrent la rotation de cette hélice géante, en particulier les basses fréquences aurait un impact direct sur la santé des riverains. Le législateur doit donc imposer une distance minimum entre une éolienne et les habitations.
- Les éoliennes peuvent parfois présenter un effet dévastateur sur les oiseaux en particulier dans la nuit
- L'aspect visuel d'un groupe d'éoliennes modifie complètement l'aspect d'un paysage. [24]

I.7. Conclusion

L'énergie éolienne est l'un des types d'énergie renouvelable les plus importants. Et avec l'augmentation des prix des combustibles fossiles, le monde s'est concentré sur les nouveaux moyens d'énergie " propre, renouvelable, moins chers et respectueux de l'environnement ". Les énergies renouvelables se considèrent comme la solution d'avenir pour satisfaire de façon durable les besoins énergétiques mondiaux parce que sont inépuisables et moins coûteux par rapport les autres sources d'énergie qui sont à coût élevé .Au cours de ces années, des dizaines de machines différentes convertissant l'énergie éolienne en d'autres formes ont été inventées, conçues et testées, Les éoliennes sont le moyen le plus approprié d'exploiter l'énergie éolienne et de l'utiliser pour pomper de l'eau ou produire de l'électricité.

Références

- [1] ANDERSON.C, WINDTURBINES : Theory and Practice, Le Royaume-Uni : Presses universitaires de Cambridge, (2020).
- [2] Gasch.R & Twele.J, Wind Power Plants Fundamentals: Design, Construction and Operation, Berlin Heidelberg:Springer, (2012).
- [3] Deschênes.G & Deschênes.G.M., Quand le vent faisait tourner les moulins, Québec : Septentrion, (2009).
- [4] Aized.Tet al (2019). Design and analysis of wind pump for wind conditions in Pakistan, Advances in Mechanical Engineering [en ligne], 11(9), (page consultée le 23/03/2023)
(<https://us.sagepub.com/en-us/nam/open-access-at-sage>).
- [5] Bhadra.S.N & Kastha.D&Banerjee.S, WIND ELECTRICAL SYSTEMS ,Inde:Presses universitaires d'Oxford, (2013).
- [6] Merzoug Hocine, Contribution à l'amélioration de l'efficacité énergétique du pompes centrifuges, Thèse de Magister : Spécialité Electromécanique, Université de Badji Mokhtar - Annaba, (2006).
- [7] THAN NAING WIN et al. Design and Construction of Horizontal Axis Wind Pump, ICONIC RESEARCH AND ENGINEERING JOURNALS, 3(1), (2019).
- [8] Guerida S & Ouafi. O, Modélisation et contrôle d'un système de pompage d'eau connecté à l'éolienne, Thème de master : Spécialité Commande Electrique, Université Ahmed Draia, Adrar, (2019).
- [9] Ammar Hachemi, Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système hybride dédié au pompage, thèse de doctorat : Spécialité Hydraulique, Université Mohamed Khider – Biskra, (2017).
- [10] Massinissa Djeroud, Identification Numérique Des Paramètres d'Amélioration Des Performances d'une Pompe Centrifuge : Roue, Roue-Volute et Roue-Diffuseur, Maîtrise en Ingénierie, l'Université du Québec à Chicoutimi, Québec, (2011).
- [11] Série de la Gestion de l'énergie 13 à L'intention des industries, commerces et institutions, Ventilateurs et pompes, Canada.
- [12] Yann MARCHESSE, Mécanique des fluides, Département de Génie Energétique et Mécanique, Ecole Catholique d'Arts et Métiers - Lyon, (2011).
- [13] Total, Manuel de Formation Cours EXP-PR-EQ070 Révision 0.1, Les Equipements Les Pompes, (13/04/2007).
- [14] Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques Sogreah, Les Pompes et Les Petites Stations de Pompage, Ministère de la Coopération, la France, (1978).
- [15] Dr. R. SAKER OUARGLI, cours des turbomachines, département de Materials Engineering, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf –Oran.
- [16] Djihed BENZAAD, Diagnostic de fuites internes dans une pompe à pistons axiaux, Spécialité doctorale "Image, Vision, Signal", L'université Jean Monnet de Saint-étienne – Lyon, (2019).

- [17] Risques et Précautions lies au Matériel, Les Pompes, ENSPM Formation Industrie- IFP Training, (25/ 07/2005).
- [18] Daniel Bougeard, cours Turbomachine, Energétique des machines, Ecole des Mines de Douai- Paris, (2012).
- [19] Maintenance d'électropompes, Spécialité d'électricité industrielle, Organisation générale pour la formation technique et professionnelle, Administration générale de la conception et du développement des programmes d'études- Royaume d'Arabie Saoudite.
- [20] KasbadjiMerzouk.N, EVALUATION DU GISEMENT ENERGETIQUE EOLIEN CONTRIBUTION A LA DETERMINATION DU PROFIL VERTICAL DE LA VITESSE DU VENT EN ALGERIE, Doctorat : en physique, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen, (2006).
- [21] KasbadjiMerzouk.N, Carte des Vents de l'Algérie, Revue des énergies renouvelables, (1999).
- [22] Meteoblue, meteoblueweather [en ligne], (page consultée le 14/05/2023).
<https://www.meteoblue.com/fr/meteo/semaine/>
- [23] MARCOUX.E, OPTIMISATION DES SYSTEMES DE TRANSMISSION DE PUISSANCE POUR ÉOLIENNE, maîtrise en génie mécanique, école de technologie supérieure université du Québec, (2013).
- [24] Deferne.J, Presque tout sur les éoliennes et un petit peu sur les panneaux photovoltaïques, (2018).
- [25] wind-turbine-models.com, [en ligne], (page consultée le 24/04/2023).
<https://fr.wind-turbine-models.com/>
- [26] CHEMIDI.A, Analyse, modélisation et commande avancée d'une éolienne utilisée dans une ferme, Doctorat En Génie Electrique, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, (2015).
- [27] Naama.F et al. Model and Simulation of a Wind Turbine and its Associated Permanent Magnet Synchronous Generator, Energy Procedia [en ligne], 157, (2017).
- [28] Rapin.M & Noël.J.M, ÉNERGIE ÉOLIENNE : Principes et Études de cas, Paris : Dunod, (2010).
- [29] MACHINI N. MERCYLINE & OKERO JULIUS MOKAYA, DESIGN OF A WINDMILL FOR PUMPING WATER, master en genie mécanique, (2009).
- [30] Neumann.A, (2019), A History of Dempster Windmills, Homestead, [en ligne], (page consultée le 24/04/2023).
<https://www.nps.gov/articles/history-of-dempster-windmills.htm>

Chapitre II

Systeme de transmission

II.1. Introduction

Les équipements mécaniques ont un rôle très important dans le domaine industriel pour assurer qu'il est l'outil de production, parmi ces mécanismes on retrouve le réducteur de vitesse.

Dans notre projet, nous nous sommes appuyés sur le réducteur pour transférer le mouvement rotatif résultant de la rotation de l'éolienne et le convertir en un mouvement alternatif, et ce dernier est responsable de la montée et de la descente de la pompe à piston, et donc du pompage de l'eau et du transfert vers le réservoir.

Dans ce chapitre, nous parlerons de la transmission du mouvement et du système de transmission utilisée dans notre machine, fonction et de ses principaux composants.

II.2. Transmission et transformation du mouvement

On parle de mécanisme de transmission du mouvement, lorsque le mécanisme sert à transmettre le mouvement du point d'entrée au point de sortie sans modifier la nature (rotation ou translation) du mouvement.

Les mécanismes de transmission peuvent changer la vitesse ou le sens de mouvement mais ne le modifient pas. Par exemple, sur un vélo, le mouvement de rotation des pédales est transmis à la chaîne qui entraîne la roue arrière.

Lorsqu'un mécanisme transforme la nature du mouvement entre le point d'entrée et le point de sortie, on parle de mécanisme de transformation du mouvement.

Par exemple, une bielle-manivelle transforme un mouvement de translation en un mouvement de rotation. [1]

II.3. Système de transmission

Il y a plusieurs des mécanismes pour transmettre le mouvement et dans notre système de pompage éolienne d'eau nous avons utilisé un système pour transformer le mouvement de rotation de l'éolienne en mouvement de translation utilisable par la pompe.

II.4. Fonction de Système de transmission

L'arbre de sortie (l'arbre mené) est monté sur deux roulements pour faire tourner le système de transmission, Le pignon est fixé sur l'axe de l'éolienne (l'arbre menant) entraîne une roue dentée plus grande, ce qui articulé le système bielle manivelle qui permet la tige de la pompe de transférer le mouvement à la pompe.

Ce système de transmission se résumé dans le soi-disant un réducteur.

II.5. Définition d'un réducteur

Un réducteur est destiné à transformer une puissance à grande vitesse de rotation ω_m en une puissance à faible vitesse de rotation ω_r .

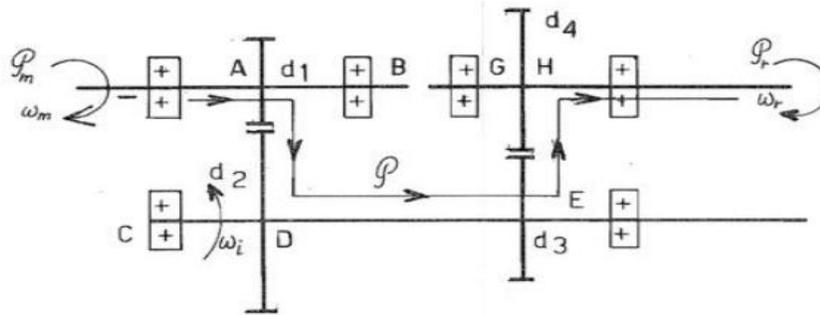


Figure II. 1 : Réducteur à engrenages à deux étages.

Le réducteur à engrenages de la figure (II.1) possède deux étages de réduction.

Le rendement des engrenages est élevé (pertes de l'ordre du pourcent), ce qui permet de négliger les pertes en première approximation.

On a donc immédiatement :

$$M_{tm} = \frac{P}{\omega_m} \quad \text{et} \quad M_{tr} = \frac{P}{\omega_r} \quad (\text{II.1})$$

C'est-à-dire que le couple récepteur est beaucoup plus important que le couple moteur. Remarquons que cela signifie que ces deux couples ne sont pas en équilibre et que. [2]

II.6. Constitution d'un réducteur

Le réducteur dans notre cas se compose principalement de :

- Engrenage à denture droit ;
- Des roulements ;
- Système bielle-manivelle ;
- Axes / Arbres.

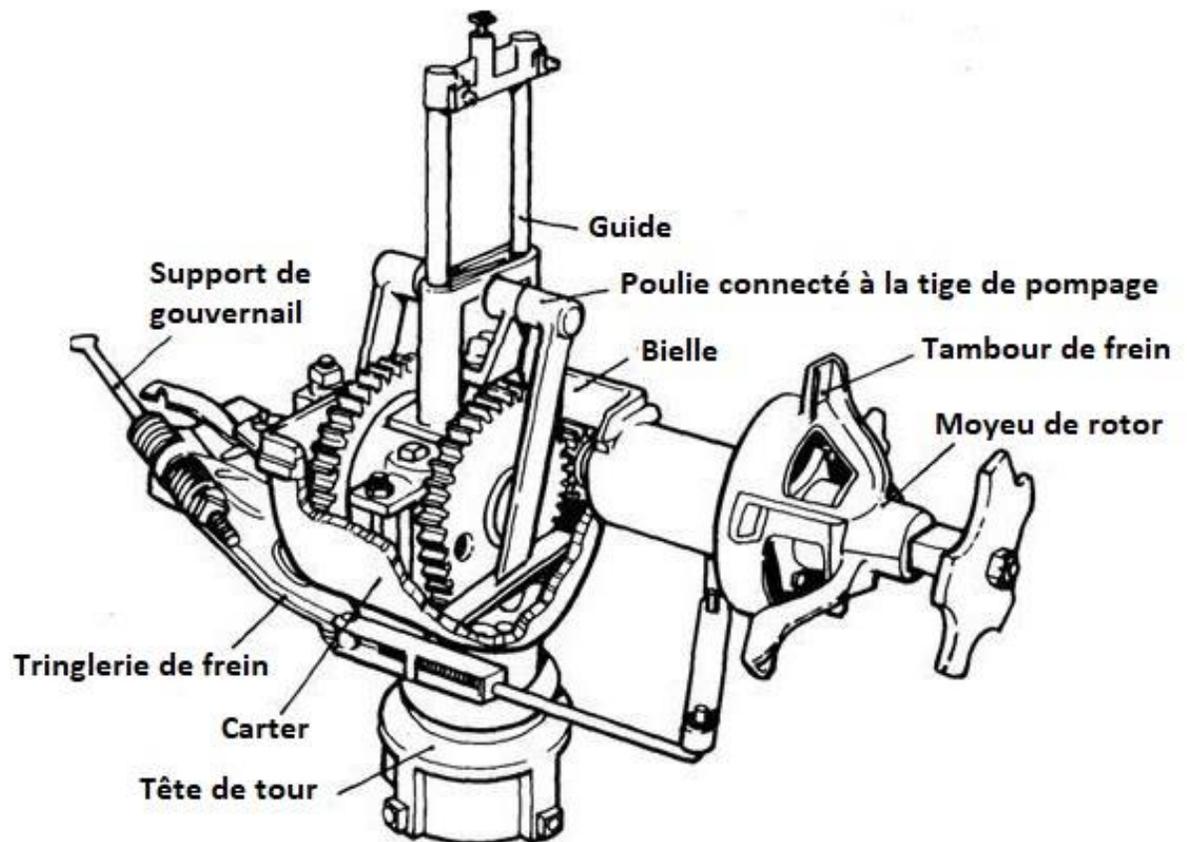


Figure II. 2 : Réducteur d'un système de pompage.

II.6.1. Les engrenages

Un engrenage est un mécanisme élémentaire constitué de deux roues d'engrenage mobiles autour d'axes de position relative invariable et dont l'une entraîne l'autre. [3]

La roue qui a le plus petit nombre de dents est appelée pignon.

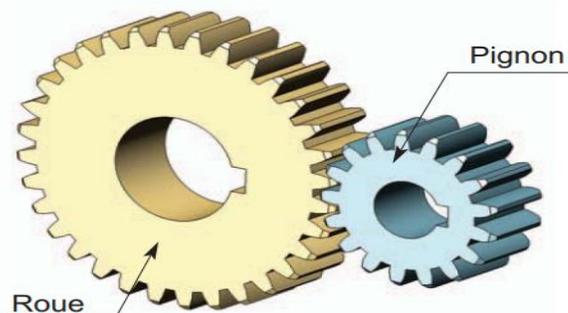


Figure II. 3 : Constitution d'un engrenage. [4]

II.6.1.1. Types des engrenages

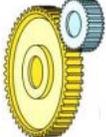
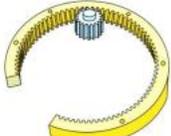
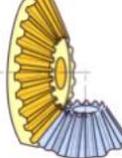
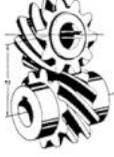
ENGRENAGES A AXES PARALLELES	ENGRENAGES A AXES CONOURANTS (OU ENGRENAGES CONIQUES)	ENGRENAGES A AXES QUELCONQUES (OU ENGRENAGES GAUCHES)
 <p>à denture Droite externe</p>  <p>à denture droite interne</p>  <p>à denture hélicoïdale</p>  <p>à denture en chevron</p>  <p>Roue-crémaillaire</p>	 <p>à denture droite</p>  <p>à denture inclinée</p>  <p>à denture spirale</p>  <p>à denture hypoïde</p>	 <p>à roue et vis sans fin</p>  <p>à denture hélicoïdale</p>

Figure II. 4 : Types d’engrenages. [5]

II.6.1.1.1. Les engrenages à axes parallèles à denture droit externe

Les engrenages à axes parallèles à denture droit externe sont utilisés pour transmettre le mouvement entre 2 arbres à axes parallèles ; et ses roues et dents sont parallèles à l’axe de rotation des arbres, et le profil de la dent étant en général en développante de cercle.

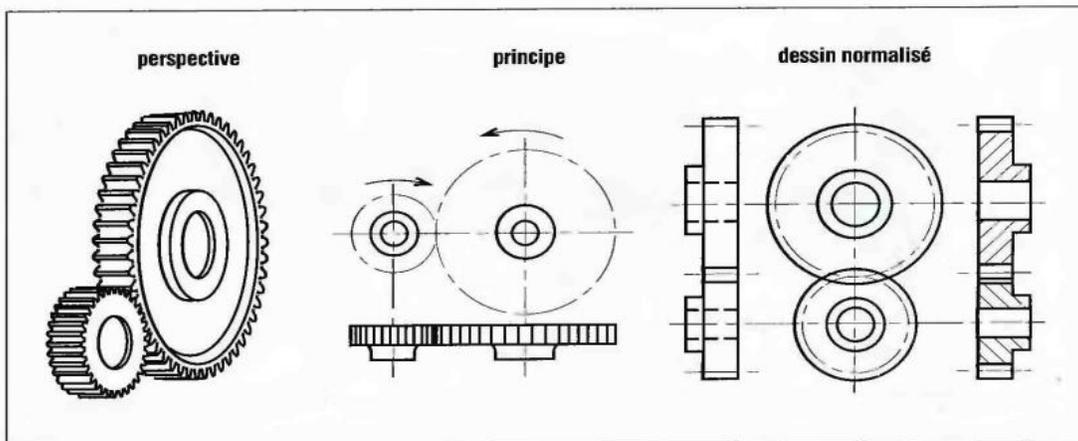


Figure II. 5 : engrenage à axes parallèles à denture droit externe. [6]

II.6.1.1.2. Caractéristiques géométriques d'une roue à axes parallèles à denture droit externe

Modules normalisée (mm) :

Tableau II. 1 : Série principale des modules normalisée des roues. [5]

Série principale		
0.5	1.25	3
0.6	1.5	4
0.8	2	5
1	2.5	6

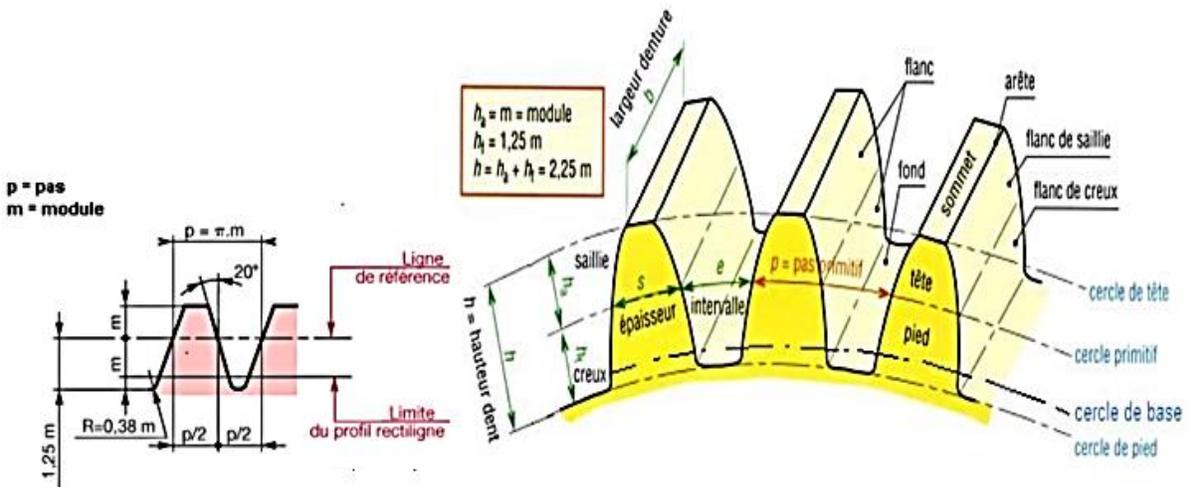


Figure II. 6 : Caractéristiques géométriques d'une roue.

Tableau II. 2 : Caractéristiques géométriques d'une roue. [5]

Désignation	Symbole	Proportion
Nombre de dents	Z	13 mini
Module	m	RDM
Diamètre primitif	d ou d_p	$d = m.z$
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2.m$

Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2.5m$
Diamètre de base	d_b	$d_b = d \cos \alpha$
Pas primitif	p	$P = \pi \cdot m$
Largeur de denture	b	$b=k.m$
Hauteur de denture	h	$h= 2.25m$
Hauteur de saillie	h_a	$h_a = m$
Hauteur creux	h_f	$h_f = 1.25m$

II.6.2. Les roulements

Les roulements sont pour réduire la perte de l'énergie de frottement et assurer la translation de puissance. [7]

II.6.2.1. Compositions d'un roulement

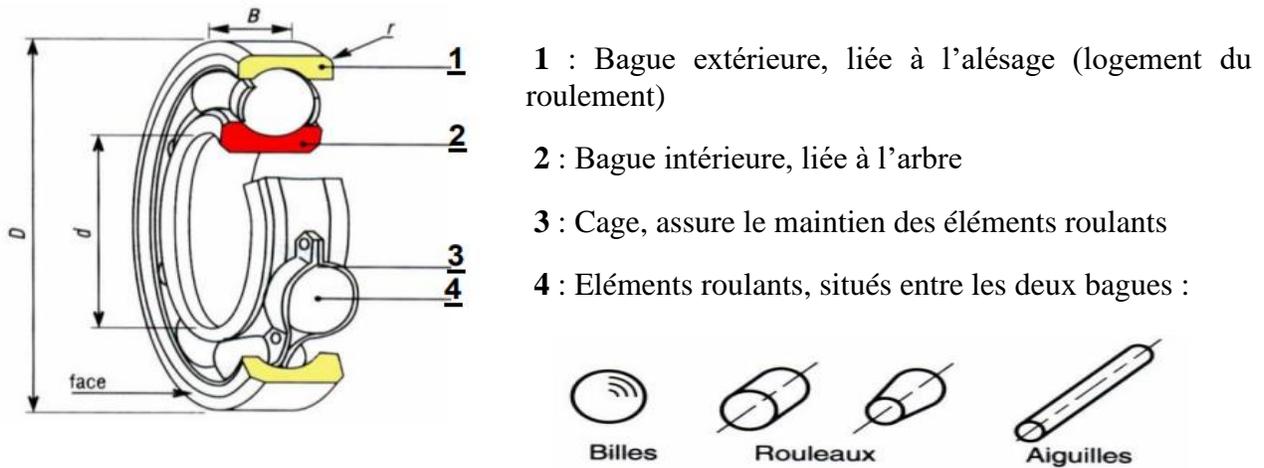
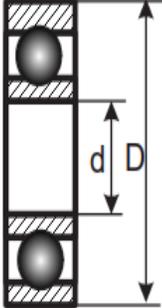
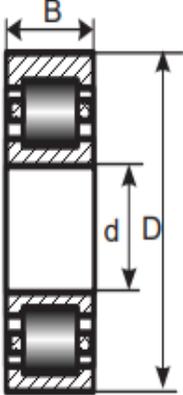
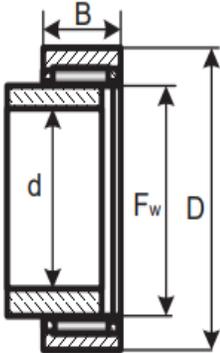
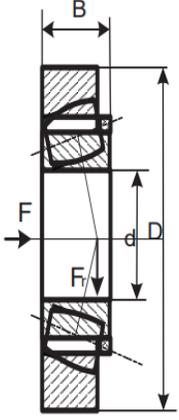


Figure II. 7 : Composition d'un roulement. [8]

II.6.2.2. Types des roulements

Tableau II. 3 : Types des roulements. [7]

Types des roulements	Caractéristiques	Figures
<p>1/ Roulement à bille</p>	<p>1/ Il en existe à une et à deux rangées de billes. Ce sont les roulements les plus utilisés, car en termes de prix, ils ont le meilleur rapport performance.</p> <p>2/ Il peut supporter des charges radiales et des charges axiales.</p> <p>3/ La profondeur des chemins de roulements permet une bonne rigidité.</p>	
<p>2/ Roulements à rouleaux</p>	<p>1/ Le roulement à rouleaux est conçu pour supporter des charges radiales importantes. La surface de contact étant plus importante que pour les billes, il permet donc de supporter de plus fortes charges. Il permet aussi des vitesses de rotation élevées.</p> <p>2/ Le support des charges axiales dépend par contre de la fabrication du roulement. Plus le support doit être important, plus il faut faire un chemin de roulement profond afin que les bagues prennent appui sur les rouleaux.</p>	
<p>3/ Roulements à aiguilles</p>	<p>1/ Les roulements à aiguilles sont assez particuliers. Ils ont une forme très allongée.</p> <p>2/ Ils permettent de supporter de fortes charges radiales dans un encombrement très réduit.</p> <p>3/ Ils n'acceptent aucune charge axiale.</p>	

<p>4/ Roulements à rouleaux coniques</p>	<p>1/ Le roulement à rouleaux coniques est un roulement à contact angulaire.</p> <p>2/ Il peut supporter les charges radiales importantes.</p> <p>Pour la charge axiale il dépend de son angle de contact.</p> <p>Plus l'angle sera grand, plus les charges axiales supportables seront grandes.</p>	 <p>The diagram shows a cross-section of a tapered roller bearing. It is labeled with dimensions: B for the width, d for the inner diameter, and D for the outer diameter. Forces are indicated: F for the axial load and F_r for the radial load.</p>
-------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

II.6.3. Système Bielle-manivelle

Le système bielle-manivelle est un modèle de mécanisme qui doit son nom aux deux pièces qui le caractérisent. C'est, avant tout, un système mécanique de transformation de mouvement ; il est constitué de 4 pièces principales :

- La bielle.
- La manivelle appelée aussi vilebrequin.
- L'oscillateur (piston pour les systèmes volumétriques).
- Le bâti.

La manivelle et l'oscillateur (piston) constituent les deux pièces d'entrée et sortie du mécanisme. La transformation de mouvement concerne donc ces éléments. La manivelle (motrice ou réceptrice) est supposée tourner continuellement dans le même sens autour de son axe, alors que l'oscillateur est animé d'un mouvement de translation alternatif. [9]

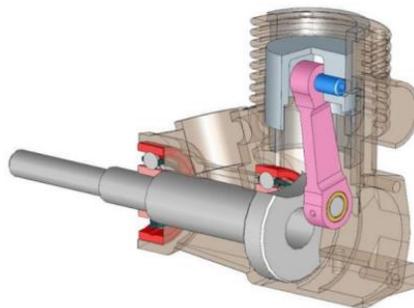


Figure II. 8 : système bielle-manivelle.

II.6.3.1. Bielle-manivelle d'un système de pompage

Nous proposons d'étudier les caractéristiques qui vont en résulter sur le fonctionnement de la pompe. Soit (Figure II -9) le système bielle manivelle BMO entraînant le piston de la pompe.

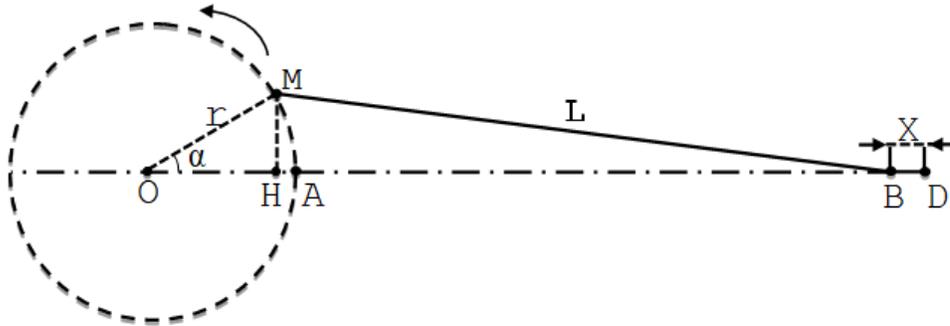


Figure II. 9 : système bielle-manivelle.

Etude cinématique de la pompe à simple effet :

Posons : $BM = L$ et $MO = r$

Prenons l'origine des temps en \hat{A} et soit

$$AOM = \alpha = \omega \cdot t = (2\pi r/60)t \quad (\text{II.2})$$

N = nombre de tours en (tr/min) supposée constant.

A l'origine des temps, le système bielle - manivelle est en OAD

Posons : $x = DB$

Si S est la surface du piston et si nous suppose qu'on a affaire à une pompe à simple effet, le volume refoulé sera Sx .

Or $X = OA + AD - (OH + HB)$

$$X = r + L - r \cos \omega t - \sqrt{(L^2 - r^2 \sin^2 \alpha)} \quad (\text{II.3})$$

Le débit instantané q sera égal à $S dx/dt$

Soit :

$$q = \frac{2\pi N}{60} \cdot S \cdot r \cdot \left(\sin \omega \cdot t + \frac{\frac{r}{L} \cdot \sin \omega \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{L^2} \sin^2 \omega \cdot t}} \right) \quad (\text{II.4})$$

Comme r/L est toujours petit, nous pouvons sans grande erreur négliger son carré devant 1 et nous arrivons à la relation plus simple et très approchée.

$$q = \frac{2\pi N}{60} \cdot r \cdot S \left[\sin \omega \cdot t + \frac{r}{2L} \sin 2\omega \cdot t \right] \quad (\text{II.5})$$

Nous obtenons ainsi la courbe (Figure II -10) dont les ordonnées positives représentent le débit aspiré pendant le premier demi-tour et compté négativement le débit refoulé durant le deuxième demi-tour.

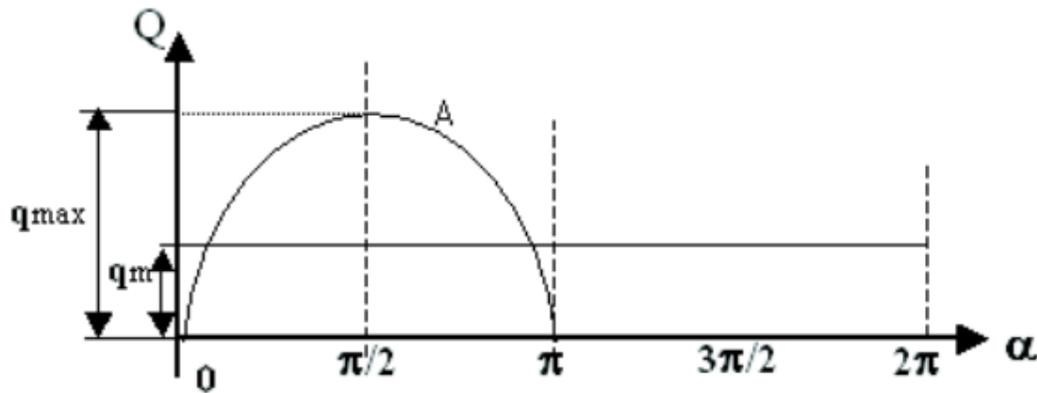


Figure II. 10 : Débit instantané d'une pompe à simple effet.

Comme le volume engendré par tour est $2rs$, le débit moyen sera, pour $N/60$ tours par seconds :

$$q_m = \frac{2 \cdot N}{60} \cdot S \cdot r \quad (\text{II.6})$$

Et la variation maximale relative du débit sera :

$$\frac{q_{\max} - q_{\min}}{q_m} = \pi = 314\% \quad (\text{II.7})$$

II.6.4. Axes et arbres

L'axe sert à supporter les pièces mécaniques. Quand l'axe est installé de pièces de transmission de puissance, nous l'appelons aussi un arbre. [3]

Dans notre cas le réducteur se compose de deux arbres : un arbre menant et un arbre mené (comme le montrent les deux figures ci-dessous).

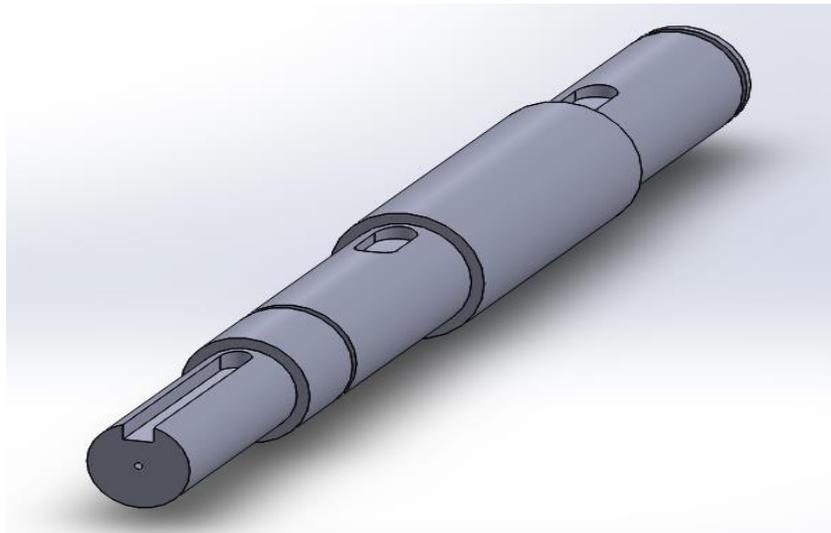


Figure II. 11 : Schéma représente l'arbre menant (l'arbre d'entrée).

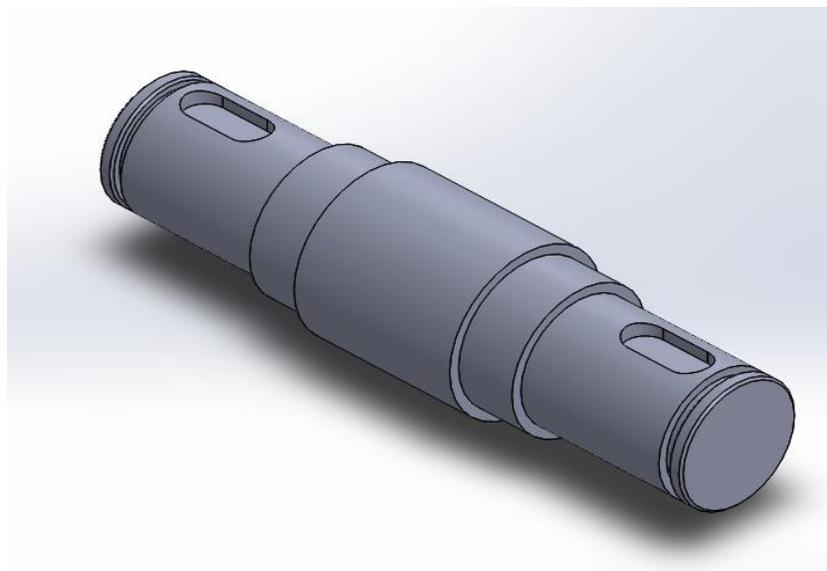


Figure II. 12 : Schéma représente l'arbre mené (l'arbre de sortie).

