REPUBIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEDA



Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **M**écanique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème :

Conception et réalisation d'un réducteur et son intégration dans une éolienne de la société POVAL de Berouaghia

Présentés par :

DEBIEB Wassim

BENTOUATI Abderrahmane

Devant le jury composé de :

Pr. BACHENE Mourad	**Université de Médéa**	**Président**
Dr.ZEMIRLINE Adel	**Université de Médéa**	**Examinateur**
Pr. ABDELLAH EL-HADJ Abdellah	**Université de Médéa**	**Promoteur**
Dr. HABIRECHE Mohamed	**Université de Médéa**	**Co-Promoteur**

2023/2024

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions **ALLAH** tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail. Et d'une façon toute particulière, on remercie nos chers parents pour leur patience et le bonheur qui nous ont apporté.

Nous tenons aussi à remercier vivement notre promoteurs **Pr**. **ABDELLAH EL–HADJ ABDELLAH** et **Dr**. **HABIRECHE MOHAMED** pour leur encadrement et leurs conseils.

Nous tenons à remercier tous les employés de l'entreprise POVAL en particulier les ingénieurs **IRES ABDELKADER** et **MESSAOUDI RABAH** pour tous leurs conseils et leur présence.

Nos remerciements s'adressent également à Messieurs les jurys pour avoir accepté d'évaluer ce travail, avec l'espoir d'être à la hauteur de leur attente. Nous remercions également tous les enseignants qui ont contribué à assurer notre formation durant tout notre cycle universitaire.

Enfin, on souhaite exprimer toute notre gratitude à l'ensemble des personnes, qui bien en marge de ce travail, ont contribué largement à son aboutissement. Que ce soit depuis toujours, depuis plusieurs années ou quelques mois seulement, nombreux sont celles et ceux qui ont participé à notre épanouissement. On les remercie sincèrement.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers parents qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui et qui ont veillé à guider mes pas durant toute ma vie par leurs aides, leurs grandes émotions, leurs sacrifices, et leur soutien et encouragement pendant la réalisation Du projet de fin d'étude.

Mes amis de la promotion : A.HALILALI ; M.MOUSSAOUI ; S.ZERROUKI ; H.SALAOUATCHI ; L.KALACHE ; A.HASSNAOUI ; Y.DAHBINE ; A.HMIDA.

Mes amis : S.ACHIR ; A.TANA ; A.DRIOUCHE ; M.KHELIL_CHERFI ; Z.RABHAOUI ; T.KHELIL_CHERFI ; Z.BACHEN ; M.SAADOUN.

ABDERRAHMANE

DÉDICACE

À mes très chers parents,

Vos sacrifices, votre patience et vos encouragements pour façonner positivement mon avenir

M'ont marqué à jamais. En guise de reconnaissance et de gratitude, je vous dédie ce modeste

Travail en priant Dieu de vous accorder longue vie et de vous procurer bonne santé.

ET ceux qui m'ont soutenu tout au long de mon académique mes frères……

Et à ceux qui sont proches du Cœur et supporters dans les bons et le mauvais moment A tous mes amis

WASSIM

ملخص:

يتمثل الهدف من هذا المشروع في تطبيق الهندسة العكسية لإعادة تصميم علبة التروس ونظام الكبح لتوربينات الرياح بعناصر جديدة يسهل تصميمها وإنتاجها، باستخدام SolidWorks كأداة دعم رئيسية.

أجرينا تصميما نموذجيا لعلبة التروس ونظام الكبح بناء على المعرفة المكتسبة من خلال مراعاة القيود المحددة المتعلقة بتوربينات الرياح التي تضخ المياه بعد ذلك، قمنا برسم جميع عناصر علبة التروس ونظام الكبح الجديدة. وأخيًرا، من أجل التحقق من وظائف العناصر الجديد، قمنا بتجميع جميع مكونات توربينات الرياح ومحاكاة البرج لتحسين أدائها وموثوقيتها لتلبية المتطلبات المحددة لتربينات الرياح لضخ المياه

الكلمات المفتاحية: المخفض، توربينات،.Solid Works

Résume :

L'objectif de ce projet est d'appliquer l'ingénierie inverse pour reconcevoir le réducteur et le système de freinage de l'éolienne avec de nouveaux éléments faciles à concevoir et à produire, en utilisant SolidWorks comme principal outil de support.

Nous avons réalisé un prototype du réducteur et du système de freinage sur la base des connaissances acquises en tenant compte des contraintes spécifiques liées aux éoliennes à pompage d'eau, puis nous avons esquissé tous les nouveaux éléments de réducteur et du système de freinage. Enfin, pour vérifier la fonctionnalité des nouveaux éléments, nous avons assemblé tous les composants de l'éolienne et simulé leur mouvement afin d'optimiser leurs performances et leur fiabilité pour répondre aux exigences spécifiques des éoliennes à pompage d'eau.

Mots clés : réducteur, éolienne, SOLIDWORKS.

Abstract:

The aim of this project is to apply reverse engineering to redesign the gearbox and braking system of the wind turbine with new elements that are easy to design and produce, using SolidWorks as the main support tool.

We produced a prototype of the gearbox and braking system based on the knowledge acquired, taking into account the specific constraints associated with water-pumping wind turbines, and then sketched all the new components of the gearbox and braking system. Finally, to verify the functionality of the new elements, we assembled all the turbine components and simulated the tower in order to optimise their performance and reliability to meet the specific requirements of water-pumping wind turbines.

Keywords: gearbox, wind turbine, SOLIDWORKS

SOMMAIRE

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités Sur Les éoliennes 2

I.1. Introduction : 3

I.2. Historique : 3

I.3. L'énergie Eoliennes en Algérie : 4

I.4.Potentiel des énergies éoliennes en Algérie : 4

I.5.Définition d'éolienne : 6

I.6.Différents types d'éolienne et leurs utilisations 6

I.6.1. Les éoliennes à axe vertical : 6

I.6.2. Eoliennes à axe horizontal : 7

I.7. Eoliennes de pompage à eau 8

I.7.1. Types de pompes à eau éoliennes 8

I.7.1.1. Les pompes à Piston : 8

I.7.1.2. Les pompes centrifuges : 8

I.7.2. Facteurs importants de la pompe à eau du moulin à vent. [11] 9

I.7.3. Avantages et inconvénients d'une pompe éolienne : 10

I.8.Conclusion : 12

Chapitre II : Conception de pales et d'un Réducteur de l'éolienne pour Pompage d'eau 13

II.1. Conception d'une pale : 14

II.1.1. Introduction : 14

II.1.2. Rayon du rotor et longueur de la pale : 14

II.1.3. Évaluation des paramètres de base : 15

II.1.3.1. Sélection de la vitesse spécifique : 15

II.1.3.2. Sélectionner un profil : 16

II.1.4. Calcul de la forme optimale de la pale : 17

II.1.5. Résultats et validations de la corde de calcul : 20

II.2. Conception d'un réducteur à engrenage : 20

II.2.1. Introduction : 20

II.2.2.Rapport de réduction : 21

II.2.3. Choix du type de réducteur : 21

II.2.3.1. Réducteur Planétaire : 21
II.2.3.2. Réducteur à Vis sans Fin : 22
II.2.3.3. Réducteur à Engrenages Cylindriques : 23
II.2.3.4. Réducteur à palette 23
II.2.4. Principe de fonctionnement d'un réducteur dans une pompe à eau éolienne 24
II.2.5. les engrenages : 25
II.2.5.1. Définition d'un engrenage : 25
II.2.5.2. Différentes types d'engrenages : 26
II.2.5.2.1.Engrenages droits (ou parallèles) à denture droite 26
II.2.5.2.2. Principales dimensions : 26
II.2.5.2.3. Les engrenages coniques : 27
II.2.5.2.3.1. Principales caractéristiques des engrenages coniques 28
II.2.5.2.4 Les engrenages à axes parallèles à denture hélicoïdal : 29
II.2.5.2.4.1 Principales caractéristiques de l'engrenage hélicoïdal : 30
II.2.5.3. Conception des engrenages d'un réducteur : 31
II.2.5.3.1. Profil des dents : 31
II.2.5.3.2. Traitements thermiques des engrenages : 31
II.2.6. L'ensemble des pièces d'un réducteur de l'éolienne au pompage d'eau 32
II.2.7. Assemblage finale d'ancien réducteur en engrenage 33
II.2.8. Réalisation d'ancien réducteur et le pylône pour la société POVAL de Berrouaghia 33
II.2.8.1. Réalisation d'ancien réducteur 33
II.2.8.2. Réalisation de pylône 35
II.3. Conclusion : 36
Chapitre III : Conception d'un Réducteur à Palette et d'un système de Freinage..... 46
III.1. Introduction : 38
III.2. Conception d'un réducteur à palette: 38
III.2.1. le principe de fonctionnement de réducteur (à palette) : 38
III.2.2. Conception d'un réducteur à palette par SolidWorks : 40
III.2.2.1. SolidWorks : 40
III.2.2.2. Pièces d'un réducteur à palette : 41
Arbre de roue 42
III.2.2.3. Conception et Modélisation géométrique des éléments d'un réducteur à palette 42

III.2.2.4. Montage et assemblage du réducteur : 49
III.3. conception de système de freinage 52
III.3.1. conception de système de freinage par SolidWorks 53
lll.3.1.1. Conception et Modélisation géométrique des éléments d'un système de freinage 53
III.3.2.Montage et assemblage du système de freinage 58
III.4. Assemblage et Montage finale pour toutes les parties d'éolienne 59
III.5. Conclusion 61
Chapitre IV Analyse Statique Du Pylône: 62
IV.1. Introduction 63
IV.2 Choix du logiciel Simulation 63
IV.3 Etapes de la simulation 63
IV.4. Choix des matériaux de l'éolienne 64
IV.5.Maillage de pylône 64
IV.6. Les conditions aux limites et les chargements 65
IV.6.1. les déplacements imposés 65
IV.6.2. les chargements 66
IV.7. Résultats de la simulation 67
IV.8.Conclusion 69
Conclusion générale 70
Bibliographie 71
ANNEXE 71

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure I. 1: L'évolution des éoliennes. 4
Figure I. 2 : Carte des vents de l'Algérie à 10 m d'altitude (m/s). 5
Figure I. 3 : Différents types Les éoliennes à axe vertical. 7
Figure I. 4 : Eolienne à axe horizontal. 7
Figure I. 5 : pompe éolienne à Piston. 8
Figure I. 6 : pompe éolienne centrifuges. 9

CHAPITRE II :

Figure II. 1 : le nombre de pales en fonction de la vitesse spécifiques 4
Figure II. 2 : Schéma des éléments de pale..... 19
Figure II. 3 : Réducteur à train conique. 22
Figure II. 4 : Réducteur à roues cylindriques. 22
Figure II. 5 : Train épicycloïdal. 22
Figure II. 6 : Réducteur à Vis sans Fin. 23
Figure II. 7 : Réducteur à Engrenages Cylindriques. 23
Figure II. 8 : Réducteur à palette. 24
Figure II. 9 : Engrenages en sens inverse. 25
Figure II. 10 : éléments de réducteurs. 25
Figure II. 11: Engrenages droits internes. 26
Figure II. 12 : Engrenages droits externes..... 26
Figure II. 13:caractéristiques de la denture droite**.** 27
Figure II. 14 : Les engrenages coniques. 28
Figure II. 15 : caractéristiques des engrenages coniques. 28
Figure II. 16: Les engrenages à axes parallèles à denture hélicoïdal. 30
Figure II. 17: Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau. 32
Figure II. 18: Assemblage finale d'ancien réducteur (Orientation de la vue isométriques). .. 33
Figure II. 19 : modèle de corps et le Mayon. 33
Figure II. 20 : moulage manuel en sable d'un corps de réducteur 34
Figure II. 21 : Corps dans l'unité d'usinage 34
Figure II. 22 : moulage manuel en sable de Roue dentée. 35
Figure II. 23 : Roue dentée collie 35
Figure II. 24 : Installation le pylône..... 36

CHAPITRE III :

Figure III. 1 : le principe de fonctionnement 39
Figure III. 2 : Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau 41
Figure III. 3 : Corps en 3D. (Orientation de la vue isométriques) 43

Figure III. 4 : Corps en 3D. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure III. 5 : Nez de roue en 3D 44
Figure III. 6 : Arbre de roue en 3D. 44
Figure III. 7 : Excentrique en 3D. 45
Figure III. 8 : Axe de pivot en 3D. 45
Figure III. 9 : Bobine acier en 3D. 46
Figure III. 10 : Coulisseau bronze en 3D. 46
Figure III. 11 : tube du pivot en 3D. 47
Figure III. 12 : clavetta en 3D. 47
Figure III. 13 : support d'moyeu en 3D. 48
Figure III. 14 : moyeu en 3D. 48
Figure III. 15 : Nouveau document SolidWorks. 49
Figure III. 16 : Assemblage d'Arbre de roue avec le moyeu et corps. 50
Figure III. 17 : Assemblage axe de pivot 51
Figure III. 18 : Assemblage finale de réducteur (Orientation de la vue en coupe). 52
Figure III. 19 : Assemblage finale de réducteur (Orientation de la vue isométriques). 52
Figure III. 20 : Support en 3D. 53
Figure III. 21 : Frein en 3D. 54
Figure III. 22 : Pédale en 3D. 54
Figure III. 23 : Tige en 3D. 55
Figure III. 24 : Gouvernail en 3D. 55
Figure III. 25 : Corps de freinage en 3D 56
Figure III. 26 : Câblé en 3D 57
Figure III. 27 : Poulies en 3D 57
Figure III. 28 : Assemblage système de freinage avec le rédacteur. 58
Figure III. 29 : Assemblage système de freinage avec le rédacteur (Orientation de la vue isométriques). 59
Figure III. 30 : Montage finale pour toutes les parties d'éolienne. 60
Figure III. 31 : Assemblage finale d'éolienne (Orientation de la vue isométriques). 60

CHAPITRE IV :

Figure IV. 1 : Maillage de pylône. 65
Figure IV. 2 : Déplacements imposés. 66
Figure IV. 3 : les chargements 66
Figure IV. 4 : Champ des contraintes de Von Mises. 67
Figure IV. 5 : Champ des Déformation. 68
Figure IV. 6 : Champ des Déformation équivalente. 68

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II :

Tableau II. 1 : le nombre de pales en fonction de la vitesse spécifiques 16
Tableau II. 2: présentés Les résultats de la variation de la corde. 20
Tableau II. 3 : caractéristiques des engrenages parallèles à denture droite..... 27
Tableau II. 4 : Caractéristiques des engrenages coniques..... 29
Tableau II. 5 : caractéristiques de l'engrenage hélicoïdal. 30
Tableau II. 6 : Noms de Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau. 32

CHAPITRE III :

Tableau III. 1 : Noms de Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau. 42

CHAPITRE IV :

Tableau IV. 1 : matériaux utilisés dans la modélisation. 64
Tableau IV. 2 : information sur le maillage global de pylône. 65
Tableau IV. 3 : Déplacements imposés. 65
Tableau IV. 4 : les chargements. 66

Nomenclature

a : Facteur d'induction axial. [−]

a' : Facteur d'induction tangentiel. [−]

B : Nombre des pales. [−]

c : Corde de pale. [m]

C_{D} : Coefficient de trainée. [−]

Cn : Coefficient de la force normale au plan de rotation. [−]

Ct : Coefficient de la force tangentielle au plan de rotation. [−]

$C\mathrm{l}$: Coefficient de portance

R : Rayon de l'extrémité de la pale. [m]

r : Rayon local. [m]

σ : Solidité de la pale. [−]

λ : Vitesse spécifique. [−]

λr: La vitesse spécifique locale

$P\mathrm{eau}$: Puissance extraite par une éolienne. [W]

β : Angle de calage. [rad]

α : Angle d'incidence. [rad]

φ : L'angle d'hélice. [rad]

H: Hauteur manométrique. [m]

q : Débit. [m^3/s]

V : La vitesse axiale du vent en amont du rotor. [m/s]

P : Puissance du rotor. [W]

D: Diamètre de l'arbre. [m]

N_i : Vitesse de l'arbre (tr/min

Introduction générale

La proposition de ce projet a été faite par la société POVAL-Berrouaghia dans le cadre d'un projet PNR en partenariat avec l'université de MEDEA. L'objectif principal est la conception et fabrication d'une éolienne pour le pompage d'eau dans les régions sahariennes.

Les pompes éoliennes sont des systèmes de pompage d'eau qui utilisent l'énergie éolienne pour fonctionner. Elles permettent d'extraire l'eau du sol ou d'un réservoir en utilisant la force du vent pour actionner un mécanisme de pompage. Ces systèmes sont largement utilisés dans les zones rurales ou isolées où l'accès à l'électricité est limité, offrant ainsi une solution durable et écologique pour l'approvisionnement en eau.

La conception d'un réducteur de pompe éolienne est un défi technique complexe, car il doit être capable de supporter des charges variables et potentiellement élevées, tout en maintenant une efficacité énergétique élevée. De plus, le réducteur doit être conçu pour être fiable, durable et facile à entretenir afin d'assurer un fonctionnement continu et efficace de l'éolienne.

Pour ce projet, nous suggérons de mettre en œuvre une méthode d'ingénierie inverse en utilisant le logiciel Solid Works afin de créer un réducteur approprié pour une pompe à eau éolienne. Solid Works est un logiciel de CAO très répandu dans le domaine industriel afin de concevoir des modèles 3D et réaliser des simulations virtuelles de mécanismes.

Dans le but de bien comprendre cette étude ; notre travail a été réparti en quatre chapitres :

- Le premier chapitre aborde les généralités, les définitions et les principes de fonctionnement d'une éolienne pour le pompage d'eau ;
- Dans le deuxième chapitre, nous avons fait la Conception d'une éolienne et réducteur ;
- Dans le troisième chapitre, nous avons fait la conception du réducteur et système de freinage par le logiciel SolidWorks ;
- Dans le quatrième chapitre, nous avons fait une analyse statique du pylône éolienne par le logiciel SolidWorks simulation.

Chapitre I :

Généralités sur les éoliennes

I.1. Introduction :

Ces dernières années, l'intérêt d'utilisation d'énergies renouvelables ne cesse d'augmenter, Car l'être humain est de plus en plus concerné par les problèmes environnementaux. Parmi ces Énergies, on trouve l'énergie éolienne.

Une éolienne est une machine qui fonctionne grâce à la puissance du vent. Il est possible d'utiliser cette force de manière mécanique (éolienne de pompage) ou pour générer de l'électricité (aérogénérateur).

I.2. Historique :

Depuis l'Antiquité, des moulins à vent convertissent l'énergie éolienne en énergie mécanique et électrique Les premières utilisations du vent comme source d'énergie sont la navigation à voile, datant du XIe millénaire avant Jésus-Christ.

Les moulins à vent, ancêtres des éoliennes modernes, apparaissent au Moyen-Orient vers l'an 600, puis en Égypte, et arrivent en Europe un peu avant l'an 1000. Ils se généralisent au XIIe siècle. Dans la fin du XIXe siècle Les premières éoliennes modernes apparaissent à la fin du XIXe siècle. En 1888, Charles F. Bush construit une éolienne pour alimenter sa maison en électricité, fonctionnant avec des pales à axe vertical et des accumulateurs pour stocker l'énergie. On 1957 Johannes Juul crée une turbine nommée Gedser, qui sert de modèle aux éoliennes modernes. **[1]**

L'utilisation des pompes à eau éoliennes a commencé au XIIIe siècle, notamment aux Pays-Bas pour l'assèchement des marécages et le pompage de l'eau de mer. Dans début du XXe siècle La pompe éolienne agricole dite américaine est devenue prédominante. Elle était composée d'une éolienne à la verticale d'une pompe à piston et était très utilisée dans les ranches australiens et argentins en raison de sa robustesse et de sa durée de vie d'environ 20 ans. **[2]**

Cette évolution montre comment les systèmes éoliens sont passés de simples moulins à vent à des sources d'énergie renouvelable sophistiquées et cruciales pour notre avenir énergétique (voir figure I.1).



Figure I. 1: L'évolution des éoliennes. **[3]**

I.3. L'énergie Eoliennes en Algérie :

L'énergie éolienne est définie comme l'énergie cinétique contenue dans les mouvements des masses d'air, c'est-à-dire les vents, qui circulent autour de notre planète. C'est une forme d'énergie renouvelable qui est de plus en plus exploitée pour produire de l'électricité verte à grande échelle.

Les éoliennes, sont les dispositifs utilisés pour convertir l'énergie éolienne en énergie mécanique, grâce à la rotation des pales induite par le vent. Cette énergie mécanique est ensuite transformée en énergie électrique par un générateur électrique.

En résumé, l'énergie éolienne est l'utilisation de la force du vent pour générer de l'électricité ou d'autres formes d'énergie mécanique, contribuant ainsi à une production d'énergie plus propre et durable **[4].**

I.4.Potentiel des énergies éoliennes en Algérie :

L'énergie éolienne en Algérie diffère considérablement d'un endroit à l'autre. Cela s'explique en grande partie par une topographie et un climat très variés. Effectivement, notre immense pays est divisé en deux grandes régions géographiques : Les pays du Nord méditerranéen.

Il se distingue par une côte de 1200 km et un paysage montagneux, avec les deux

chaînes de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien. Des plaines et des hauts plateaux de climat continental s'intercalent entre elles. Le Sud, de son côté, présente un climat saharien. Plusieurs chercheurs ont établi des cartes de vents qui indiquent que le Sud présente des vitesses plus élevées que le Nord, notamment dans le Sud-Est.

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'silla et El-Bayad (6 à 7 m/s), Selon le premier atlas vent de l'Algérie établi en 1990, les vitesses les plus élevées sont de l'ordre de 6 m/s et sont localisées dans la région d'Adrar. Ces résultats faits sur 10 ans de mesures, sont la base des cartes éoliennes établies par les chercheurs du CDER (**Figure 2). [4]**

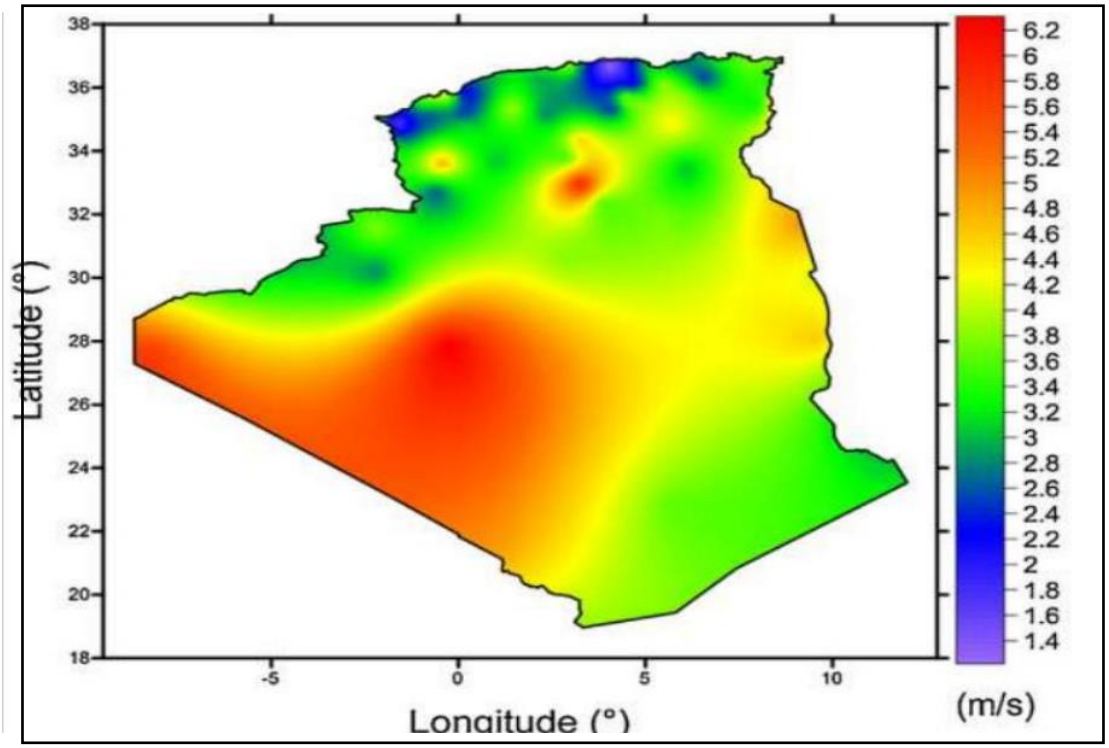


Figure I. 4 : Carte des vents de l'Algérie à 10 m d'altitude (m/s). **[4]**

I.5.Définition d'éolienne :

Une éolienne est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, qui peut ensuite être convertie en électricité. Les éoliennes sont composées de grandes pales montées sur une tour et peuvent être utilisées pour produire de l'électricité de manière renouvelable. Elles sont également appelées aérogénérateurs, surtout lorsqu'elles sont destinées à la production d'électricité.

I.6.Différents types d'éolienne et leurs utilisations :

L'organe capteur transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique afin de Réaliser la conversion électromécanique tant que le mouvement est rotatif, les capteurs alors Seront classés selon deux catégories :

- ♦ Capteurs à axe horizontal.
- ♦ Capteurs à axe vertical.

I.6.1. Les éoliennes à axe vertical :

Une éolienne verticale permet généralement de produire de plus petites quantités d'énergie qu'une éolienne horizontale mais offre l'avantage d'un faible encombrement et d'un fonctionnement quasiment silencieux, ce qui permet notamment une installation en milieu urbain. Les éoliennes verticales, sont classées en trois grands types, à savoir. **[5]** :

a- L'éolienne verticale Savonius.

b- L'éolienne Darrieus.

c- L'éolienne à voilure tournante



a- L'éolienne verticale Savonius. b- L'éolienne Darrieus c- L'éolienne à voilure tournante

Figure I. 5 : Différents types Les éoliennes à axe vertical. **[6]**

I.6.2. Eoliennes à axe horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal ont une efficacité prouvée, elles sont globalement plus performantes que ceux à axe vertical, du moins pour les vents laminaires de grandes vitesses. Cependant, elles fonctionnent mal dans des vents instables ou de directions incertaines. Elles sont généralement plus bruyantes que les éoliennes à axe vertical. Enfin leurs pales peuvent se briser, elles posent donc un problème sécuritaire plus important que les éoliennes à axe vertical. **[7]**



Figure I. 6 : Eolienne à axe horizontal. **[8]**

I.7. Eoliennes de pompage à eau

Les pompes à eau éoliennes sont des systèmes de pompage qui exploitent l'énergie éolienne pour extraire de l'eau de sources telles que des puits, des lacs ou des rivières. Elles sont composées d'une éolienne reliée à une pompe, souvent à piston, qui permet de remonter l'eau vers la surface pour son utilisation.

I.7.1. Types de pompes à eau éoliennes

I.7.1.1. Les pompes à Piston :

Elles fonctionnent à l'aide d'un piston qui se déplace de manière rectiligne dans un cylindre équipé de valves qui contrôlent le débit du liquide. Ces pompes peuvent être à un ou à deux effets. L'action de pompage n'est effectuée que sur une seule face du piston dans une pompe à simple effet, tout comme dans les pompes aspirantes manuelles traditionnelles. Le pompage se produit sur les deux faces du piston dans les pompes à double effet, à l'instar des pompes électriques ou des pompes à vapeur utilisées pour l'alimentation des chaudières. Ces pompes peuvent avoir une seule cellule ou plusieurs cellules. Les pompes multicellulaires volumétriques sont équipées de plusieurs cylindres en série. **[9]**

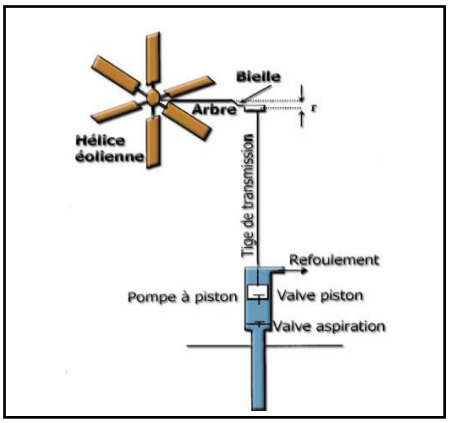


Figure I. 7 : pompe éolienne à Piston. **[10]**

I.7.1.2. Les pompes centrifuges :

Elles sont équipées d'une turbine ou d'un rotor, plongée dans l'eau. Le liquide est introduit dans la pompe par un trou près de l'axe du rotor. Le liquide est aspiré sous haute pression par ce dernier vers les extrémités des aubes fixes. Le rotor fournit une vitesse assez élevée. Essentiel dans le liquide. La transformation de cette énergie cinétique en force de

pression se produit dans la partie fixe de la pompe ou du diffuseur. Dans les pompes à haute pression, il est possible d'assembler plusieurs rotors en séries. Il est possible d'équiper les diffuseurs d'ailettes pour diminuer progressivement la vitesse du liquide. Dans les pompes à basse pression, le diffuseur est fréquemment un conduit en forme de spirale ou de volute qui permet de diminuer de manière efficace la vitesse. Il est nécessaire d'amorcer le rotor avant qu'il puisse fonctionner. Un clapet de retenue est installé dans le tuyau d'aspiration. Ce clapet maintient le liquide dans la pompe pendant l'arrêt du rotor. En cas d'absence de clapet, il est nécessaire d'amorcer la pompe en utilisant un apport externe de liquide par décharge à partir d'un réservoir. Le débit et la pression sont régulés par une valve placée dans le tuyau d'évacuation d'une pompe centrifuge. **[9]**

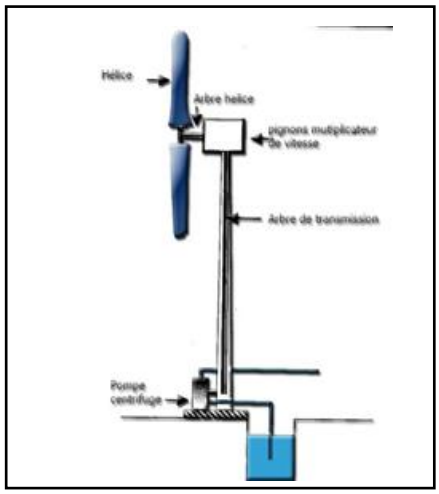


Figure I. 8 : pompe éolienne centrifuges. **[10]**

I.7.2. Facteurs importants de la pompe à eau du moulin à vent. [11]

Au moment de sélectionner une pompe à eau pour une éolienne, il existe de nombreux éléments essentiels qui influencent l'efficacité et la fiabilité du système. La capacité d'une éolienne à pomper de l'eau varie en fonction des paramètres suivants:

- **La Vitesse du Vent**:

  - La vitesse du vent est cruciale car elle influence directement la quantité d'énergie que les pales peuvent capter.
  - Les moulins à vent nécessitent une vitesse de vent minimale pour commencer à pomper de l'eau et une vitesse optimale pour un fonctionnement efficace.

- **La Conception des Pales**:

  - Les pales doivent être conçues pour capter le maximum d'énergie éolienne.
  - Leur forme, leur taille et leur angle par rapport au vent sont des facteurs qui affectent la performance.

- **Le Mécanisme de Conversion**:

  - Le mécanisme qui convertit le mouvement rotatif des pales en mouvement vertical pour pomper l'eau doit être efficace.
  - Les engrenages et les tiges de pompe doivent être robustes et bien entretenus.

- **La Profondeur de l'Eau**:

  - La profondeur à laquelle l'eau doit être pompée influence le choix de la pompe.
  - Les pompes à piston sont efficaces pour les puits peu profonds, tandis que les pompes centrifuges peuvent être nécessaires pour des puits plus profonds.

- **Le Clapet Anti-Retour**:

  - Un clapet anti-retour est essentiel pour empêcher l'eau de retomber dans le puits ou la source.
  - Chaque course ascendante aspire l'eau dans le cylindre, tandis que lors de la course descendante, le clapet empêche l'eau d'être expulsée

- **L'Entretien**:

  - Un entretien régulier est nécessaire pour assurer la longévité et la performance du moulin à vent.
  - Cela inclut la lubrification des pièces mobiles, le contrôle de la corrosion, et le remplacement des pièces usées.

I.7.3. Avantages et inconvénients d'une pompe éolienne :

Les pompes éoliennes, qui utilisent l'énergie du vent pour pomper de l'eau, présentent plusieurs avantages et inconvénients :

Avantages

- Énergie Renouvelable : L'énergie éolienne est une source d'énergie 100% naturelle, renouvelable et durable
- Pas de Pollution : Elle ne génère aucune pollution, car il n'y a aucun rejet dans l'air suite à la transformation électrique
- Faible Occupation au Sol : La surface au sol nécessaire pour produire de l'énergie est relativement faible
- Rendement Supérieur en Hiver : Le vent est généralement plus fort pendant la saison froide, ce qui augmente le rendement
- Coût Diminué : Le développement des projets d'éoliennes fait mécaniquement diminuer le coût grâce à des rendements d'échelle intéressants
- Réduction des Factures : Elle permet de réduire les factures d'électricité et peut protéger contre les ruptures de courant.
- Facilité d'installation : les pompes éoliennes sont faciles à installer et peuvent être utilisées dans des endroits éloignés où l'accès à l'électricité est limité ou inexistant**. [12]**

Inconvénients

- Intermittence : L'énergie éolienne est intermittente et dépendante des conditions météorologiques.
- Difficulté de Prédiction : Les vents sont difficiles à anticiper, ce qui peut rendre l'énergie éolienne moins fiable.
- Bruit : Les éoliennes peuvent causer du bruit, ce qui est souvent un point de contention pour les riverains.
- Coût de Construction : Le coût de la construction d'une éolienne reste important et nécessite l'intervention d'engins spéciaux.
- Impact Visuel : Les éoliennes peuvent avoir un impact visuel sur le paysage.
- Interférences Électromagnétiques : Des problèmes d'interférences électromagnétiques peuvent survenir avec certaines éoliennes. **[13]**

I.8.Conclusion :

Ce chapitre a abordé quelques définitions et généralités sur l'énergie éolienne utilisée pour le pompage. Ensuite, nous avons donné un bref aperçu des différents types d'éoliens et de pompes. De plus, nous avons exposé quelques convertisseurs les plus couramment utilisés, ainsi que le principe de leurs fonctionnements.

En conclusion, l'éolienne est une technologie clé dans la transition vers des sources d'énergie renouvelables

Chapitre II :

Conception de pales et d'un Réducteur de l'éolienne pour Pompage d'eau

II.1. Conception d'une pale :

II.1.1. Introduction :

Une pale d'éolienne est conçue en prenant en compte des aspects aérodynamiques et structural. En effet, bien que ce soit la forme extérieure de la pale qui détermine les caractéristiques aérodynamiques, il est important de prendre en considération les aspects structuraux. Ce dernier aspect n'a pas été pris en compte dans notre étude. Nous avons examiné les performances aérodynamiques.

Pour concevoir une pale d'éolienne, il faut d'abord connaître les paramètres d'opération de celle-ci (puissance voulue, plage de vitesse du vent, système de contrôle de la puissance, variation ou non de la vitesse de rotation, etc.). La géométrie de la pale peut ensuite être définie en spécifiant les éléments suivants :

- La longueur de la pale ;
- Les profils aérodynamiques utilisés ;
- La répartition de la longueur de la corde le long de la pale ;
- La répartition du vrillage le long de la pale, i.e. l'angle de d'attaque local pour une section ;

II.1.2. Rayon du rotor et longueur de la pale :

La puissance d'une éolienne dépend de la vitesse du vent, du diamètre du rotor, de la masse volumique de l'air et du coefficient de puissance **[14]** :

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\boldsymbol{\rho Cp}\ \frac{\boldsymbol{\pi}\mathbf{D}^2}{\mathbf{4}}\boldsymbol{V^3} \qquad \text{(II.1)}$$

En supposant une masse volumique de 1,225 kg/m^3 pour l'air et un coefficient de puissance de 0,30 pour l'éolienne (pompage mécanique), il est possible d'établir une relation entre la puissance nominale de la turbine, son rayon (R = D/2) et la vitesse nominale du vent (vitesse de vent à laquelle la puissance nominale est atteinte).

La longueur de la pale est égale au rayon du rotor auquel on soustrait le rayon du moyeu (typiquement 5 % du rayon du rotor)

En réalité, le coefficient de puissance Cp est rarement supérieur à 40% lorsqu'il est calculé en tant que puissance mécanique d'un rotor réel d'éolienne. Suite à la conversion en puissance électrique ou en puissance de pompage, la puissance disponible diminue en fonction du rendement de transmission et de la pompe ou du générateur. Des variations de la vitesse de la direction entraînent une nouvelle diminution de la puissance disponible, ce qui est observé dans un moulin à vent réel sur le terrain. En ce qui concerne une première estimation de la puissance de sortie effective d'une éolienne de pompage de l'eau, ces effets entraînent la règle suivante pour un emplacement où la vitesse moyenne du vent est V**. [14]:**

$$\boldsymbol{P_{eau} = 0.1AV^3(W)} \qquad \text{(II.2)}$$

On peut utiliser cette règle pour estimer la puissance de sortie mensuelle au annuelle, pour une vitesse de vent mensuelle ou annuelle donnée .la puissance nette pour soulever d'eau par seconde sur une hauteur de H mètres est donnée par :

Pour dimensionné notre éolienne

$$\mathbf{P} = \boldsymbol{q\rho gH} \quad \boldsymbol{ou} \quad \boldsymbol{\rho = 1kg/m^3} \qquad \text{(II.3)}$$

$$\boldsymbol{g = 9.8m/s^2}$$

Dans notre cas on fixe la vitesse de vent pour site d'Adrar égale 5m/s, et une hauteur manométrique de 15m, et pour une puissance de 300 W et après l'équation II.2, On tire : R=1.87m. **[15]**

II.1.3. Évaluation des paramètres de base :

II.1.3.1. Sélection de la vitesse spécifique [16] :

Le choix de la vitesse spécifique dépend de plusieurs paramètres, il est en fonction de couple de démarrage, coefficient de puissance et le nombre de pales, le tableau ci-dessous propose des valeurs suivant le nombre de pales.

La vitesse spécifique $\boldsymbol{\lambda}$	Nombre de pales **B**
1	8 à 24
2	6 à 12
3	3 à 6
4	3 à 4
>4	1 à 3

Tableau II. 1 : le nombre de pales en fonction de la vitesse spécifiques

La courbe de variations du coefficient de puissance en fonction de λ mettent en évidence que pour λ = 2 le coefficient de puissance est maximale, donc nous prenons λ = 2, comme illustre la FIG: II.1, et en prend le nombre de pale B égale à huit pales.