II.7. Conclusion

Comme nous l'avons vu dans ce chapitre, les réducteurs sont des dispositifs mécaniques qui délivrent une puissance obtenue à partir de l'arbre d'entrée d'une source d'énergie dans notre cas "une éolienne". L'objectif principal d'une boîte de vitesses est qu'elle est utilisée dans des applications qui nécessitent des changements fréquents de vitesse/couple au niveau de l'arbre de sortie. Sa partie la plus importante est la boîte de vitesses qui fonctionne sur le principe de l'engrènement des dents, ce qui entraîne la transmission du mouvement et de la puissance de la source d'entrée à la sortie à mesure que la vitesse de l'arbre augmente, le couple transmis diminue et vice versa comme dans un pompage éolien qui fonctionne à basse vitesse ce qui fait diminuer la vitesse de l'arbre et cela signifie que le couple transmis augmente.

Références

- [1] La Fonderie, A fond les manivelles, La transmission du mouvement dans tous ses mécanismes- Bruxelles.
- [2] J.F. Debongnie, Conception et Calcul Des Éléments de Machines, DEB on Génie (Jean-François), à l'Université de Liège, Belgium, 2013.
- [3] mécanique générale roulements – engrenages- réducteurs, IFPM – Maintenance, éditeur responsable : Brigitte REMACLE, Bld Reyers 80, 1030-Bruxelles, Edition septembre 2015.
- [4] Salhi M & Sliti R & Naifar N & Ben Achour N & Bakini N, Manuel de cours, Sciences Techniques et Technologie, Centre National Pédagogique Tunisienne – Tunis, Naifar Ben Achour Bakini
- [5] M. Ben Jaber, Cours de Transmission par engrenages, Ecole Nationale d'ingénieurs de Tunis-Tunis, (2012-2013).
- [6] Jean Louis Fanchon, Guide des Sciences et Technologies Industrielle, AFNOR, Tour Europe, Cedex7, 92049 Paris- La Défense.
- [7] Qian Y & Xiong Z & Picard D, Formulaire de mécanique Pièces de constructions, Youde Xiong, Editions Eyrolles 61, bld Saint-Germain 75240 Paris Cedex 05, 2007.
- [8] Janati Idrissi Khalid, Polycopié de Technologie de Construction Mécanique, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah- Maroc.
- [9] Système bielle manivelle Transformation de mouvement, Sciences de L'Ingénieur, Fiche synthèse FS.09.
- [10] Guendouzen Omar, Conception et Réalisation d'un dispositif de pompage entraîné par une éolienne à des fins agronomiques, Thèse En vue de l'obtention du diplôme de magistère en science agronomiques, Spécialité : Machinisme agricole, Institut National Agronomique El-Harrach Alger, 2007.

Chapitre III

Calcul du système de transmission

III.1. Calcul énergétique

La puissance de l'éolienne = l'énergie cinétique par unité de temps

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} V^2 \quad (\text{III.1})$$

Ou \dot{m} est débit massique du vent $\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho AV$

Donc :

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (\text{III.2})$$

Pour calculer la puissance en watts du vent soufflant à une vitesse moyenne de 3,5 m/s, nous utilisons l'équation (III.3).

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho AV_m^3 \quad (\text{III.3})$$

- Diamètre de l'éolienne $D = 2R = 2\text{m}$
- Vitesse moyenne du vent $V_m = 3.5 \text{ m/s}$
- Masse volumique de l'air $\rho = 1,097 \text{ Kg/m}^3$

Donc $P_0 = 73,88 \text{ W}$

Le coefficient de puissance C_p est le rapport entre la puissance mécanique et la puissance éolienne est donné par la figure III.1

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho AV_m^3} \quad (\text{III.4})$$

- La puissance mécanique est $P = C_p \cdot P_0$

Pour $\lambda = 2 \Rightarrow C_p = 0,25$ (voir la figue ci-dessous)

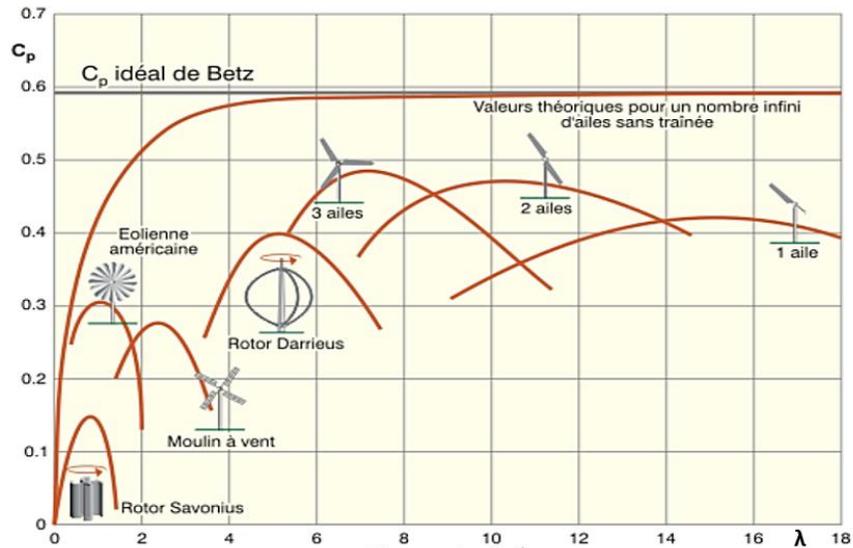


Figure III. 1 : Graphique du coefficient de puissance (C_p) par rapport au Vitesse spécifique (λ) pour différentes conceptions d'éoliennes et d'éoliennes.[1]

$$P_0 = 73,88 \text{ w} \Rightarrow P = 0,25 \cdot P_0 = 18,47 \text{ w}$$

Le rapport λ de la vitesse de l'extrémité d'une pale du rotor d'éolienne à la vitesse V_m du vent est donné par l'équation III.5

$$\lambda = \frac{\omega_1 R}{V_m} \tag{III.5}$$

$$\lambda = 2 \text{ (Voir figure III.1)} \Rightarrow \lambda = 2 \text{ pour } C_p = 0.25$$

$$\lambda = \frac{\omega_1 R}{V_m} = 2 \Rightarrow \omega_1 = 2 \frac{V_m}{R} = \frac{7}{1} = 7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

III.2. Calcul du réducteur

III.2.1. Calcul du couple sorti

- La vitesse de rotation à l'entrée du réducteur :

$$N_1 = \frac{30 \cdot \omega_1}{\pi} = \frac{30 \cdot 7}{\pi} = 67 \text{tr/min}$$

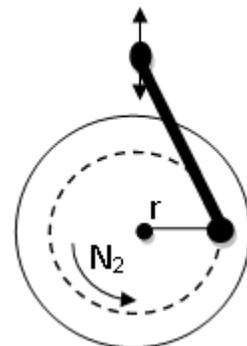


Figure III. 2 : schéma bielle manivelle

- Le débit moyen d'eau est :

$$Q_v = \frac{S.r.N_2}{30} \Leftrightarrow N_2 = \frac{30 Q_v}{S.r} \quad \text{(III.6)}$$

S : section du piston

$$S = \frac{\pi d_p^2}{4} \quad \text{(III.7)}$$

d_p : diamètre du piston $d_p = 50$ mm

r : rayon du maneton

On prend $r = 80$ mm

- N_2 : Vitesse de rotation à la sortie du réducteur
- Dans le cas des éoliennes lentes on a choisi le débit $Q_v = 0,5$ l/s

$$Q_v = 0,5 \text{ dm}^3/\text{s} = 5.10^5 \text{ mm}^3/\text{s}$$

- Calcul de N_2

$$N_2 = \frac{30 Q_v}{S.r} = 23,87 \text{ tr/min}$$

- Le rapport de transmission du réducteur

$$U = \frac{N_2}{N_1} \quad \text{(III.8)}$$

$$U = \frac{23,87}{67} \approx 0,36$$

- Calcul des couples d'entrée et de sortie du réducteur

A l'entrée :

$$C_1 = \frac{P}{\omega_1} \quad \text{(III.9)}$$

- $C_1 = \frac{18,47}{7} = 2,64$ N.m

On a :

$$C_1 \omega_1 = C_2 \omega_2 \Leftrightarrow C_2 = \frac{C_1}{\frac{\omega_2}{\omega_1}} = \frac{C_1}{U} \quad \text{(III.10)}$$

- Le couple a la sortie $C_2 = \frac{2,64}{0,36} = 7,32$ N.m

III.2.2. Calcul de l'entraxe a_w

L'entraxe est la distance entre l'axe de l'arbre d'entrée et l'axe de l'arbre de sortie. [1]

$$a_w = 0,85 (U + 1) \sqrt[3]{\frac{C_2 \cdot K_{HB} \cdot E_{eq}}{[\sigma_H]^2 \cdot U^2 \cdot \psi_{ba}}} \quad (\text{III.11})$$

E_{eq} : module de Young équivalent

$$E_{eq} = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \quad (\text{III.12})$$

Pour deux roues en aciers $E_{eq} = E_1 = E_2 = 2,1 \cdot 10^5$

$[\sigma_H]$: Contrainte de contact

ψ_{ba} : Facteur de largeur de la face d'engrenage

Du tableau III.6 (Annexe) on prend $\psi_{ba} = 0,315$

Pour calculer K_{HB} on doit calculer ψ_{bd} [1]

$$\psi_{bd} = 0,5 \psi_{ba} (U + 1) \quad (\text{III.13})$$

$$\psi_{bd} = 0,5 * 0,315 (0,36 + 1) = 0,214$$

- Du tableau III. 7(Annexe) et par interpolation on calcul K_{HB}

$$\frac{K_{HB} - 1,01}{0,214 - 0,2} = \frac{0,01}{0,2} \Rightarrow K_{HB} = 1,0107$$

- Calcule de $[\sigma_{H \text{ lim}}]$ et $[\sigma_{b \text{ lim}}]$ voir Tableau III.7 (Annexe) traitement thermique et dureté

- Pour la roue

Matériaux 40Cr-Ni qui a subi une trempe et une normalisation on a :

La contrainte limite de contact est :

$$\sigma_{H \text{ lim}} = 2H_m + 70 \quad (\text{III.14})$$

La dureté moyenne est :

$$H_m = \frac{180 + 350}{2} = 265 \text{ MPa}$$

$$H_m = 265 \text{ MPa} \quad ; \quad \sigma_{H \text{ lim}} = 600 \text{ MPa}$$

La contrainte limite de flexion est :

$$\sigma_{b \text{ lim}} = 1,8H_m = 1,8 * 265 = 477 \text{ MPa}$$

- Pour le Pignon

Matériaux 40Cr2-Ni qui a subi un durcissement de surface on a :

$$H_m = \frac{40 + 58}{2} = 49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{H \text{ lim}} = 17 \cdot H_m + 200 = 1033 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b \text{ lim}} = 650 \text{ MPa}$$

- Calcul du nombre de cycles équivalent de la roue et du pignon

$$\text{Nombre de cycle de base} \begin{cases} \text{pignon: } N_{H01} = 143 \cdot 10^6 \text{ cycles} \\ \text{roue: } N_{H02} = 25 \cdot 10^6 \text{ cycles} \end{cases}$$

Nombre de cycle équivalent :

$$t = 5000 \text{ h}, \quad K_{HE} = 1, \quad N_1 = 67 \text{ tr/min}, \quad N_2 = 23,87 \text{ tr/min},$$

$$\begin{cases} N_{HE1} = 60 \cdot N_1 \cdot t = 20,1 \cdot 10^6 \text{ cycles} \\ N_{HE2} = 60 \cdot N_2 \cdot t \cdot K_{HE} = 7,162 \cdot 10^6 \text{ cycles} \end{cases} \quad \text{(III.15)}$$

$$\begin{cases} K_{HL1} = \sqrt[6]{\frac{N_{HE1}}{N_{H01}}} \approx 0,72 \\ K_{HL2} = \sqrt[6]{\frac{N_{HE2}}{N_{H02}}} \approx 0,81 \end{cases} \quad \text{(III.16)}$$

Facteur de sécurité S_H :

$$S_{H1} = 1,2, \quad S_{H2} = 1,1$$

Contraintes de contact $[\sigma_H]$ [1]

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{H \text{ lim}} \cdot K_{HL}}{S_H} \quad \text{(III.17)}$$

$$[\sigma_{H1}] = \frac{\sigma_{H \text{ lim}1} \cdot K_{HL1}}{S_{H1}} = \frac{1033 \cdot 0,72}{1,2} = 619,8 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{H2}] = \frac{\sigma_{H \text{ lim}2} \cdot K_{HL2}}{S_{H2}} = \frac{600 \cdot 0,81}{1,1} = 441,81 \text{ MPa}$$

Donc :

$$[\sigma_H] = \frac{[\sigma_{H1}] + [\sigma_{H2}]}{2} = \frac{619,8 + 441,81}{2}$$

$$[\sigma_H] = 530,8 \text{ MPa}$$

- Calcul de l'entraxe

$$a_w = 0,85 * (0,36 + 1) \sqrt[3]{\frac{7,32 * 10^3 * 1,01 * 2,1 * 10^5}{530,8^2 * 0,36 * 0,315}} = 128,3 \text{ mm}$$

On choisit du tableau III.8 (Annexe) : $a_w = 180 \text{ mm}$

III.2.3. Calcul du module des roues dentées [1]

$$a_w = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{m(u \cdot Z_2 + Z_2)}{2} = \frac{m \cdot Z_2(U + 1)}{2} = \frac{d_2(U + 1)}{2}$$

$$\text{Donc :} \quad d_2 = \frac{2a_w}{U+1} = 264,7 \text{ mm} \quad \text{(III.18)}$$

$$m \geq \frac{2K_m \cdot c_2}{d_2 \cdot b_2 \cdot [\sigma_b]} \quad \text{(III.19)}$$

On a : $K_m = 6,8$ et $b_2 = K_m \cdot m$

$$\text{Donc :} \quad m \geq \sqrt{\frac{2c_2}{d_2 \cdot [\sigma_b]}} \quad \text{(III.20)}$$

- Nombre de cycles de base pour la flexion

$$N_{b01} = N_{b02} = 4 * 10^6, \quad K_{bE} = 1, \quad N_1 = 67 \text{ tr/min}, \quad N_2 = 23,87 \text{ tr/min},$$

- Nombre de cycles équivalent pour la flexion

$$\begin{cases} N_{bE1} = 60 \cdot N_1 \cdot t \cdot K_{bE} = 20,1 * 10^6 \\ N_{bE2} = 60 \cdot N_2 \cdot t \cdot K_{bE} = 7,12 * 10^6 \end{cases} \quad \text{(III.21)}$$

- Les contraintes de flexion :

$$\begin{cases} [\sigma_{b1}] = \frac{\sigma_b \text{ lim1} \cdot K_{bl1}}{S_b} = 371,43 \text{ MPa} \\ [\sigma_{b2}] = \frac{\sigma_b \text{ lim2} \cdot K_{bl2}}{S_b} = 272,57 \text{ MPa} \end{cases} \quad \text{(III.22)}$$

On prend : $\sigma_b = \min([\sigma_{b1}], [\sigma_{b2}]) = 272,57 \text{ MPa}$

$$m \geq \sqrt{\frac{2 * 7,32 * 10^3}{264,7 * 272,57}} = 0,45$$

Pour plus de sécurité on prend de la série du tableau III.9 (Annexe) : $m = 3$

III.2.4. Calcul des nombres de dents des roues dentées.

$$Z_1 + Z_2 = \frac{2a_w}{m} = \frac{2 * 180}{3} = 120$$

$$U = \frac{Z_1}{Z_2} = 0,36$$

$$Z_1 = 0,36Z_2$$

$$Z_1 + Z_2 = 0,36Z_2 + Z_2 = Z_2(1 + 0,36) = 120$$

$$Z_2 = 88,23 \approx 88$$

$$Z_1 = 120 - 88 = 32$$

$$Z_1 = 32, Z_2 = 88$$

III.2.5. Caractéristiques géométriques des roues dentées ($\alpha = 20^\circ$)

Les tableaux III.1 et tableaux III.2 et résument les formules de calculs et les dimensions des roues dentées du réducteur. [2]

Tableau III. 1 : Caractéristique d'une roue à denture droite normale.

Module	m	Déterminé par un calcul de résistance des matériaux		3
Nombre de dents	Z	Déterminé à partir du rapport des vitesses angulaire : $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$		$Z_1 = 88$
Pas	p	$p = m \cdot \pi$	$p = 3 \cdot \pi$	9,42
Saillie	h_a	$h_a = m$	$h_a = 3$	3
Creux	h_f	$h_f = 1,25m$	$h_f = 1,25 * 3$	3,75
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2,25m$	$h = 2,25 * 3$	6,75
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z$	$d = 3 * 88$	264
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m$	$d_a = 264 + 2 * 3$	270
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m$	$d_f = 264 - 2.5 * 3$	256,5

Largeur de denture	b	$b = k \cdot m$ (k valeur à se fixer, fréquemment on choisit entre 6 et 10)	$b_1 = 6,8 * 3$	20,4
Entraxe des deux roues	a_w	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m \cdot z_1}{2} + \frac{m \cdot z_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	$a_w = \frac{3(88 + 32)}{2}$	180

Tableau III. 2: Caractéristique d'un pignon à denture droite normale.[2]

Module	m	Détermine par un calcul de résistance des matériaux		3
Nombre de dents	Z	Déterminé à partir des rapports des vitesses angulaires : $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$		$Z_2 = 32$
Pas	p	$p = m \cdot \pi$	$p = 3 \cdot \pi$	9,42
Saillie	h_a	$h_a = m$	$h_a = 3$	3
Creux	h_f	$h_f = 1,25m$	$h_f = 1,25 * 3$	3,75
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2,25m$	$h = 2,25 * 3$	6,75
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot z$	$d = 3 * 32$	96
Diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m$	$d_a = 96 + 2 * 3$	102
Diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2,5m$	$d_f = 96 - 2,5 * 3$	88,5
Largeur de denture	b	$b = k \cdot m$ (k valeur à se fixer, fréquemment on choisit entre 6 et 10)	$b_1 = 6,8 * 3$	20,4
Entraxe des deux roues	a	$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m \cdot z_1}{2} + \frac{m \cdot z_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	$a = \frac{3(88 + 32)}{2}$	180

III.3. Calculs des réactions des arbres

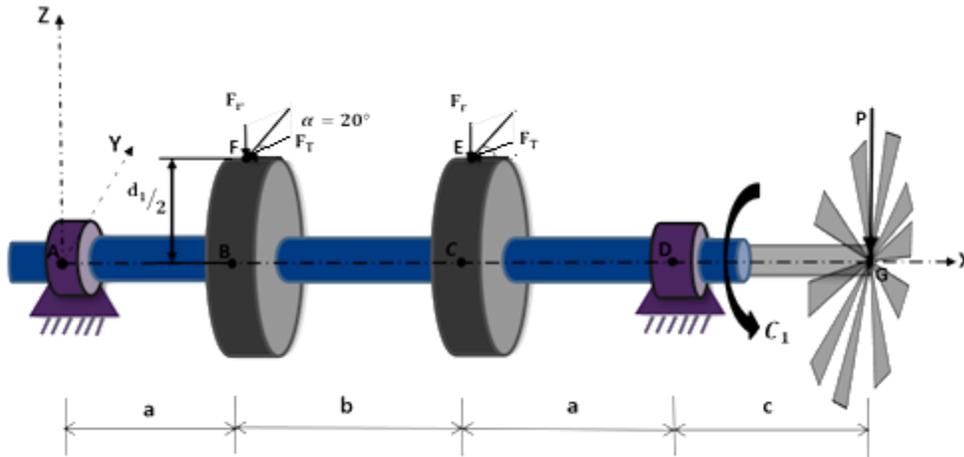


Figure III. 3 : schéma représente l'assemblage de l'arbre menant.

III.3.1. Torseurs statiques aux points A, F, E, D, et G

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \text{En A liaison rotule : } \{T_A\}_A = \begin{Bmatrix} \vec{R}_A \\ \vec{M}_A \end{Bmatrix}_A = \begin{Bmatrix} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ Z_A & 0 \end{Bmatrix}_A \\
 \text{En F action de contact entre 7 sur 4 : } \{T_F\}_F = \begin{Bmatrix} \vec{R}_F \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_F = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -F_t & 0 \\ -F_r & 0 \end{Bmatrix}_F \\
 \text{En E action de contact entre 3 sur 6 : } \{T_E\}_E = \begin{Bmatrix} \vec{R}_E \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_E = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ -F_t & 0 \\ -F_r & 0 \end{Bmatrix}_E \\
 \text{En D liaison linéaire annulaire : } \{T_D\}_D = \begin{Bmatrix} \vec{R}_D \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_D = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_D & 0 \\ Z_D & 0 \end{Bmatrix}_D \\
 \text{En G action du couple et poids de la roue éolienne } \{T_G\}_G = \begin{Bmatrix} \vec{R}_G \\ \vec{M}_G \end{Bmatrix}_G = \begin{Bmatrix} 0 & C_1 \\ 0 & 0 \\ -P & 0 \end{Bmatrix}_G
 \end{array} \right. \quad \text{(III. 23)}$$

- Transfert des torseurs au point A

$$\{T_F\}_F = \begin{Bmatrix} \vec{R}_F \\ \vec{0} \end{Bmatrix}_F \rightarrow \{T_F\}_A = \begin{Bmatrix} \vec{R}_F \\ \vec{M}_A = \vec{AF} \wedge \vec{R}_F \end{Bmatrix}_A$$

$$\vec{R}_F = -F_t \cdot \vec{y} - F_r \cdot \vec{z}$$

$$\overrightarrow{AF} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} = a.\vec{x} + \frac{d_1}{2}.\vec{z}$$

$$\begin{aligned}\overrightarrow{M_A} &= \overrightarrow{AF} \wedge \overrightarrow{R_F} = \left(a.\vec{x} + \frac{d_1}{2}.\vec{z} \right) \wedge (-F_t.\vec{y} - F_r.\vec{z}) \\ &= -a.F_t.\vec{z} + a.F_r.\vec{y} + \frac{d_1}{2}.F_t.\vec{x}\end{aligned}$$

$$\{T_F\}_A = \begin{pmatrix} 0 & F_t \cdot \frac{d_1}{2} \\ -F_t & F_r \cdot a \\ -F_r & -F_t \cdot a \end{pmatrix}_A \quad \text{(III.24)}$$

De même que le précédant on a : $\{T_E\}_E = \begin{pmatrix} \overrightarrow{R_E} \\ \vec{0} \end{pmatrix}_E \rightarrow \{T_E\}_A = \begin{pmatrix} \overrightarrow{R_E} \\ \overrightarrow{M_A} = \overrightarrow{AE} \wedge \overrightarrow{R_E} \end{pmatrix}_A$

$$\{T_E\}_A = \begin{pmatrix} 0 & F_t \cdot \frac{d_1}{2} \\ -F_t & F_r \cdot (a + b) \\ -F_r & -F_t \cdot (a + b) \end{pmatrix}_A \quad \text{(III.25)}$$

$$\{T_D\}_D = \begin{pmatrix} \overrightarrow{R_D} \\ \vec{0} \end{pmatrix}_D \rightarrow \{T_D\}_A = \begin{pmatrix} \overrightarrow{R_D} \\ \overrightarrow{M_A} = \overrightarrow{AD} \wedge \overrightarrow{R_D} \end{pmatrix}_A$$

$$\overrightarrow{AD} = (2a + b).\vec{x}$$

$$\overrightarrow{M_A} = (2a + b).\vec{x} \wedge (Y_D.\vec{y} + Z_D.\vec{z}) = -(2a + b).Z_D.\vec{y} + (2a + b).Y_D.\vec{z}$$

$$\{T_D\}_A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y_D & -(2a + b).Z_D \\ Z_D & (2a + b).Y_D \end{pmatrix}_A \quad \text{(III.26)}$$

$$\{T_G\}_G = \begin{pmatrix} \overrightarrow{R_G} \\ \overrightarrow{M_G} \end{pmatrix}_G \rightarrow \{T_G\}_A = \begin{pmatrix} \overrightarrow{R_G} \\ \overrightarrow{M_A} = \overrightarrow{M_G} + \overrightarrow{AG} \wedge \overrightarrow{R_G} \end{pmatrix}_A$$

$$\vec{R}_G = -P\vec{z}, \vec{AG} = (2a + b + c) \cdot \vec{x} = L \cdot \vec{x}, \vec{M}_G = C \cdot \vec{x}$$

$$\vec{M}_A = \vec{M}_G + \vec{AG} \wedge \vec{R}_G = C \cdot \vec{x} + L \cdot \vec{x} \wedge (-P\vec{z}) = C \cdot \vec{x} + L \cdot P \cdot \vec{y}$$

$$\{T_G\}_A = \begin{Bmatrix} \vec{R}_G \\ \vec{M}_A \end{Bmatrix}_A = \begin{Bmatrix} 0 & C_1 \\ 0 & L \cdot P \\ -P & 0 \end{Bmatrix}_A \quad \text{(III.27)}$$

III.3.2. Application du principe fondamental de la statique au point A

Pour que l'arbre soit en équilibre statique il faut que la somme des torseurs statique au point A soit nulle

$$\Sigma\{T_i\}_A = \{T_A\}_A + \{T_F\}_A + \{T_E\}_A + \{T_D\}_A + \{T_G\}_A = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{(III.28)}$$

Ce qui donne 6 équations à 7 inconnues.

En ajoutant l'équation supplémentaire reliant la force radiale à la force tangentielle : $F_r - F_t \cdot \tan(20^\circ) = 0$, on aura le système suivant :

$$[A]\{X\} = \{b\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -(2a+b) & 2a+b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2a+b & 0 & 0 & -(2a+b) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\tan(20^\circ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \\ D_y \\ D_z \\ F_r \\ F_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ P \\ -C_1 \\ -PL \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \text{(III.29)}$$

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \frac{1}{d_1} & 0 & -\frac{1}{2a+b} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{d_1} \tan 20^\circ & \frac{1}{2a+b} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} & 0 & \frac{1}{2a+b} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} \tan 20^\circ & -\frac{1}{2a+b} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} \tan 20^\circ & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \text{(III.30)}$$

Les efforts de réactions aux appuis et les efforts de contacts sont donnés par :

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \\ D_y \\ D_z \\ F_r \\ F_t \end{bmatrix} = [A]^{-1} \{b\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \frac{1}{d_1} & 0 & -\frac{1}{2a+b} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{d_1} \tan 2\theta & \frac{1}{2a+b} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} & 0 & \frac{1}{2a+b} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} \tan 2\theta & -\frac{1}{2a+b} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} \tan 2\theta & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{d_1} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ P \\ -C_1 \\ -PL \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{C_1}{d_1} \\ P - L \frac{P}{2a+b} - \frac{C_1}{d_1} \tan 2\theta \\ -\frac{C_1}{d_1} \\ L \frac{P}{2a+b} - \frac{C_1}{d_1} \tan 2\theta \\ -\frac{C_1}{d_1} \tan 2\theta \\ -\frac{C_1}{d_1} \end{bmatrix} \quad (III.31)$$

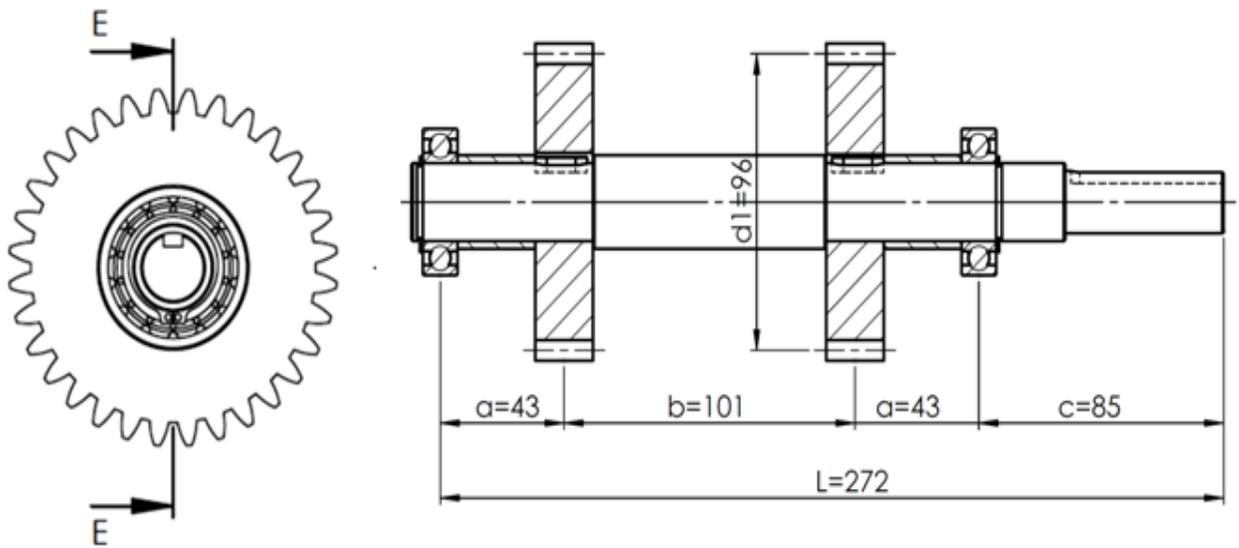


Figure III. 4 : Schéma représente les dimensions de l'arbre menant.

$a = 43 \text{ mm}$, $b = 101 \text{ mm}$, $c = 85$, $L = 272 \text{ mm}$, $d_1 = 96 \text{ mm}$

$P = Mg = 60 * 9,81 = 588,6 \text{ N}$, $C = C_1 = 2,64 \text{ N.m} = 2640 \text{ N.mm}$

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \\ D_y \\ D_z \\ F_r \\ F_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{c_1}{d_1} \\ P - L \frac{P}{2a+b} - \frac{c_1}{d_1} \tan 20^\circ \\ -\frac{c_1}{d_1} \\ L \frac{P}{2a+b} - \frac{c_1}{d_1} \tan 20^\circ \\ -\frac{c_1}{d_1} \tan 20^\circ \\ -\frac{c_1}{d_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{2640}{96} \\ 588,6 - 272 * \frac{588,6}{2*43+101} - \frac{2640}{96} \tan 20^\circ \\ -\frac{2640}{96} \\ 272 * \frac{588,6}{2(43+101)} - \frac{2640}{96} \tan 20^\circ \\ -\frac{2640}{96} \tan 20^\circ \\ -\frac{2640}{96} \end{bmatrix} \quad (\text{III.32})$$

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \\ D_y \\ D_z \\ F_r \\ F_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -27,5 \\ -277,384 \\ -27,5 \\ 845,984 \\ -10 \\ -27,5 \end{bmatrix} \quad (\text{N})$$

III.3.3. Dimensionnement du réducteur

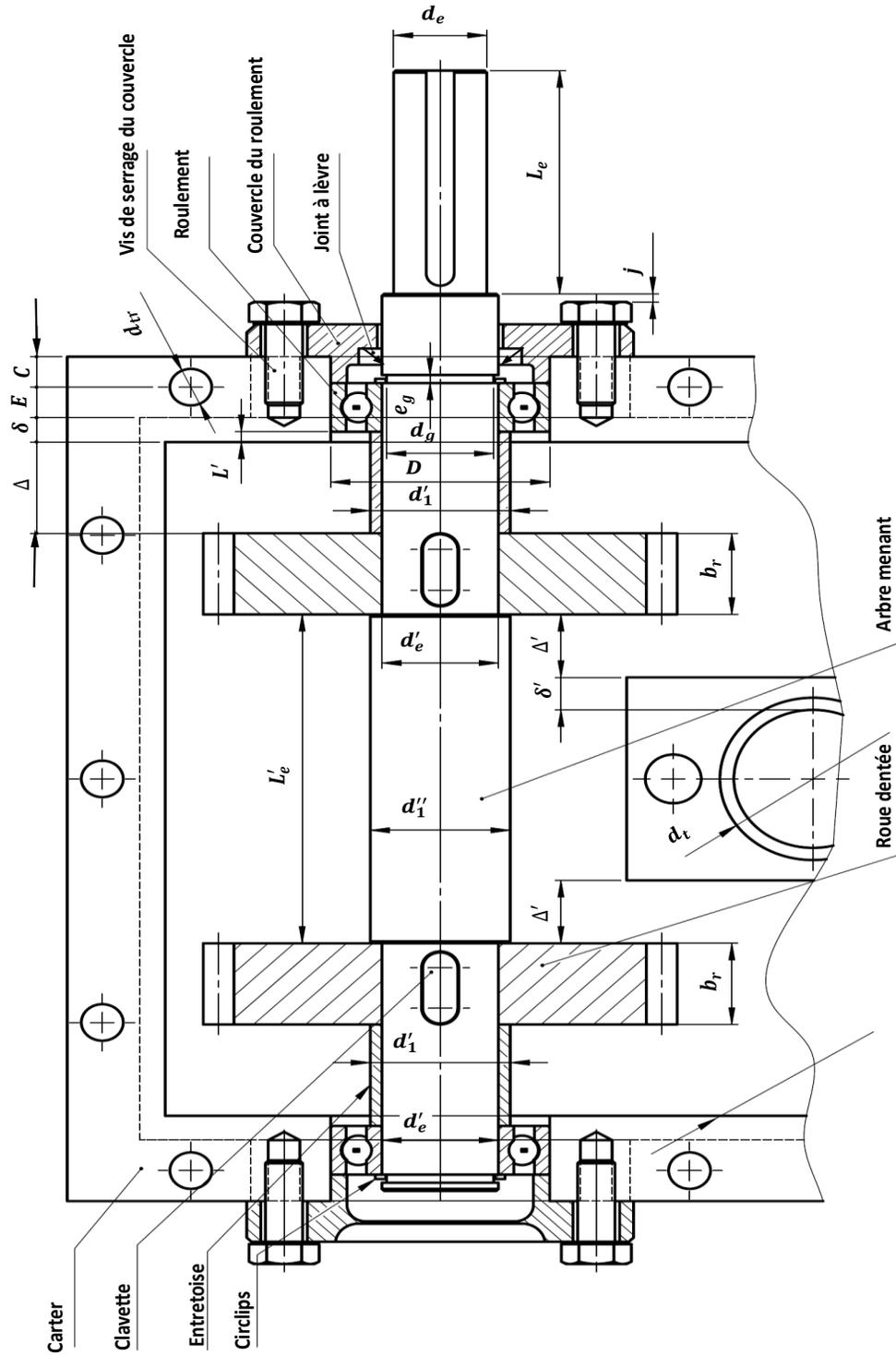


Figure III. 5 : arbre menant.