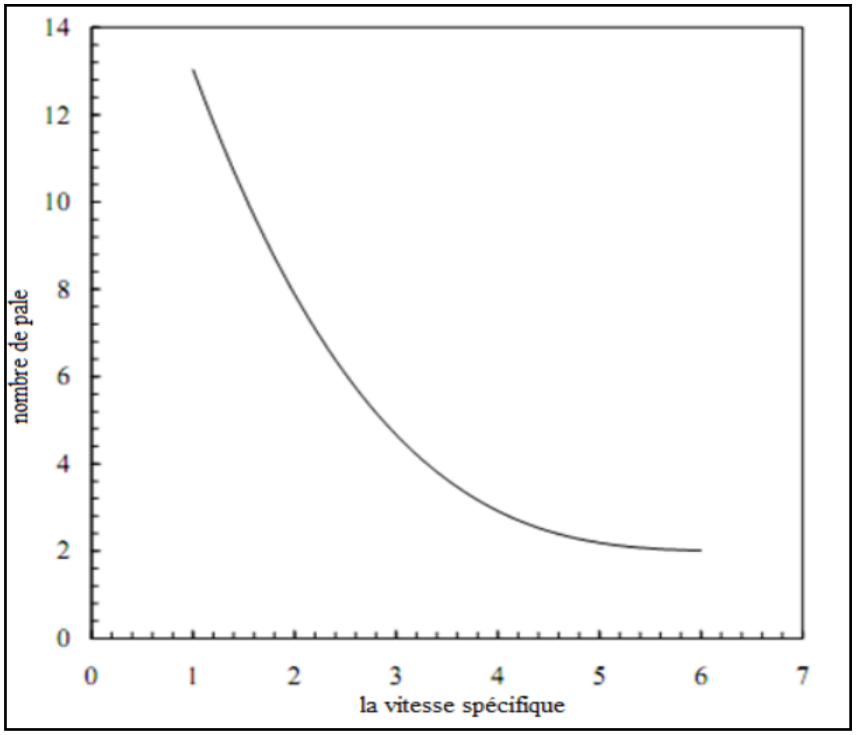


Figure II. 1 : le nombre de pales en fonction de la vitesse spécifiques

II.1.3.2. Sélectionner un profil :

Le choix de profil de la pale dépend de la vitesse spécifique :

- Si λ < 3 plaques planes courbes

- Si λ > 3 profils aérodynamiques avec faible Cd/Cl

Notre choix s'est porté sur λ = 1, donc le profil de la pale est une plaque plane courbe

II.1.4. Calcul de la forme optimale de la pale [17] :

La conception d'une forme optimale de la pale d'une hélice implique que la relation (II.4), correspondante à une puissance maximale, soit satisfaite. Si on adopte la thèse de négliger les frottements dans le sens axial, si en prend le coefficient de trainé Cd = 0.

L'expression entre a et a' afin que le coefficient de puissance soit maximal, est donnée par :

$$a' = \frac{(1 - 3a)}{(4a - 1)} \tag{II.4}$$

En dimensionnant ces relations on peut obtenir le coefficient de force normale au plan de rotation :

$$Cn = Clcos\varphi + Cdsin\varphi \tag{II.5}$$

En dimensionnant ces relations on peut obtenir le coefficient de force tangentielle au plan de rotation :

$$Ct = Clsin\varphi + Cdcos\varphi \tag{II.6}$$

L'expression devient :

$$a = \frac{1}{\left(\frac{4sin^2\varphi}{\sigma Clcos\varphi}\right) + 1} \tag{II.7}$$

L'expression de a' devient :

$$a = \frac{1}{\left(\frac{4\cos\varphi}{\sigma Cl}\right) - 1} \tag{II.8}$$

Où est la valeur optimale du coefficient de portance. Si on substitue l'expression (II.4) dans cette dernière l'équation, on obtient :

$$a' = \frac{4\cos\varphi}{\sigma Cl + 12\cos\varphi} \tag{II.9}$$

L'égalité des deux expressions dans les équations (II.7) et (II.8) donne l'équation quadratique suivante, dont l'inconnue est :

$$(\sigma Cl)^2 + 8\cos\varphi\sigma Cl - 16sin^2\varphi = 0 \quad \text{(II.10)}$$

Cette équation admet deux solutions :

$$\sigma Cl = -4(cos\varphi + 1) \quad \text{(II.11)}$$

$$\sigma Cl = 4(1 - cos\varphi) \quad \text{(II.12)}$$

La première racine n'est pas acceptable, car < 0. La deuxième racine donnée par (II.12) donne l'expression optimale de la corde, le long de la pale :

$$c = \frac{8\pi r}{BCloptimum}(1 - cos\varphi) \quad \text{(II.13)}$$

Pour déterminer l'angle optimal et par conséquent l'angle optimal de vrillage des transformations similaires sont à envisager. Peut s'écrire comme suit :

$$\tan\varphi = \frac{1-a}{1-a'} \times \frac{1}{\lambda r} \quad \text{(II.14)}$$

Si on substitue l'expression (II.3) dans cette dernière l'équation, on obtient :

$$\lambda r = \frac{(1-a)(4a-1)}{a} \times \frac{1}{\tan\varphi} \quad \text{(II.15)}$$

La substitution de l'équation (II.7) dans (II.15) donne :

$$\lambda r = \frac{(2cos\varphi - 1)(cos\varphi + 1)}{(1 + 2cos\varphi)sin\varphi} \quad \text{(II.16)}$$

Cette équation est simplifiée comme suit :

$$\lambda r = \frac{1}{\tan\frac{2}{3}\varphi} \quad \text{(II.17)}$$

On obtient finalement φ :

$$\varphi = \frac{2}{3}\text{atan}(\frac{1}{\lambda r}) \quad \text{(II.18)}$$

On déduit l'angle optimal de vrillage β :

$$\beta = \varphi - \alpha \quad \text{(II.19)}$$

Où αopt est l'angle d'attaque optimale, qui donne (Cd/Cl) max

On divise la pale en N éléments pour calculer les paramètres géométriques de chaque section (figure II.2)

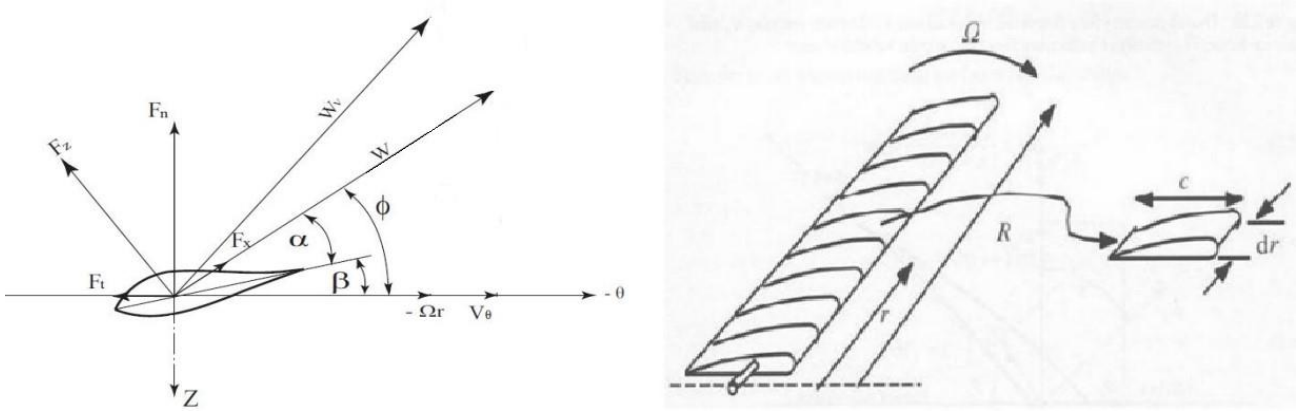


Figure II. 2 : Schéma des éléments de pale.

En considérant les caractéristiques de la plaque plane courbe (variation des coefficients de portance et de traînée en fonction de l'angle d'attaque, nous pourrons choisir les paramètres optimaux de design. Le fonctionnement de la pale serait optimal quand la traînée est

minimale. On déduit que les paramètres de design Cd et Cl et doivent vérifier la condition Cd/Cl est au minimum.

$$\varphi i = \frac{2}{3}\text{atan}\left(\frac{1}{\lambda\left(\frac{ri}{R}\right)}\right) \quad \text{(II.20)}$$

$$\left(\frac{cli}{R}\right) = \frac{8\pi}{Bci}\left(\frac{ri}{R}\right)(1 - cos\varphi i) \quad \text{(II.21)}$$

$$\beta_i = \varphi_i - \alpha opm \quad \text{(II.22)}$$

II.1.5. Résultats et validations de la corde de calcul :

position	r(m)	λrd	φ	A	β	C	cl
1	0.2	0.21	51.82	4	47.82	0.32	1.2
2	0.38	0.41	44.95	4	40.19	0.32	1.1
3	0.56	0.61	38.98	4	34.98	0.32	1.09
4	0.74	0.81	33.95	4	29.95	0.32	1.01
5	0.92	1.00	29.81	4	25.81	0.32	0.98
6	1.11	1.20	26.41	4	22.61	0.32	0.96
7	1.29	1.40	23.61	4	19.61	0.32	0.92
8	1.47	1.60	21.29	4	17.29	0.32	0.86
9	1.65	1.80	19.35	4	15.29	0.32	084
10	1.84	2.00	17.71	4	13.58	0.32	0.82

Tableau II. 2: Les résultats de la variation de la corde.**[17]**

II.2. Conception d'un réducteur à engrenage :

II.2.1. Introduction :

Le réducteur d'une éolienne est un composant mécanique crucial qui permet d'adapter la vitesse de rotation de l'hélice à celle du générateur électrique. La conception de ce réducteur est un défi d'ingénierie qui requiert précision et innovation.

Ce document vise à explorer les différentes étapes de la conception d'un réducteur pour une éolienne, en mettant l'accent sur les choix techniques, les calculs de dimensionnement et les considérations pratiques. Nous aborderons également les défis spécifiques liés à l'environnement éolien et les solutions adoptées pour optimiser la durabilité et l'efficacité des réducteurs.

II.2.2.Rapport de réduction :

Le rapport de réduction correspond au rapport entre la vitesse en entrée et en sortie du motoréducteur. Il est calculé en fonction des spécifications de votre application

$$K = \frac{N_r}{N_m} \qquad \text{(II.22)}$$

$k = 1 \Rightarrow N_r = N_m$

$k < 1 \Rightarrow N_r < N_m \Rightarrow$ Réducteur

$k > 1 \Rightarrow N_r > N_m \Rightarrow$ *Multiplicateur*

II.2.3. Choix du type de réducteur :

Le choix du type de réducteur mécanique pour une éolienne est une décision technique importante qui influence l'efficacité et la fiabilité de l'ensemble du système. Voici les principaux types de réducteurs mécaniques utilisés dans les éoliennes :

II.2.3.1. Réducteur Planétaire :

Le réducteur planétaire est un choix populaire pour les systèmes d'éoliennes en raison de sa capacité à fournir un rapport de réduction élevé dans un espace compact .Pour les éoliennes, les réducteurs planétaires sont souvent combinés avec des étages hélicoïdaux pour optimiser le rapport de réduction et le rendement **[18].**

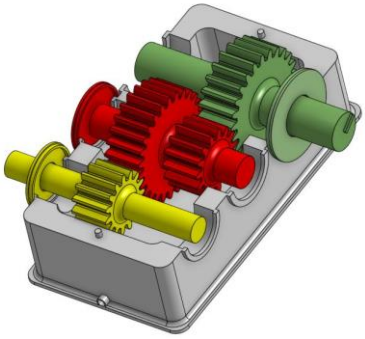


Figure II. 4 : Réducteur à roues cylindriques. **[20]**



Figure II. 3 : Réducteur à train épicycloïdal. **[19]**



Figure II. 5 : Réducteur à train conique**. [21]**

II.2.3.2. Réducteur à Vis sans Fin :

Un réducteur à vis sans fin est un type de réducteur qui utilise une vis hélicoïdale (la vis sans fin) pour engrener avec une roue dentée, souvent appelée roue hélicoïdale Pour une application éolienne, un réducteur à vis sans fin pourrait être envisagé pour de petites installations où le rendement n'est pas la priorité principale, ou dans des situations où l'auto-blocage et le fonctionnement silencieux sont des avantages significatifs. Cependant, pour des éoliennes de plus grande taille et de plus grande puissance, d'autres types de réducteurs, comme les réducteurs planétaires, sont généralement préférés en raison de leur meilleur rendement et de leur capacité à gérer de plus grands couples**.[22]**



Figure II. 6 : Réducteur à Vis sans Fin. **[23]**

II.2.3.3. Réducteur à Engrenages Cylindriques :

Les réducteurs à engrenages cylindriques sont couramment utilisés dans diverses applications industrielles, y compris les éoliennes, il est important de travailler avec des fabricants spécialisés qui peuvent fournir des réducteurs adaptés aux exigences uniques de ces systèmes.



Figure II. 7 : Réducteur à Engrenages Cylindriques. **[24]**

II.2.3.4. Réducteur à palette

Utilisez ce type pour réduire la vitesse d'essorage. Il est couramment utilisé dans les applications industrielles qui nécessitent un couple élevé et une faible vitesse de rotation. Comme {éolienne de pompage}.

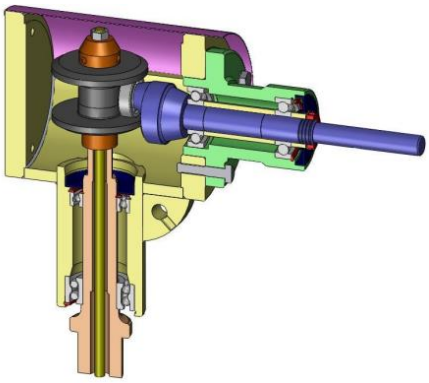


Figure II. 8 : Réducteur à palette. **[25]**

II.2.4. Principe de fonctionnement d'un réducteur dans une pompe à eau éolienne :

Le principe de fonctionnement d'un réducteur dans une pompe à eau éolienne est basé sur la conversion de la vitesse de rotation élevée de l'hélice éolienne en une vitesse de rotation plus faible mais avec un couple plus élevé, adaptée pour actionner la pompe à eau. Voici les étapes clés de ce processus :

- **Capture de l'énergie éolienne** : L'hélice de l'éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en énergie mécanique de rotation.
- **Transmission au réducteur** : L'arbre de l'hélice, tournant à une vitesse élevée, est connecté au réducteur. La vitesse de rotation de l'arbre est généralement trop élevée pour être utilisée directement par la pompe.
- **Réduction de la vitesse** : Le réducteur reçoit la rotation rapide de l'arbre et, grâce à un ensemble d'engrenages, réduit cette vitesse. Les engrenages sont conçus pour supporter le couple transmis et pour réduire la vitesse de rotation selon un rapport déterminé.
- **Augmentation du couple** : En réduisant la vitesse de rotation, le réducteur augmente le couple. Ce couple plus élevé est nécessaire pour actionner la pompe à eau, qui nécessite plus de force pour déplacer l'eau que l'air capturé par l'hélice.
- **Actionnement de la pompe** : L'arbre de sortie du réducteur, tournant à une vitesse plus faible mais avec un couple plus important, est connecté à la pompe à eau. La pompe peut alors soulever ou déplacer l'eau efficacement.

- **Régulation du débit** : Le système peut inclure des mécanismes de régulation pour ajuster le débit de la pompe en fonction des besoins et des conditions de vent.

Ce système permet d'utiliser efficacement l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau, en adaptant la vitesse de rotation de l'hélice aux exigences de la pompe à eau, tout en maximisant le couple disponible pour un pompage efficace. **[26]**



Figure II. 9 : Engrenages en sens inverse. **[9]**

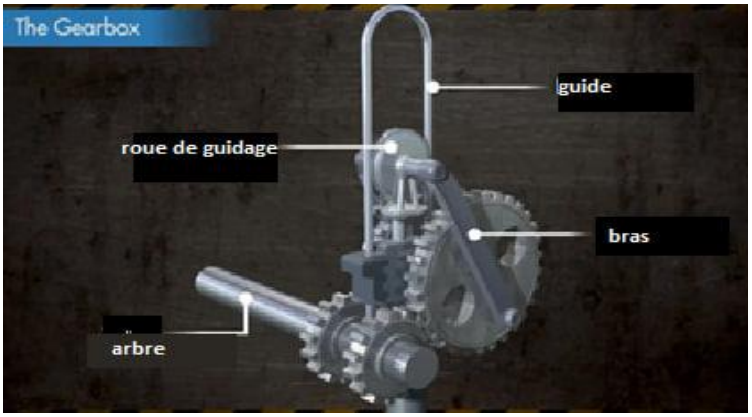


Figure II. 10 : éléments de réducteurs. **[9]**

II.2.5. les engrenages :

II.2.5.1. Définition d'un engrenage :

Un engrenage consiste en deux roues dentées mobiles qui tournent autour d'axes de position relative inchangée. L'une des roues s'engage dans l'autre par l'action des dents qui se rencontrent successivement. Le pignon est la roue dont le nombre de dents est le plus faible.

En fonction de la position des axes des roues, on peut distinguer :

- Les engrenages parallèles (axes parallèles)
- Les engrenages en conjonction (axes en conjonction)
- Les engrenages gauches (les axes diffèrent dans un plan)

Un ensemble d'engrenages est connu sous le nom de train d'engrenages. **[27]**

II.2.5.2. Différentes types d'engrenages :

Il existe plusieurs types d'engrenages, chacun ayant des caractéristiques et des applications spécifiques. Voici les principaux types d'engrenages :

II.2.5.2.1.Engrenages droits (ou parallèles) à denture droite

Engrenages droits : Ce sont des engrenages de forme cylindrique avec des dents qui font saillie radialement. Ils sont simples et économiques, et sont très utilisés dans l'industrie.

Engrenages droits externes : Les dents sont situées sur le profil extérieur de la roue.

Engrenages droits internes : Les dents sont situées sur le profil intérieur de la roue. **[28]**

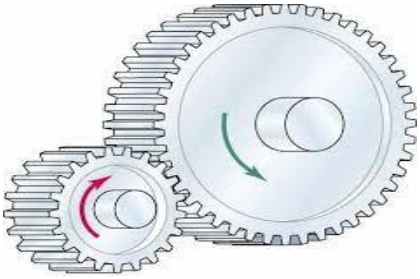


Figure II. 12 : Engrenages droits externes.**[29]**



Figure II. 11: Engrenages droits internes. **[29]**

II.2.5.2.2. Principales dimensions :

Toutes les Rous à denture droite et de même module engrènent entre elles, quels que soient leur diamètre et leur nombre de dents.

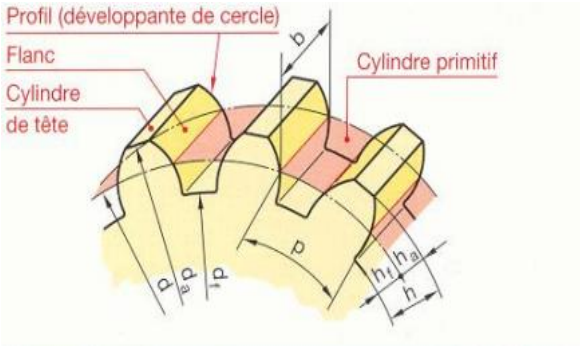


Figure II. 13: Caractéristiques de la denture droite**. [27]**

Caractéristique	Symbole	Formules
module	m	Déterminé par la résistance des matériaux
nombre de dents	z	Déterminé à partir des rapports des vitesses $\frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$
pas (pas primitif)	p	$p = m \times \pi$
Saillie	h_a	$h_a = m$
Creux	h_f	$h_f = 1.25m$
hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2.25m$
diamètre primitif	d	$d = m \times z$
diamètre de tête	d_a	$d_a = d + 2m$
diamètre de pied	d_f	$d_f = d - 2.5m$
entraxe	a	$a = \frac{d_A + d_B}{2} = m \times \frac{z_A + z_B}{2}$
rapport de réduction	r	$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{w_2}{w_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$
largeur de denture	b	$b = k \times m \quad (8 \leq k \leq 10)$

Tableau II. 3 : Caractéristiques des engrenages parallèles à denture droite

II.2.5.2.3. Les engrenages coniques :

Les engrenages coniques sont un type d'engrenage utilisé pour transmettre le mouvement entre deux arbres dont les axes sont concourants, généralement à un angle de 90°. Voici quelques détails sur les engrenages coniques :

Forme : Ils ont la forme d'un tronc de cône et les dents sont taillées dans des surfaces coniques.

Transmission : Ils permettent de transmettre un mouvement de rotation entre deux axes sécants **[28].**

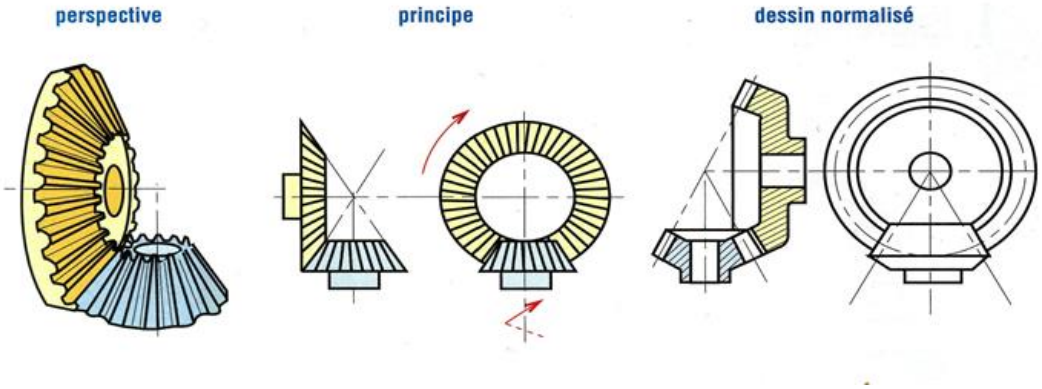


Figure II. 14 : Les engrenages coniques.

II.2.5.2.3.1. Principales caractéristiques des engrenages coniques

Deux roues coniques n'engrènent correctement que si les modules sont égaux et si les modules sont égaux et si les cônes primitifs ont à la fois une génératrice commune et leurs sommets confondus **[27].**

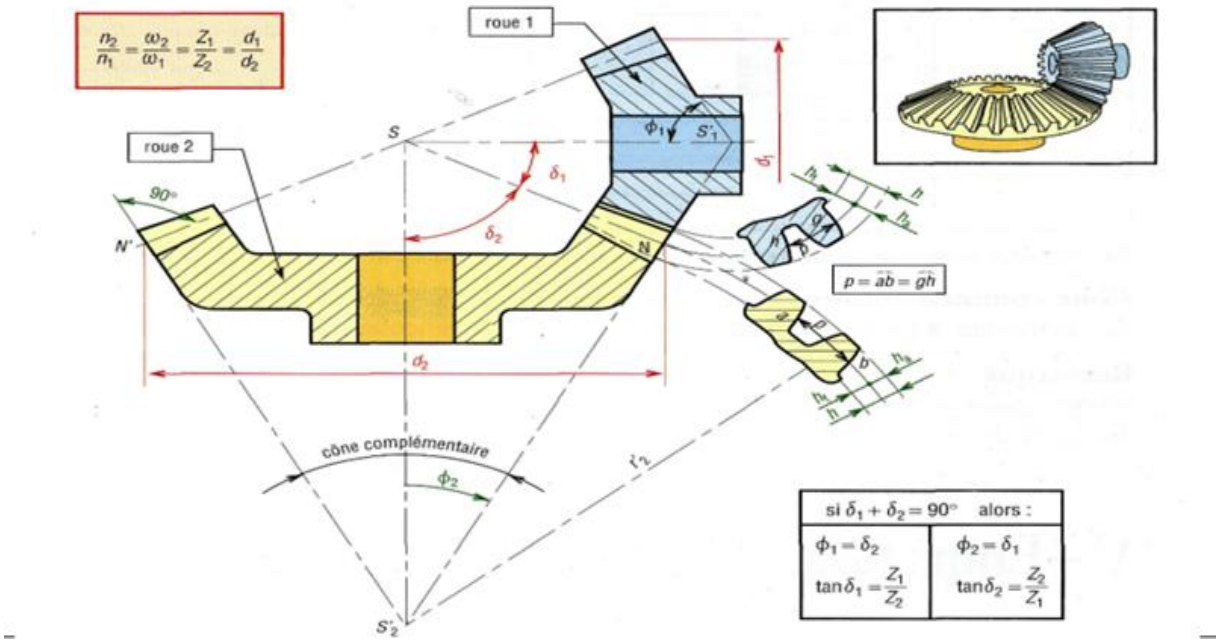


Figure II. 15 : Caractéristiques des engrenages coniques.[27]

Caractéristique	Symbole	Formules
module	m	Détermine par la résistance de matériaux et choisi dans les modules normalisés
Nb des dents	z	Détermine à partir du rapport des vitesses angulaire : $\frac{w_A}{w_B} = \frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$
Largeur de dents	b	$\frac{1}{4}L < b < \frac{1}{3}L$
Diamètre primitif	d	$d_A = m \times z_A \qquad d_B = m \times z_B$
saillie	h_a	$h_a = m$
creux	h_f	$h_f = 1.25m$
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2.25m$
Diamètre de tête	d_a	$d_{aA} = d_A + 2mcos\delta_A \; ; \; d_{aB} = d_B + 2mcos\delta_B$
Diamètre de pied	d_f	$d_{fA} = d_A - 2.5mcos\delta_A$ $d_{fB} = d_B - 2.5mcos\delta_B$
Angles primitifs	δ	$\tan\delta_A = \frac{z_A}{z_B} \quad ; \quad \tan\delta_B = \frac{z_B}{z_A}$
Angle de saillie	θ_a	$\tan\theta_a = \frac{m}{l} \quad \Rightarrow \quad l = \frac{d_A}{2\sin\delta_A}$
Angle de creux	θ_f	$tan\theta_f = \frac{1.25m}{l} \quad \Rightarrow \quad l = \frac{d_A}{2sin\delta_A}$
Angle de pied	δ_f	$\delta_{fA} = \delta_A - \theta_A \quad ; \quad \delta_{fB} = \delta_B - \theta_B$
Angle de tête	δ_a	$\delta_{aB} = \delta_B + \theta_a \quad ; \quad \delta_{aA} = \delta_A + \theta_a$

Tableau II. 4 : Caractéristiques des engrenages coniques.

II.2.5.2.4 Les engrenages à axes parallèles à denture hélicoïdal :

L'angle d'inclinaison de la denture pour l'engrenage hélicoïdal est identique pour les deux roues, mais dans le sens contraire. Ils peuvent être orthogonaux (comme c'est le cas pour les engrenages gauches). Les engrenages droits sont les plus basiques et les plus abordables, cependant leur utilisation est souvent bruyante et entraîne des vibrations et des chocs d'engrènement **[30].**

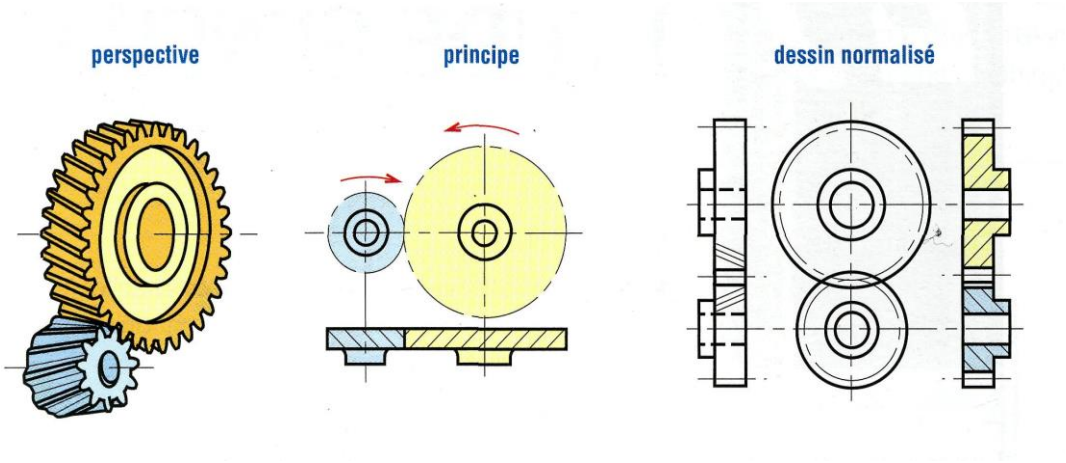


Figure II. 16: Les engrenages à axes parallèles à denture hélicoïdal.

II.2.5.2.4.1 Principales caractéristiques de l'engrenage hélicoïdal :

Caractéristique	Symbole	Formules
Module réel	m_n	Détermine par la résistance des matériaux et choisi dans les modules normalisés (47-12)
Nombre de dents	z	$\frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$
Angle d'hélice	β	Choisi habituellement entre 20° et 30°
Sens de l'hélice	(à droite ou à gauche)	Pour un même engrenage les hélices des roues sont de sens contraire
Module apparent	m_t	$\mathrm{m_t} = \frac{\mathrm{m_n}}{\cos\beta}$
Pas apparent	$\mathrm{p_t}$	$\mathrm{p_t} = m_t \times \pi$
Pas réel	p_n	$\mathrm{p_n} = \mathrm{m_n} \times \pi \quad ; \quad \mathrm{p_n} = \mathrm{p_t} \times \cos\beta$
Pas de l'hélice primitive	$\mathrm{p_z}$	$\mathrm{p_z} = \frac{\pi \mathrm{d}}{\mathrm{tg}\beta}$
saillie	$\mathrm{h_a}$	$h_a = m_n$
creux	$\mathrm{h_f}$	$h_f = 1.25m$
Hauteur de dent	h	$h = h_a + h_f = 2.25m_n$

Tableau II. 5 : Caractéristiques de l'engrenage hélicoïdal.

II.2.5.3. Conception des engrenages d'un réducteur :

II.2.5.3.1. Profil des dents :

Les dents doivent permettre de maintenir les deux roues en contact et d'assurer une rotation continue d'une roue par rapport à l'autre et de ne pas bloquer le fonctionnement de l'engrenage. Le profil d'une dent de roue dentée n'est ni une droite ni un arc de cercle **[31].**

II.2.5.3.2. Traitements thermiques des engrenages :

Le traitement thermique des engrenages améliore leurs propriétés mécaniques (dureté, limite d'élasticité, limite à la rupture), diminue leurs fragilités et supprime les tensions internes dans le matériau. L'engrenage doit présenter à la fois une grande résilience et une importante résistance à l'usure. En effet, les engrenages subissent des efforts brusques (par exemple au moment de changement de la vitesse dans les boites de vitesses), ces efforts sont assimilables à des chocs et d'où les engrenages doivent être résilients. Les dents qui subissent un frottement, doivent présenter aussi une usure minimale. **[31]**

a- La Cémentation :

Il consiste à diffuser le carbone dans les surfaces flottantes des dents en portant ces surfaces à une température supérieure à 930° C, le traitement de cémentation est suivi d'une trempe et d'un revenu pour éviter l'écaillage de la surface cémentée au moindre choc. L'épaisseur de la couche cémentée est en général de 1 mm, la vitesse de pénétration est d'environ 1/12 mm par heure, si la vitesse de pénétration est trop rapide, la couche superficielle du matériau devient saturée en carbone ce qui augmente énormément la fragilité de cette couche, donc cette vitesse doit être bien contrôlée.

b- la trempe :

C'est le premier traitement thermique réalisé dans la masse des engrenages, il a pour but d'améliorer certaines propriétés mécaniques (résistance élastique, dureté, etc.) au détriment des autres (résilience et ductilité).

c- Le revenu :

Est un traitement thermique qui est effectué toujours après la trempe, il améliore la ductilité, la résilience ou la résistance au choc en gardant une dureté raisonnable et supprime les contraintes internes crées lors de la trempe et qui sont en partie responsables de la fragilité du matériau, pour que le cœur des dents garde sa ductilité, on utilise des aciers à faible teneur en carbone (de 0,02 % à 0,5 %).

II.2.6. L'ensemble des pièces d'un réducteur de l'éolienne au pompage d'eau

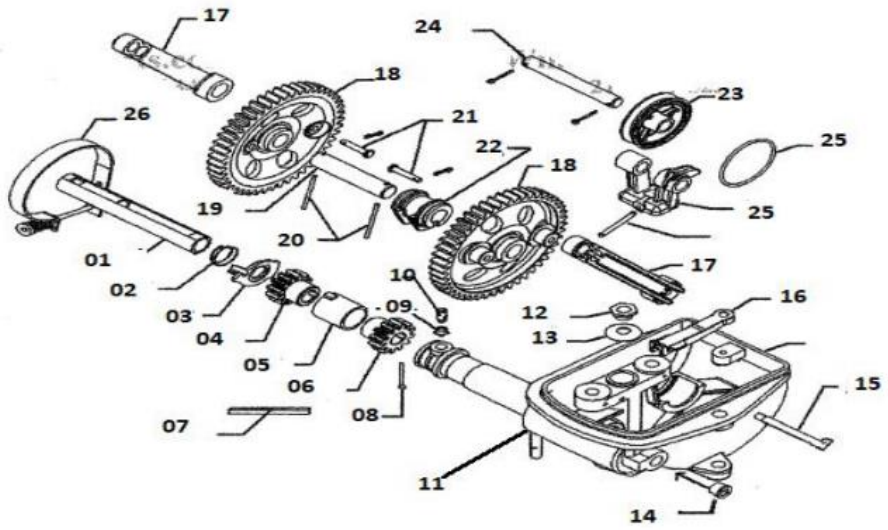


Figure II. 17: Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau. **[32]**

Le nombre	Nome de la pièce	Le nombre	Nome de la pièce
01	Bague1	14	Plug pour 11 main casting
02	Ressort pour bec rondelle	15	Support de ressort
03	Bec, arbre collecteur	16	support
04	Pignon	17	bielle
05	Bague2	18	Roue dents
06	Pignon	19	Arbre 02
07	Clé pour pignon	20	Broche pour 18
08	Boulon avec goupille	21	Boulon avec goupille
09	Douille pignon collecteur d'huile	22	Bague 03
10	Collecteur d'huile	23	Guide de roue
11	Corps	24	Axe de baille
12	Rondelle de blocage	25	Anneau d'huile
13	Contre –écrou	26	Câble de freine

Tableau II. 6 : Noms de Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau. **[32]**

II.2.7. Assemblage finale d'ancien réducteur en engrenage

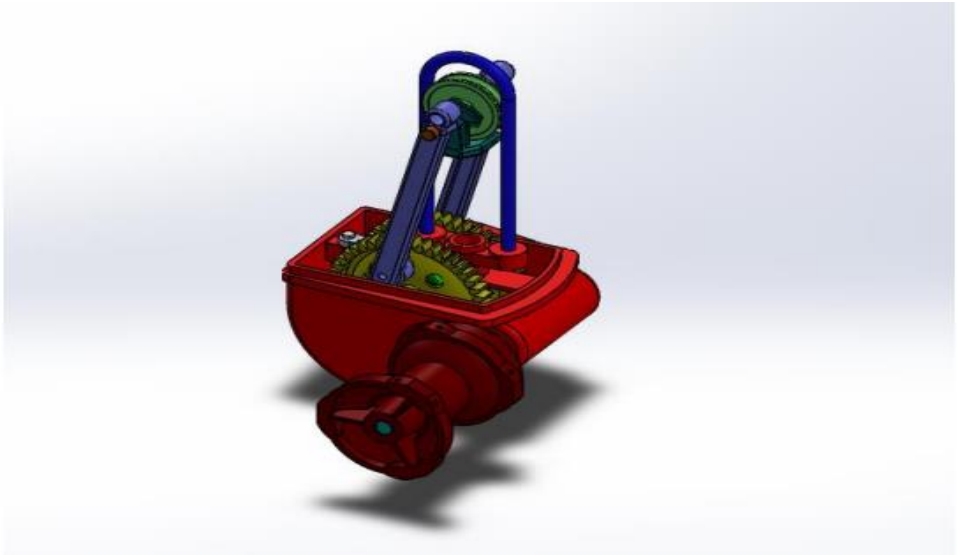


Figure II. 18: Assemblage finale d'ancien réducteur (Orientation de la vue isométriques). **[32]**

II.2.8. Réalisation d'ancien réducteur et le pylône pour la société POVAL de Berrouaghia

II.2.8.1. Réalisation d'ancien réducteur

- **Réalisation de corps :**

  Il y a eu la création manuelle d'un modèle de corps et de noyau.

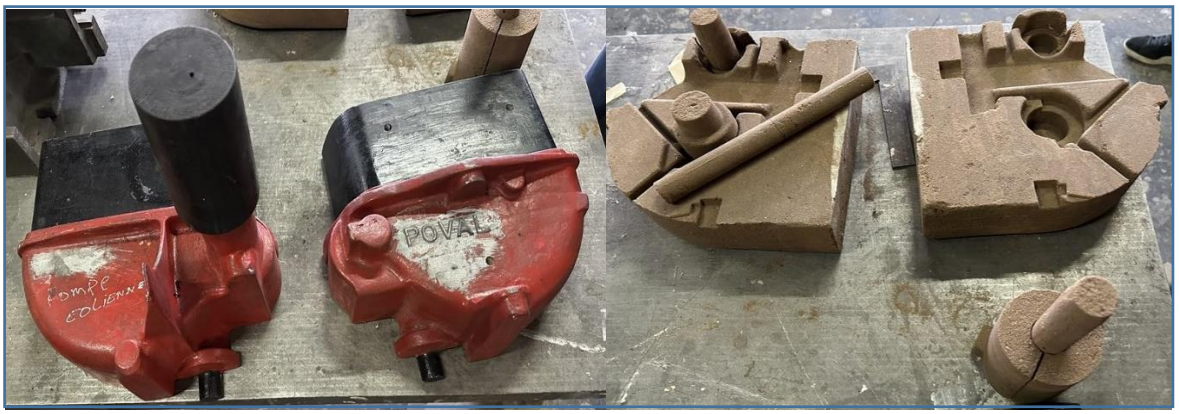


Figure II. 19 : modèle de corps et le Noyau.

Le modèle est déposé dans le châssis où le moulage est réalisé au moulage à main.



Figure II. 20 : Moulage manuel en sable d'un corps de réducteur.

Après le moulage et la coulée, le corps de réducteur à l'état brut a été déplacé vers l'unité d'usinage.