- **L'épaisseur de la paroi du carter**

Pour les réducteurs de vitesses, l'épaisseur de paroi qui répond aux exigences de la technique de moulage, la résistance et la rigidité requises du carter, est calculée par la formule :

$$\delta = 2\sqrt[4]{C_2} \geq 6 \text{ mm} \quad \text{(III.33)}$$

C_2 en N.mm

L'épaisseur δ de la paroi du carter dépend du couple max transmis (couple de sortie C_2)

Jeu Δ entre la roue et la paroi

$$\Delta \geq (1,2 \text{ à } 2,2) \cdot \delta \quad \text{(III.34)}$$

Dans notre cas : $\delta = 2\sqrt[4]{7320} = 18,49 \text{ mm}$, prenons $\delta = 8 \text{ mm}$

$$\Delta \geq 2,2 \cdot \delta = 17,6 \text{ mm}$$

On prend : $\Delta = 20,5 \text{ mm}$

- **Calcul des diamètres de l'arbre menant**

Calcul du diamètre préalable du bout d'arbre menant d_e partir de la torsion seule (Figure III-5)

$$d_e \geq \sqrt[3]{\frac{C_1}{0,2 \cdot \tau_{adm}}} \quad \text{(III.35)}$$

La contrainte admissible de torsion $\tau_{adm} = 2 \text{ daN/mm}^2$

$$d_e \geq \sqrt[3]{\frac{2640}{0,2 * 2}} = 18,75$$

On choisit le diamètre $d_e = 20 \text{ mm}$

Choix du diamètre de l'arbre d'_e , qui correspond au diamètre intérieur du joint et du roulement.

On prend souvent le diamètre $d'_e = d_e + 5 \text{ à } 12 \text{ mm}$

On prend $d'_e = d_e + 5 = 20 + 5 = 25 \text{ mm}$

On tient compte de la distance L' entre l'extrémité intérieure de la paroi du carter et le roulement.

Cette distance dépend du mode de graissage :

$L' = (5 \text{ à } 10)\text{mm}$ – Lors du graissage par barbotage.

$L' = (10 \text{ à } 15)\text{mm}$ – Lors de l'utilisation de la graisse consistante.

On utilise le graissage par barbotage.

On prend $L' = 6,5 \text{ mm}$

- Logement du roulement

Le diamètre D de logement du roulement correspond au diamètre extérieur du roulement choisi du Tableau III-10 (Annexe)

- Dimensions des vis de serrage

Le diamètre des vis de serrage est donné par la formule :

Sachant que $C_2 = 7320 \text{ N.mm}$:

$$d_b = 0,8 \cdot \sqrt[3]{40 \cdot C_2} \quad \text{(III.36)}$$

$$d_b = 0,8 * \sqrt[3]{40 * 7320} = 53,12 \geq 8 \text{ mm}$$

On choisit la vis M8, $d_b = 8 \text{ mm}$

Détermination du diamètre d_{tr} des trous des vis et les dimensions E et C voir figure III-5, figure III-6 et Tableau III-11 (Annexe)

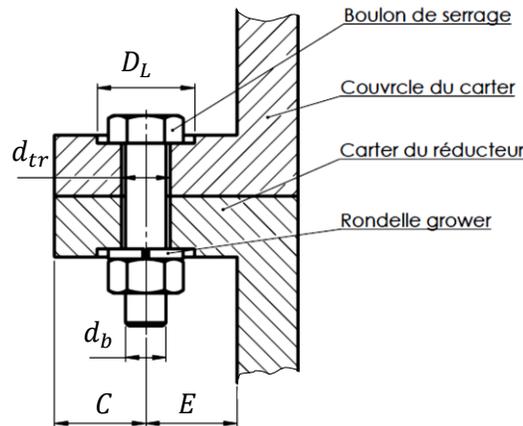


Figure III. 6: Dimensions E, C, D_L , d_{tr} .

Lors du choix du couvercle fixé par des vis et des rondelles Grower, on utilise une cale de réglage d'épaisseur $e_c = 1$ à 2 mm. Les dimensions du couvercle sont données dans le tableau III 11- et figure III -13 (Annexe)

La distance entre la tête de la vis et l'épaulement de l'accouplement est $j=5$ à 10 mm

Selon le (Tableau III -3) on détermine la longueur L_e du bout de l'arbre menant de diamètre d_e (Figure III -5)

Dans notre cas $d_e = 20$ mm donc $L_e = 55$ mm

Tableau III. 3 : Dimension L_e de l'arbre menant à l'endroit de montage de l'accouplement (Figure III -5).

$\leq d_e, \text{ mm}$	40	50	60	75
$L_e, \text{ mm}$	55	70	85	105

Détermination du diamètre d'_1 (Figure III -5 et Tableau III -4) de l'épaulement d'appuis du pignon et le diamètre extérieur d'_1 de l'entretoise (Figure III -5 et Tableau III -4)

Tableau III. 4 : Les diamètres extérieurs d'_1 des entretoises pour les roulements à contact radial (Figure III -5).

d'_e , mm	$d'_1 = d''_1$, mm	d'_e , mm	$d'_1 = d''_1$, mm
Série légère		Série moyenne	
20	26	20	27
25	31	25	32
30	36	30	37
35	42	35	44
40	47	40	48
45	52	45	54
50	57	50	60
55	64	55	65
60	70	60	72
65	74	65	77

Choix et dimensionnement des clavettes

Les dimensions des clavettes sont données dans le (Tableau III -5)

Tableau III. 5 : Dimensions des clavettes parallèles ordinaires et des rainures de clavettes

(NF EE 27-656) (Figure III -7)

d	a_c	b_c	t_c	j_c	K_c	S_{min}	r_c
17 à 22	6	6	3,5	$d - 3,5$	$d + 2,8$	0,25	0,16 à 0,25
22 à 30	8	7	4	$d - 4$	$d + 3,3$	0,25	0,16 à 0,25
30 à 38	10	8	5	$d - 5$	$d + 3,3$	0,4	0,25 à 0,4
38 à 40	12	8	5	$d - 5$	$d + 3,3$	0,4	0,25 à 0,4

44 à 50	14	9	5,5	$d - 5,5$	$d + 3,8$	0,4	0,25 à 0,4
50 à 58	16	10	6	$d - 6$	$d + 4,3$	0,4	0,25 à 0,4
58 à 65	18	11	7	$d - 7$	$d + 4,4$	0,4	0,25 à 0,4
65 à 75	20	12	7,5	$d - 7,5$	$d + 4,9$	0,6	0,4 à 0,6

La longueur L_c d'une clavette est choisie en accord avec les dimensions recommandées par les normes de la série suivante : 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90.

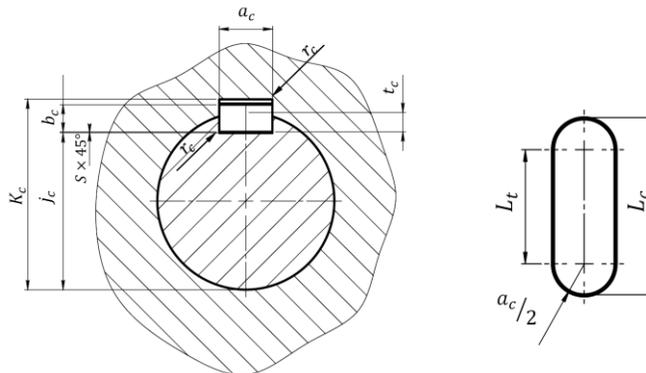


Figure III. 7 : Dimensions des clavettes parallèles ordinaires et des rainures de clavettes (NF EE 27-656).

III.3.4. Calcul de vérification d'arbre menant

Efforts dans L'engrenage

Les efforts agissant sur l'arbre menant sont donnés sur la Figure III -8 le couple C_1 est transmis aux deux engrenages.

La somme des moments de torsion donne : $\sum M_x = F_t \cdot \frac{d_1}{2} + F_t \cdot \frac{d_1}{2} - C_1 = 0$

$$D'où : F_t = \frac{C_1}{d_1} = \frac{2640}{96} = 27,5$$

$$F_r = F_t \tan \alpha = 27,5 \tan 20^\circ = 10$$

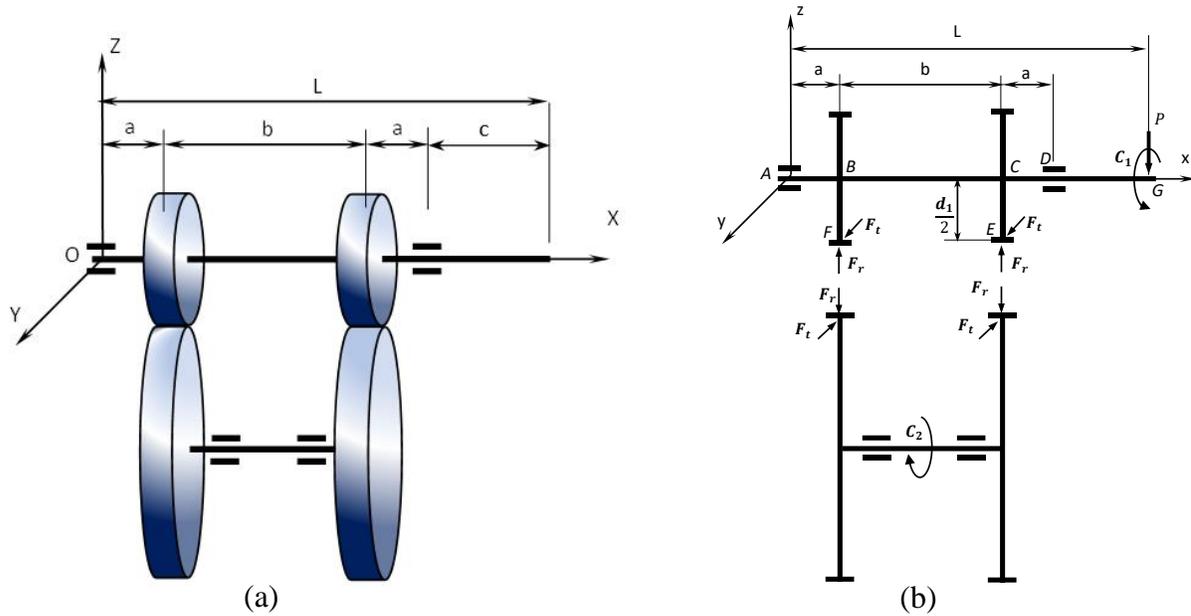


Figure III. 8 : Schéma du réducteur (a) et les efforts agissant sur les arbres (b).

Détermination des points d'applications des forces (Figure III -9, Figure III -10)

Distance entre appuis

Choisissons pour les appuis d'arbre menant des roulements à une rangée de billes à contact radial de série légère 212. Les dimensions des roulements sont données dans le (tableau III-10).

La distance entre les appuis A et D est $L_r = 2a + b = 2. \Delta + 2. b_r + L'_e + 2. L' + B$

Sachant que : $\Delta = 20,5 \text{ mm}$, $b_r = 20 \text{ mm}$, $L' = 6,5 \text{ mm}$, $B = 12 \text{ mm}$

Avec L'_e la distance entre les épaulements des pignons qui dépend du diamètre ($d_t = 34 \text{ mm}$) de la tige de pompage, de l'épaisseur ($\delta' = 8 \text{ mm}$) de la paroi de la glissière de la tige et du jeu ($\Delta' = 15,5 \text{ mm}$) entre la glissière et le pignon (voir Figure III -5)

$$L'_e = 2. \Delta' + 2. \delta' + d_t = 81 \text{ mm}$$

Donc la distance entre appuis A et D est :

$$L_r = 187$$

La distance entre pignons B et C est :

$$b = L'_e + b_r = 81 + 20 = 101 \text{ mm}$$

$$a = \frac{L_r - b}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$L = 2a + b + c = 272 \text{ mm}$$

$$c = L'_e + j + h + h_1 + e_c + L''_e + \frac{B}{2} = 55 + 2 + 5,5 + 10 + 2 + 4,5 + \frac{12}{2} = 85 \text{ mm}$$

Les efforts de contact et les réactions d'appuis déjà calculés sont :

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ Y_D \\ Z_D \\ F_r \\ F_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -27,5 \\ -277,384 \\ -27,5 \\ 845,984 \\ 10 \\ 27,5 \end{bmatrix} \text{ (N)}$$

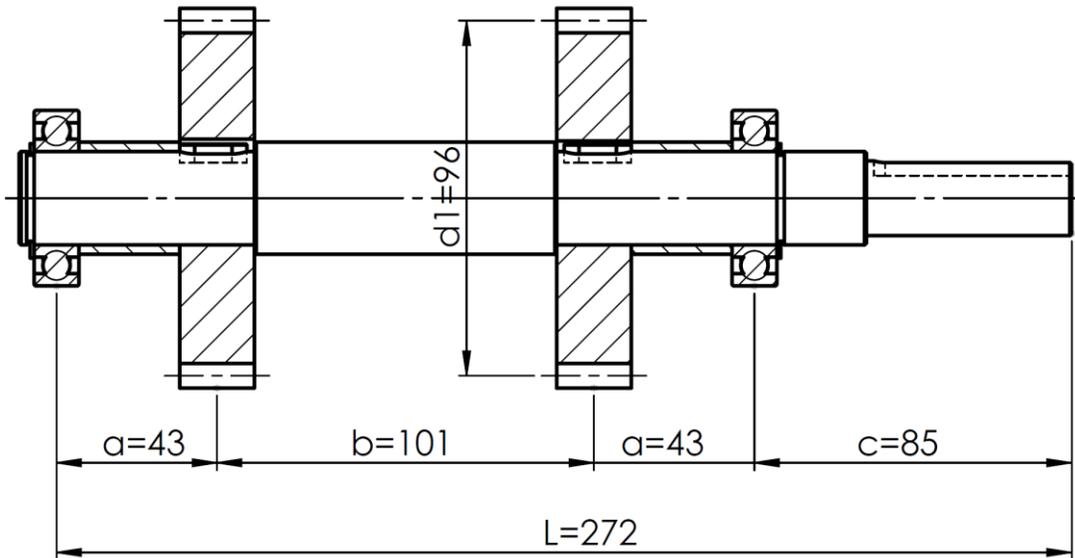


Figure III. 9 : Schéma représente les dimensions de l'arbre menant.

$$P = Mg = 60 \times 9,81 = 588,6 \text{ N}, C_1 = 2,64 \text{ N.m} = 2640 \text{ N.mm}$$

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \\ Y_D \\ Z_D \\ F_r \\ F_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -27,5 \\ -277,384 \\ -27,5 \\ 845,984 \\ 10 \\ 27,5 \end{bmatrix} \text{ (N)}$$

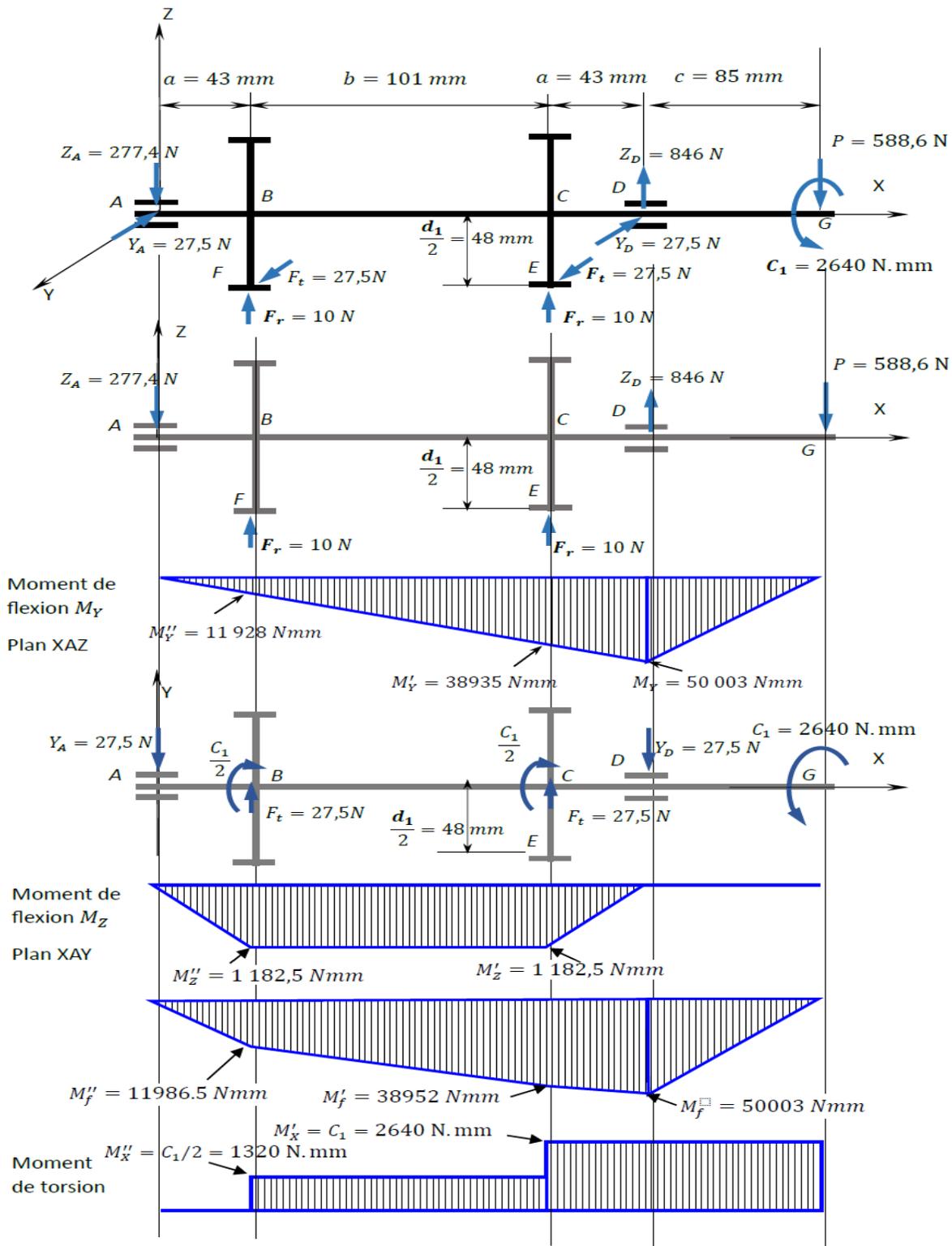


Figure III. 10 : Moment de flexion dans les plans XAZ /XAY et Moment de torsion.

III.3.4.1. Vérification de résistance de l'arbre menant

Le matériau choisi pour les arbres est l'acier au chrome 41 Cr 4 avec les caractéristiques suivantes :

- 0,41% de carbone
- 1% de chrome (Coefficient multiplicateur=4 pour le chrome)
- $R_e \text{ min}=750 \text{ MPa}$: limite minimale apparente d'élasticité.

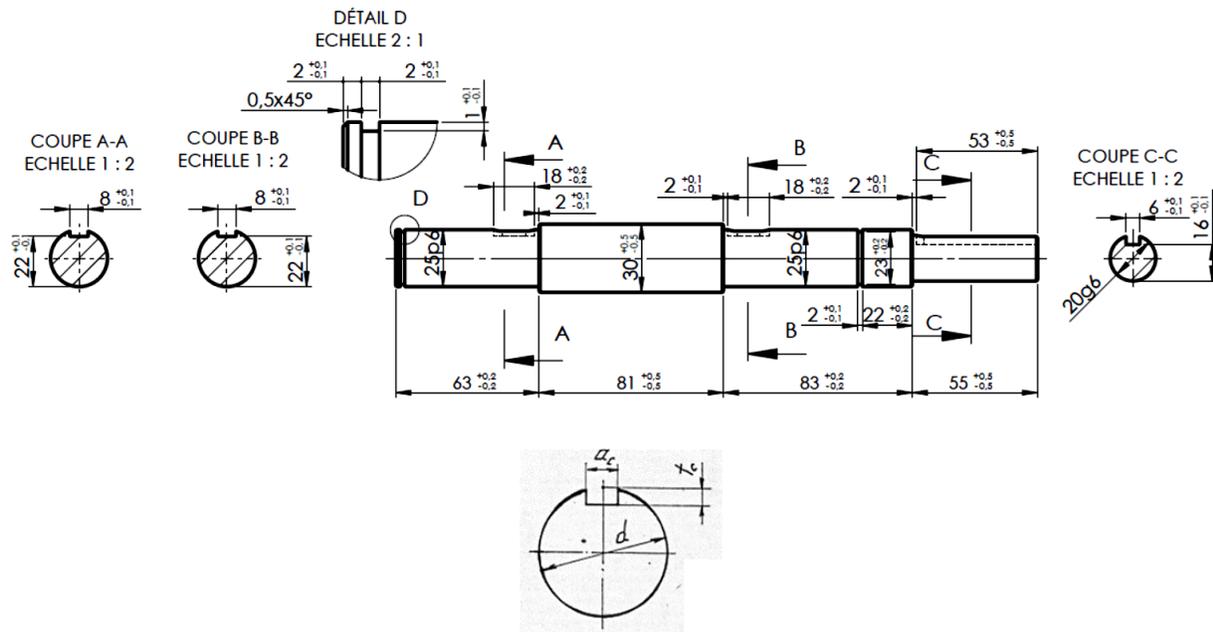


Figure III. 11 : arbre menant

σ_f Contrainte équivalente de Von Mises :
$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\sigma_t^2}$$

Condition de résistance
$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\sigma_t^2} \leq R_e$$

σ_f Contrainte de flexion équivalente :

$$\sigma_f^2 = \sigma_{f1}^2 + \sigma_{f2}^2$$

Dans le plan x z :
$$\sigma_{f1} = \frac{M_y}{Z_f}$$

Dans le plan x y :
$$\sigma_{f2} = \frac{M_z}{Z_f}$$

$$Z_f = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{a_c t_c (d - a_c)^2}{2d}$$

σ_t Contrainte de torsion :

Autour de l'axe x :

$$\sigma_t = \frac{M_x}{Z_t}$$

$$Z_t = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{a_c t_c (d - a_c)^2}{2d}$$

$$M_y^2 + M_z^2 = M_f^2$$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{M_y^2 + M_z^2}{Z_f^2} + 3 \frac{M_x^2}{Z_t^2}} = \sqrt{\left(\frac{M_f}{Z_f}\right)^2 + 3 \left(\frac{M_x}{Z_t}\right)^2}$$

Du diagramme des moments fléchissant et moments de torsions on a :

Au point A :

$$M_f = M_x = 0 \Rightarrow \sigma_{vm} = 0$$

Au point B :

$$M_f = M_f'' = 11986,5 \text{ Nmm}$$

$$M_x = M_x'' = 1320 \text{ Nmm}$$

$$Z_{Bf} = \frac{\pi d_e'^3}{32} - \frac{a_c t_c (d_e' - a_c)^2}{2d_e'} = \frac{\pi \times 25^3}{32} - \frac{8 \times 3(25 - 8)^2}{2 \times 25} = 1395,28 \text{ mm}^3$$

$$Z_{Bt} = \frac{\pi d_e'^3}{16} - \frac{a_c t_c (d_e' - a_c)^2}{2d_e'} = \frac{\pi \times 25^3}{16} - \frac{8 \times 3(25 - 8)^2}{2 \times 25} = 2899,28 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{B vm} = \sqrt{\left(\frac{M_f''}{Z_{Bf}}\right)^2 + 3 \left(\frac{M_x''}{Z_{Bt}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{11986,5}{1395,28}\right)^2 + 3 \left(\frac{1320}{2899,28}\right)^2} = 8,626 \text{ MPa} < R_e$$

Au point C :

$$M_f = M_f' = 38952 \text{ Nmm}$$

$$M_x = M'_x = 2640 \text{ Nmm}$$

$$Z_{Cf} = Z_{Bf} = 1395,28 \text{ mm}^3$$

$$Z_{Ct} = Z_{Bt} = 2899,28 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{C \text{ vm}} = \sqrt{\left(\frac{M'_f}{Z_{Cf}}\right)^2 + 3\left(\frac{M'_x}{Z_{Ct}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{38952}{1395,28}\right)^2 + 3\left(\frac{2640}{2899,28}\right)^2} = 27,96 \text{ MPa} < R_e$$

Au point D :

$$M_f = 50003 \text{ Nmm}$$

$$M_x = M'_x = 2640 \text{ Nmm}$$

$$Z_{Df} = \frac{\pi d_e^3}{32} = \frac{\pi \times 25^3}{32} = 1534 \text{ mm}^3$$

$$Z_{Dt} = \frac{\pi d_e^3}{16} = \frac{\pi \times 25^3}{16} = 3068 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{D \text{ vm}} = \sqrt{\left(\frac{M_f}{Z_{Df}}\right)^2 + 3\left(\frac{M'_x}{Z_{Dt}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{50003}{1534}\right)^2 + 3\left(\frac{2640}{3068}\right)^2} = 32,63 \text{ MPa} < R_e$$

Au point E :

$$M_f = M_f''' = 45885,1 \text{ Nmm}$$

$$M_x = M'_x = 2640 \text{ Nmm}$$

$$Z_{Ef} = \frac{\pi d_g^3}{32} = \frac{\pi \times 23^3}{32} = 1194,5 \text{ mm}^3$$

$$Z_{Et} = \frac{\pi d_g^3}{16} = \frac{\pi \times 23^3}{16} = 2389 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{E \text{ vm}} = \sqrt{\left(\frac{M_f'''}{Z_{Ef}}\right)^2 + 3\left(\frac{M'_x}{Z_{Et}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{45885,1}{1194,5}\right)^2 + 3\left(\frac{2640}{2389}\right)^2} = 38,46 \text{ MPa} < R_e$$

Au point G :

$$M_f = 0$$

$$M_x = M'_x = 2640 \text{ Nmm}$$

$$Z_{Gf} = \frac{\pi d_e^3}{32} - \frac{a'_c t'_c (d_e - a'_c)^2}{2d_e} = \frac{\pi \times 20^3}{32} - \frac{6 \times 4(20 - 6)^2}{2 \times 20} = 667,8 \text{ mm}^3$$

$$Z_{Gt} = \frac{\pi d_e^3}{16} - \frac{a'_c t'_c (d_e - a'_c)^2}{2d_e} = \frac{\pi \times 20^3}{16} - \frac{6 \times 4(20 - 6)^2}{2 \times 20} = 1453,2 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{G \text{ vm}} = \sqrt{\left(\frac{M_f}{Z_{Gf}}\right)^2 + 3\left(\frac{M'_x}{Z_{Gt}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0}{667,8}\right)^2 + 3\left(\frac{2640}{1453,2}\right)^2} = 3,146 \text{ MPa} < R_e$$

Références

- [1] V. DOBROVOLSKI. ELEMENTS DE MACHINES EDITIONS MIR, MOSCOU, 1981.
- [2] A. CHEVALIER. GUIDE DE DESSINATEUR INDUSTRIEL. HACHETT, PARIS 1978.
- [3] A. CHEVALIER. GUIDE DE DESSINATEUR INDUSTRIEL. HACHETT, PARIS 1978.

Chapitre IV

Conception SolidWorks

IV.1. Introduction

Après les résultats que nous avons obtenus grâce au chapitre précédent vient l'étape de conception. Conception ou ce qu'on appelle CAO (la conception assistée par ordinateur), car elle contient toutes les techniques de modélisation d'ingénierie, de modélisation de conception et de test en planifiant l'appareil avec des dessins en deux ou trois dimensions, en étudiant la force et la résistance de l'appareil, et dynamique analyse des assemblages, ainsi que des procédés de fabrication, à l'aide de techniques informatiques et de simulation numérique.

IV.2. Présentation de logiciel de conception "SolidWorks"

SolidWorks est un logiciel de conception mécanique 3D fonctionnant sous Windows. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et le dessin. Ces fichiers sont liés. SolidWorks est facile à modéliser, à déplacer le modèle et à le tester. Ce programme est le premier dans son domaine, spécialisé dans la conception de modèles d'ingénierie en trois dimensions. Il offre une solution intégrée pour visualiser les conceptions d'ingénierie de manière 3D réaliste. Il est considéré comme le simulateur parfait qui vous aidera à créer une vision plus claire de vos conceptions et inventions techniques et rendra beaucoup plus facile. Et n'oubliez pas la présence du votre travail Programme Cosmos intégré, qui vous permet de tester vos conceptions.



Figure IV. 1 : logo SOLIDWORKS.

IV.3. Description de la conception d'arbre mené "arbre de sortie"

Pour créer l'arbre mené et après l'ouverture de SOLIDWORKS (Figure2), Tout d'abord il faut choisir "pièce" (Figure3) pour créer une pièce volumique à partir d'une esquisse tracée en 2D et de lui appliquer une fonction volumique (extrusion, révolution autour d'un axe...).



Figure IV. 2 : interface SOLIDWORKS 2020.

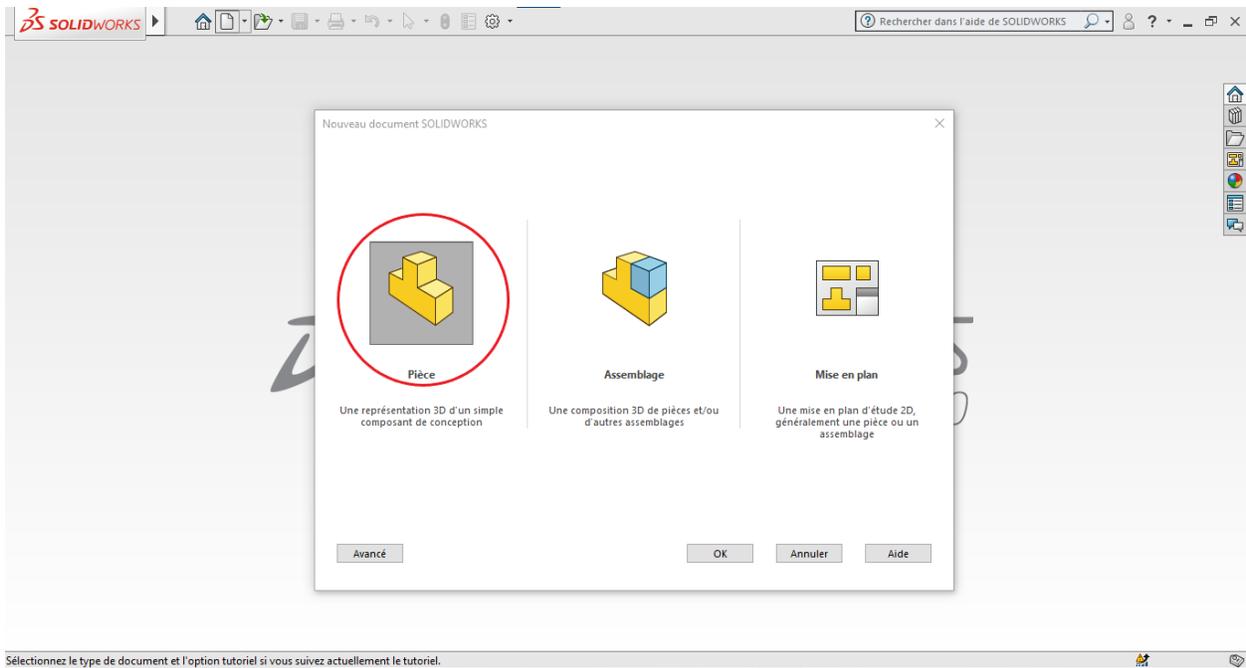


Figure IV. 3 : Choisir le mode de conception « Pièce ».

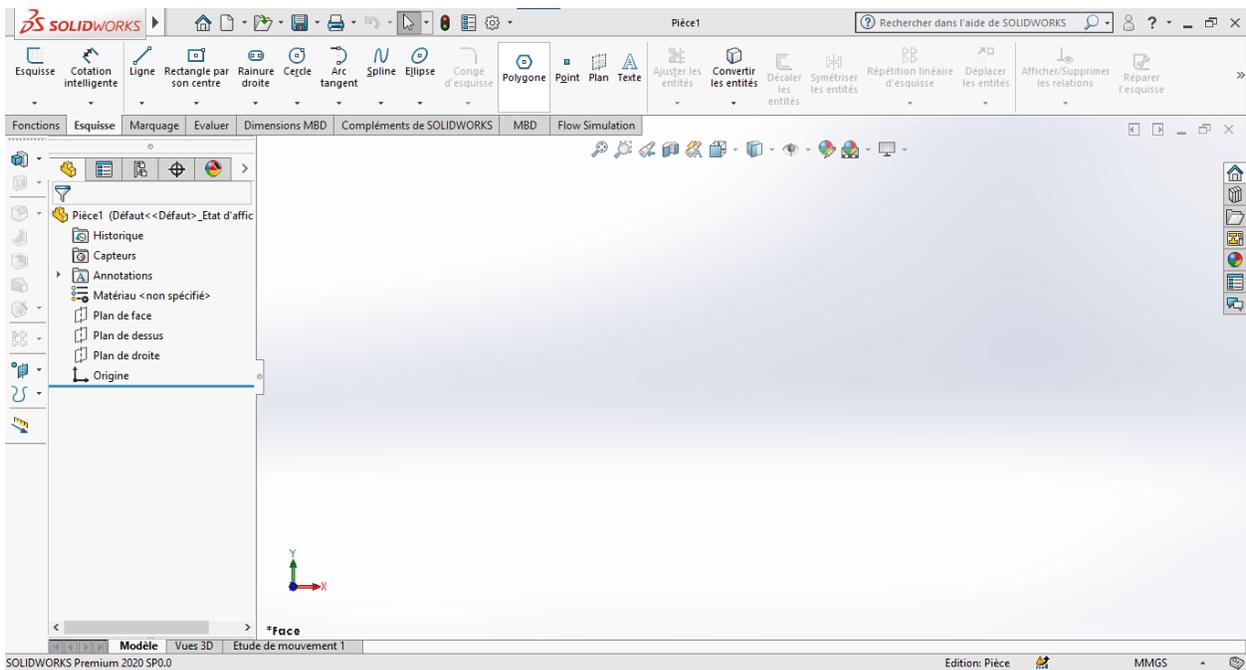


Figure IV. 4 : Écran principal de SOLIDWORKS.