Figure II. 21 : Corps brut dans l'unité d'usinage

- **Roue dentée :**

  Après avoir créé le modèle de la roue dentée, on a confectionné le moule en sable durci au feu**.**

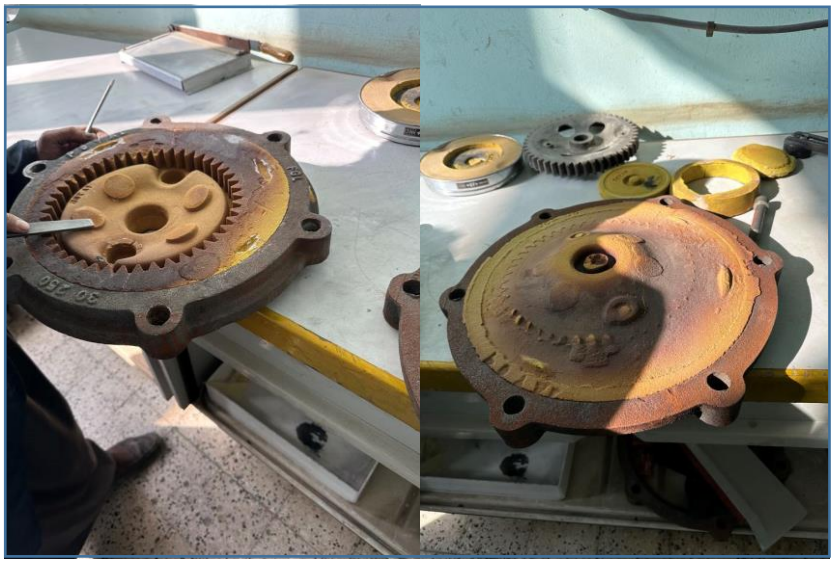


Figure II. 22 : Moulage manuel en sable de Roue dentée.

La roue dentée après coulée et décochage :



Figure II. 23 : Roue dentée coulée.

II.2.8.2. Réalisation de pylône

Construction métallique de pylône et son installation sur site (unité POVAL) après conception et simulation par SolidWorks.



Figure II. 24 : Installation de pylône.

II.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé le dimensionnement d'une pale ainsi que d'ancien réducteur.

La conception soignée d'une pale et d'un réducteur pour une pompe éolienne est essentielle pour assurer un pompage efficace de l'eau en utilisant l'énergie éolienne comme source d'alimentation. Des analyses approfondies et des simulations sont nécessaires pour garantir des performances optimales et une fiabilité à long terme du système de pompage éolien.

Chapitre III :

Conception d’un Réducteur à Palette et d’un système de Freinage

III.1. Introduction :

Intégration d'un réducteur dans une pompe éolienne est une pratique courante pour optimiser l'efficacité de la pompe. Le réducteur permet de convertir la vitesse de rotation élevée de l'éolienne en une vitesse plus adaptée pour la pompe, souvent une pompe à piston. Cela permet de pomper l'eau de manière plus efficace, même avec des vitesses de vent variables.

Afin de simplifier la fabrication de réductrice conception et réduire leur coût, nous avons conçu un nouveau réducteur. D'autres part, nous avons conçu un nouveau système de freinage en raison adapté à la nouvelle configuration.

III.2. Conception d'un réducteur à palette:

Un réducteur à palette pour une pompe éolienne est un dispositif mécanique qui ajuste la vitesse de rotation de la pompe en fonction des variations de la vitesse du vent. Il est essentiel pour maintenir l'efficacité de la pompe, surtout dans les zones où la vitesse du vent peut être très variable.

Les pompes à palettes sont reconnues pour leur fiabilité et leur capacité à fournir un débit constant, ce qui est particulièrement important pour les applications de pompage d'eau, comme l'irrigation ou l'approvisionnement en eau potable dans les zones rurales. Elles sont également appréciées pour leur compacité et leur efficacité dans diverses conditions environnementales. **[33]**

III.2.1. le principe de fonctionnement de réducteur (à palette) :

Le principe de fonctionnement d'un réducteur à palette pour une pompe éolienne repose sur la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique utilisable pour le pompage de l'eau ou d'autres fluides. Voici une explication simplifiée du processus :

Capture du vent : Les pales de l'éolienne captent l'énergie du vent et la convertissent en mouvement rotatif.

Transmission de l'énergie : Ce mouvement rotatif est transmis au réducteur à palette, généralement situé à la base de l'éolienne.

Réduction de la vitesse : Le réducteur utilise des palettes coulissantes à l'intérieur d'un boîtier pour réduire la vitesse de rotation élevée provenant de l'éolienne à une vitesse plus adaptée pour la pompe.

Augmentation du couple : En réduisant la vitesse, le réducteur augmente le couple, ce qui est nécessaire pour actionner efficacement la pompe, surtout si elle doit soulever de l'eau sur une certaine hauteur ou contre une pression.

Pompage : La pompe, maintenant entraînée à la vitesse optimale, peut pomper l'eau ou le fluide avec une efficacité maximale.

Les réducteurs à palette sont particulièrement adaptés aux pompes éoliennes car ils peuvent offrir un fonctionnement fiable et une bonne durabilité dans des conditions environnementales variables, ce qui est essentiel pour les installations éoliennes souvent situées dans des endroits éloignés ou difficiles. **[33]**

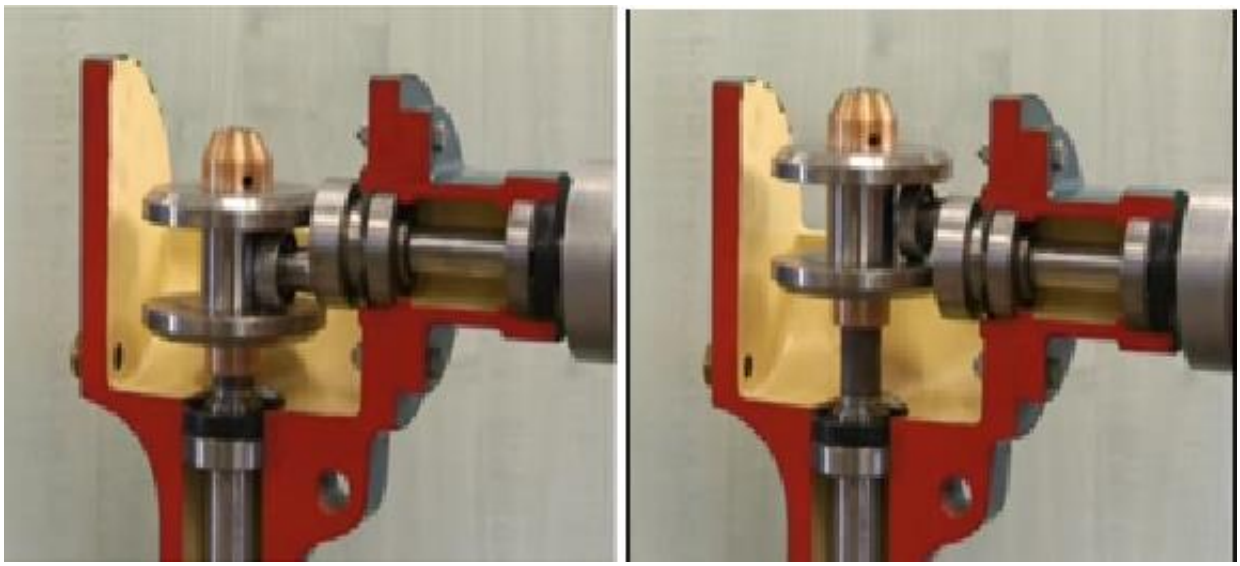


Figure III. 2 : le principe de fonctionnement

III.2.2. Conception d'un réducteur à palette par SolidWorks :

Au cours de ce chapitre, nous avons réalisé la conception en trois dimensions des éléments qui composent le réducteur. Après avoir terminé la conception des pièces, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks pour l'assemblage. Ce logiciel a été employé afin de Créer une conception précise des pièces et réaliser un assemblage virtuel complet.

III.2.2.1. SolidWorks :

SolidWorks est un logiciel de conception mécanique 3D paramétrique qui tire profit de l'interface graphique Microsoft® Windows®. Grâce à cet outil, les ingénieurs en mécanique peuvent produire des modèles et des mises en plan précises, les avantages de celui-ci sont:

- Possède une large gamme d'outils de CAO pour la conception mécanique.
- Permet de valider les conceptions.
- Permet de faire la gestion des données techniques.

Nous allons utiliser ce logiciel pour la conception et la vérification des pièces

III.2.2.2. Pièces d'un réducteur à palette :

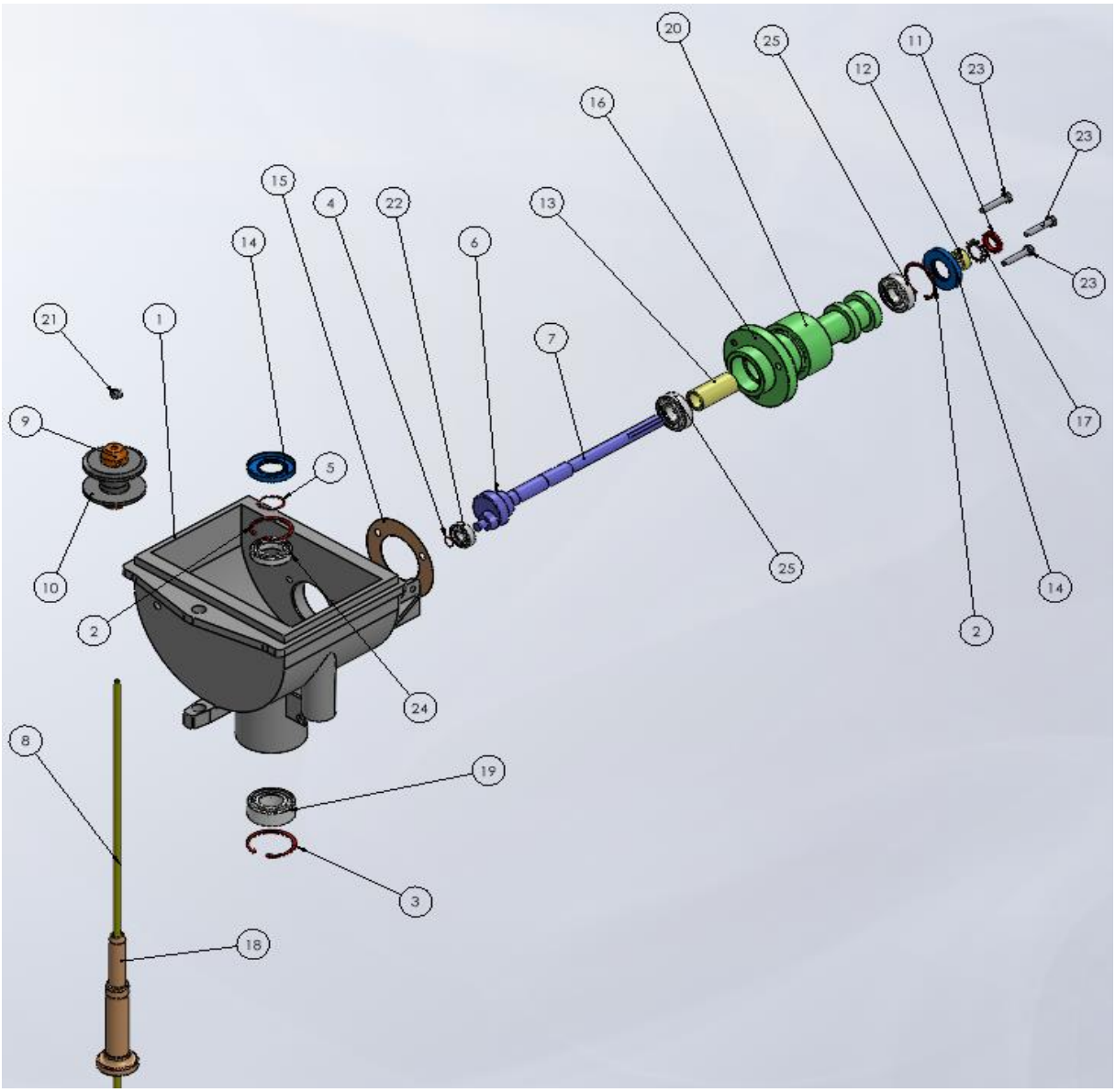


Figure III. 4 : Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau.

Nb	Rep	Désignation
1	**1**	corps
2	**2**	Anneau élastique pour alésage 62x2
3	**1**	Anneau élastique pour alésage 72x2, 5
4	**1**	Anneau élastique pour arbre 15x1
5	**1**	Anneau élastique pour arbre 35x1, 5
6	**1**	Excentrique
7	**1**	Arbre de roue
8	**1**	d'axe de pivot
9	**1**	Coulisseau bronze
10	**1**	Bobine acier
11	**1**	Ecrou à encoches M25
12	**1**	Entretoise courte
13	**1**	Entretoise nez
14	**2**	Joint 1 lèvre à armature noyée 35x72x10
15	**1**	Joint papier
16	**1**	Nez de roue
17	**1**	Rondelle frein pour écrou M25
18	**1**	Tube du pivot
19	**1**	Roulement à contact oblique à 2 rangées de billes 35x72x27
20	**1**	support d'moyeu
21	**1**	Ecrou hexagonal H - M10
22	**1**	Roulement radial à une rangée de billes 15x42x1
23	**3**	Vis à tête hexagonale H M10 - 50
24	**1**	Roulement radial à une rangée de billes 35x62x14
25	**2**	Roulement radial à une rangée de billes 25x62x17

Tableau III. 1 : Noms de Pièces de réducteur pour une éolienne au pompage d'eau.

III.2.2.3. Conception et Modélisation géométrique des éléments d'un réducteur à palette

Les dessins détaillés des pièces d'un réducteur 3D, et le dessin de définition se trouvent en Annexe.

- **Modélisation de corps**

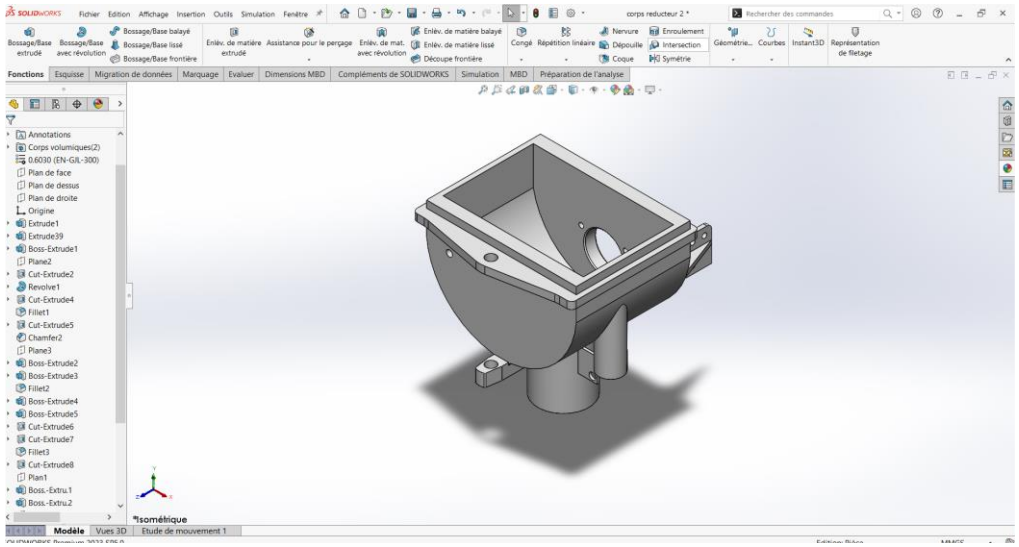


Figure III. 5 : corps de réducteur en 3D. (Orientation de la vue isométriques)

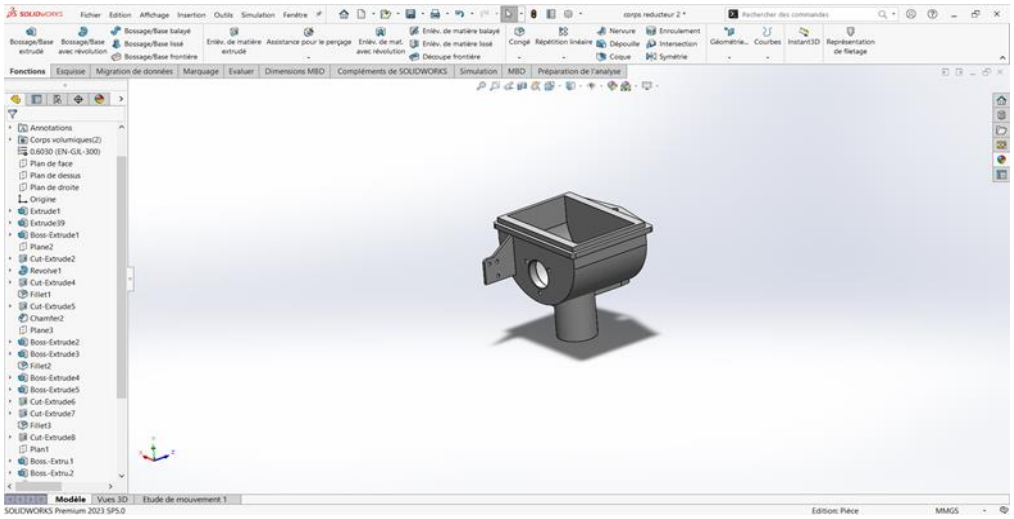


Figure III. 4 : Modèle 3D de corps.

Fonction : Le réducteur est constitué d'une structure solide et robuste qui contient les éléments internes. Il assure la stabilité et la rigidité de l'ensemble du système en supportant et en maintenant en place les composants internes tels que les arbres.

- **Modélisation de Nez de roue**

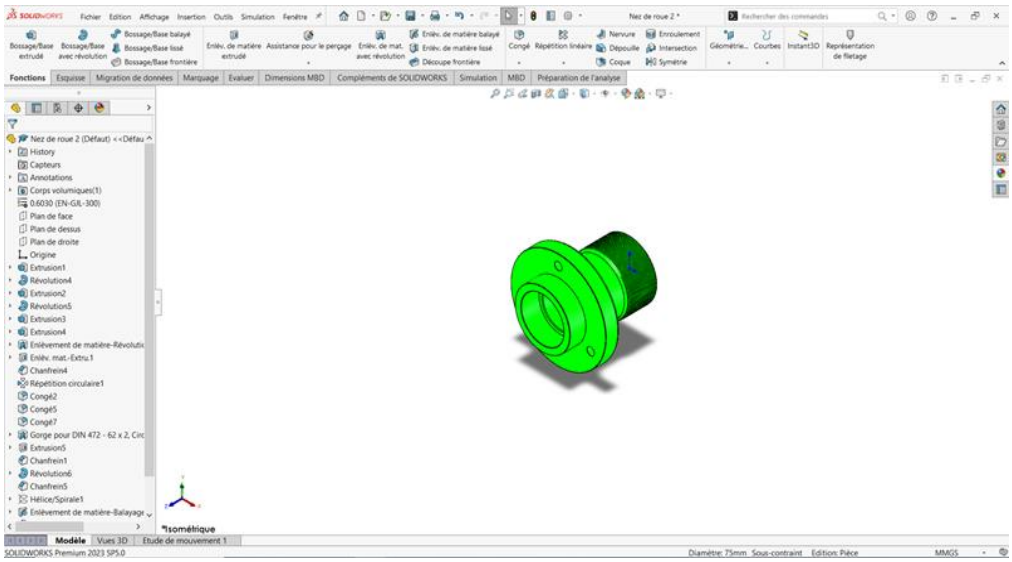


Figure III. 6 : Nez de roue en 3D.