On choisit le plan de dessin " le plan de face" (Figure5).

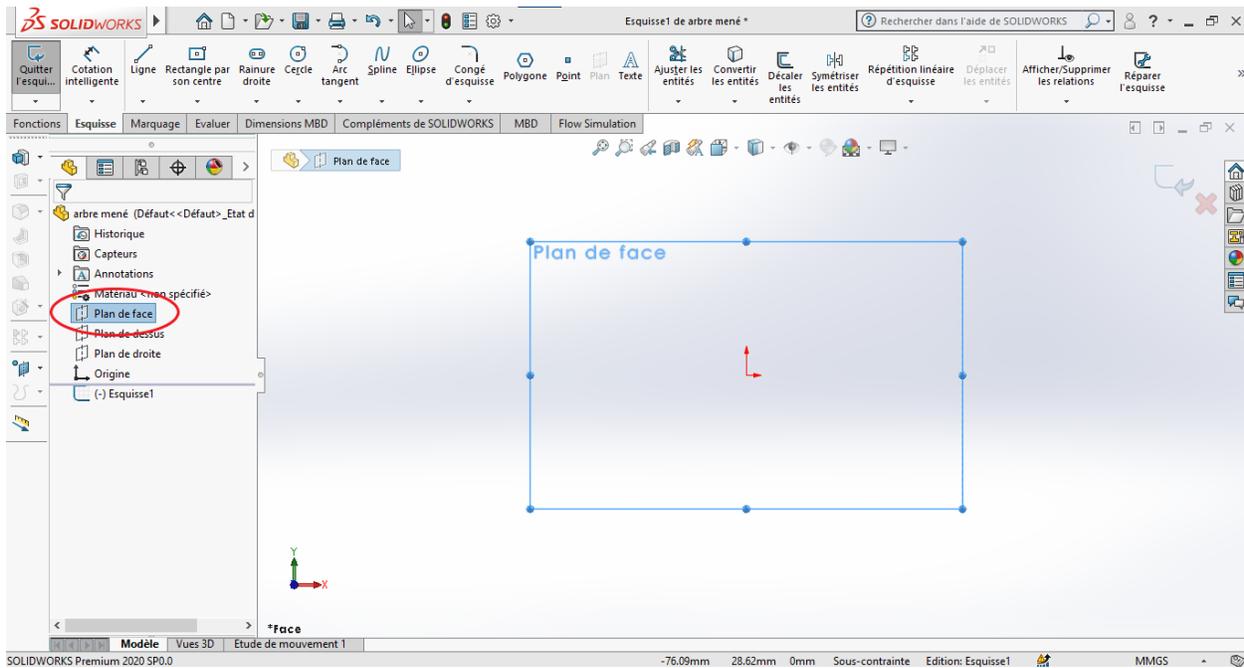


Figure IV. 5 : Créer « un plan de face ».

Et on commence de créer une esquisse avec des cotation réel (Figure 6). Il vaut mieux de commencer l'esquisse sur l'origine est n'oubliez pas de dessinez un axe de rotation " axe de révolution".

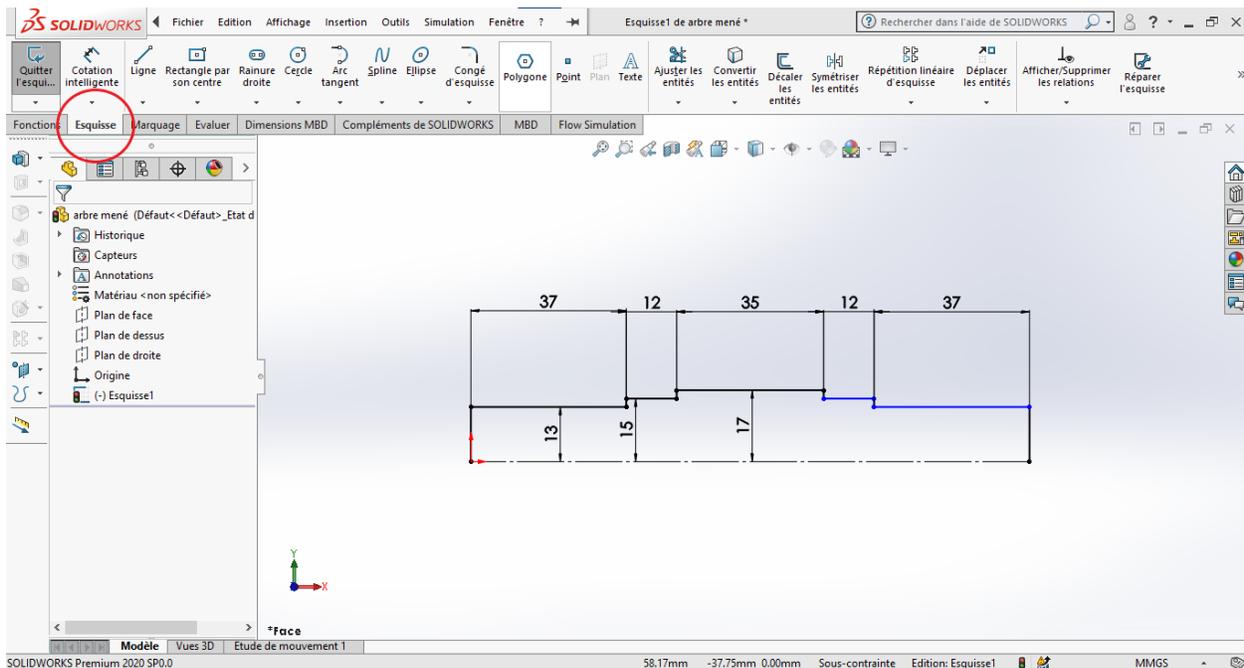


Figure IV. 6 : dessiner « Esquisse 1 ».

On effectue "une révolution" de cette esquisse autour l'axe de rotation (Figure7).

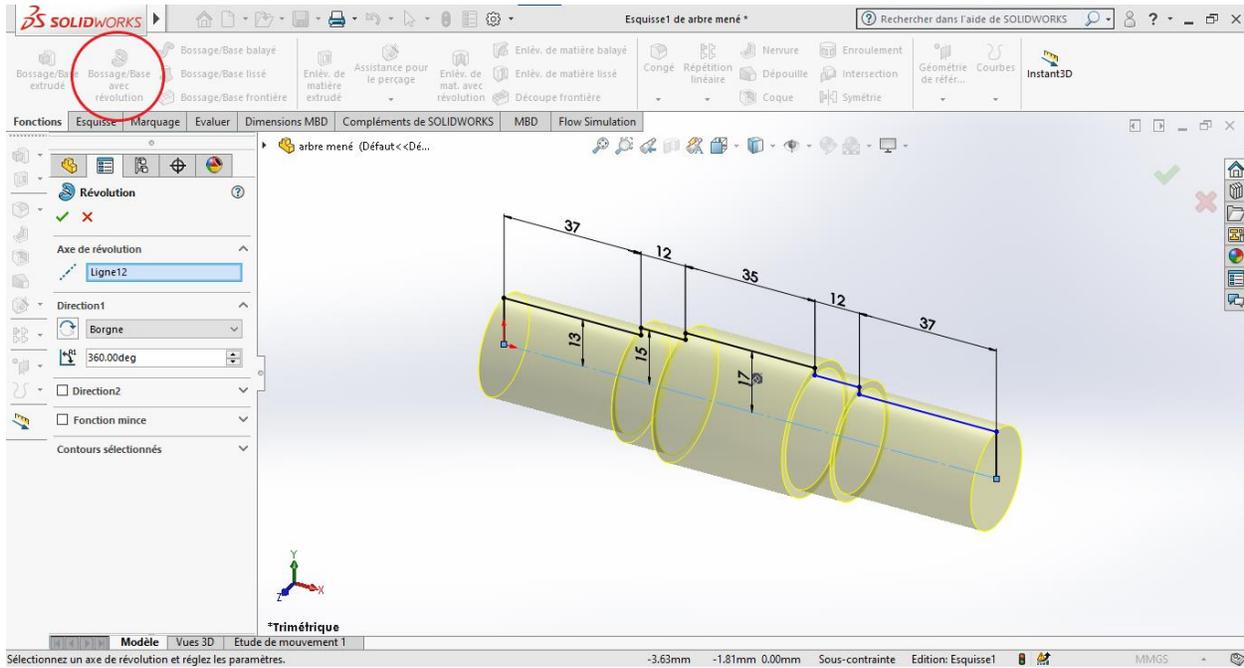


Figure IV. 7 : Création un volume par révolution pour « esquisse 1 ».

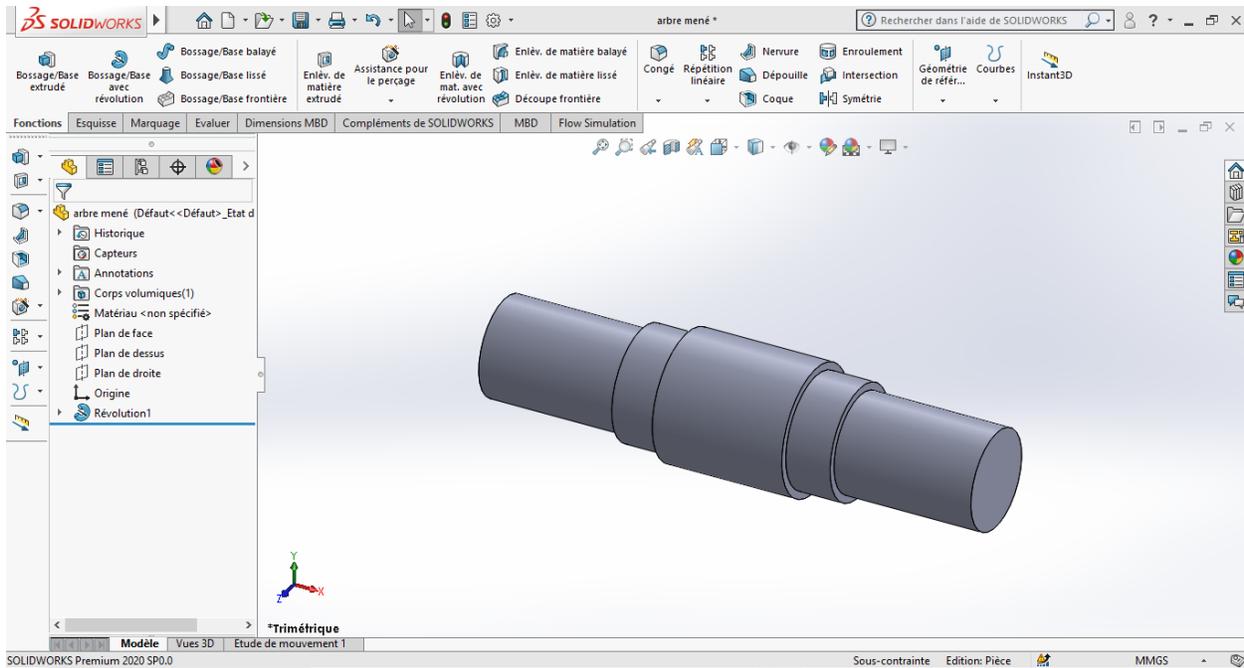


Figure IV. 8 : la Forme final d'esquisse 1 après la révolution.

Ensuite pour réaliser les gorges, dans " le plan de face" (Figure9) créer une autre esquisse "rectangle" avec les cotes (Figure10).

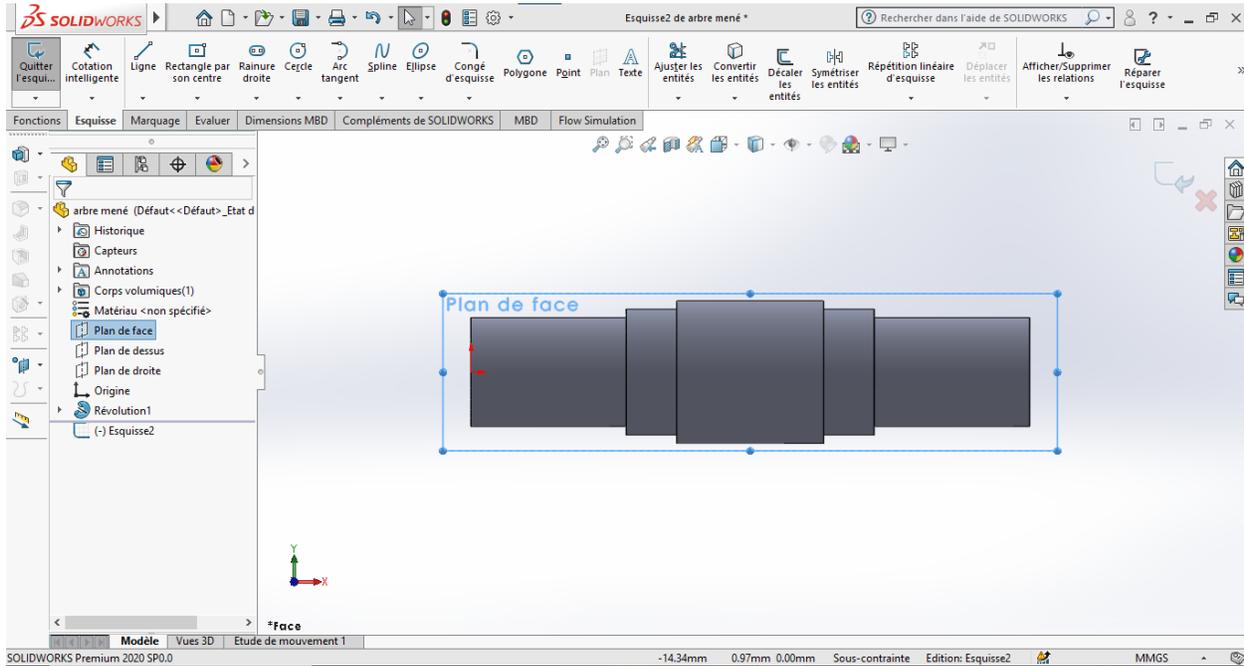


Figure IV. 9 : Créer « un plan de face ».

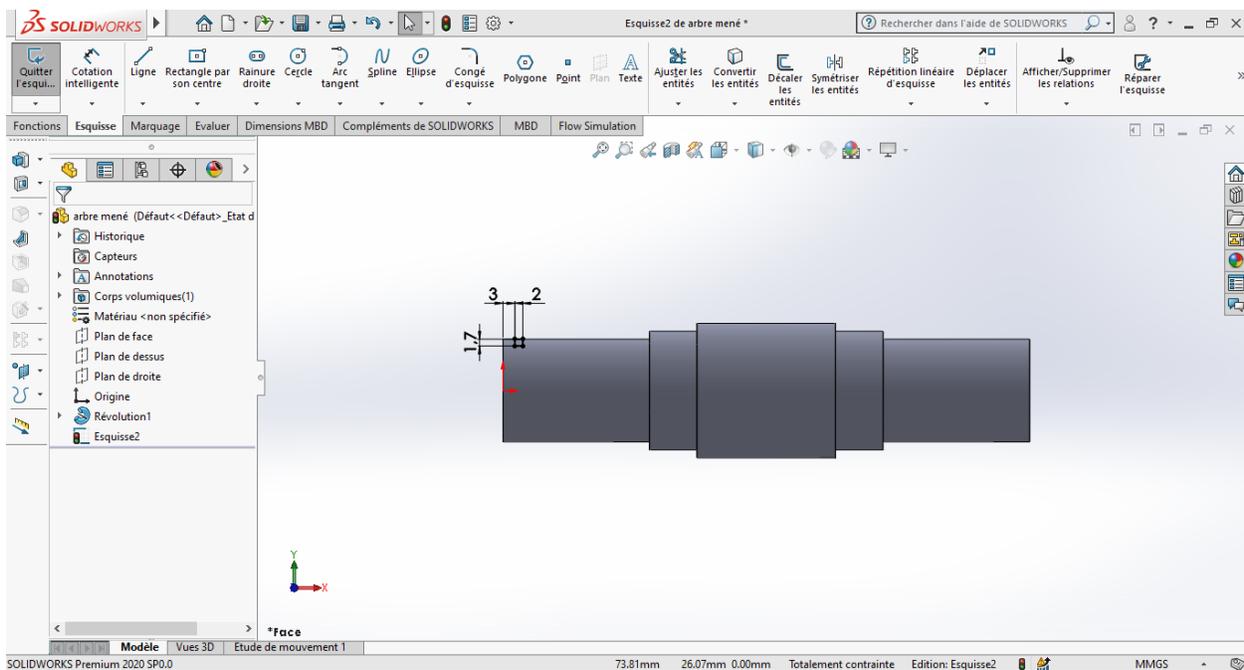


Figure IV. 10 : dessiner un rectangle « esquisse 2 ».

On trace deux axes de construction (Figure11), la premier est un "axe de symétrie" Pour accélérer et faciliter le processus de dessin, et le deuxième axe pour effectuer l'enlèvement de matière.

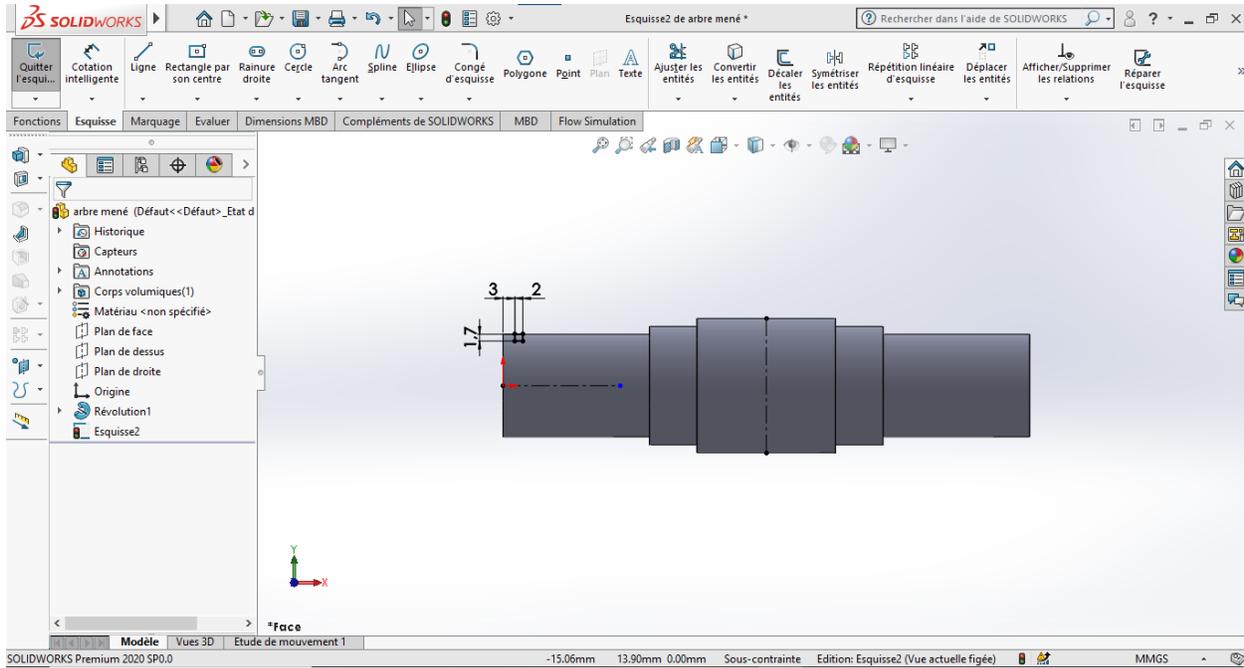


Figure IV. 11 : tracer deux axes de construction.

La deuxième gorge est exécutée par "symétrie" par rapport à l'axe de symétrie (Figure12).

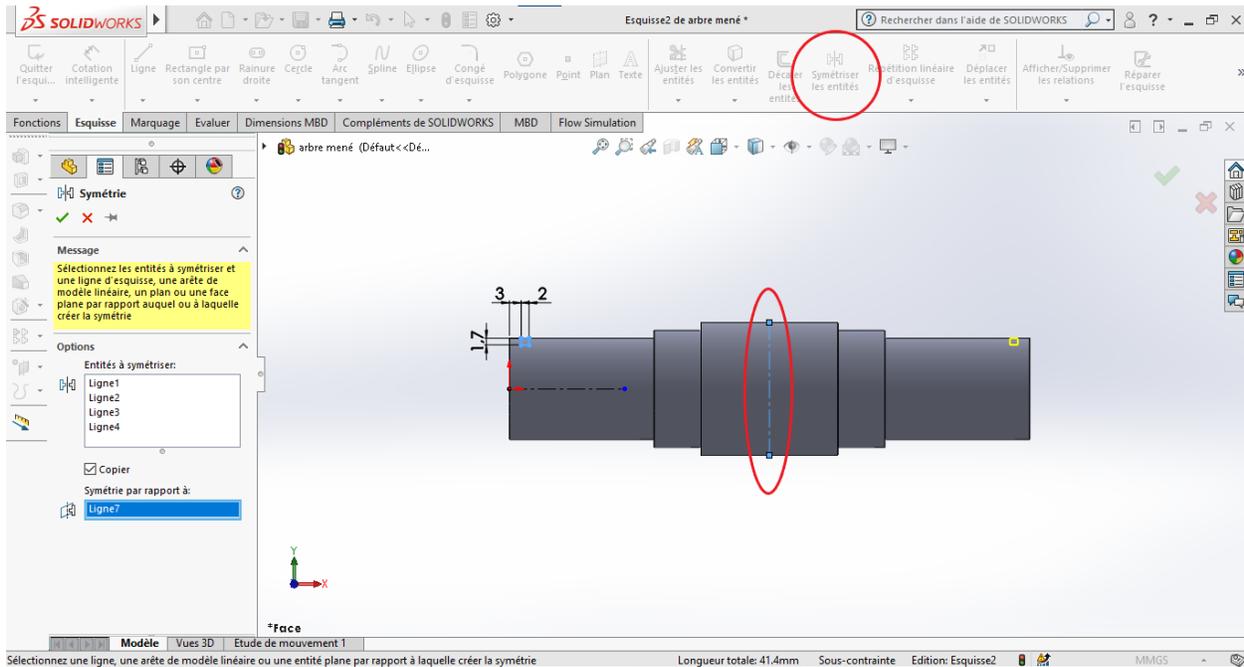


Figure IV. 12 : exécuter la deuxième gorge par symétrie.

Puis on effectue " un enlèvement de matière avec révolution" par rapport au deuxième axe (Figure13).

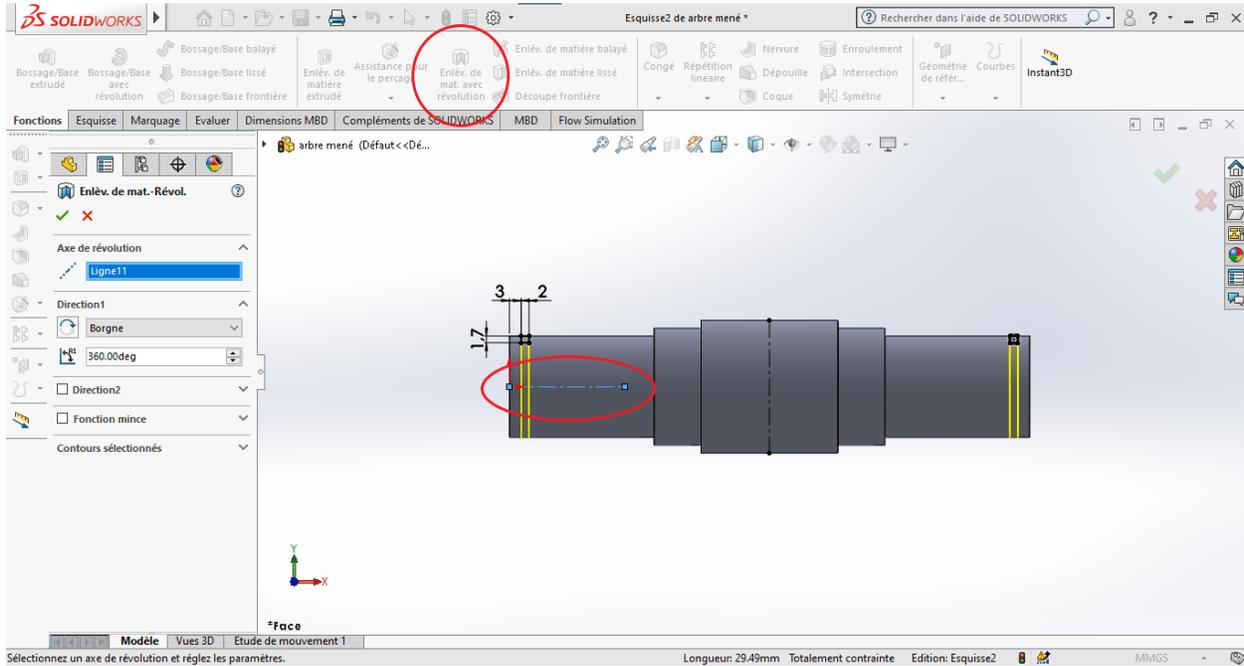


Figure IV. 13 : Créer un enlèvement de matière avec révolution pour « esquisse 2 ».

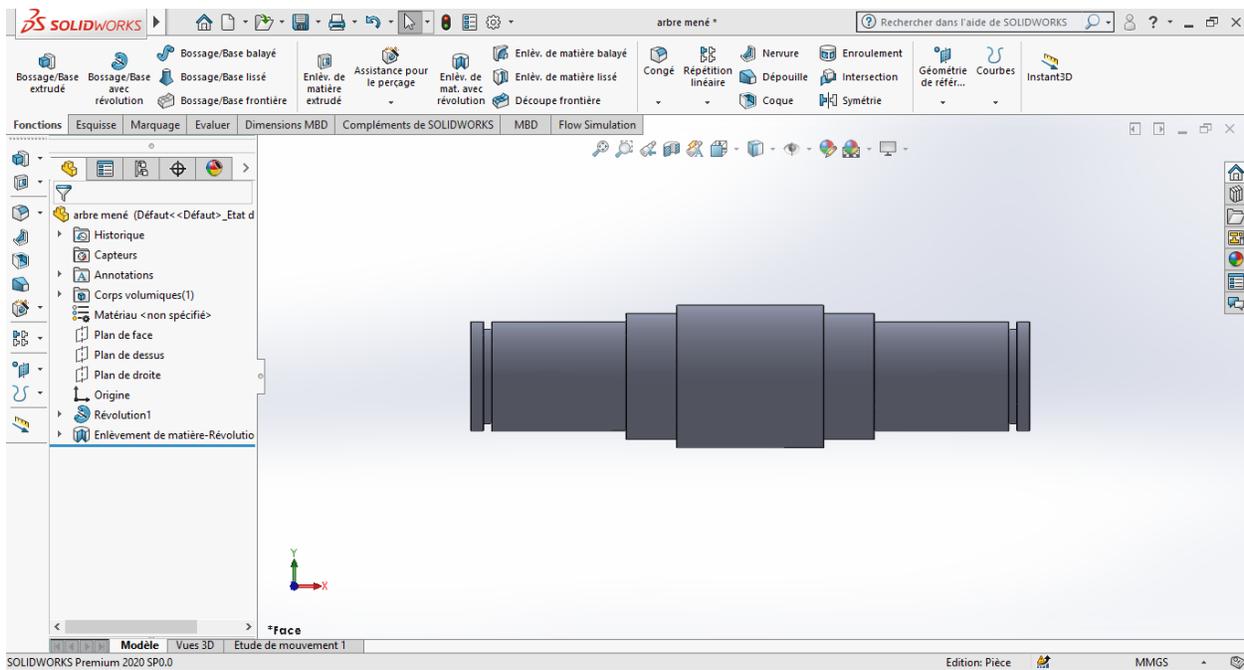


Figure IV. 14 : la forme finale d'esquisse 2 après l'enlèvement de matière.

Pour créer les rainures de clavette on ajoute un plan à 13 mm au-dessus du plan de dessus (Figure15).

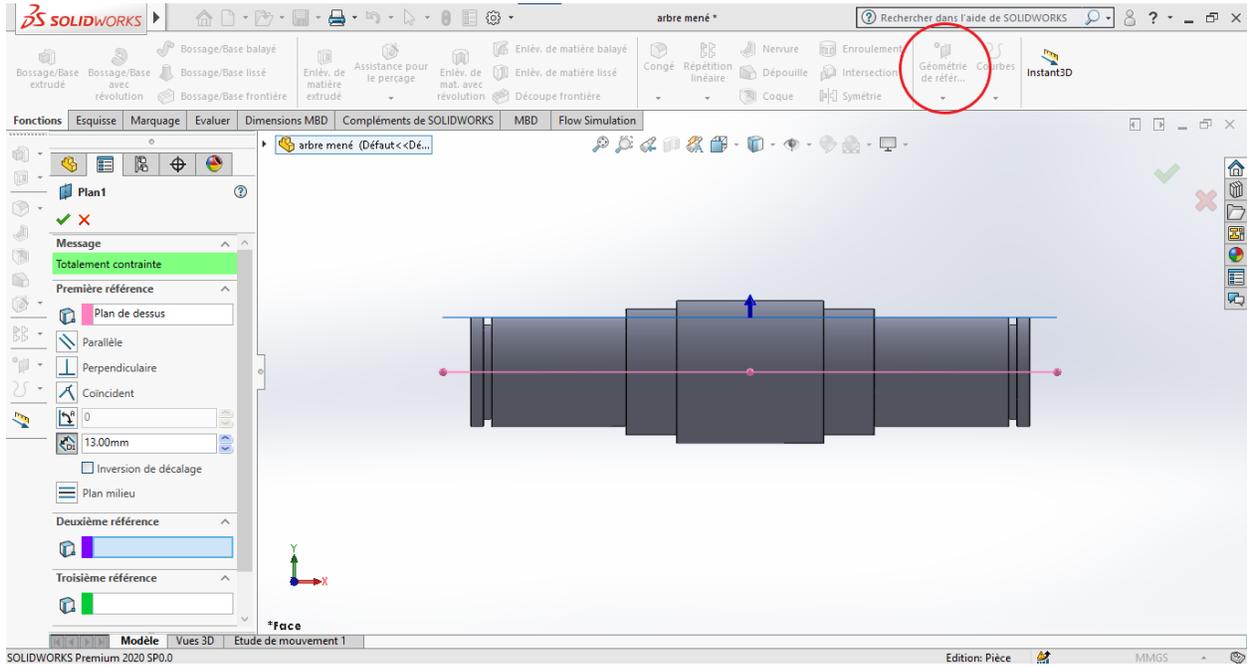


Figure IV. 15 : créer « plan 1 ».

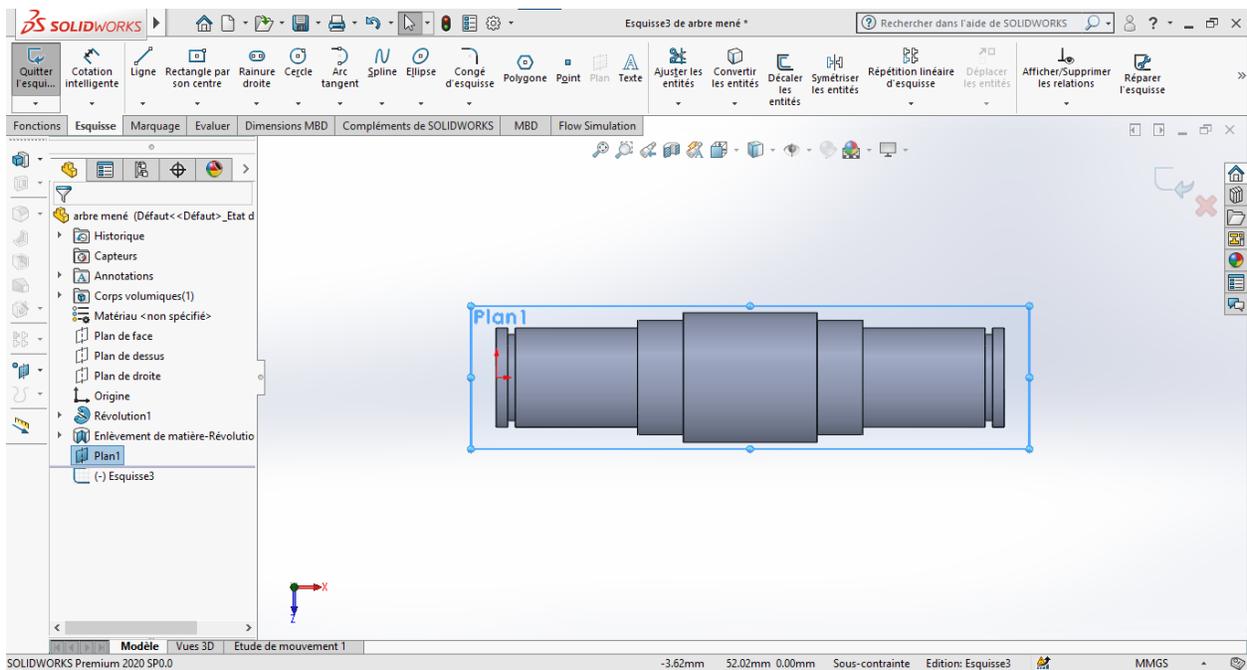


Figure IV. 16 : plan 1.

On trace "une rainure droite" avec les cotes (Figure17).

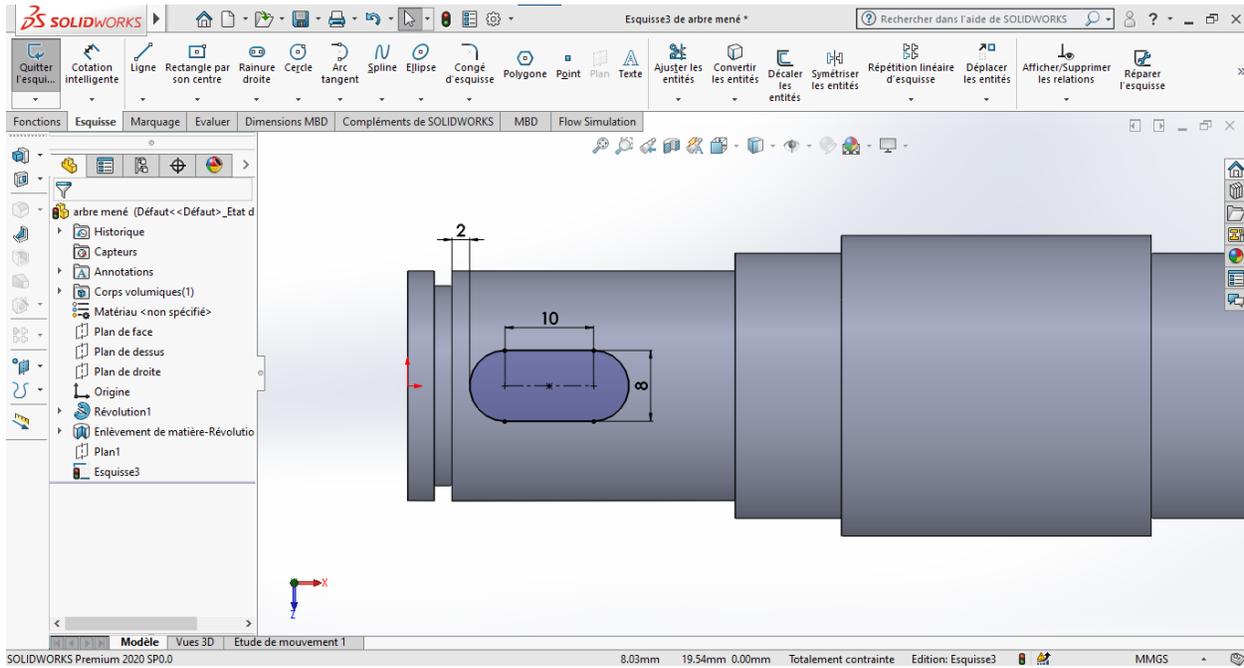


Figure IV. 17 : Tracer une rainure de clavette « esquisse 3 ».

L'autre rainure est réalisée par "symétrie" à l'aide d'un axe de symétrie (Figure18).

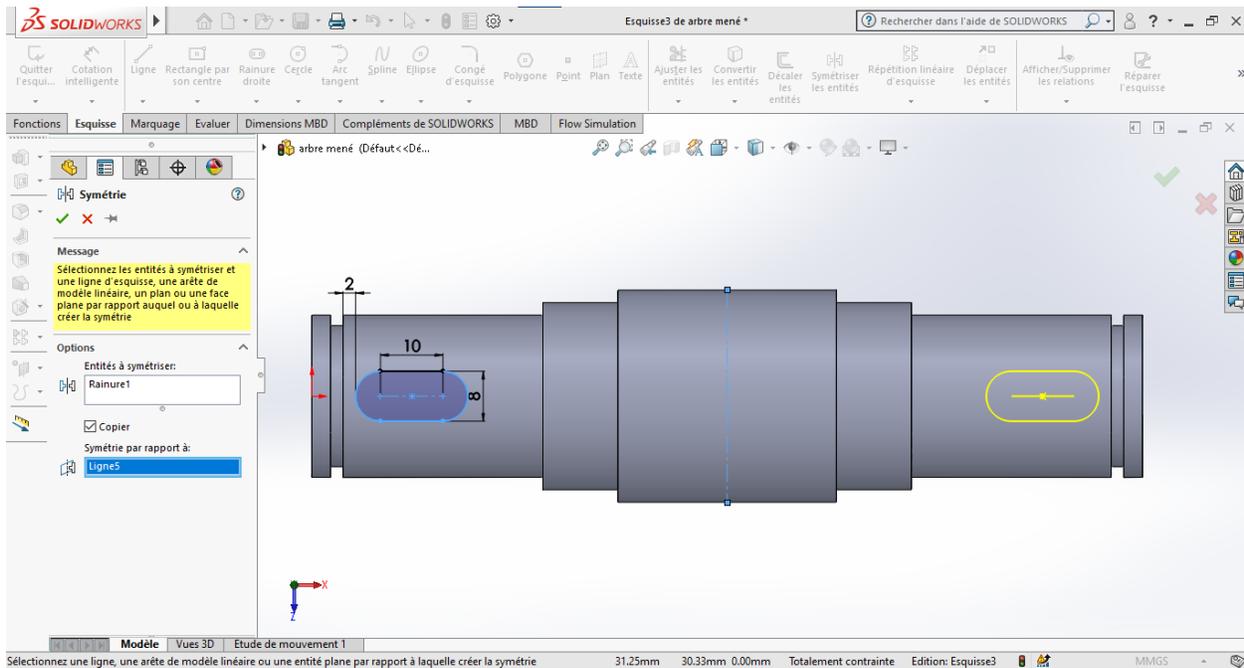


Figure IV. 18 : réaliser la deuxième rainure par symétrie.

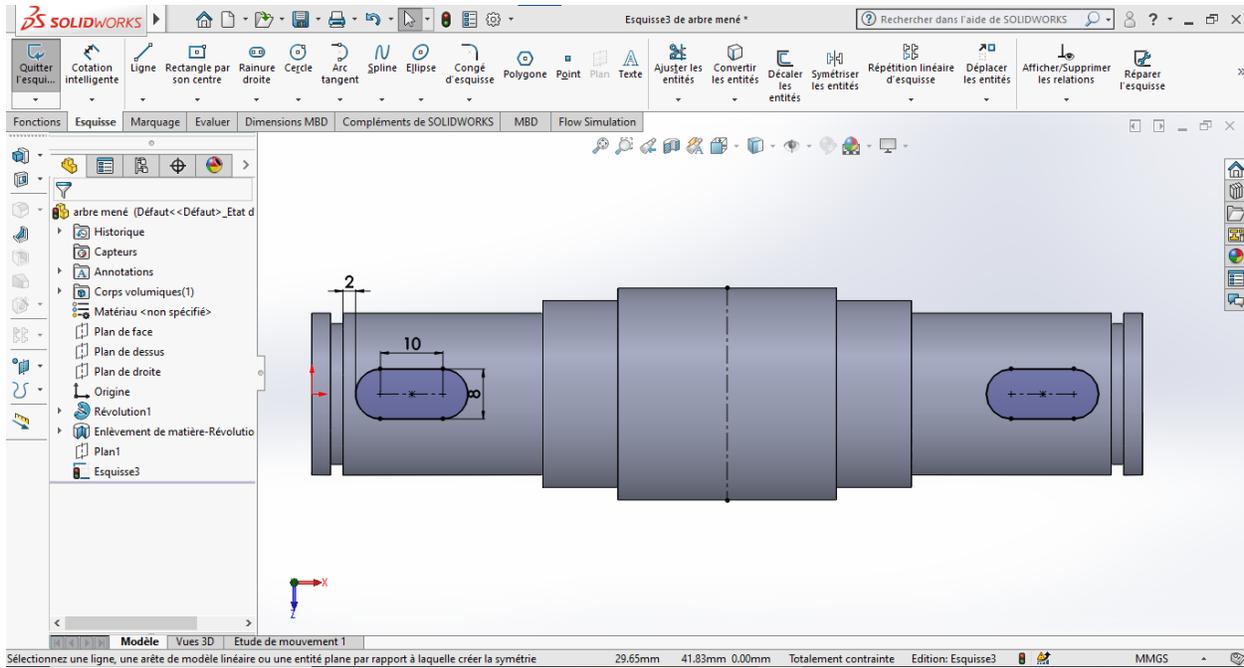


Figure IV. 19 : la deuxième rainure.

Et on effectue "un enlèvement de matière extrudée" de cette esquisse de 3 mm (Figure20).

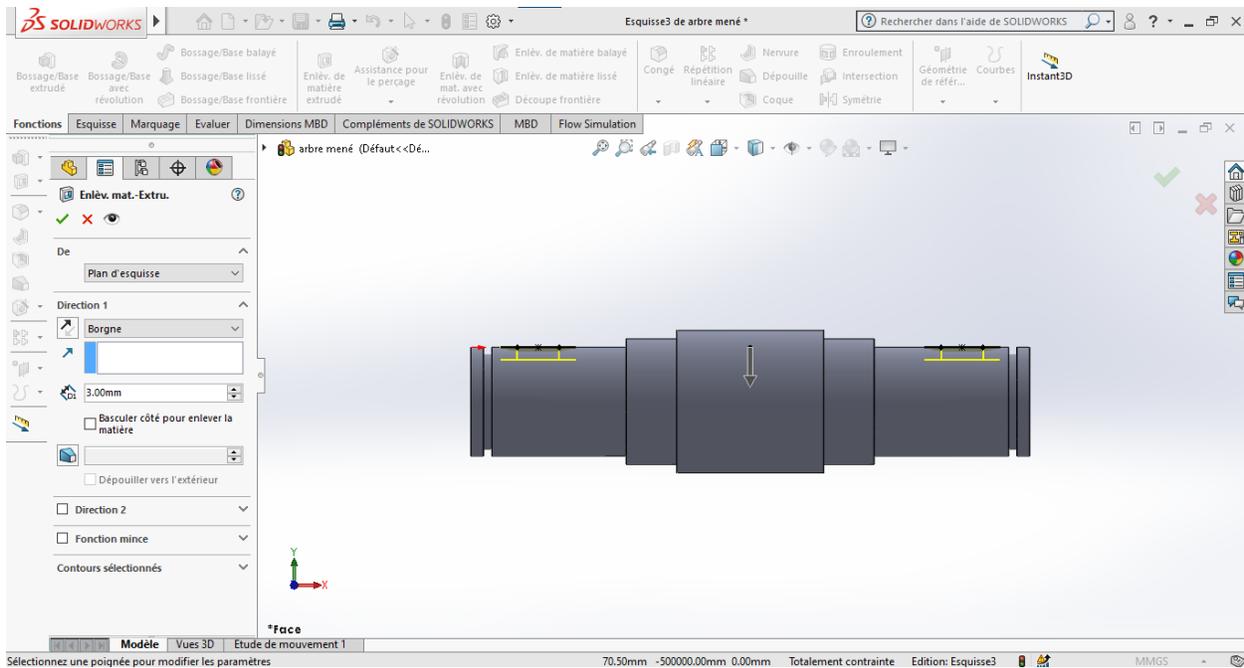


Figure IV. 20 : effectuer un enlèvement de matière extrudée pour « esquisse 3 ».

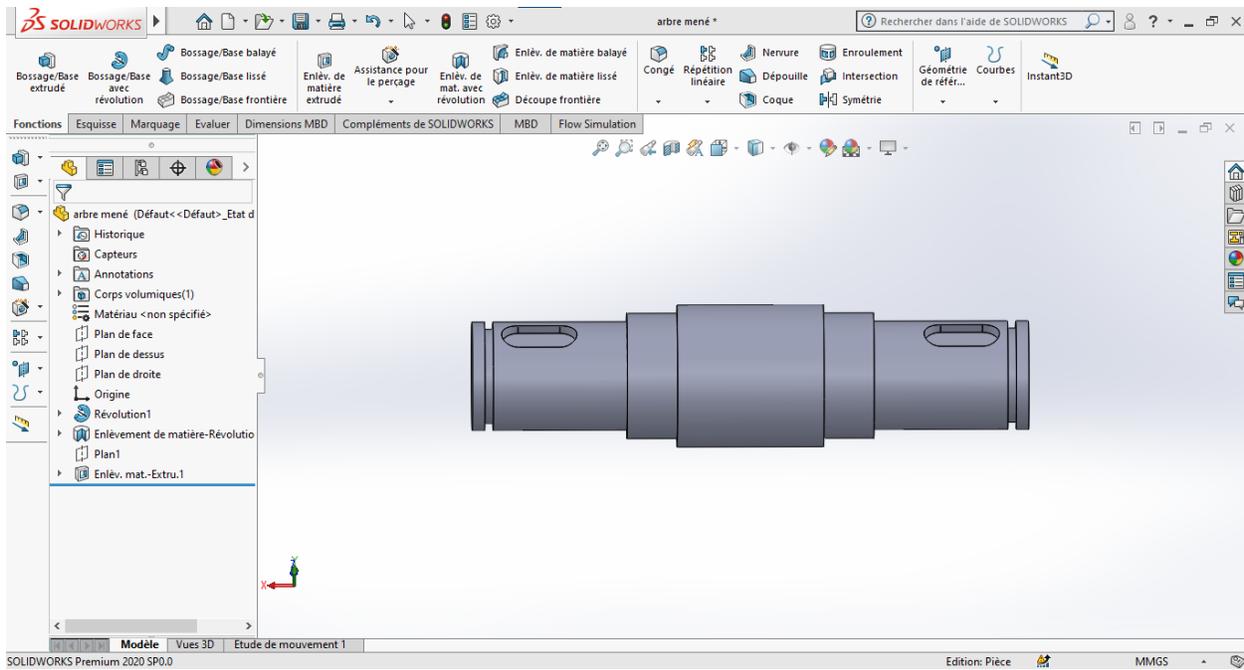


Figure IV. 21 : la forme finale d'esquisse 3 après l'enlèvement de matière.

Dans " le plan de face" (Figure22) on créer une esquisse avec les cotes pour faire "un centrage" (Figure23).

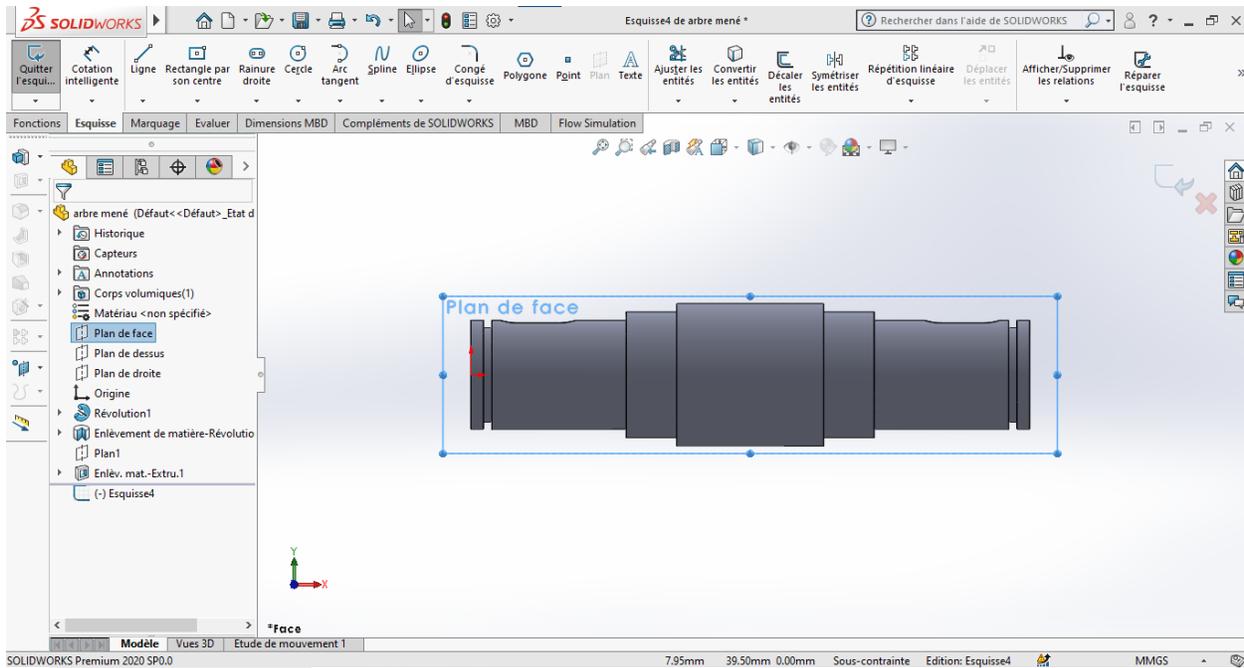


Figure IV. 22 : Créer « un plan de face ».

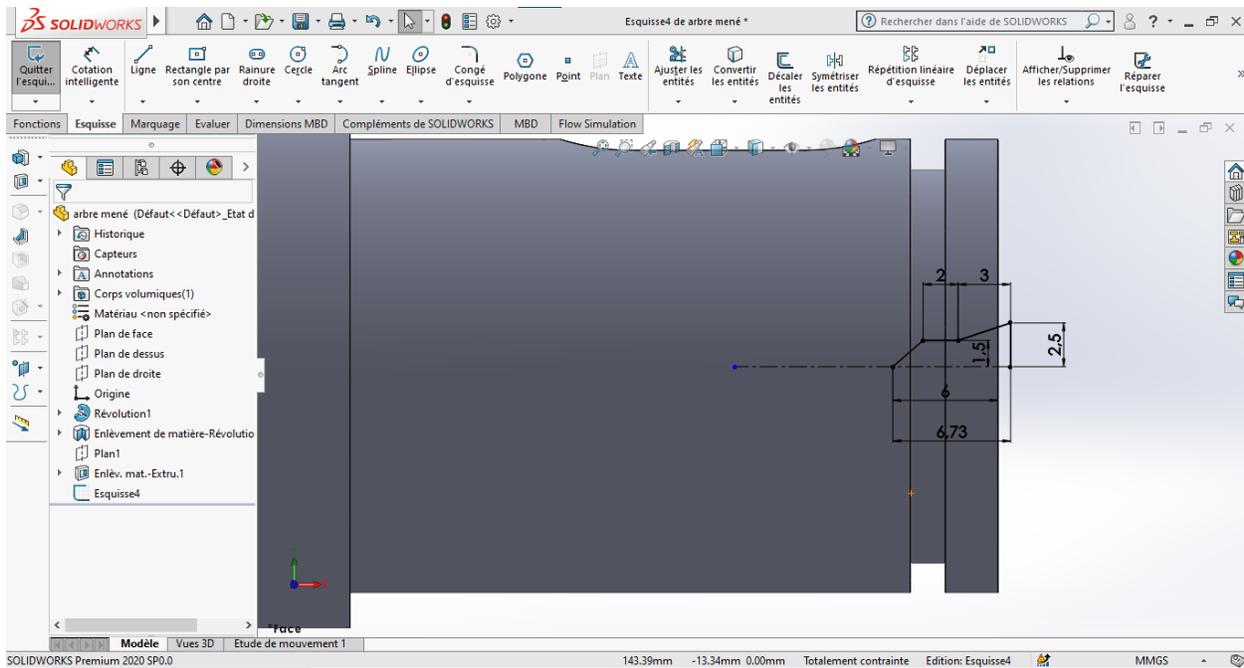


Figure IV. 23 : créer une « esquisse 4 » pour faire un centrage.

Et effectue "un enlèvement de matière avec révolution" (Figure24).

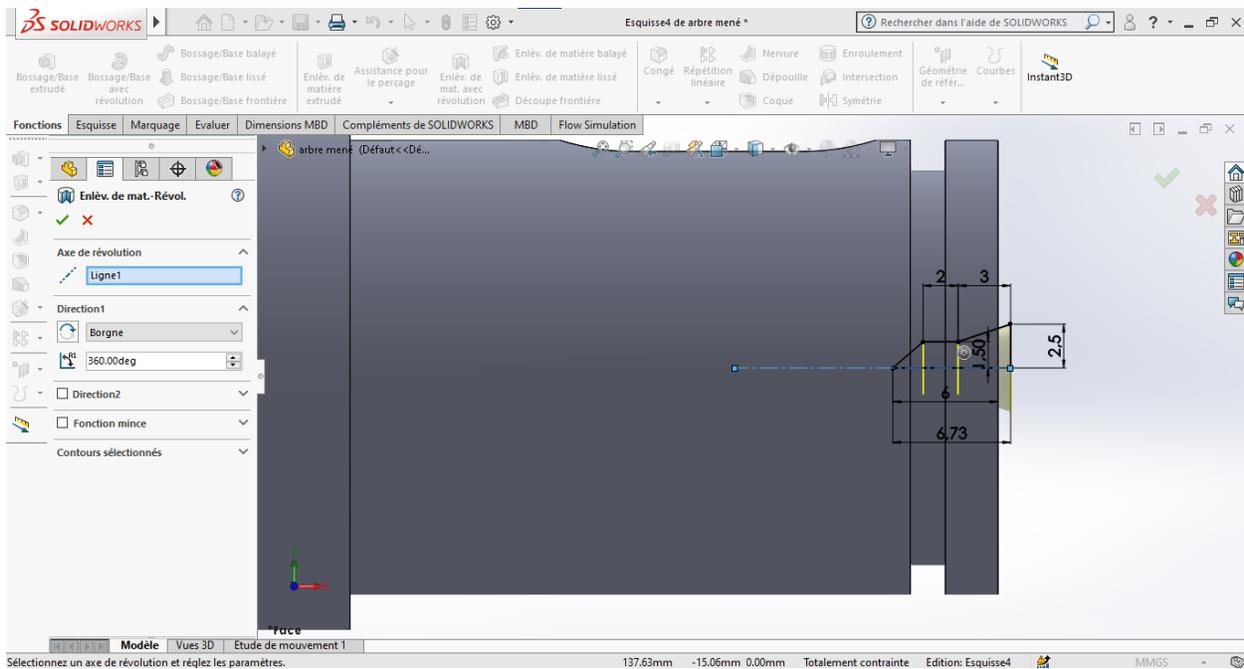


Figure IV. 24 : effectuer un enlèvement de matière avec révolution pour « esquisse 4 ».

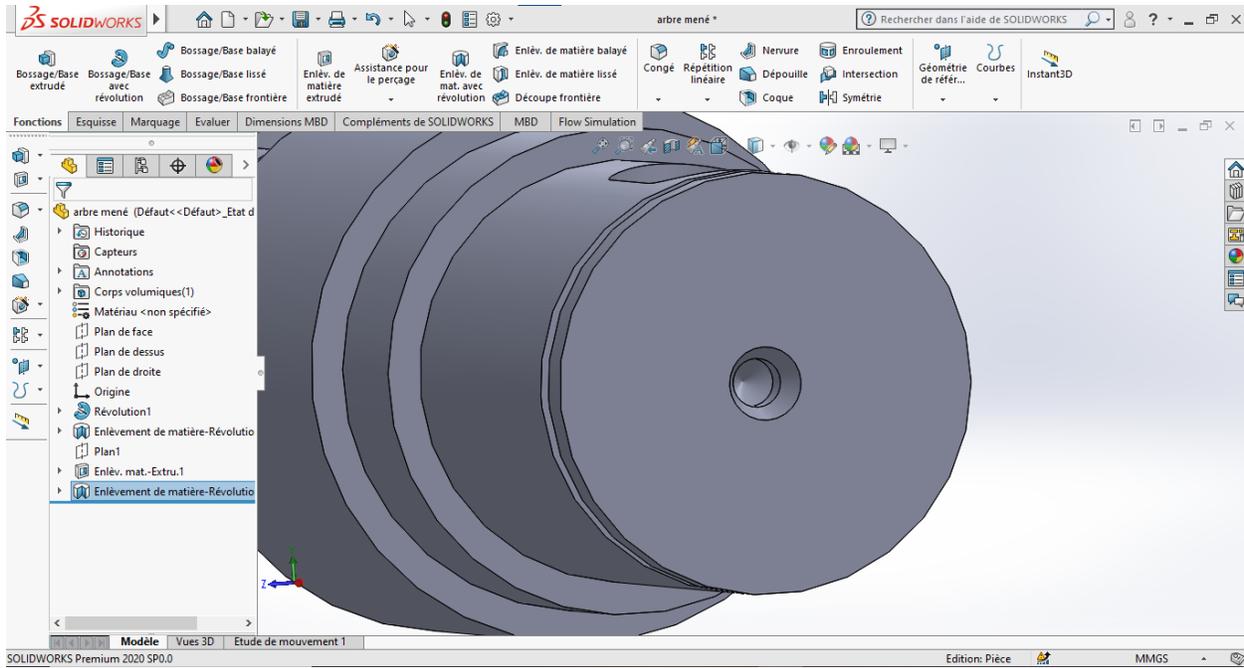


Figure IV. 25 : la forme finale d'esquisse 4 après l'enlèvement de matière.

Enfin on fait "un chanfrein" de 0.5 mm dans les deux extrémités d'arbre (Figure26).

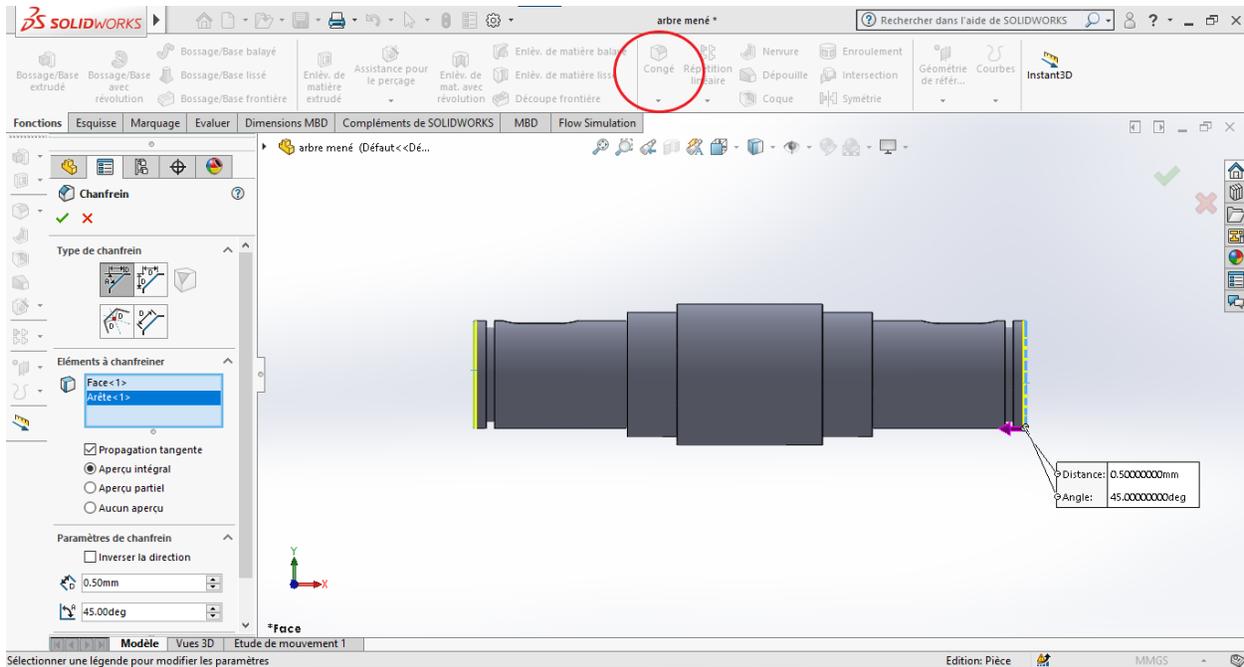


Figure IV. 26 : chanfrein dans les extrémités d'arbre.

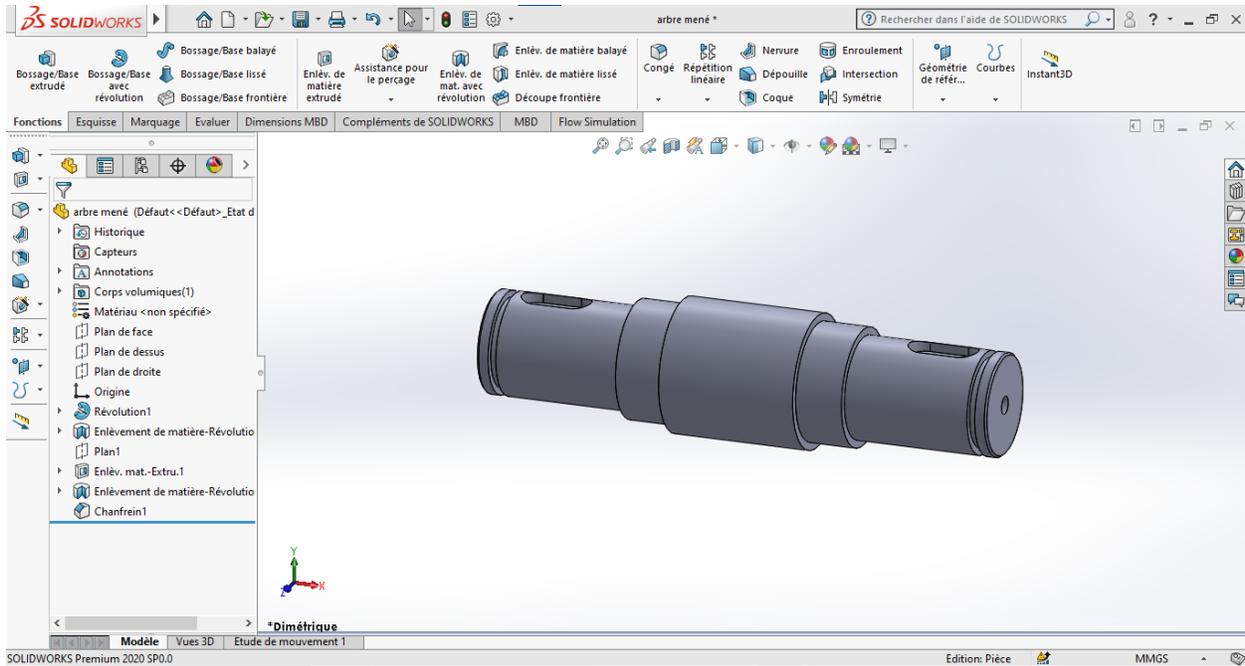


Figure IV. 27 : la forme finale d'arbre mené.

IV.4. Conception des composants du système de pompage d'eau

- Roue éolienne.
- Carter.
- 2 arbres :
 - Arbre menant (arbre d'entrée).
 - Arbre mené (arbre de sortie).
- 4 Engrenages à denture droit :
 - 2 roues.
 - 2 pignons.
- 4 roulements BC.
- Système bielle-manivelle :
 - Bielle
 - Roue de guidage (Poulie)
 - Guide
 - 3 Axes
- Pompe à piston.

IV.4.1. Roue éolienne

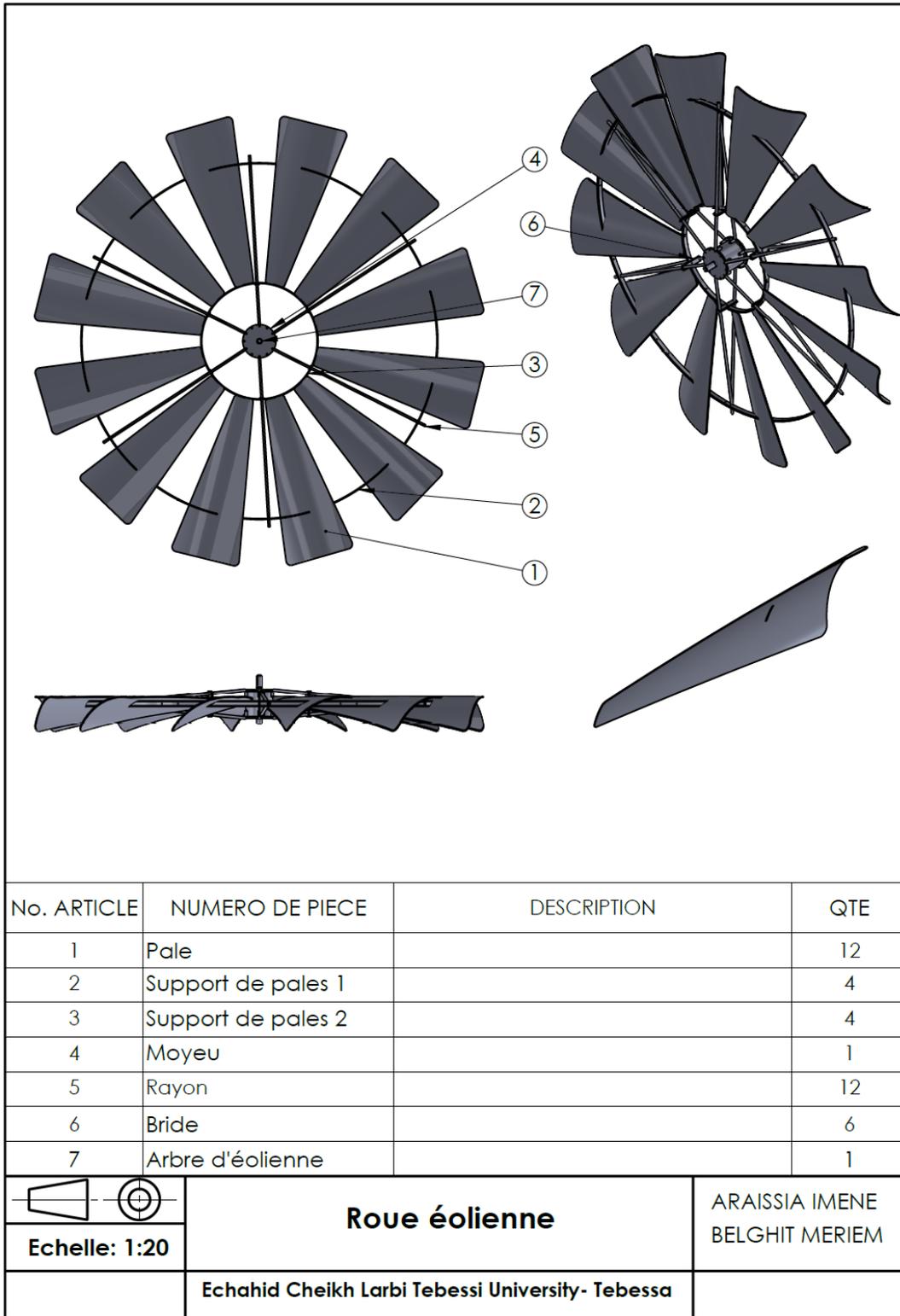


Figure IV. 28 : la mise en plan de roue éolienne.