Fonction : La fonction de cette pièce est de porter les lames et de faciliter la rotation en plaçant les roulements.

- **Modélisation d'Arbre de roue**

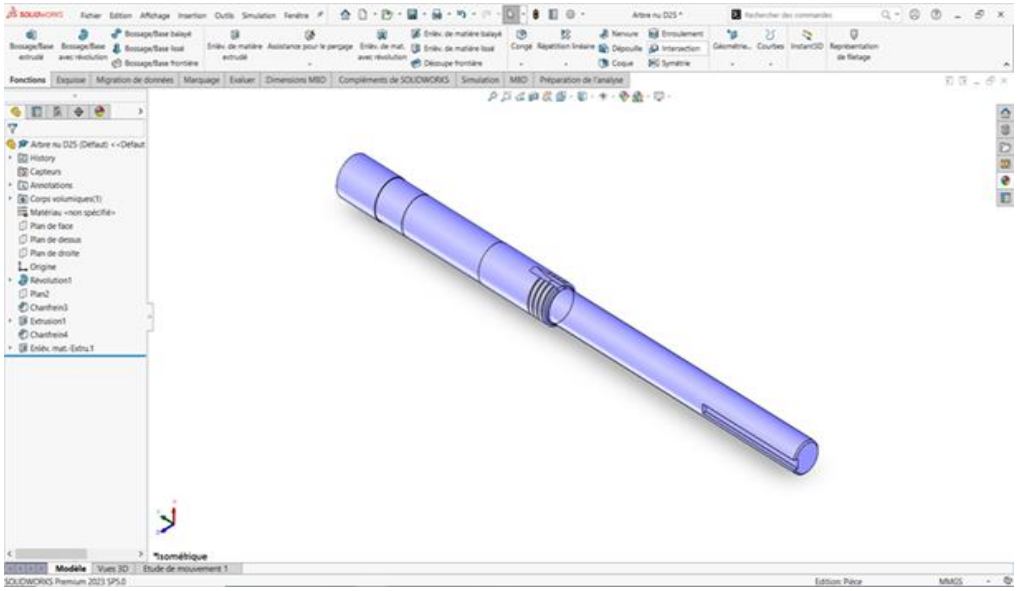


Figure III. 7 : Arbre de roue en

Fonction : L'énergie cinétique du vent est absorbée par l'arbre d'entrée de la pompe éolienne, qui la transforme en mouvement rotatif. Le rotor de l'éolienne est relié à cet arbre, qui tourne sous l'action du vent.

- **Modélisation d'Excentrique**

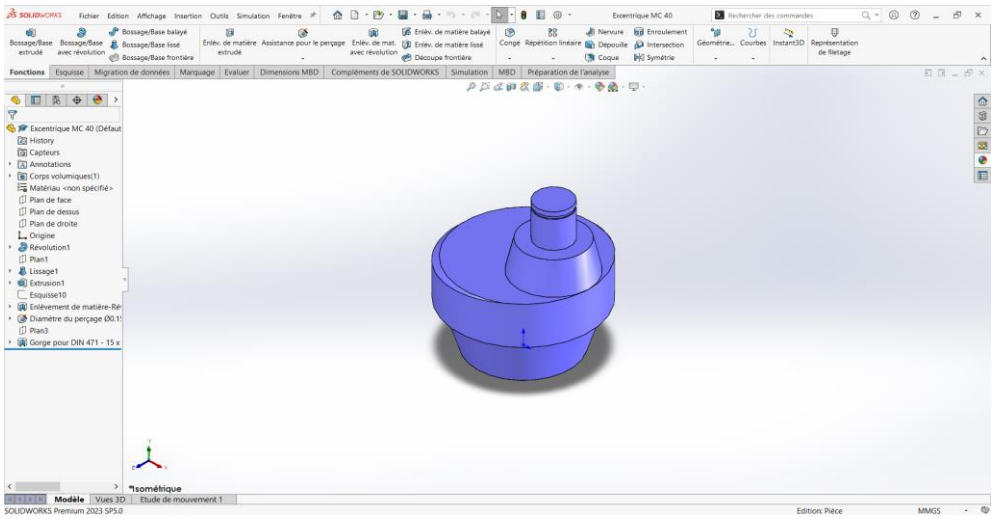


Figure III. 8 : Excentrique en 3D.

Fonction : elle joue le rôle d'un piston dans ce système et de convertir le mouvement de rotation vers le mouvement de translation de la tige de pompe à piston.

- **Modélisation d'axe de pivot**

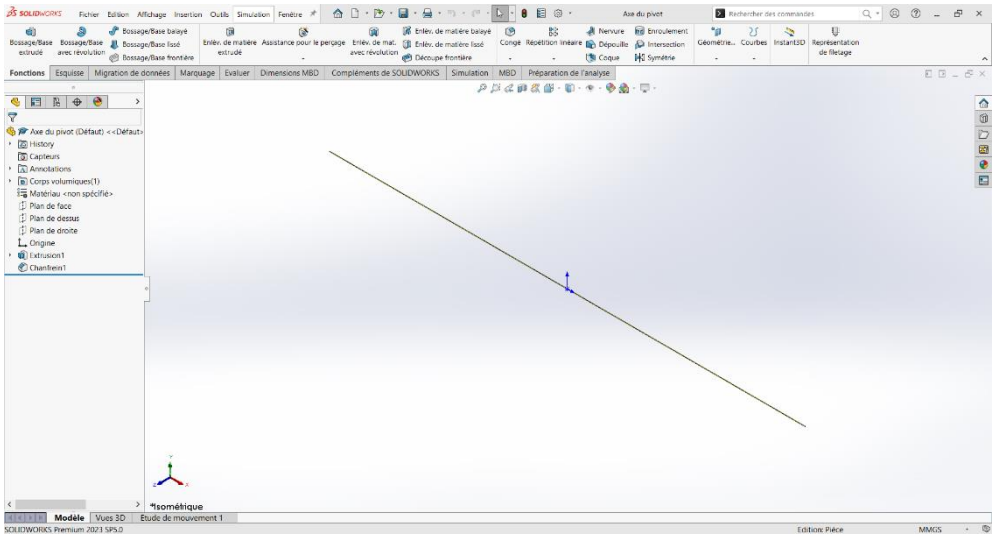


Figure III. 9 : Axe de pivot en 3D.

Fonction : L'arbre est une tige qui relie la pompe au réducteur et qui a un mouvement de transition.

- **Modélisation de Bobine acier :**

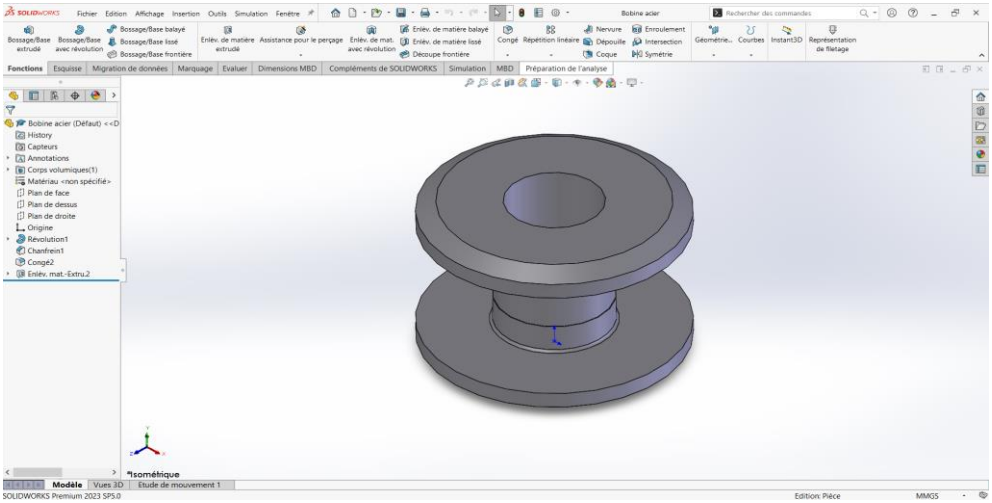


Figure III. 10 : Bobine acier en 3D.

Fonction : permettant de créer la pression nécessaire pour le pompage de l'eau. Ce mouvement de va-et-vient de la bielle serait utilisé pour actionner un piston dans la pompe, créant un mouvement de pompage qui aspire et expulse l'eau.

- **Modélisation de Coulisseau bronze**

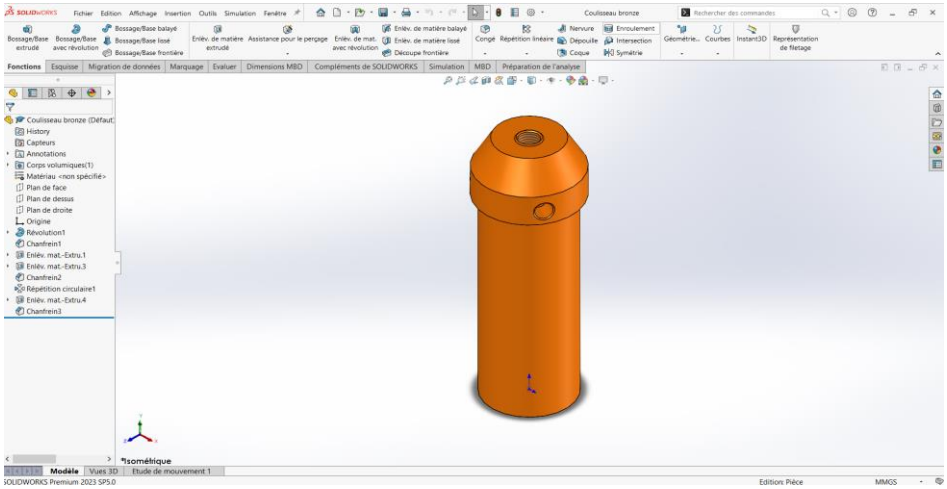


Figure III. 11 : Coulisseau bronze en 3D.

Fonction : son rôle est de guider et de stabiliser le pénis.

- **Modélisation de Tube du pivot**

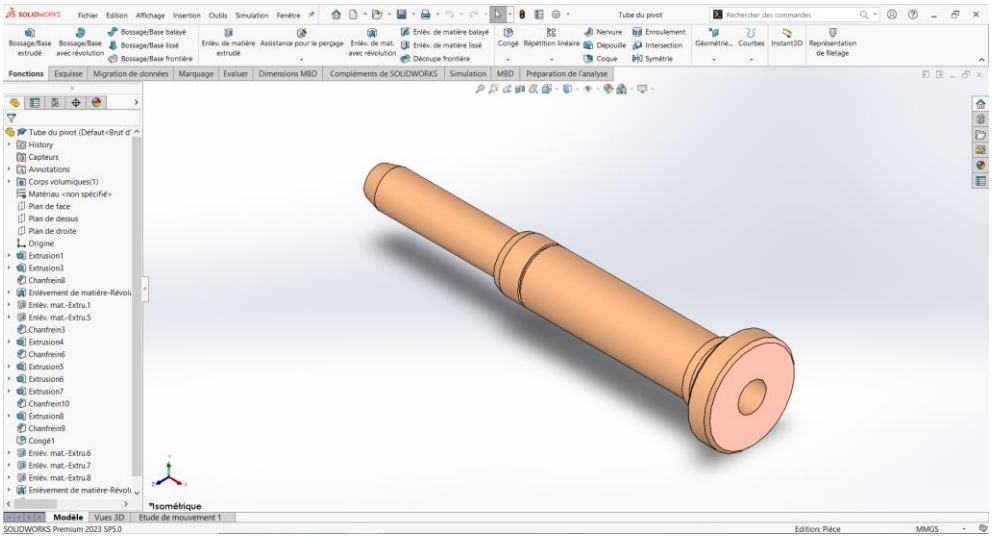


Figure III. 12 : Tube du pivot en 3D.

Fonction : son rôle est d'orienter et faire tourner le réducteur.

- **Modélisation de clavette**

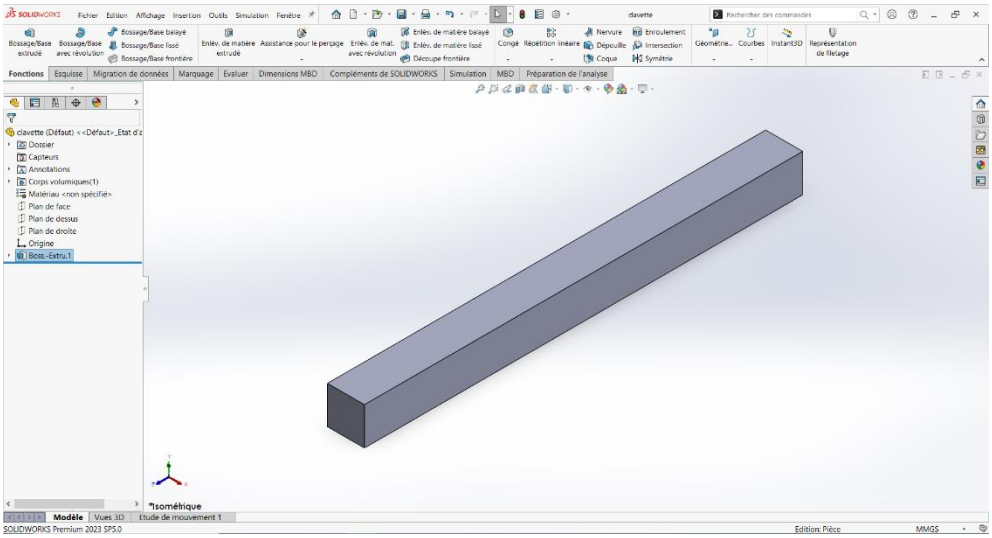


Figure III. 13 : Clavette en 3D.

Fonction : La clavette est conçue pour assurer la rotation entre l'arbre d'entrée et le moyeu.

- **Modélisation de support de moyeu**

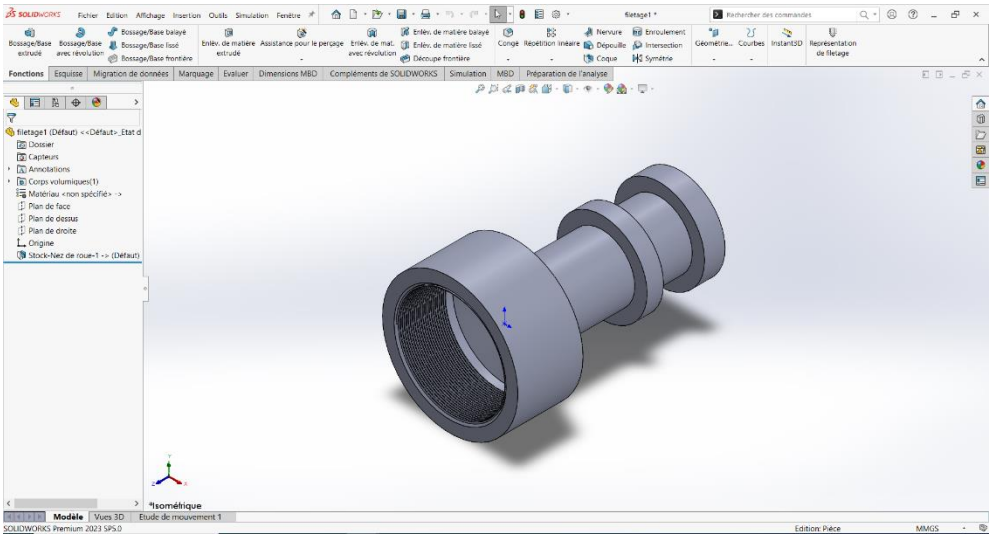


Figure III. 14 : Support d'un moyeu en 3D.

Fonction : la fonction de cette partie est de transporter le moyeu.

- **Modélisation de moyeu :**

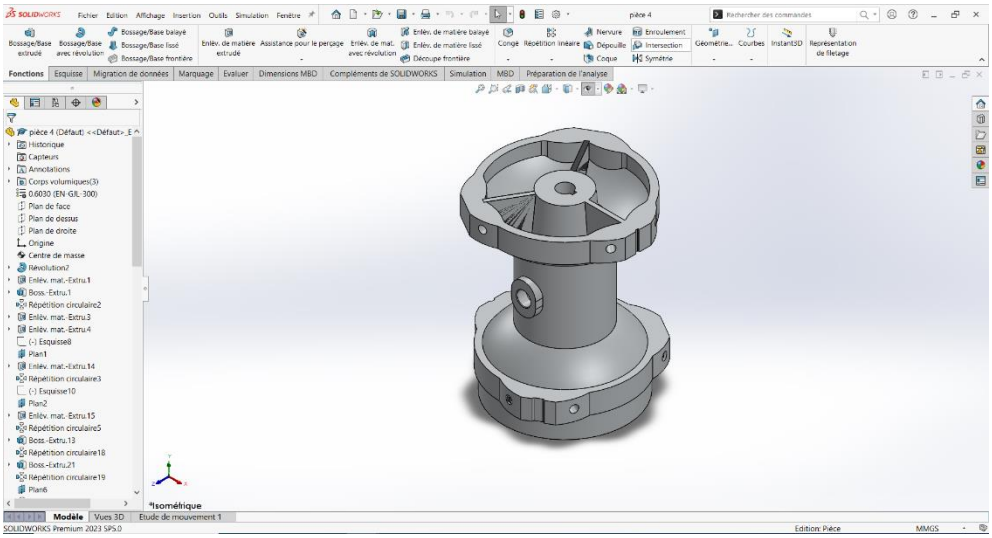


Figure III. 15 : Moyeu en 3D.

Fonction : Le moyeu est responsable de la connexion et de la fixation du rotor de l'éolienne. Il est généralement situé à l'extrémité du rotor et sert de point central pour fixer les pales de l'éolienne. Le moyeu permet de transmettre le mouvement rotatif de l'éolienne au réducteur et à la pompe pour le pompage de l'eau.

III.2.2.4. Montage et assemblage du réducteur :

Lorsque la conception des pièces est terminée nous avons édité l'assemblage :

- Cliquez sur l'option créer un nouveau document.

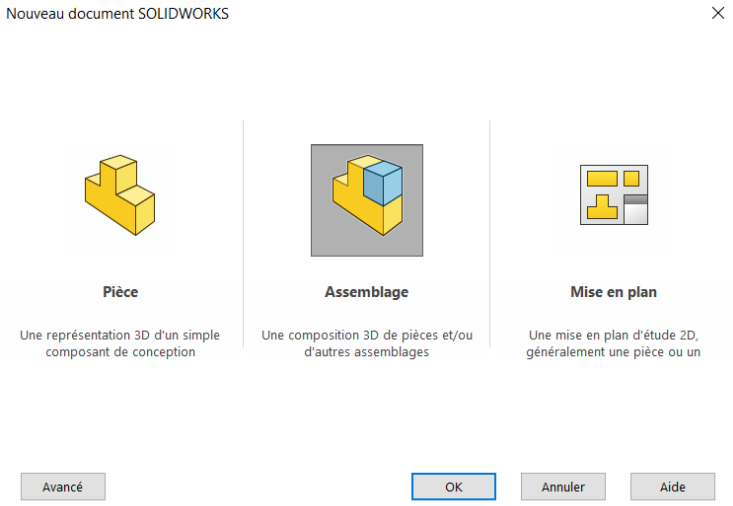


Figure III. 16 : Nouveau document SolidWorks.