IV.4.2. Le réducteur

a) Carter

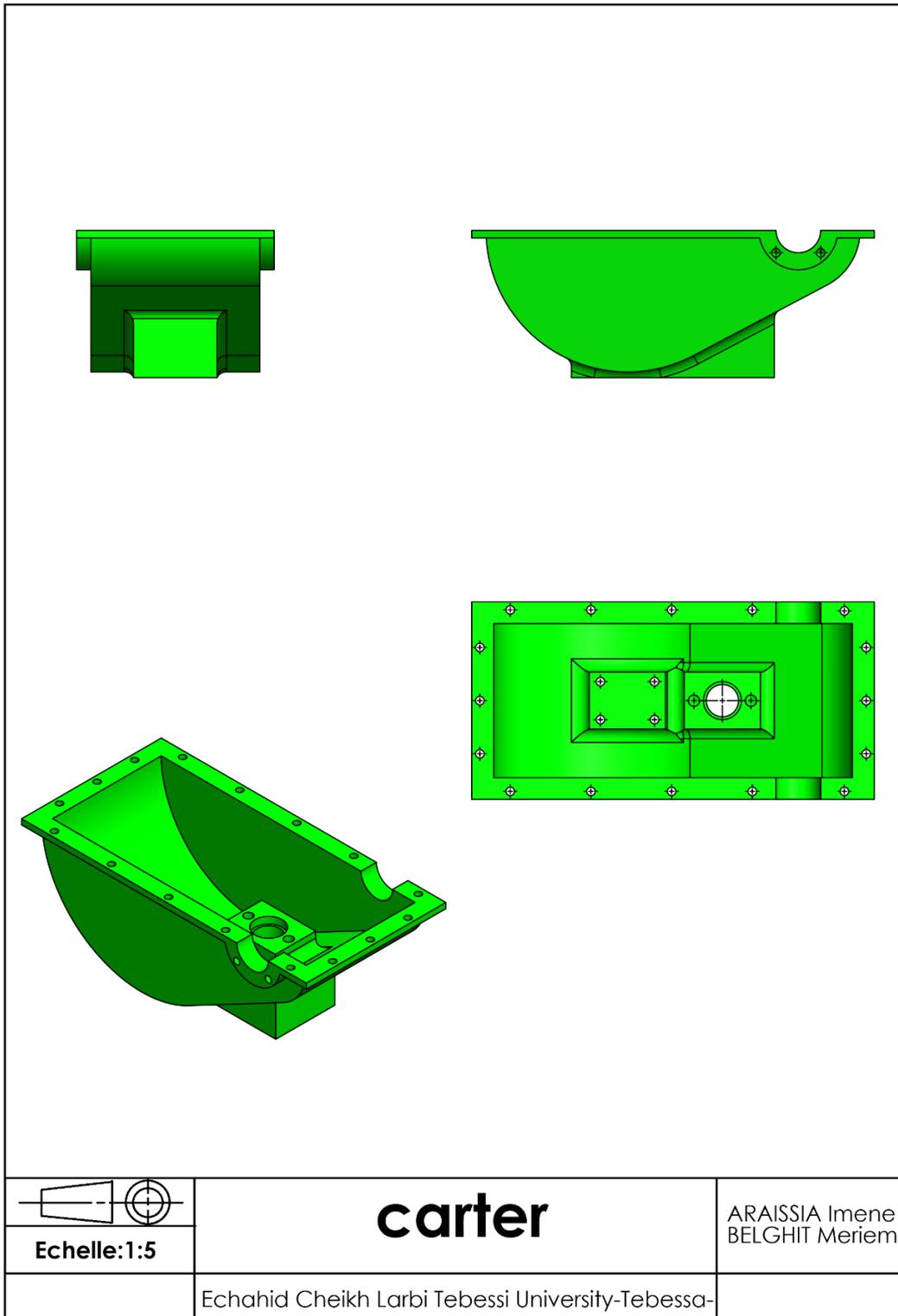


Figure IV. 29 : la mise en plan de carter.

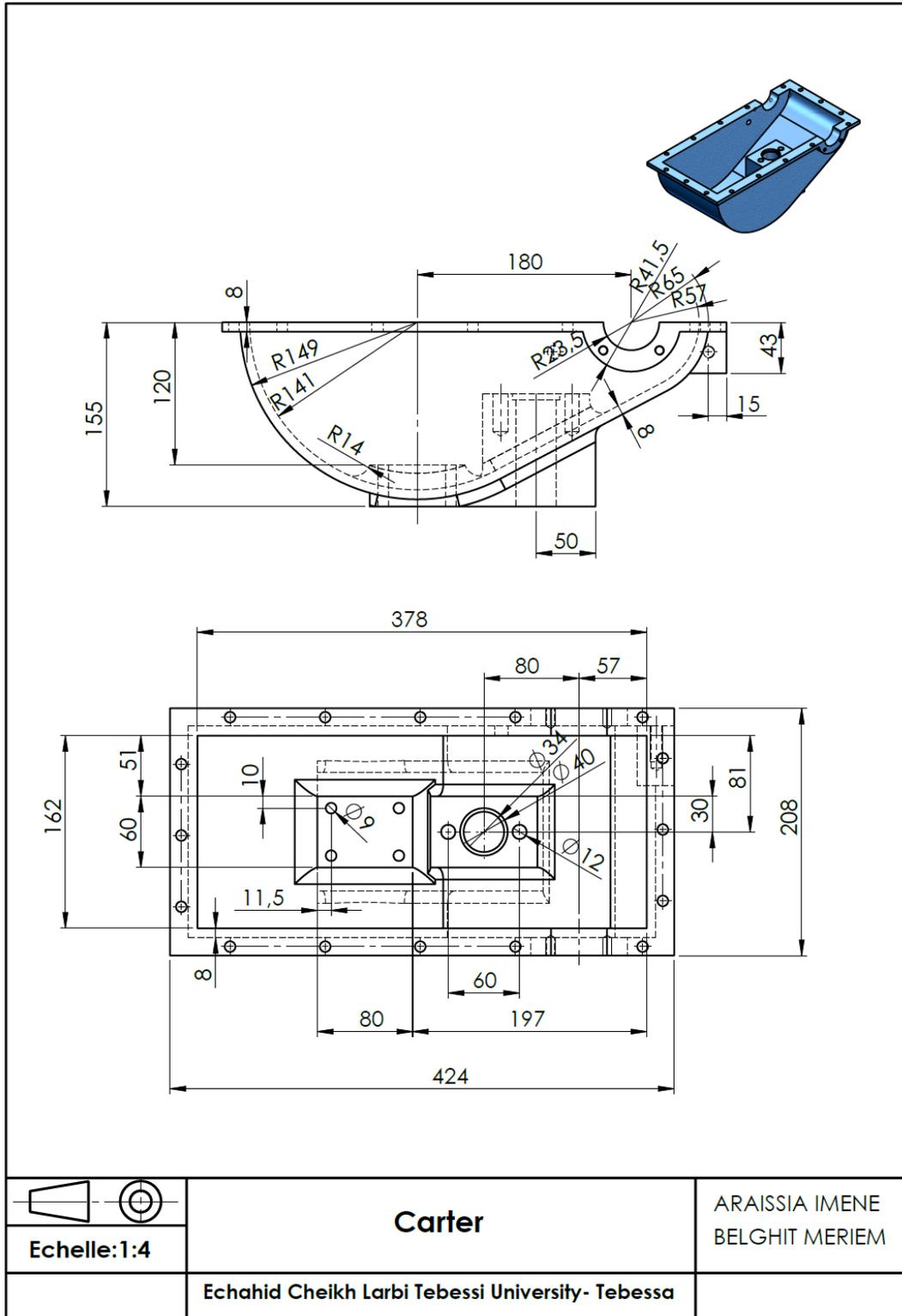


Figure IV. 30 : la mise en plan de carter

b) Les arbres

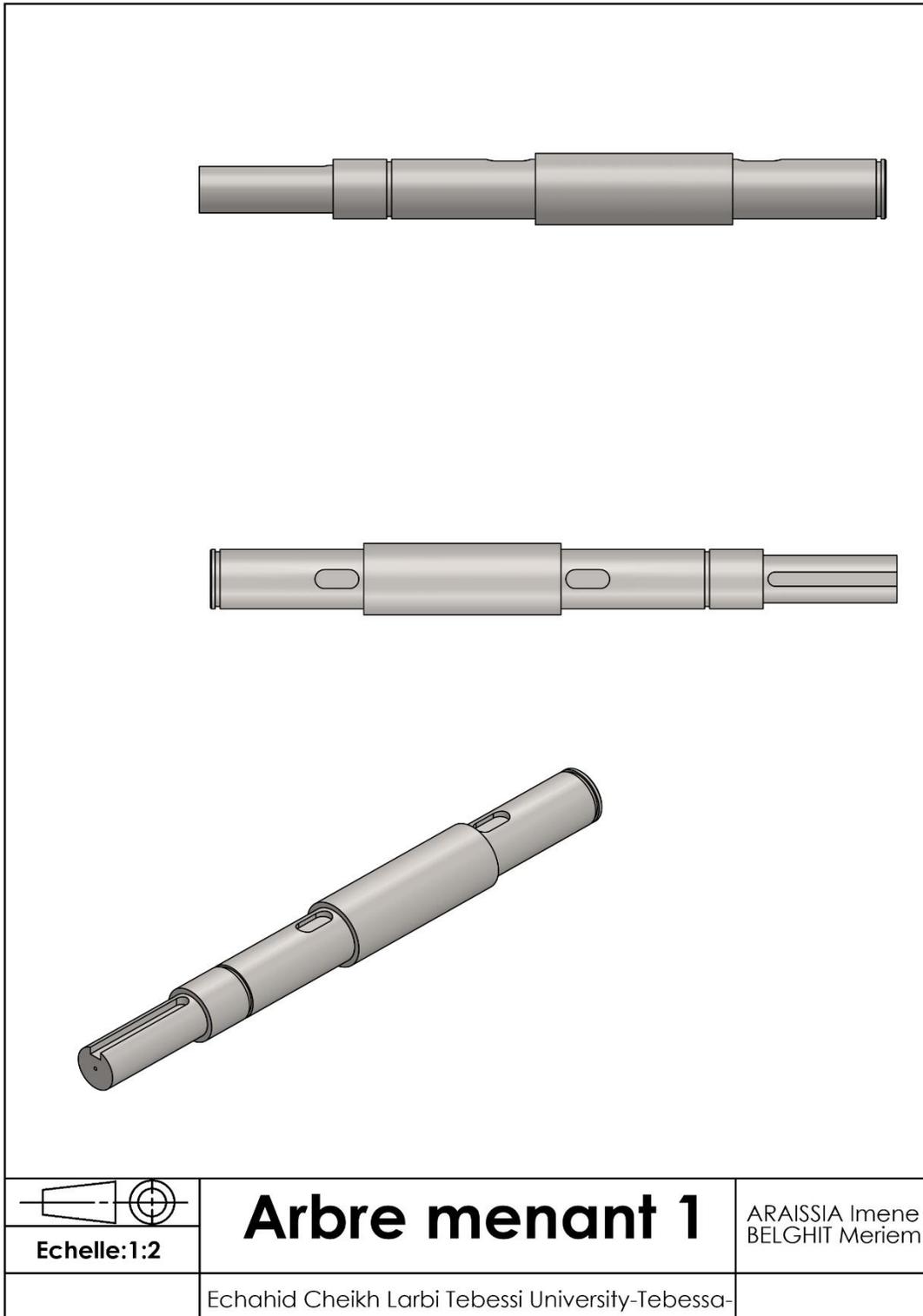


Figure IV. 31 : la mise en plan d'arbre menant.

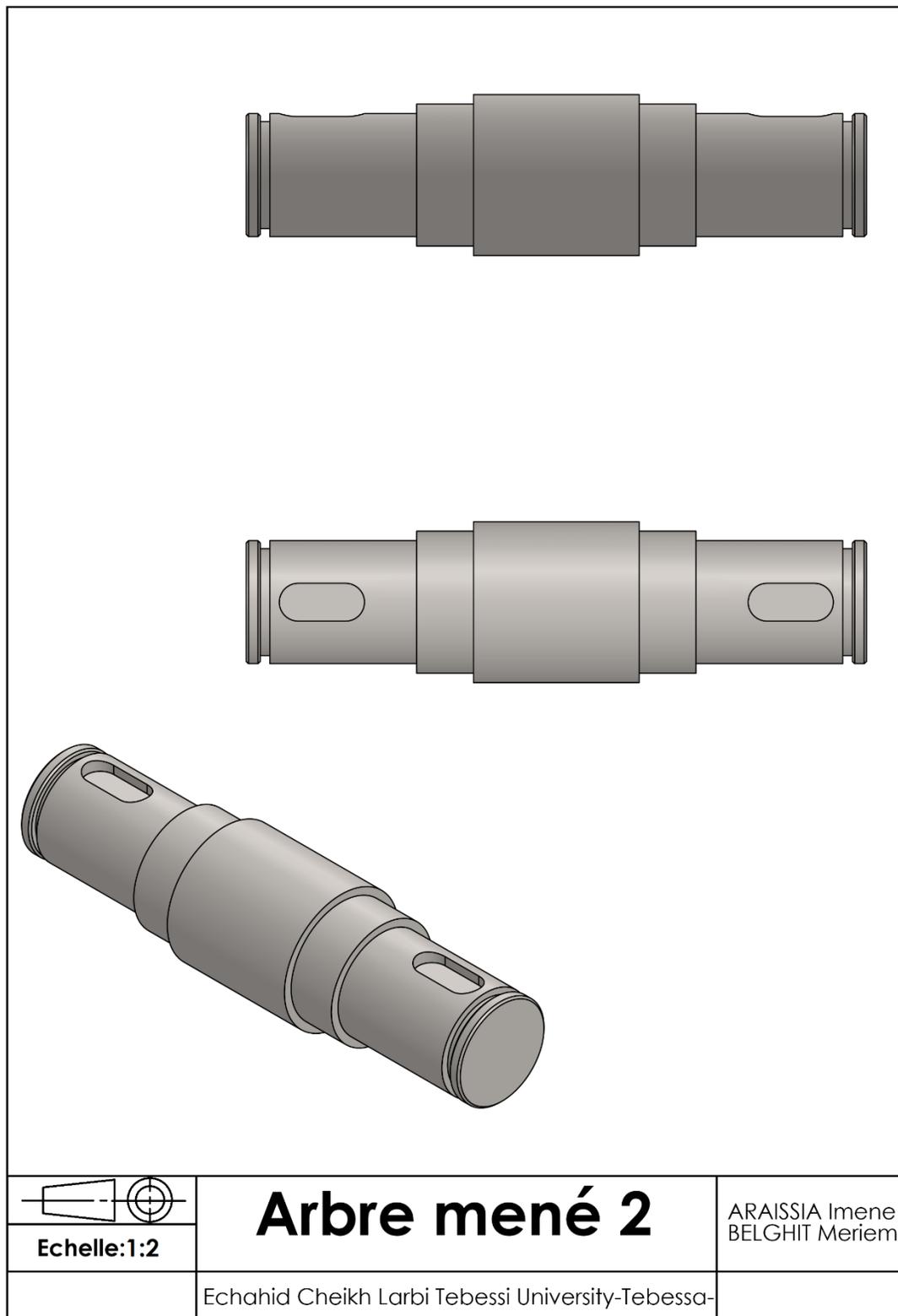


Figure IV. 32 : la mise en plan d'arbre mené.

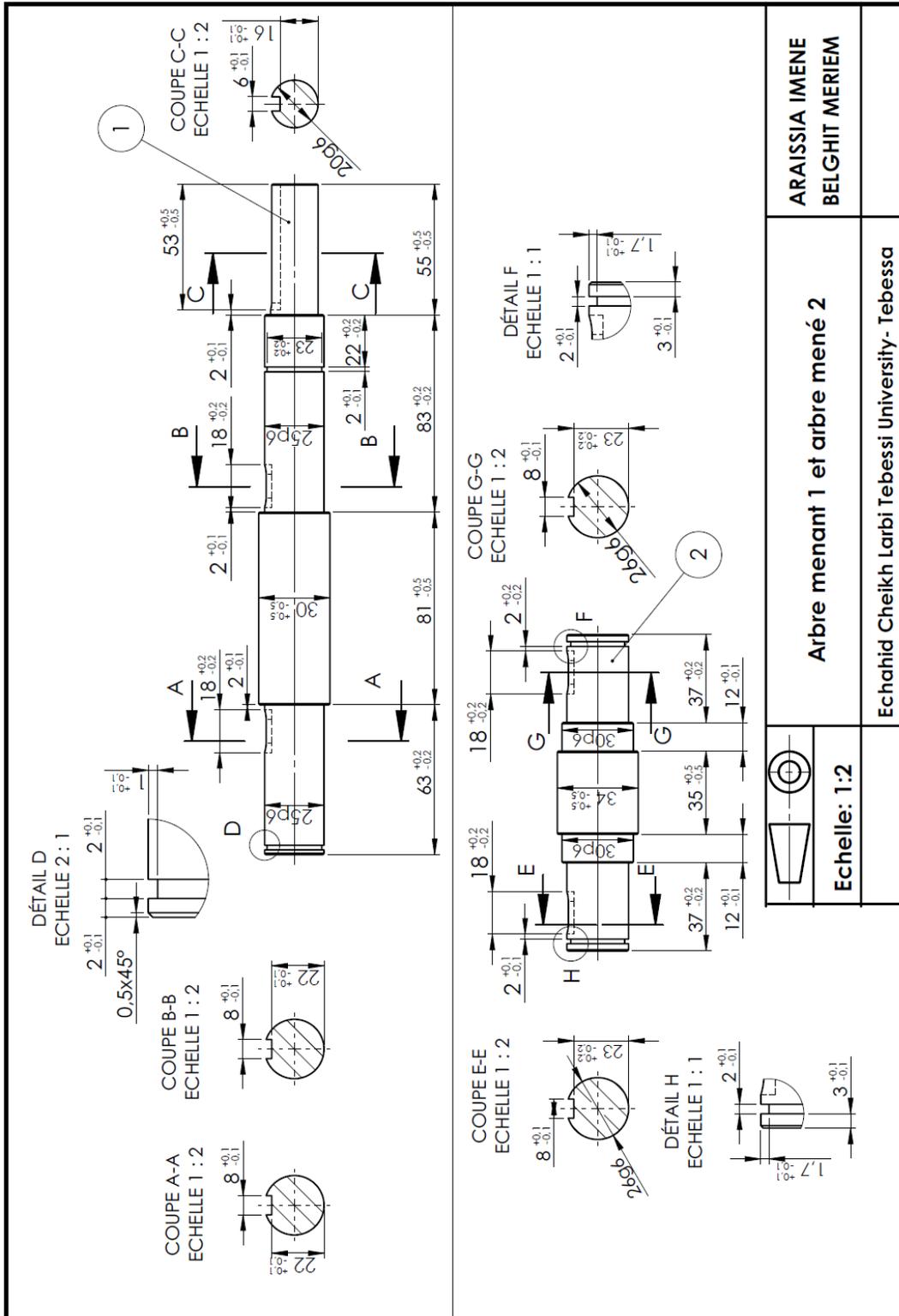


Figure IV. 33 : la mise en plan d'arbre menant et arbre mené.

<p>ARAISSIA IMENE BELGHIT MERIEM</p>	<p>Arbre menant 1 et arbre mené 2</p>	<p>Echelle: 1:2</p>
<p>Echahid Cheikh Larbi Tebessi University- Tebessa</p>		

c) Les Engrenages

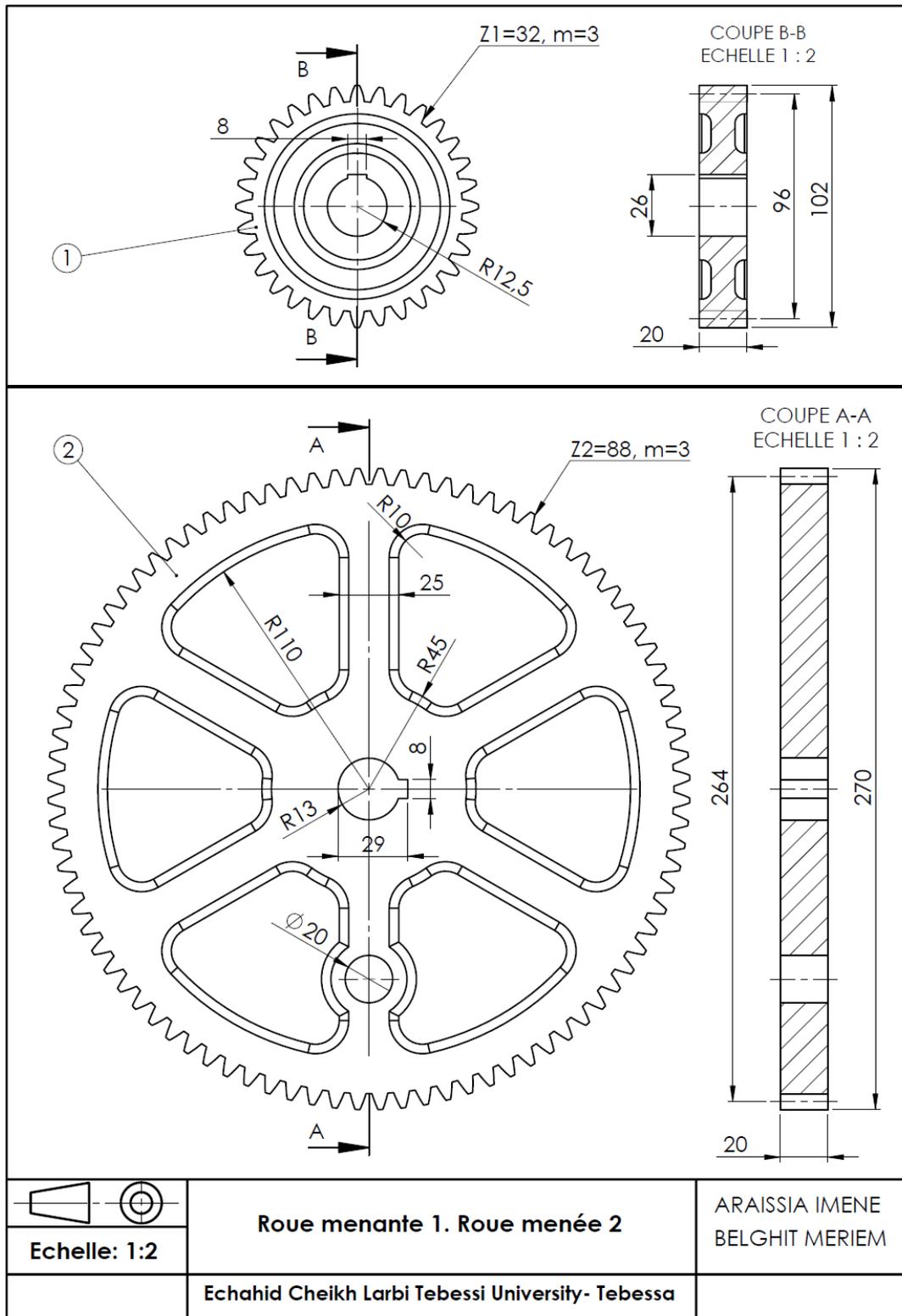


Figure IV. 34 : la mise en plan de roue menant et roue mené.

d) Système bielle-manivelle :

Bielle /Poulie /Guide

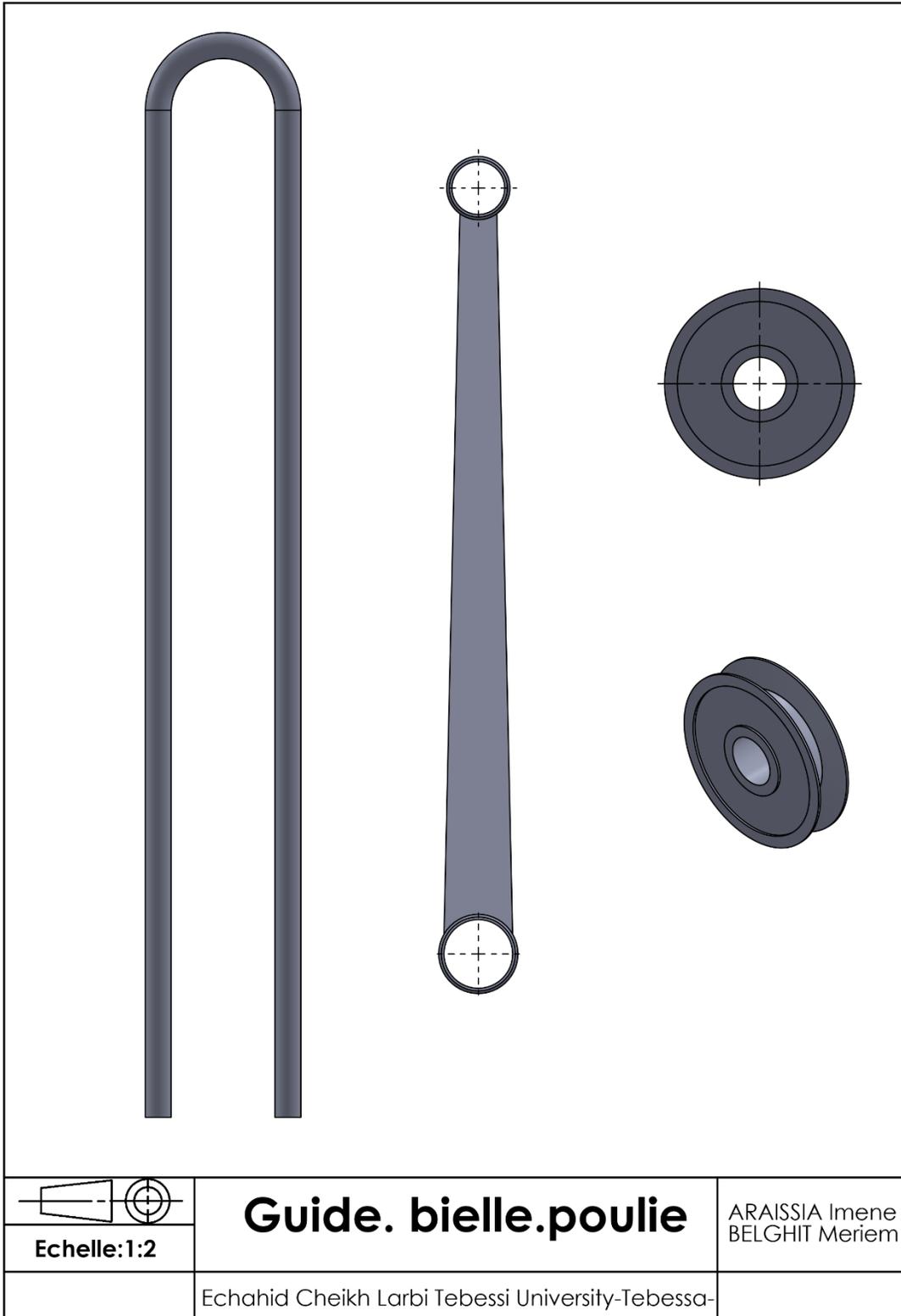
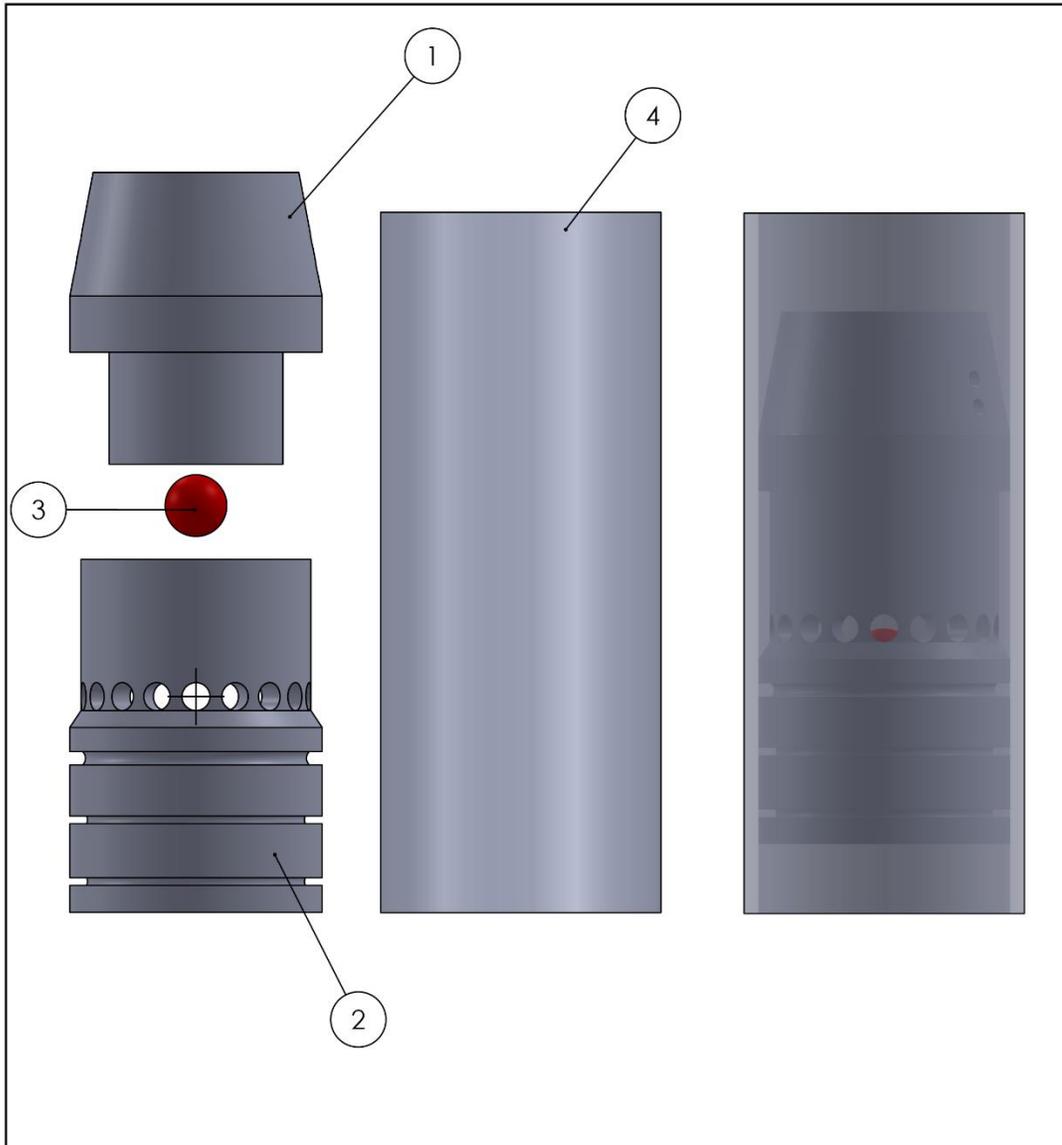


Figure IV. 35 : la mise en plan de guide / bielle / poulie.

IV.4.3. Pompe à piston.



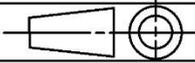
No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	DESCRIPTION	QTE
1	La partie supérieure de la pompe		1
2	La partie inférieure de la pompe		1
3	Bille		1
4	Tube		1
		<h2>Pompe à piston</h2>	ARAISSIA Imene BELGHIT Meriem
Echelle:1:1			
		Echahid Cheikh Larbi Tebessi University-Tebessa-	

Figure IV. 37 : la mise en plan de la pompe à piston.

IV.5. Assemblage des composants du système de pompage d'eau

Avant de faire l'assemblage de tous les éléments du réducteur, tout d'abord on fait l'assemblage d'arbre menant (Figure38) et d'arbre mené (Figure40) avec ses roulements, roue dentée, bagues, rondelles, et clavettes.

Ensuite, on fait l'assemblage des arbres à l'intérieur du carter, et après on assemble les composants du système de pompage d'eau (bielle, guide, roue de guidage, tige de pompage) avec le reste du système de transmission (Figure43).

À la fin on assemble tout le système pour créer une éolienne du pompage d'eau (Figure48).

IV.5.1. Assemblage d'arbre menant

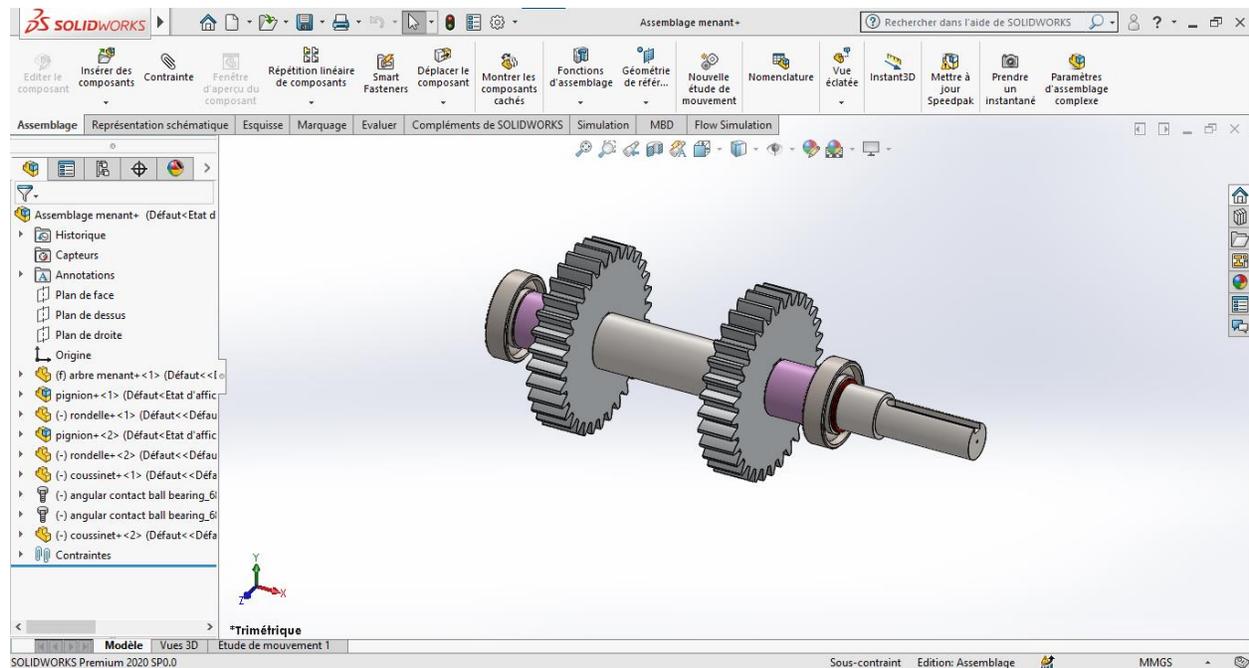


Figure IV. 38 : vue isométrique pour l'assemblage d'arbre menant.