- Sélectionner assemblage puis ok.
- Click sur parcourir et ouvrir tous les pièces qu'on a.
- Click sur contrainte et on fait l'assemblage.
- Assemblage (Arbre de roue + corps+ moyeu+ Nez de roue)

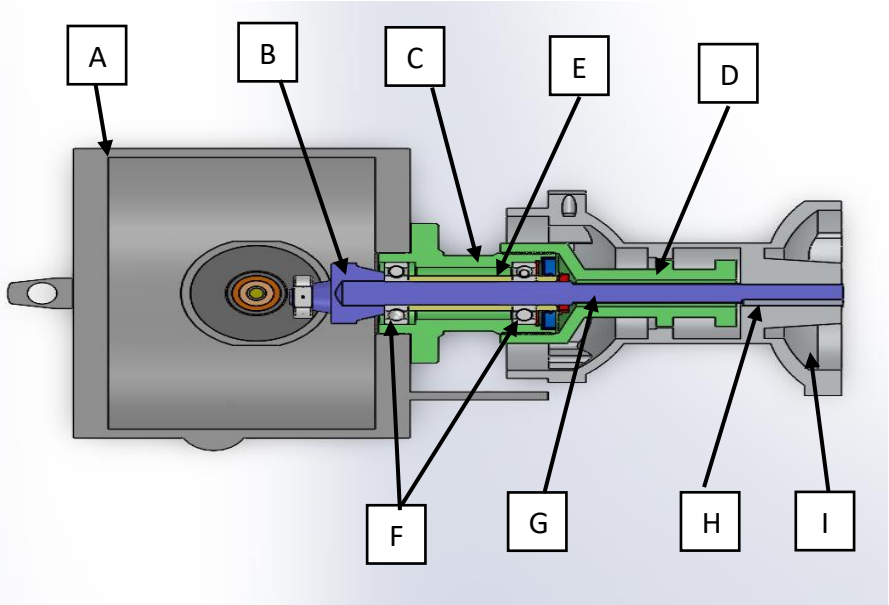


Figure III. 17 : Assemblage d'Arbre de roue avec le moyeu et corps.

A : Corps

B : Excentrique

C : Nez de roue

D : Support de moyeu

E : Bague

F : les roulements

G : Arbre de roue

H : Clavette

I : Moyeu

- **Assemblage (axe de pivot+ Tube du pivot) :**

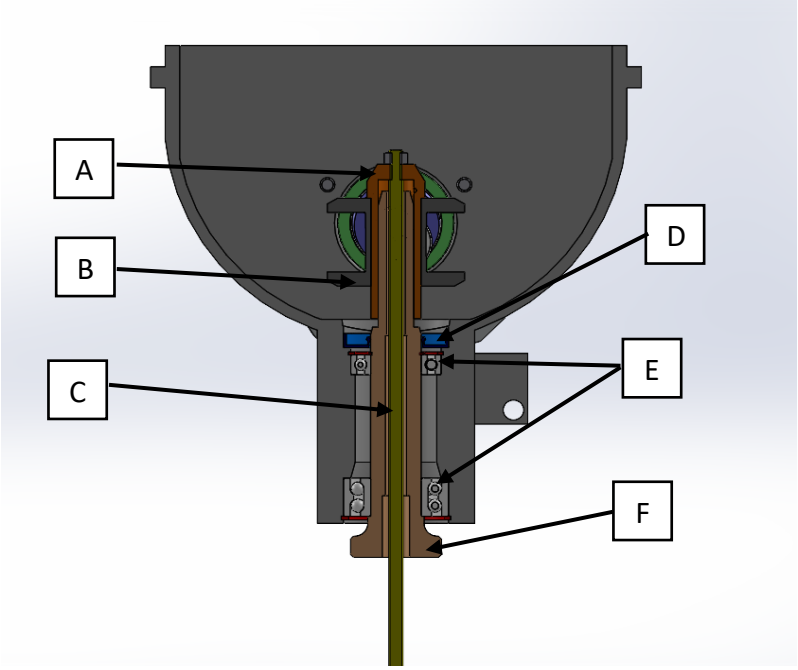


Figure III. 18 : Assemblage axe de pivot

A : Coulisseau bronze

B : Bobine acier

C : Axe de pivot

D : Joint

E : les roulements

F : Tube du pivot

- **Assemblage et Montage finale pour toutes les parties de réducteur (à palette) :**

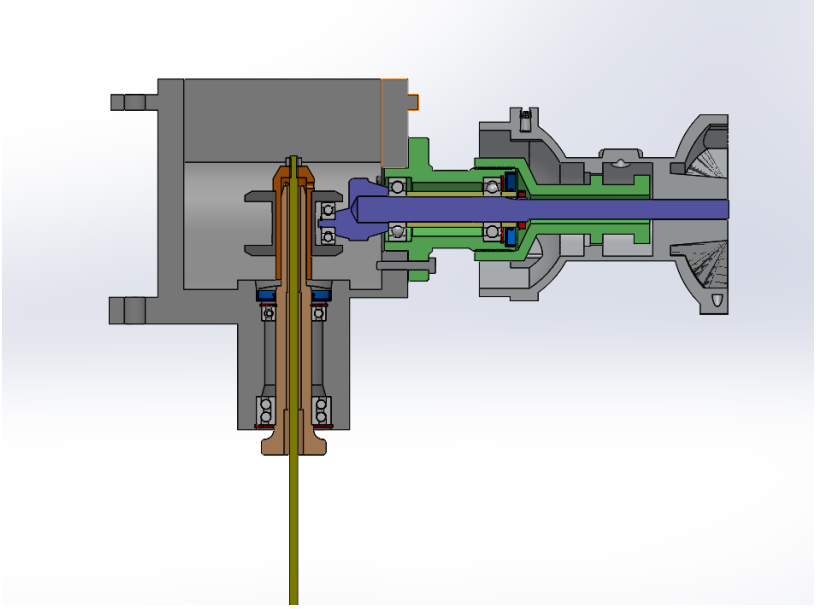


Figure III. 19 : Assemblage finale de réducteur (Orientation de la vue en coupe).

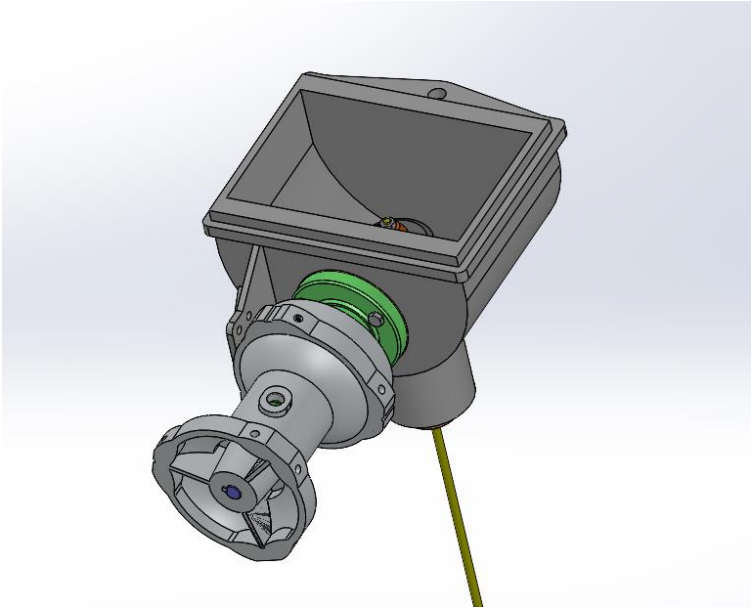


Figure III. 20 : Assemblage finale de réducteur (Orientation de la vue isométriques).

III.3. conception de système de freinage

Les éoliennes sont souvent équipées de freins mécaniques pour arrêter la rotation des pales en cas de besoin. Ces freins peuvent être actionnés manuellement ou automatiquement en fonction des conditions météorologiques ou de la maintenance préventive.

La conception d'un système de freinage efficace pour une éolienne implique de prendre en compte les différents types de freins disponibles, de prévoir des dispositifs de surveillance et de contrôle, et d'assurer une maintenance régulière pour garantir la sécurité et le bon fonctionnement de l'éolienne.

III.3.1. conception de système de freinage par SolidWorks

La conception d'un système de freinage de pompe éolienne par SolidWorks offre un ensemble complet d'outils pour la modélisation, la simulation, l'assemblage et la documentation, permettant ainsi de créer des solutions de freinage précises, performantes et bien documentées pour les applications de pompe éolienne.

III.3.1.1. Conception et Modélisation géométrique des éléments d'un système de freinage

- **Modélisation de support**

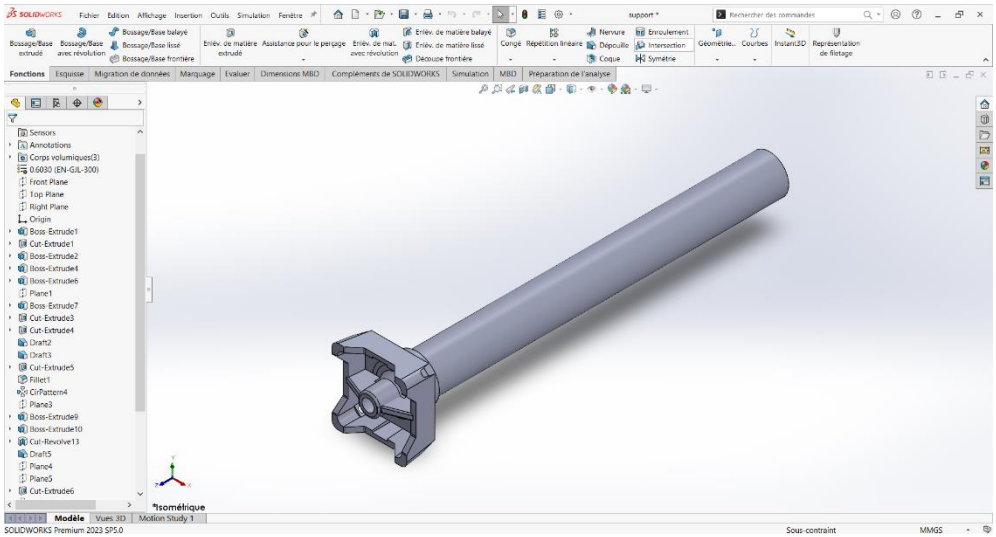


Figure III. 21 : Support en 3D.

Fonction : Un support réducteur aide à guider le système de freinage.

- **Modélisation de frein**

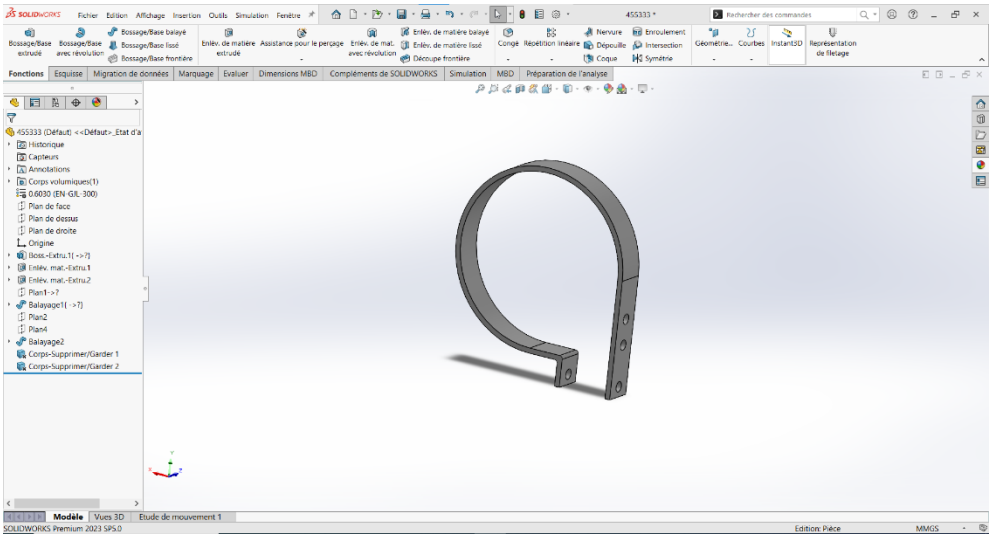


Figure III. 22 : Frein en 3D.

Fonction : Ce frein arrête le mouvement de moyeu.

- **Modélisation de pédale**

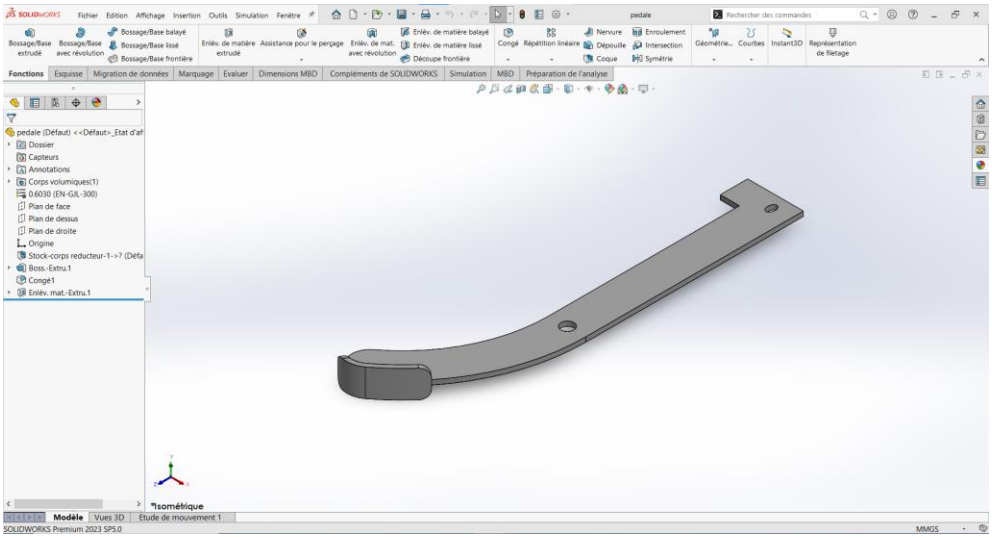


Figure III. 23 : Pédale en 3D.

Fonction : Lorsque l'aile est rétractée, elle appuie sur la pédale alors que le coffre se déplace, ce qui entraîne un freinage.

- **Modélisation de tige**

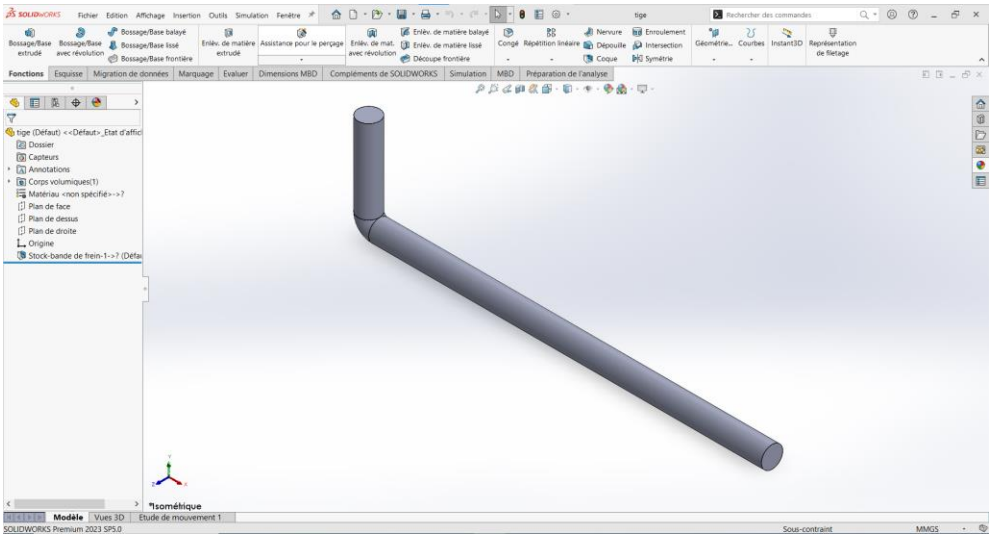


Figure III. 24 : Tige en 3D.

Fonction : Relie la pédale au frein et facilite le processus de freinage

- **Modélisation de gouvernail**

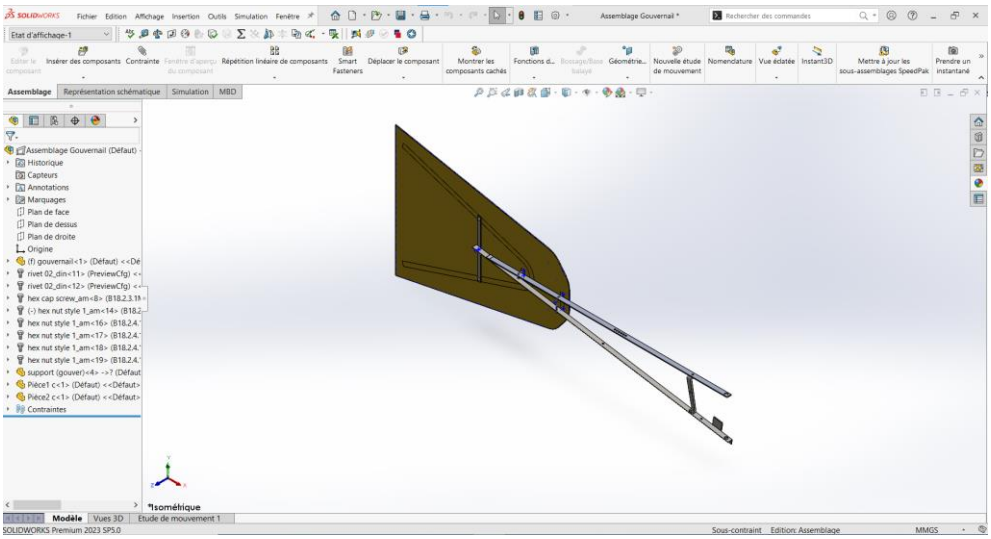


Figure III. 25 : Gouvernail en 3D.

Fonction : Le gouvernail est un dispositif qui permet de contrôler la direction du vent qui pénètre dans une pompe éolienne, ce qui permet d'optimiser la conversion de l'énergie

éolienne en énergie mécanique. En modifiant le gouvernail, il est possible de réguler la vitesse de rotation de l'hélice et donc la production d'énergie de la pompe. Cela offre la possibilité d'ajuster la production d'énergie en fonction des conditions météorologiques et d'optimiser le rendement global de la pompe éolienne.

- **Modélisation de corps de freinage**

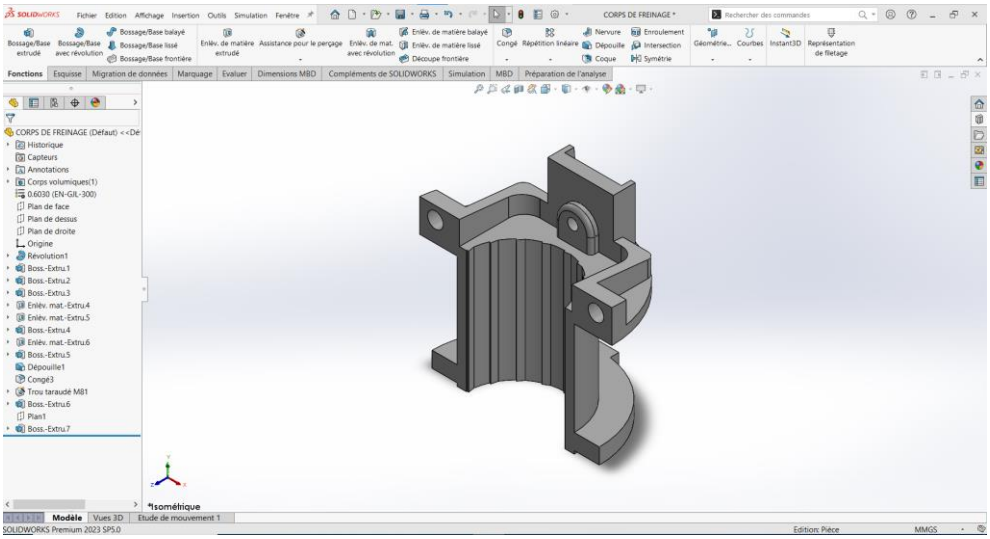


Figure III. 26 : Corps de freinage en 3D.