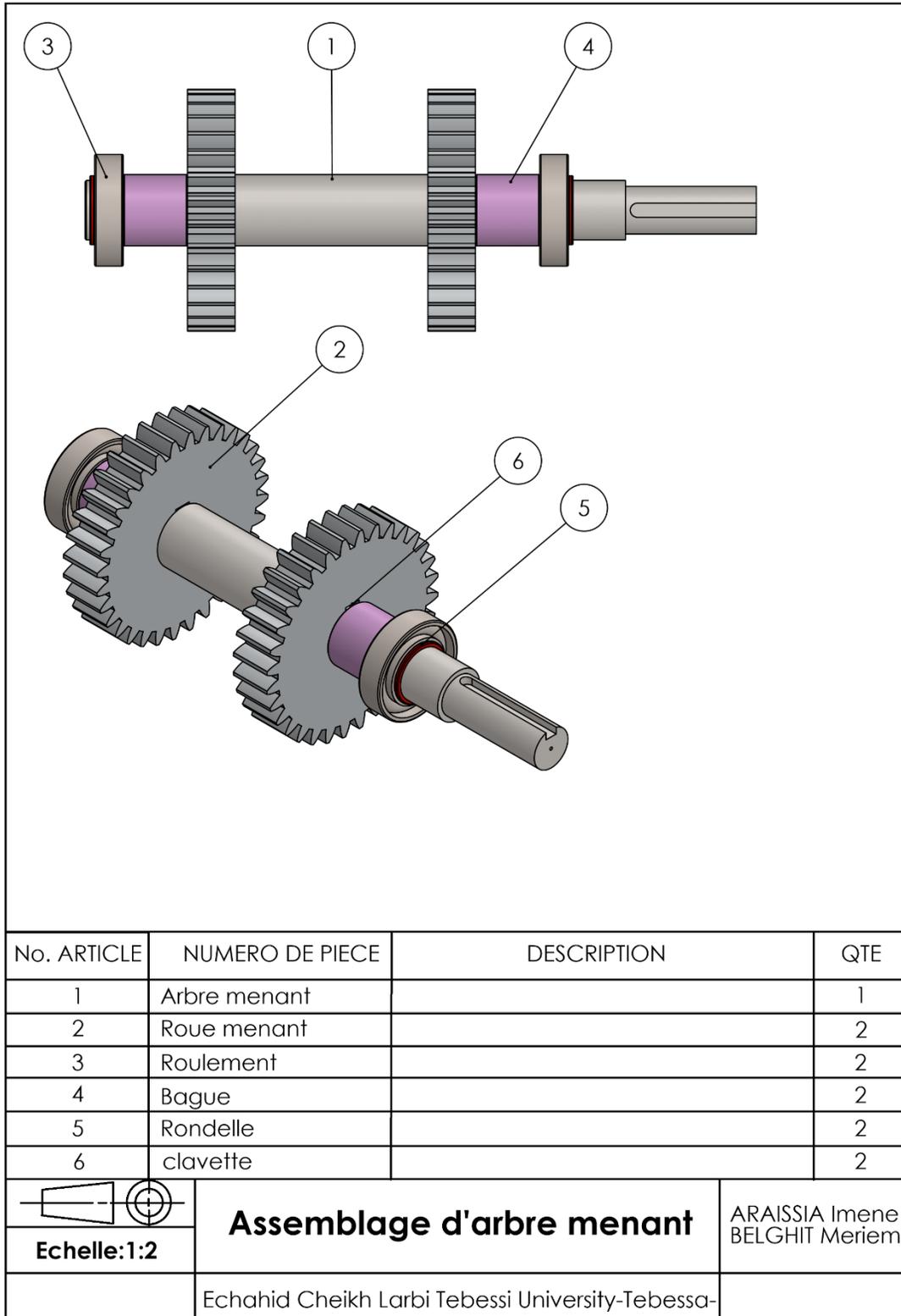


Figure IV. 39 : la mise en plan d'assemblage d'arbre menant.

IV.5.2. Assemblage d'arbre mené

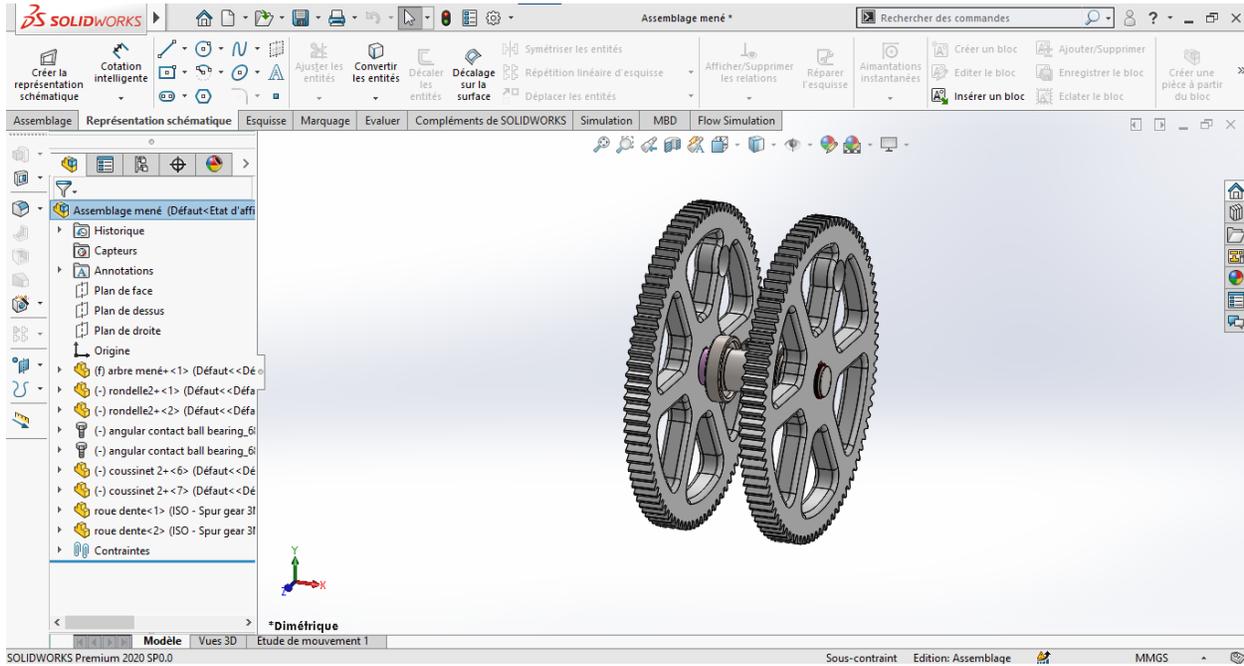


Figure IV. 40 : vue isométrique pour l'assemblage d'arbre mené.

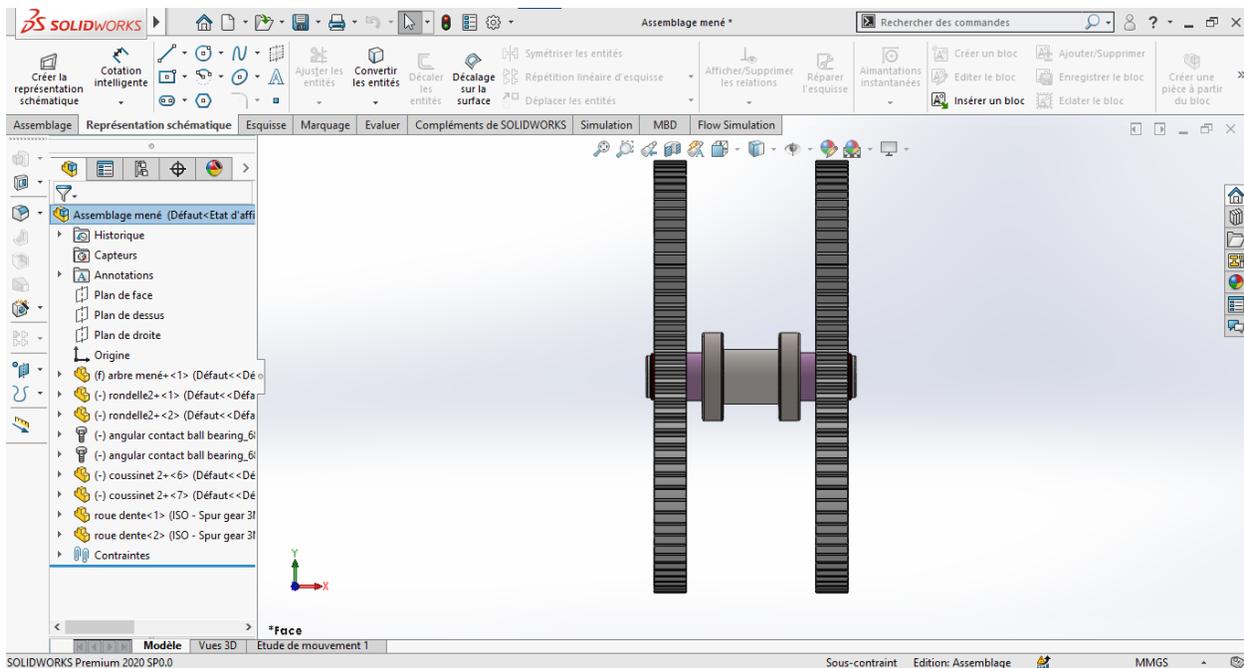


Figure IV. 41 : vue de face pour l'assemblage d'arbre mené.

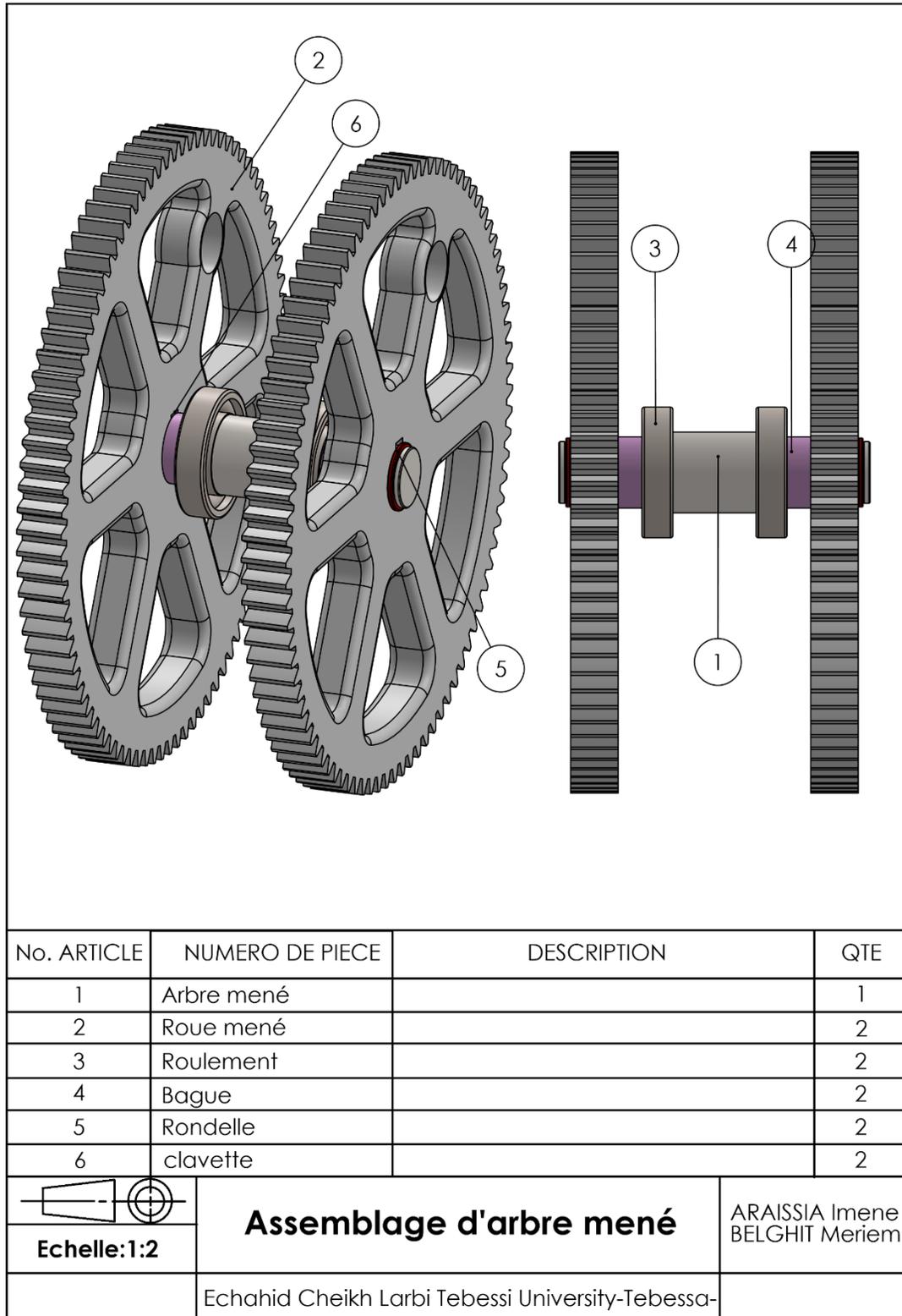


Figure IV. 42 : la mise en plan d'assemblage d'arbre mené.

IV.5.3. Assemblage de réducteur

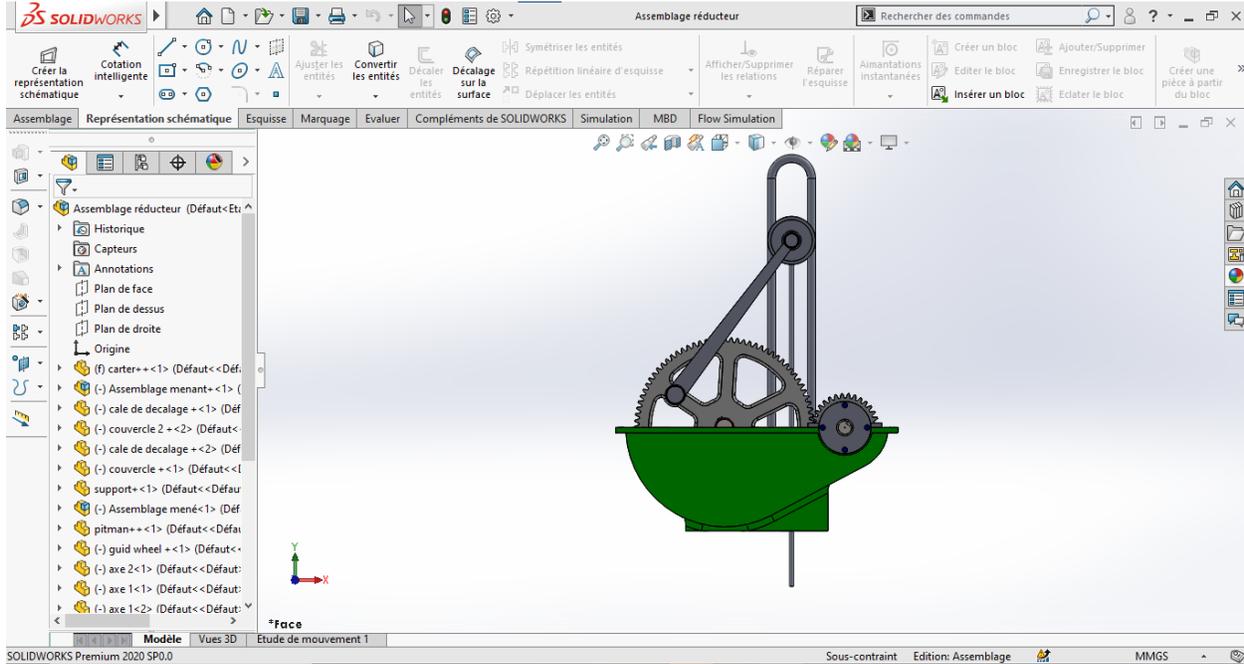


Figure IV. 43 : vue de face pour l'assemblage de réducteur.

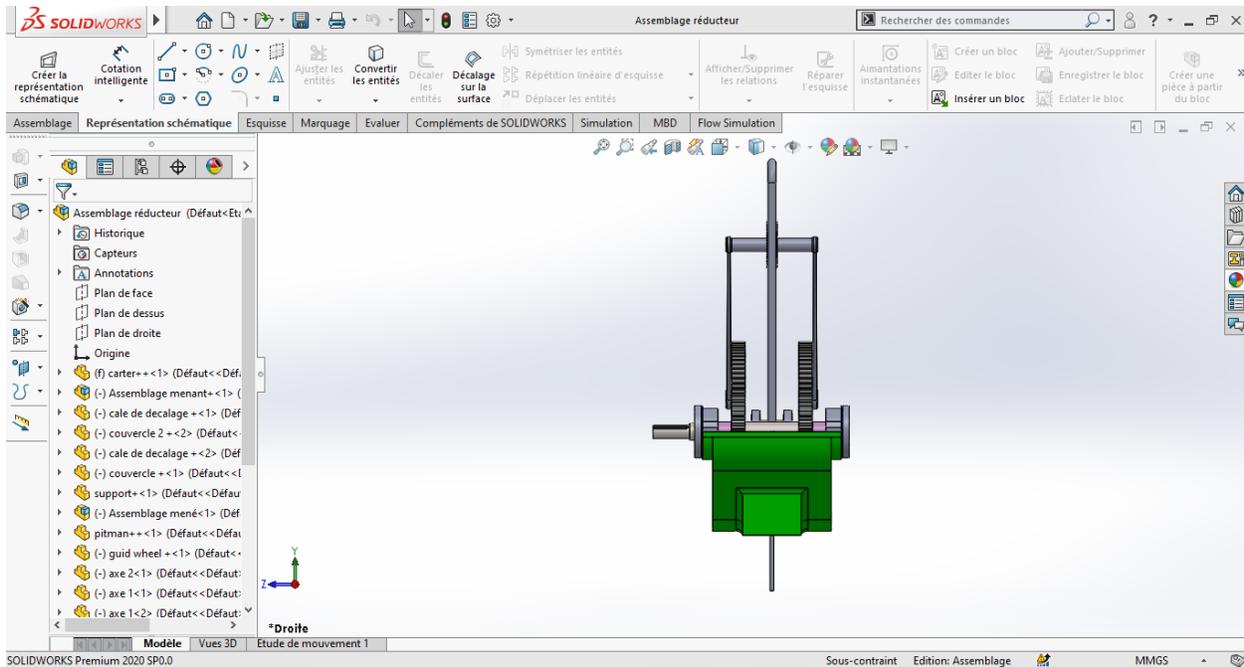


Figure IV. 44 : vue de droite pour l'assemblage d'arbre mené.

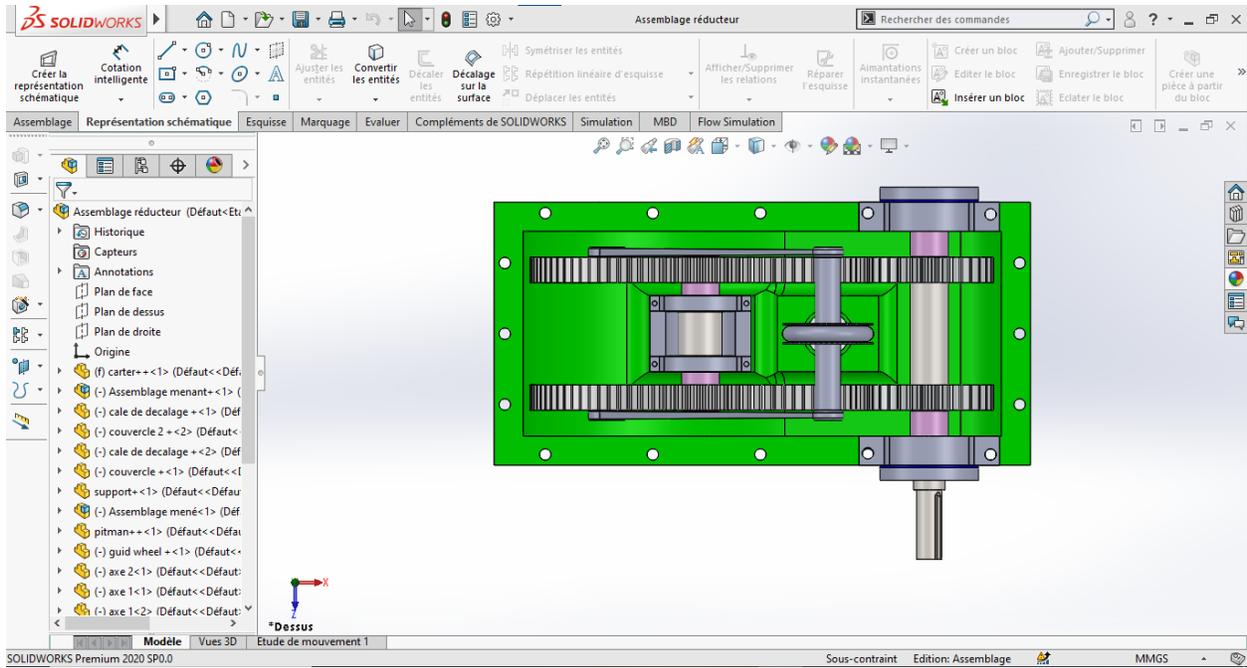


Figure IV. 45 : vue de dessus pour l'assemblage d'arbre mené.

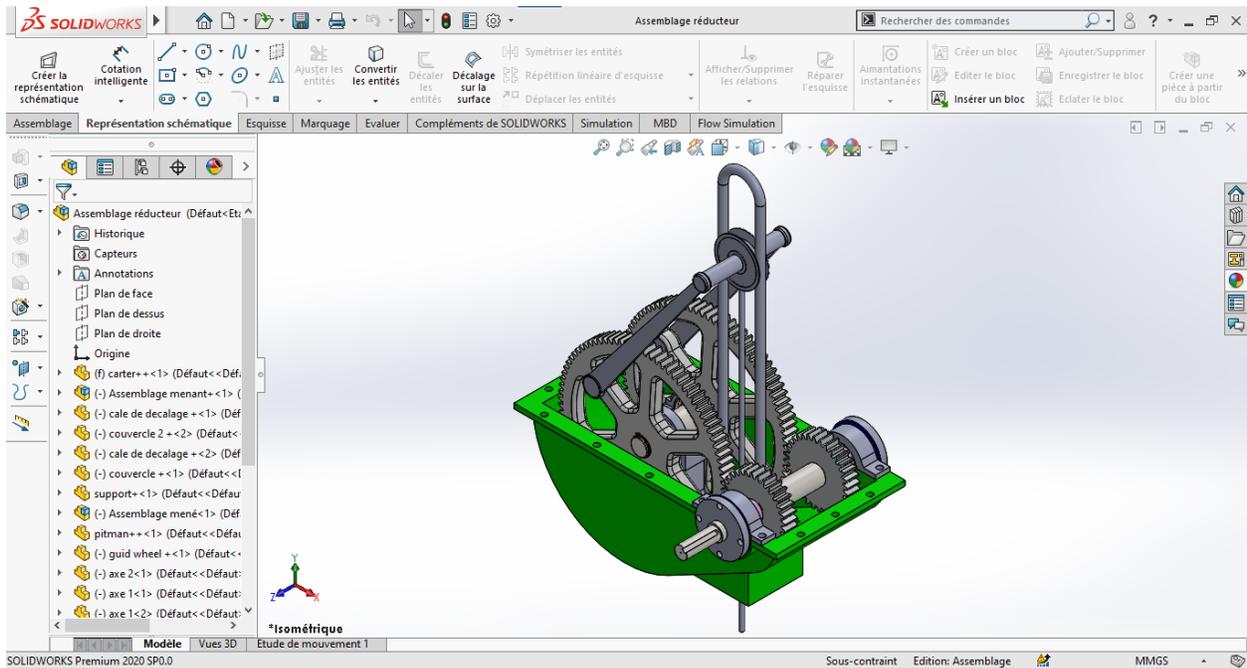


Figure IV. 46 : vue isométrique pour l'assemblage d'arbre mené.

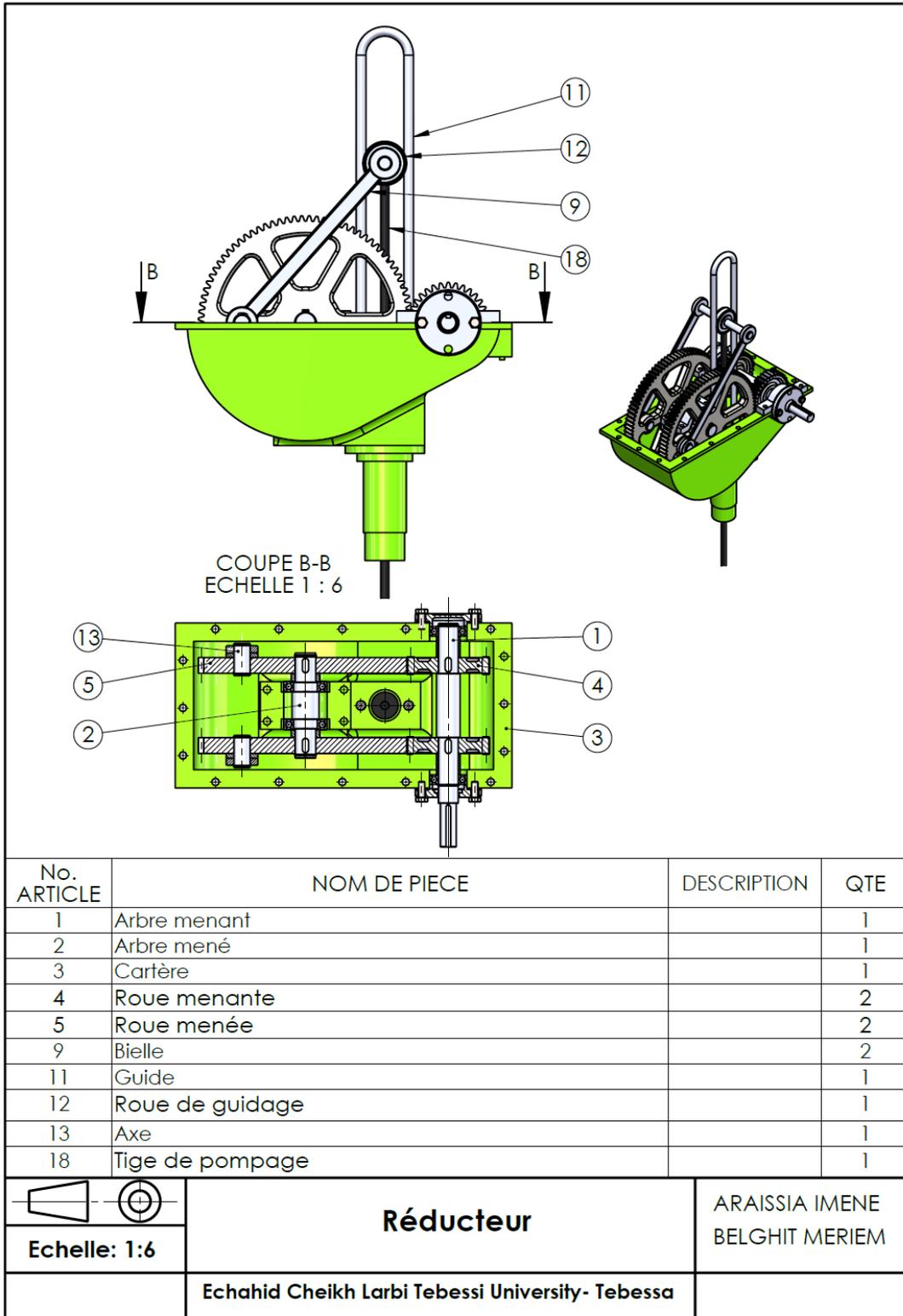


Figure IV. 47 : la mise en plan de réducteur.

IV.5.4. Assemblage d'éolienne

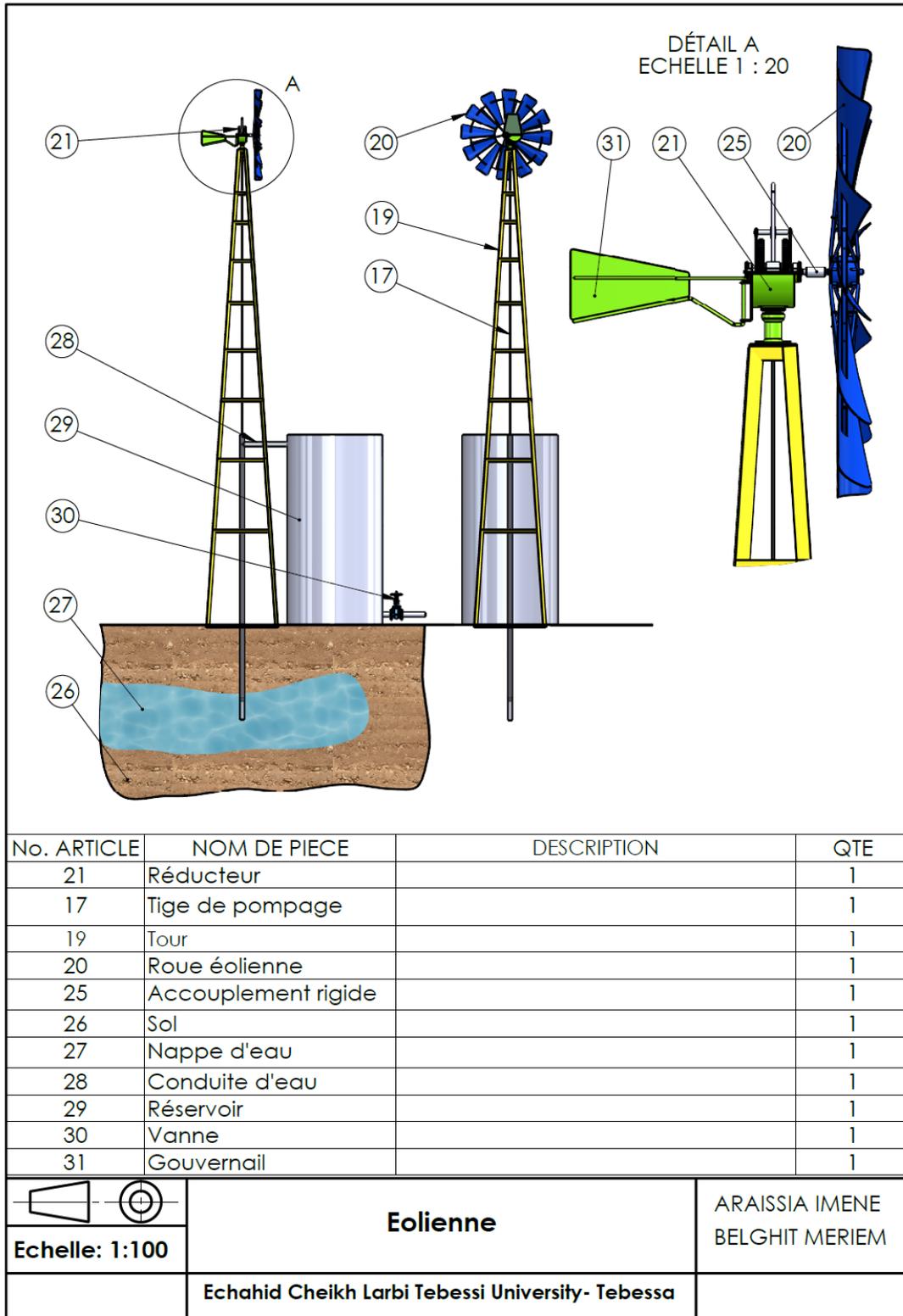


Figure IV. 48 : la mise en plan d'éolienne.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une conception avec L'assistance du logiciel "SolidWorks" pour créer l'assemblage d'une éolienne du pompage d'eau.

Nous avons modélisé l'arbre mené en détail et avec les dimensions et pour le reste des pièces nous donnons juste les modèles finals, en suite nous ajoutons la mise en plan de la plupart d'importantes pièces de la machine et finalement nous avons fait l'assemblage du réducteur avec tous ses composantes et l'assemblage final d'éolienne.

Chapitre V

Fabrication des pièces du réducteur

V.1.Introduction

Après avoir terminé la conception globale de la machine et s'être assuré de la résistance du système, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, vient l'étape de réalisation. Dans ce chapitre, nous expliquerons en détail comment chaque pièce des composants du système de pompage a été fabriquée en termes de matériaux de fabrication, ainsi que la méthode de fabrication, et en identifiant les machines et les mécanismes pour leur fabrication.

V.2.Les procédés de fabrication

- ❖ Pour réaliser le carter, nous avons utilisé le processus de moulage en sable

V.2.1. Le moulage

Le moulage est un procédé de fabrication qui consiste à réaliser une pièce en coulant du métal en fusion (fluide) dans un moule présentant l'empreinte de la pièce à obtenir.

V.2.1.1. Moulage en sable

Une empreinte est laissée par le modèle à l'intérieur d'une masse de sable serrée dans un châssis. Le métal liquide est coulé dans l'empreinte par un trou de coulée aménagé à cet effet. Après solidification par refroidissement naturel, on obtient une pièce ayant la forme de l'empreinte.[1]

- **Les étapes du Moulage en sable**
 - Préparation du sable :

$$\text{Sable à vert} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Un matériau réfractaire : la silice pure} \\ \text{Un matériau plastique : l'argile} \\ \text{Un matériau protecteur : le noir minéral} \end{array} \right\}$$



Figure V. 1 : Composants du sable de moulage.

- Cette préparation se réalise dans la sablerie qui sert à recycler le sable à vert (taux de recyclage 99%).



Figure V. 2 : Méthode de mélange des composants du sable.

➤ Préparation du modèle

En réalisant un modèle en bois de même forme que la pièce à obtenir et de mêmes dimensions.



Figure V. 3 : le modèle en bois.

Pour nous assurer qu'il n'y avait pas de lacunes dans le modèle, nous avons utilisé un mélange de menuiserie et de colle pour le remplir.



Figure V. 4 : Méthode pour combler les lacunes dans le modèle en bois.

Le modèle peut également être en polystyrène ou en argile.



Figure V. 5 : Autres modèles que nous avons essayés (on argile et on polystyrène).

➤ Préparation des châssis supérieur et inférieur

Nous avons fabriqué une caisse de moulage en bois, formée de deux parties, une partie supérieure et une partie inférieure, pour permettre l'extraction de la pièce moulée



Figure V. 6 : des châssis supérieur et inférieur en bois.

➤ Préparation de la fusion

Nous préparons une quantité d'aluminium et la mettons dans un récipient spécial, puis elle placée dans un four spécial pour faire fondre le métal et le mettre à une température de 700°C.



Figure V. 7 : Préparation de l'aluminium pour la fusion.



Figure V. 8 : Four de laboratoire.

➤ Préparation du châssis inférieur

Le modèle est pulvérisé avec une quantité du talc et placé à l'intérieur du châssis inférieur, on vient alors damer le sable et on racle alors la surface du châssis pour pouvoir retourner le tout.



Figure V. 9 : Le processus de l'empreinte inférieure.

➤ Préparation du châssis supérieur

L'empreinte supérieure est faite de la même manière que précédemment.



Figure V. 10 : Le processus de préparation de l'empreinte supérieure.



Figure V. 11 : l'empreinte supérieure.

➤ Noyautage et remmoulage

On place alors le noyau dans l'empreinte du châssis inférieur et on procède alors au remmoulage c'est à dire à la fermeture du moule, et on ferme le moule avec des clamps.

Et on Noter le conduit de coulée et d'évacuation d'air.



Figure V. 12 : Le processus de remmoulage.

➤ Coulée

On peut alors faire couler l'aluminium en fusion dans l'empreinte rapidement.



Figure V. 13 : Le processus de coulée d'aluminium fondu dans le moule.

- Refroidissement puis décochage et Ebarbage de la pièce

Une fois l’empreinte remplie, on laisse refroidir entre 5 et 15 minutes (suivant la taille de la pièce) et casser le moule pour retirer la coulée du métal nouvellement créée.



Figure V. 14 : Le processus d’extraction du modèle.

Dans notre cas, la forme correcte du modèle n’a pas été obtenue en raison du manque d’équipement nécessaire, ainsi que du manque de sable de haute qualité pour le moulage.

- ❖ Pour réaliser les arbres, nous avons utilisé le processus de tournage.

V.2.2. Tournage

Le tournage est un procédé d'usinage par enlèvement de copeaux qui consiste à l'obtention de pièces de forme cylindrique ou/et conique à l'aide d'outils coupants sur des machines appelées tours.

V.2.2.1. Le Tour

Cette machine sert principalement à usiner des pièces de révolution. La pièce est fixée dans le mandrin. Celui - ci est mis en rotation par le moteur de broche. L'outil suit une trajectoire qui interfère avec la pièce. L'outil est muni d'une arête coupante, il en résulte un enlèvement de matière : les copeaux. Ces petits éléments de matière sont appelés les copeaux. [2]

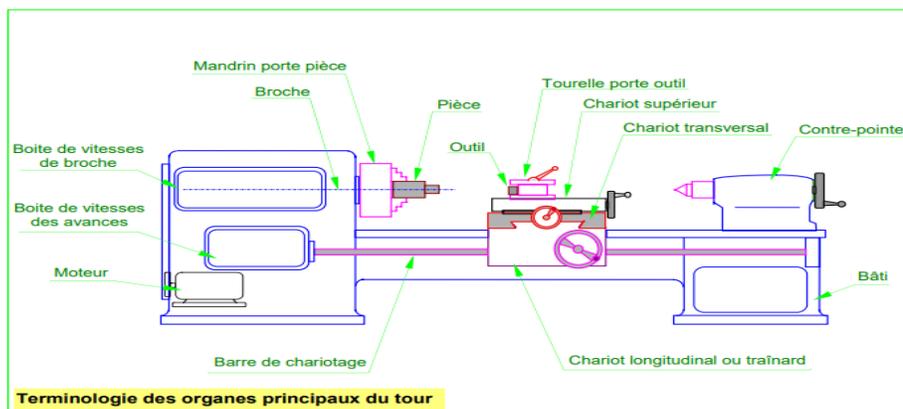


Figure V. 15 : Schéma montrant les pièces d’un tour.



Figure V. 16 : Une photo montrant le tour avec lequel les arbres ont été fabriqués.

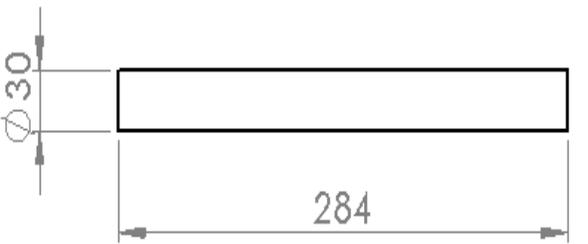
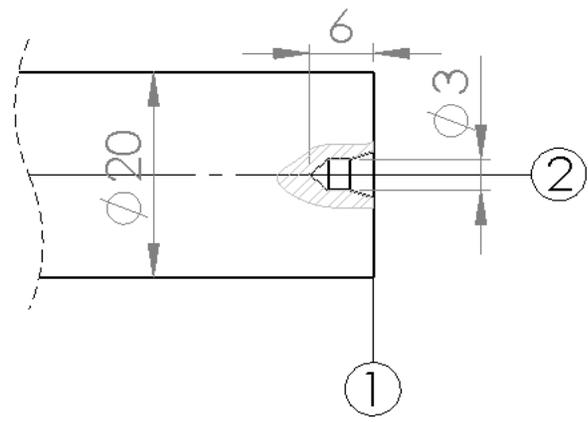
Pour réaliser l'arbre menant et l'arbre mené, la première étape consiste à amener le brut d'acier avec dimensions nécessaires.



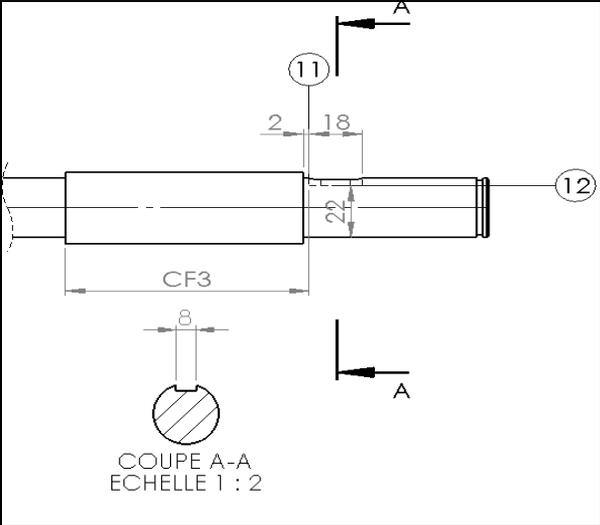
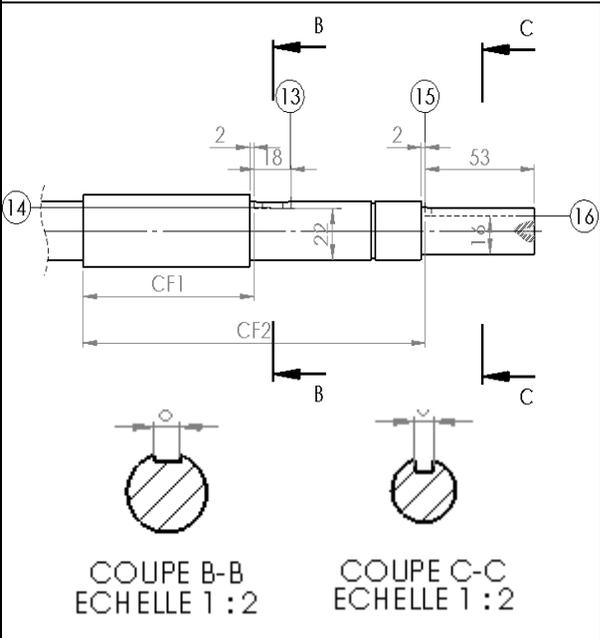
Figure V. 17 : Le brut des arbres.

L'étape suivante est le rôle du tour, nous effectuons les opérations comme indique dans les deux tableaux ci-dessous.

a) Gamme d'usinage de l'arbre menant

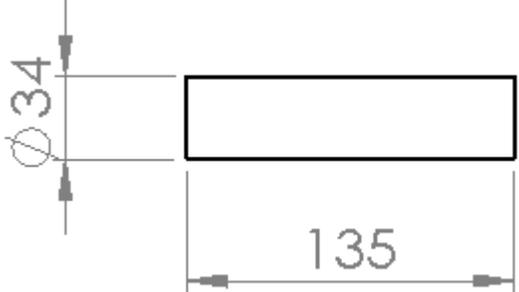
Phase	Sous phase	Designement + Opération	Croquis	Opération mécanique	Outil de fabrication	Outil de Vérification
100	10	-Contrôle de Brut		- Scie mécanique	- Lame	- Règle - Pied à coulisse
200	10 20	1/- Dressage① 2/- Centrage②		- Tour parallèle	- Outil à dresser - Forêt à centrer	- Règle - Pied à coulisse

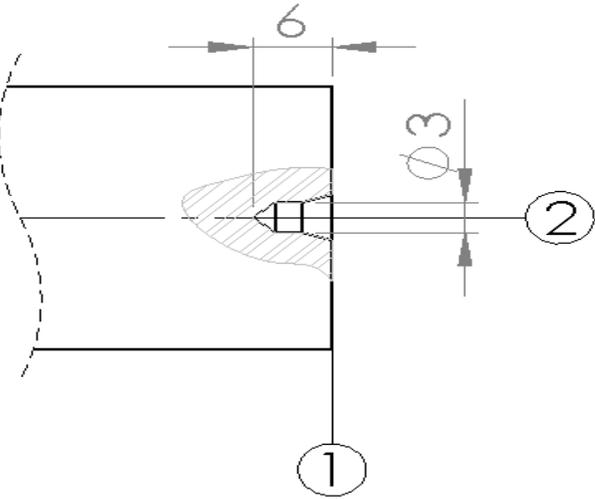
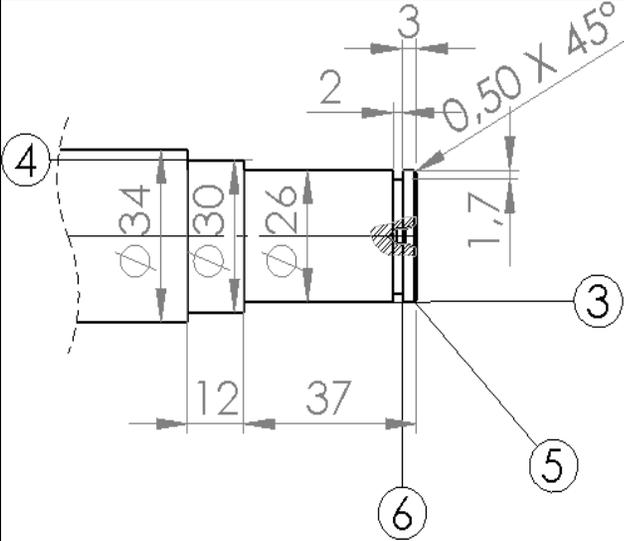
<p>300</p>	<p>10 20 30 40</p>	<p>1/- Chariotage droit ③ Ø20L55 2/- Chariotage droit ④ Ø25L83 3/- Chanfreinage ⑤ 0,5 * 45° 4/- Gorgage ⑥ Ø23L2</p>		<p>- Tour parallèle</p>	<p>- Outil coteau - Coude à charioter - Outil à saigner</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>
<p>400</p>	<p>10 20 30 40</p>	<p>1/- dressage ⑦ 2/- Chariotage droit ⑧ Ø25L63 3/- Chanfreinage 0,5* 45° ⑨ 4/-Gorgage ⑩ Ø23L2</p>		<p>- Tour parallèle</p>	<p>- Outil à dresser - Outil coteau - coude à charioter - Outil à saigner</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>

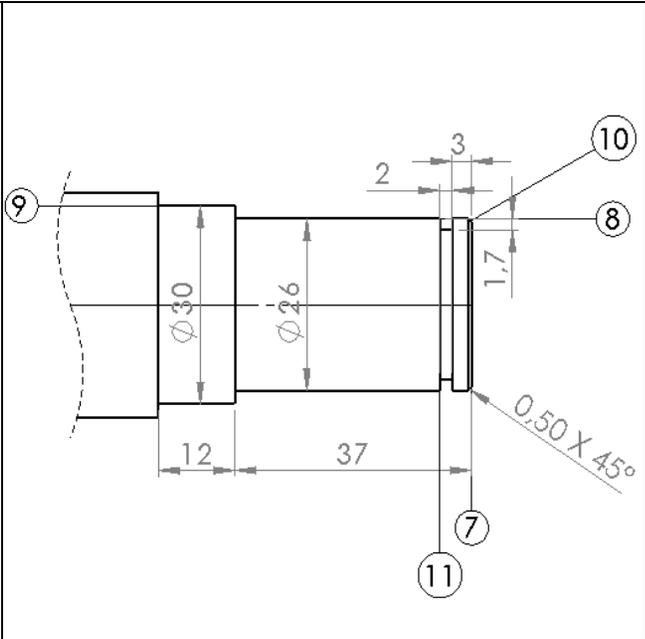
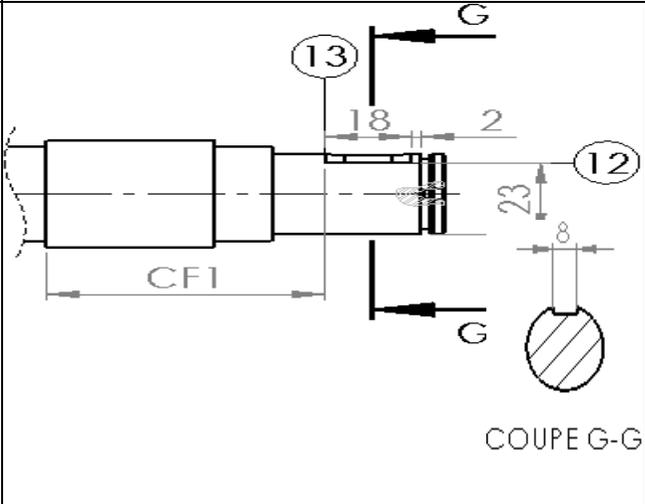
<p>500</p>	<p>10</p>	<p>1/- rainurage(11)(12) pour une clavette parallèle en forme A</p> <p>Coupe A-A</p> <p>CF₃ = 83</p>		<p>- Fraises</p>	<p>- Fraise 2T à 2 lèvres</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>
<p>600</p>	<p>10</p>	<p>1/- rainurage(13)(14) pour une clavette pour une clavette parallèle en forme A</p> <p>Coupe B-B</p> <p>CF₂ = 166</p> <p>2/-rainurage(15)(16) pour une clavette parallèle en forme A</p> <p>Coupe C-C</p> <p>CF₁ = 83</p>		<p>- Fraises</p>	<p>- Fraise 2T à 2 lèvres</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>

700	10	- Contrôle finale de déférente cote de Fabrication				
-----	----	----------------------------------------------------	--	--	--	--

b) Gamme d'usinage de l'arbre mené :

Phase	Sous phase	Designement + Opération	Croquis	Opération mécanique	Outil de fabrication	Outil de Vérification
100	10	- Contrôle de Brut	 <p>The drawing shows a shaft with a diameter of 34 and a length of 135. The diameter is indicated by a vertical dimension line with arrows and the symbol $\varnothing 34$. The length is indicated by a horizontal dimension line with arrows and the value 135.</p>	- Scie mécanique	- Lame	- Règle - Pied à coulisse

<p>200</p>	<p>10 20</p>	<p>1/- Dressage① 2/- Centrage②</p>		<p>- Tour parallèle</p>	<p>- Outil à dresser - Forêt à centrer</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>
<p>300</p>	<p>10 20 30 40</p>	<p>1/- Chariotage droit③Ø26L37 2/- Chariotage droit④Ø30L12 3/- Chanfreinage⑤0,5*45° 4/- Gorgage⑥Ø22,6L2</p>		<p>- Tour parallèle</p>	<p>- Outil coteau - coude à charioter - Outil à saigner</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>

<p>400</p>	<p>10 20 30 40 50</p>	<p>1/- Dressage(7) 2/-Chariotage droit(8)Ø26L37 3/- Chariotage droit(9)Ø30L12 4/- Chanfreinage(10)0,5*45° 5/- Gorgage(11)Ø22,6L2</p>		<p>- Tour parallèle</p>	<p>- Outil à dresser - Outil coteau - coude à charioter - Outil à saigner</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>
<p>500</p>	<p>10</p>	<p>1/- rainurage(12)(13) pour une clavette parallèle en forme A Coupe G-G CF₁= 59</p>		<p>- fraises</p>	<p>- Fraise 2T à 2 lèvres</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>

<p>600</p>	<p>10</p>	<p>1/- rainurage (14) (15) pour une clavette parallèle en forme A</p> <p>Coupe E-E</p> <p>CF₂ = 59</p>		<p>- fraises</p>	<p>- Fraise 2T à 2 lèvres</p>	<p>- Règle - Pied à coulisse</p>
<p>700</p>	<p>10</p>	<p>- Contrôle finale de déferente cote de Fabrication</p>				

Après avoir effectué les opérations de fabrication sur le tour, on obtient enfin les arbres comme le montrent les images ci-dessous.



Figure V. 18 : Photos des axes (arbres) finies.

- ❖ Pour réaliser les engrenages, nous avons utilisé le processus de fraisage.

V.2.3. Fraisages

Le fraisage désigne un procédé d'usinage par enlèvement de matière. Il se caractérise par le recours à une machine-outil : la fraiseuse. L'outil classiquement utilisé est la fraise.

V.2.3.1. La Fraiseuse

Les fraiseuses ont supplanté certaines machines (raboteuses, étaux limeurs) pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines peuvent également servir pour des opérations de contournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions. [3]

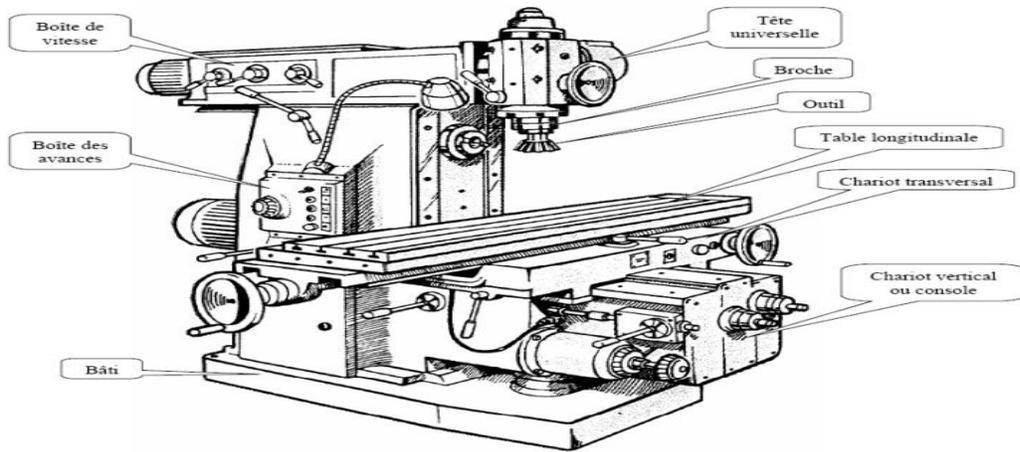


Figure V. 19 : Schéma montrant les pièces d'une fraiseuse.



Figure V. 20 : Une photo montrant la fraiseuse avec lequel les engrenages ont été fabriqués.

V.2.3.2. Operations de fraisage

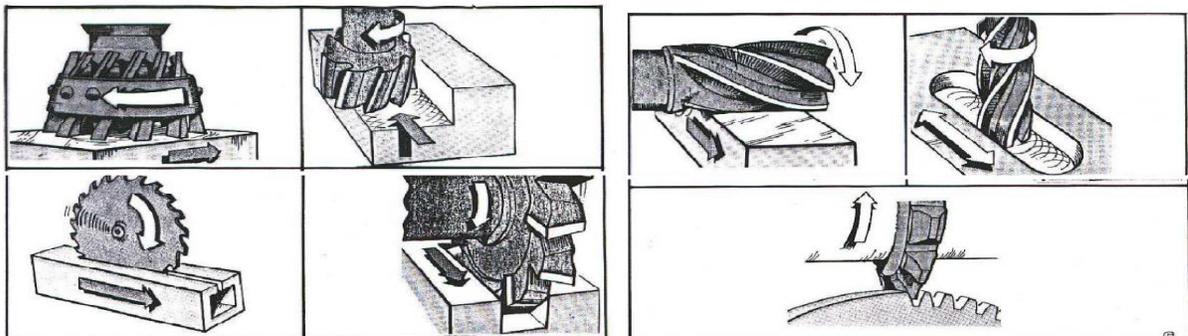


Figure V. 21 : Les opérations de fraisage.

Pour réaliser les engrenages, la première étape consiste à préparer le brut en fondant l'aluminium dans un four de traitement thermique et en le coulant dans des moules pour obtenir de l'aluminium aux dimensions nécessaires.



Figure V. 22 : Le processus de préparation de brut des engrenages.



Figure V. 23 : Four des traitements thermiques

Après avoir obtenu les pièces en aluminium avec les dimensions nécessaires, nous passons à l'usinage au tour pour obtenir des pièces cylindriques avec des surfaces finies.



Figure V. 24 : l'usinage des pièces cylindriques.

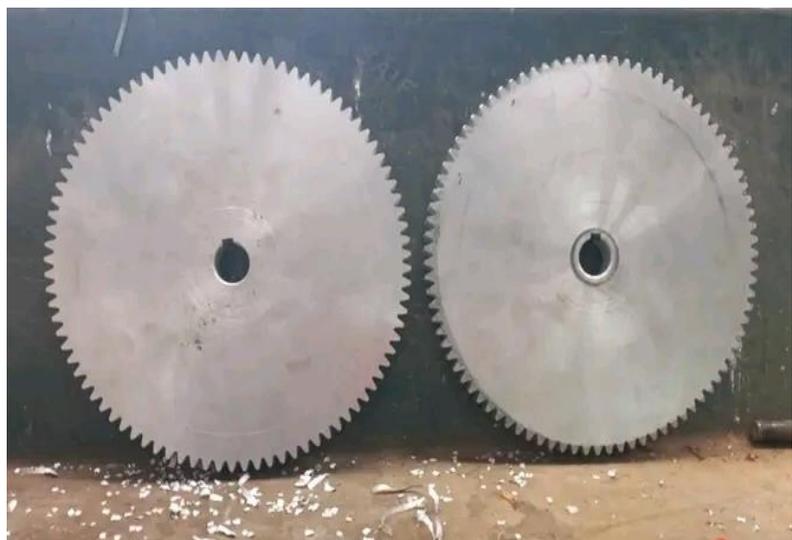


Figure V. 25 : Les pièces cylindriques avant et après l'usinage

Après l'obtention des pièces cylindriques, vient la dernière étape qui est le fraisage, où les dents des engrenages sont taillées par un Fraisage à rainurer 3 tailles.



Figure V. 26 : Une photo montrant le taillage des engrenages.



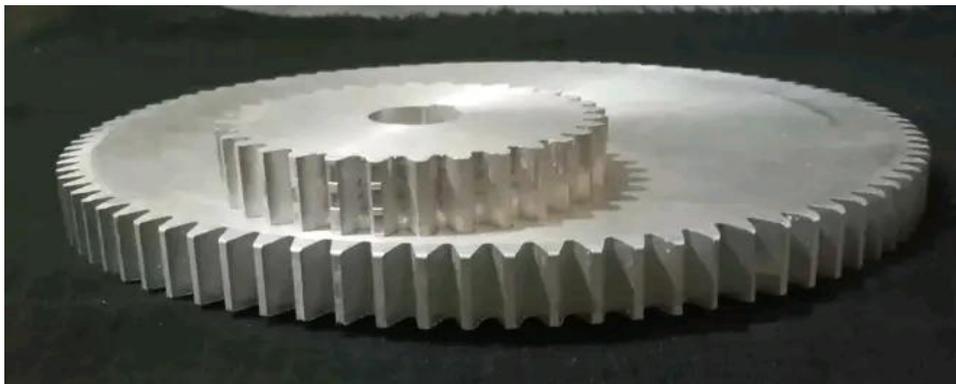


Figure V. 27 : Photos des engrenages finies.

- ❖ Pour réaliser le carter et la roue éolienne, nous avons utilisé le processus de soudage.

V.2.4. Soudage

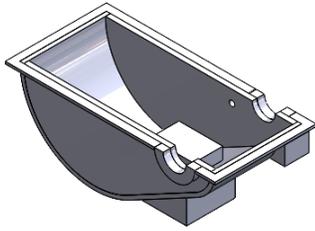
Le soudage est un moyen d'assemblage permanent, pour objet d'assurer la continuité de la matière à assembler.

V.2.4.1. Soudage du carter

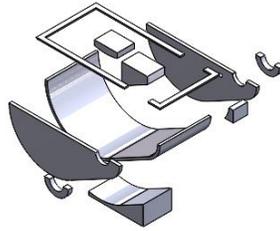
Un soudage, ou une soudure métallique est obtenu par fusion d'un métal de base, à la différence du soudo-brasage et du brasage où il n'y a fusion que de métal d'apport.

Pour réaliser le carter on a procédé par soudage de ses différentes parties découpées par une machine de découpe plasma CNC assisté par ordinateur

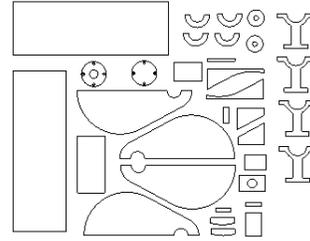
Le modèle SolidWorks est dissocié en plusieurs parties, après la mise en plan le fichier de mise en plan est converti en fichier DXF, puis envoyé à la machine de découpe plasma, les différentes parties obtenus sont soudées pour avoir le carter brute enfin envoyée à l'usinage.



1. Modèle SOLIDWORKS



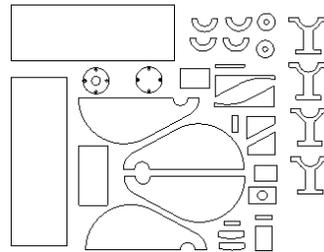
2. Modèle dissocié



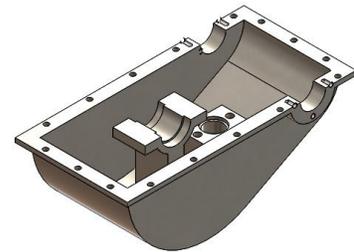
3. Fichier DXF



4. Machine de découpe plasma CNC



5. Parties découpées d'une tôle de 8 mm d'épaisseur



6. Pièce soudé

Figure V. 28 : Les étapes de réalisation du carter.

V.3. Conclusion

Pour réaliser les pièces du réducteur, nous avons fait face à plusieurs difficultés au cours de la période récente, dont le manque de sable et d'équipement de moulage au sein des laboratoires universitaires, ainsi que le manque de machines de fabrication en atelier.

Enfin, ces travaux représentent le résultat d'études et de recherches scientifiques, car ils ouvrent de nombreux horizons dans le domaine de la fabrication de systèmes de pompage et d'éoliennes, qui représentent une source d'énergie propre, renouvelable et économique, grâce à laquelle la recherche peut se poursuivre. Développer des systèmes de pompage, obtenir des systèmes idéaux de meilleure qualité et à moindre coût, et exploiter les énergies renouvelables.

Références

[1] Ala Eddine Kaouka, Cours de Technologie de base, Sciences et Technique, Université Amar Telidji-Laghouat, 2015.

[2] B. Vielle, Méthodes & Fabrications, Conservatoire National des Arts et Métiers, Production Automatisée.

[3] Aouici H & Benlahmidi S, Fraisage, ENST/TP Atelier, spécialité : Génie Mécanique & Production, Ecole Nationale Supérieure de Technologie.

Conclusion générale

L'étude que nous avons accompli, nous a permis de nous instruire à la conception mécanique assistée par ordinateur en tant que discipline scientifique et technique. Nous avons approfondi notre savoir dans un domaine de la conception mécanique, par la réalisation d'un système de pompage par éolienne

Ce sujet nous a permis d'apprendre beaucoup de disciplines, tel que conception mécanique assistée par ordinateur, les différentes techniques de fabrications. Le dimensionnement des pièces du système a passé par un calcul énergétique, cinématique et un calcul de résistance. L'outil de CAO SOLIDWORKS nous a permis à modéliser et simuler le système de transmission. Le procédé de moulage du carter n'a pas réussi à cause de manque de moyens, pour cela on a changé le procédé de fabrication en utilisant le soudage.

Nous pensons que cette étude pourra constituer un modèle ou un avant-projet de construction d'un système de pompage par éolienne.

Annexe

Tableau III. 6 : Valeurs recommandées du facteur de largeur de la face d'engrenage ψ_{ba} . [2]

Disposition des engrenages par rapport aux roulements	Dureté	ψ_{ba}
Symétrique	Quelconque	0.315; 0.4; 0.5
Non symétrique	Brinell BHN, jusqu'à 350 Rockwell C, ≥ 40	0.315; 0.4 0.25; 0.315
Sur les porte-à-faux à arbre	Brinell BHN, jusqu'à 350 Rockwell C, ≥ 40	0.25 0.2
Pour engrenages à chevrons	Quelconque	0.4 ; 0.5; 0.63
Pour les engrenages internes	Quelconque	0.2

Tableau III. 7 : Traitement thermique et dureté des matériaux. [2]

Traitement thermique	Dureté		Matériau de l'engrenage	$\sigma_{H\text{ lim}}$, MPa	$\sigma_{b\text{ lim}}$, MPa
	Cas	Noyau et racine			
Normalisation, trempe	Brinell 180 à 350		Aciers au carbone et alliés, tels que 45 (0,45C), 40X (0,40C-Cr), 40XH (0.40C- Cr-Ni), 50XH (0.50C-Cr-Ni) et 35XM (0.35C-Cr-Lu)	$2H_m + 70$	$1.8H_m$
Durcissement complet	Rockwell C, 40 à 55		Aciers au carbone et alliés, tels que 45 (0,45C), 40X (0,40C-Cr), 40XH (0.40C-Cr-Ni) et 35XM (0.35C-Cr-Mo)	$18H_m + 150$	500
Durcissement de surface	Rockwell C, 40 à 58	Rockwell C, 25 à 35	Aciers alliés, tels que 40X (0.40C-Cr), 40XH (0.40C-Cr-Ni), 50XH (0.50C-Cr-Ni) et 35XM (0.35C-Cr-Mo)	$17H_m + 200$	650
Cémentation	Rockwell C, 54 à 64	Rockwell C, 30 à 45	Aciers alliés, tels que 20XH2M (0.20C-Cr-2Ni-Mo)	$23H_m$	950
Nitruration	Rockwell C, 50 à 60	Rockwell C, 24 à 40	Aciers alliés, tels que 40XH2MA (0.40C-Cr-2Ni-Mo, qualité)	1050	$300 + 1.2H_m$ (du noyau dentaire)

Tableau III. 8 : Valeurs standard de l'entraxe a_w . [3]

Série 1	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
Série 2	71	90	112	140	180	224	280	355	450	560

Tableau III. 9: Valeurs standard de m. [3]

Série 1	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0
Série 2	1.125	1.375	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7.0	9.0	11.0	14.0

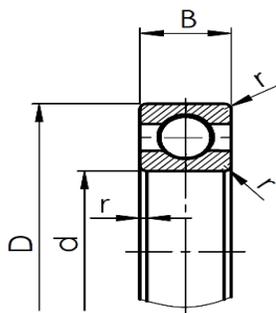


Figure III. 12 : Roulements type BC.

Tableau III. 10 : Roulements à une rangée de billes à contact radial de série légère02, type BC.[3]

DIMENSION (mm)		CHARGE DE BASE ($10^3 N$)		
d	D	B	Dyn C	Stat C_0
22	44	12	14,70	6,50
	50	14	20,80	8,90
	56	16	23,90	10,40
25	47	8	10,10	5,90
	47	12	10,10	5,90
	52	15	14,00	7,90
	62	17	23,70	12,20
	80	21	36,00	19,30
28	52	12	19,10	9,30
	58	16	23,60	11,10
	68	18	36,00	16,40
30	55	9	12,60	8,20
	55	13	12,60	8,20
	62	16	19,50	11,30
	72	19	28,00	15,80
	90	23	43,20	23,80

32	58	13	22,40	11,20
	65	17	30,50	14,60
	75	20	41,50	19,40
35	62	9	13,90	9,30
	62	14	16,00	10,30
	72	17	25,50	15,30

Tableau III. 11: Dimensions E, C, $D_L d_{tr}$ d'après NF E 27-041.[2]

d_b	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
$E(\approx C)$	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	35	40
$D_L(\text{Lamage})$	20	24	30	34	38	42	45	48	53	56	63	75
d_{tr}	7	10	12	14,5	16,6	18,5	21	24	26	28	32	35

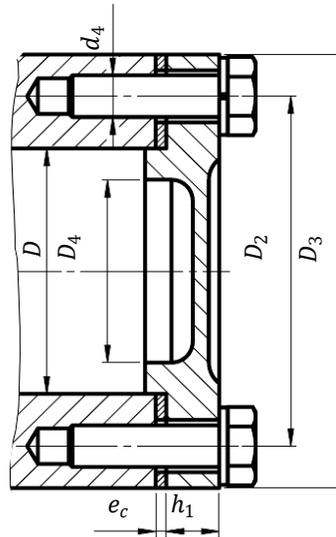


Figure III. 13: Dimensions des couvercles et des logements des roulements.

Tableau III. 12 : Dimensions des couvercles et des logements des roulements. [2]

Couvercle fixé par des vis						
D	D_2	D_3	D_4	h_1	Vis	
					d_4	Nombre
30 à 40	$D + 15$	$D_2 + 12$	$D - (8 \text{ à } 10)$	8	M6	4
42 à 62	$D + 20$	$D_2 + 16$	$D - (10 \text{ à } 12)$	10	M8	4
72 à 100	$D + 25$	$D_2 + 20$	$D - (12 \text{ à } 15)$	10 à 12	M10	4 à 6
110 à 125	$D + 30$	$D_2 + 24$	$D - (15 \text{ à } 20)$	12 à 14	M12	6