Fonction : Le corps de freinage d'une pompe éolienne joue un rôle crucial dans le contrôle et la sécurité de l'équipement. Son principal objectif est de permettre l'arrêt ou la réduction de la vitesse de rotation de l'hélice en cas de besoin. Cela peut être nécessaire pour des raisons de maintenance, de sécurité en cas de vents forts ou de surchauffe de l'équipement.

- **Modélisation de câblé**

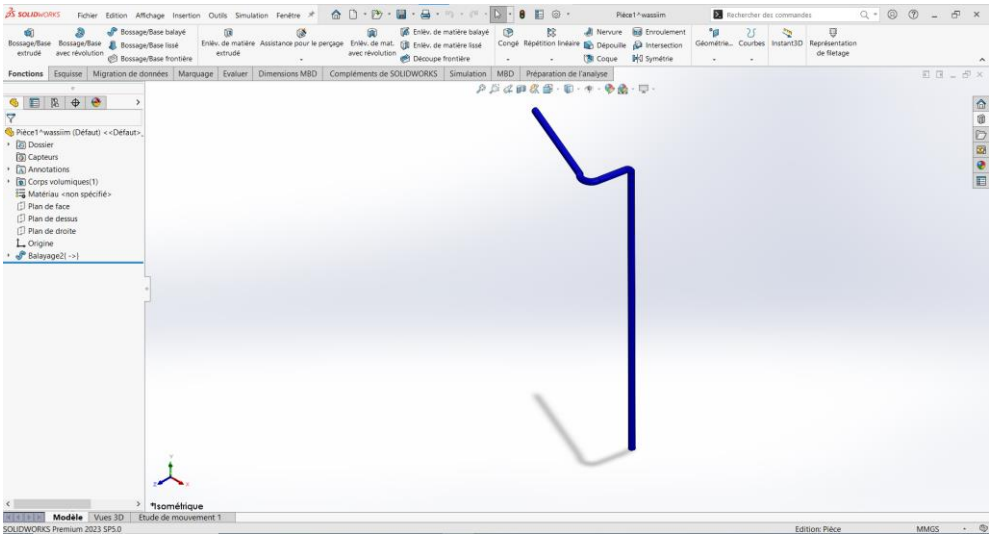


Figure III. 27 : Câblé en 3D

Fonction : Ce fil joue un rôle important dans le freinage car il tire le gouvernail vers la pédale.

- **Modélisation de poulies**

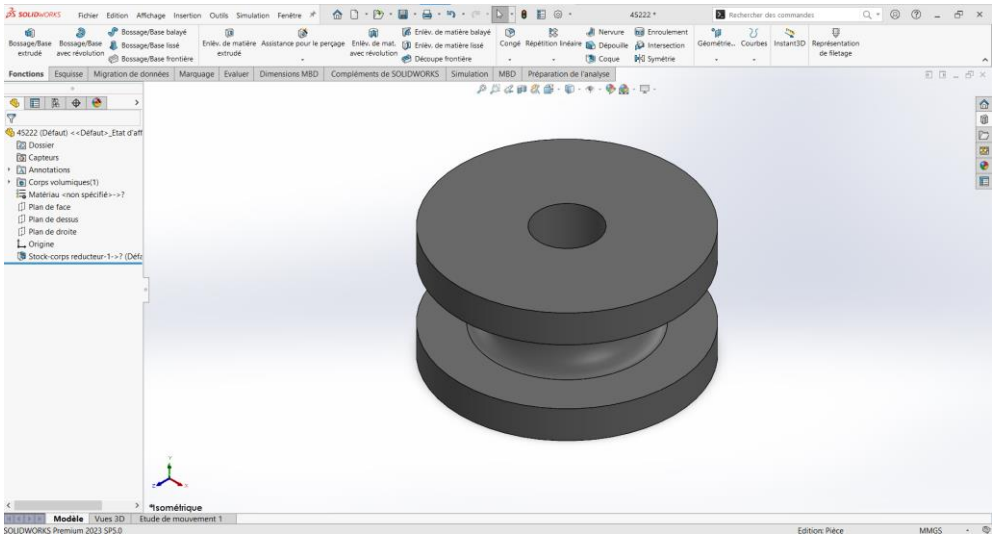


Figure III. 28 : Poulies en 3D.

Fonction : Orientation filaire et facilité de mouvement .

Remarque : les pièces (figIII.20, 21, 24,25) de ces travaux de mémoire de fin d'étude «Conception d'une éolienne pour pompage d'eau», par: BAYAH A SOUALHI A, université 2023.

III.3.2.Montage et assemblage du système de freinage

- **Assemblage (gouvernail+ tige+ câblé+ corps de freinage + pédale +poulies)**

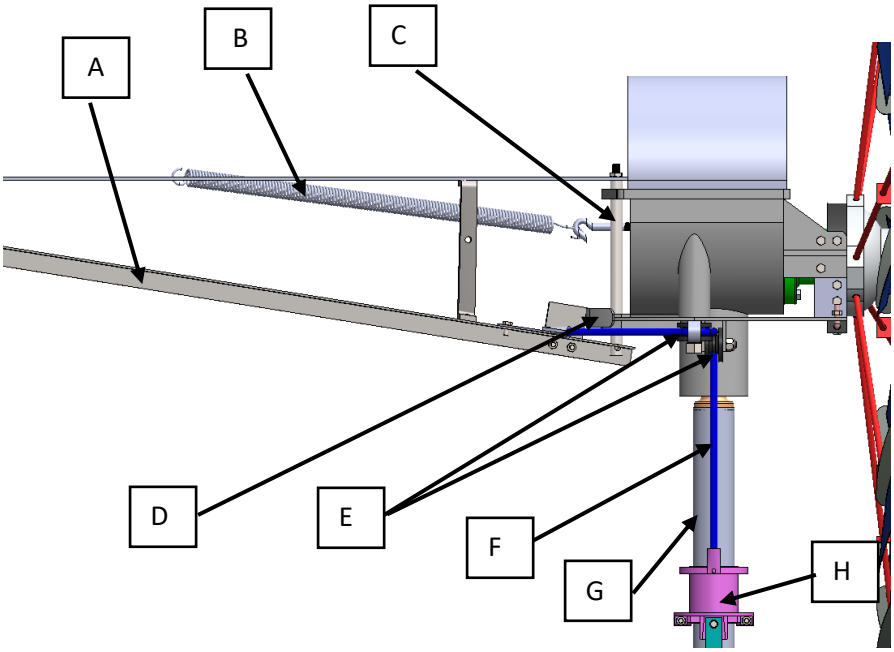


Figure III. 29 : Assemblage système de freinage avec le réducteur.

A : Gouvernail

B : Ressort

C : axe

D : Pédale

E : Les poulies

F : Câblé

G : Support

H : Corps de freinage

- **Assemblage (axe de pivot+ Tube du pivot)**

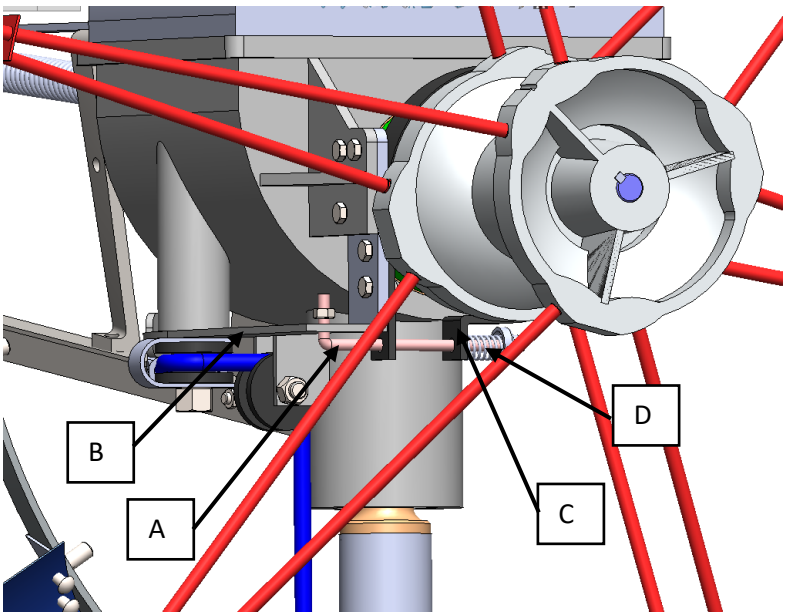


Figure III. 30 : Assemblage système de freinage avec le réducteur (Orientation de la vue isométriques).

A : Tige

B : Pédale

C : Frein

D : Ressort

III.4. Assemblage et Montage finale pour toutes les parties d'éolienne

Nous avons rassemblé tous les systèmes dans la figure III.30.

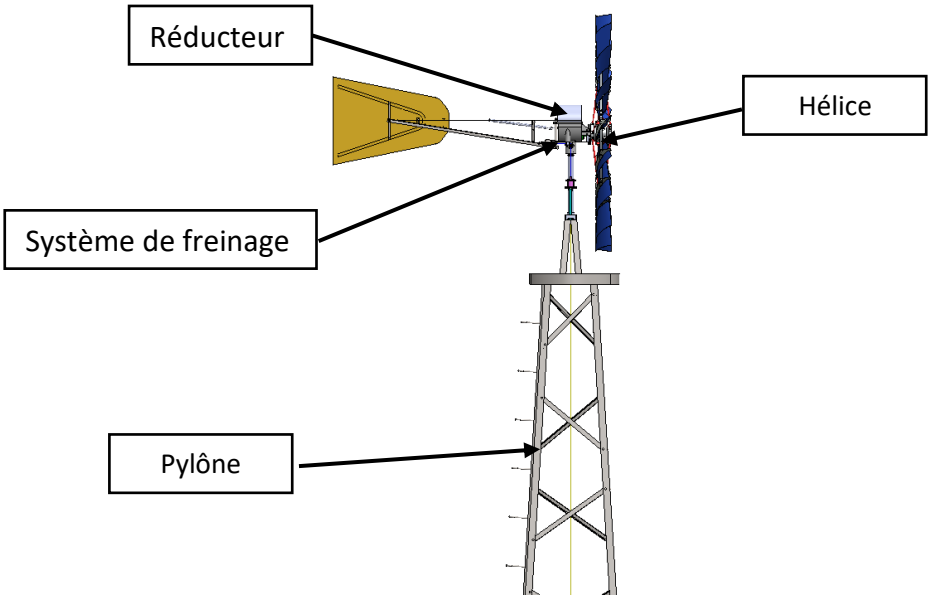


Figure III. 31 : Montage finale pour toutes les parties d'éolienne.

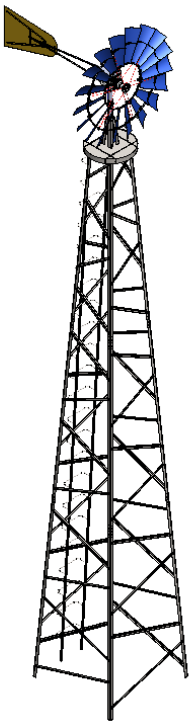


Figure III. 32 : Assemblage finale d'éolienne (Orientation de la vue isométriques).

III.5. Conclusion

En conclusion, il est essentiel de concevoir un réducteur et un système de freinage pour les éoliennes afin de garantir leur bon fonctionnement et leur sécurité. Les éoliennes doivent être en mesure de faire face à diverses conditions environnementales et de fonctionner de manière fiable et efficace afin de générer de l'énergie de manière continue.

Il est important de considérer des éléments tels que la taille de l'éolienne, la puissance à produire, les conditions de vent locales, ainsi que les contraintes de maintenance et de coûts lors de la conception de ces systèmes. Pour assurer la fiabilité et la longévité des installations éoliennes, il est primordial de sélectionner des éléments de qualité, de dimensionner les équipements de manière adéquate et de respecter les normes de sécurité et les recommandations des fabricants.

Chapitre IV :

Analyse Statique

Du Pylône

IV.1. Introduction

Il est crucial de réaliser une simulation de pompe éolienne lors de la conception et de la mise en place d'un système de pompe qui exploite l'énergie éolienne. Elle offre la possibilité d'évaluer les résultats du système, d'améliorer sa conception et de prédire son fonctionnement dans des conditions de vent différentes.

Le comportement de l'éolienne et de la pompe peut être modélisé en fonction de divers paramètres tels que la vitesse du vent, la puissance produite, le débit d'eau pompée et l'efficacité du système. Cela permet de définir la dimension idéale de l'éolienne et de la pompe, ainsi que de prédire les performances du système dans des conditions réelles.

L'objectif de cette simulation est de déterminer dans quelle mesure le pylône peut résister aux effets des éoliennes et des éléments naturels.

IV.2 Choix du logiciel Simulation

SolidWorks a été choisi pour cette étude en raison de sa disponibilité, de notre maîtrise du logiciel et de sa facilité d'utilisation.

SolidWorks Simulation est un logiciel de simulation par éléments finis développé par Dassault Systèmes. Il permet aux ingénieurs et concepteurs de tester virtuellement la résistance, la rigidité, la durabilité et d'autres propriétés de leurs conceptions avant de les fabriquer physiquement.

SolidWorks Simulation utilise des modèles CAO (Conception Assistée par Ordinateur) créés dans SolidWorks pour effectuer des analyses de simulation. Grâce à une intégration étroite avec SolidWorks, les modifications apportées au modèle CAO peuvent être rapidement transférées à SolidWorks Simulation pour des analyses ultérieures.

IV.3 Etapes de la simulation

Lancer SolidWorks et ouvrir le fichier de la structure enregistrée.

- Sélectionner SolidWorks Simulation et le démarrer

- Choisir l'option d'étude statique
- Appliquer le matériel utilisé
- Appliquer les conditions limite
- Appliquer le maillage automatique à la structure.
- Visionner les résultats.
- Générer le rapport de résultats

IV.4. Choix des matériaux de l'éolienne

Les matériaux des différentes pièces de l'aérogénérateur étudié sont répertoriés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Pièce	matériau
Pylône	Acier non allié
La pale	Acier ordinaire
Le gouvernail	Alliages d'aluminium
Corps	Fonte grise
Axe du pivot	Acier non allié

Tableau IV. 1 : Matériaux utilisés dans la modélisation.

IV.5.Maillage de pylône

Durant l'opération de maillage, le solide est décomposé en éléments de forme géométrique simple ayant des côtés communs et dont les sommets ou nœuds sont les points de connexion de plusieurs éléments entre eux. Ces nœuds pourront être les points d'application des forces intérieures ou extérieures et les points de calcul des contraintes et réactions.

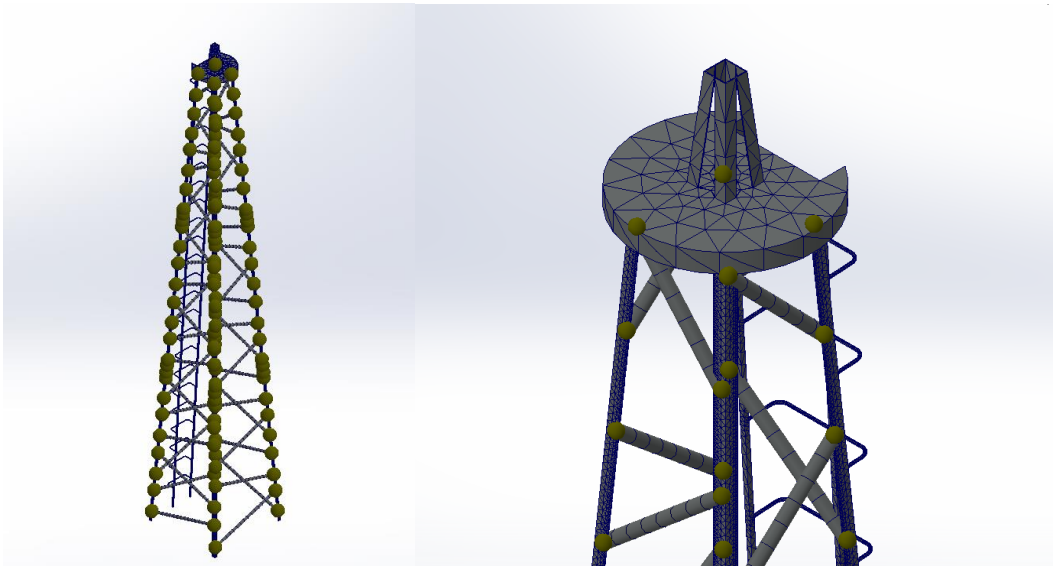


Figure IV. 1 : Maillage de pylône.

Information sur le maillage	
Type de maillage	**Maillage volumique**
Taille de l'élément max :	177,786
Taille de l'élément min :	8,88931
Qualité :	Haute
Nombre d'éléments :	299314
Nombre de nœuds :	650247

Tableau IV. 2 : information sur le maillage global de pylône.

IV.6. Les conditions aux limites et les chargements

IV.6.1. les déplacements imposés

Déplacements imposés	
Déplacements imposés<mat-fixe>	Géométrie fixe

Tableau IV. 3 : Déplacements imposés.

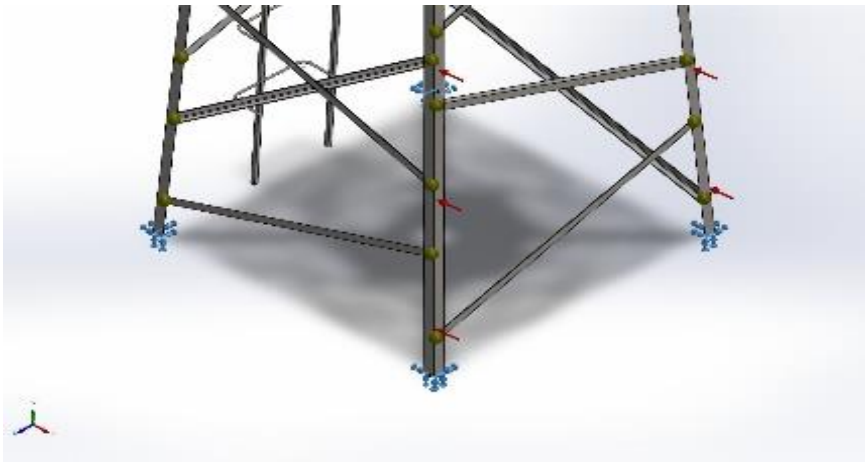


Figure IV. 2 : Déplacements imposés.

IV.6.2. les chargements

La simulation de pylône sous la pression de vent critique 226.85 N/m² (70 Km/h) et sa la propre charge 100 Kg.

Chargements	
Force-1	100 kg
Pression-1	296,82 N/m^2 le long de la normal à la face sélectionnée

Tableau IV. 4 : les chargements.

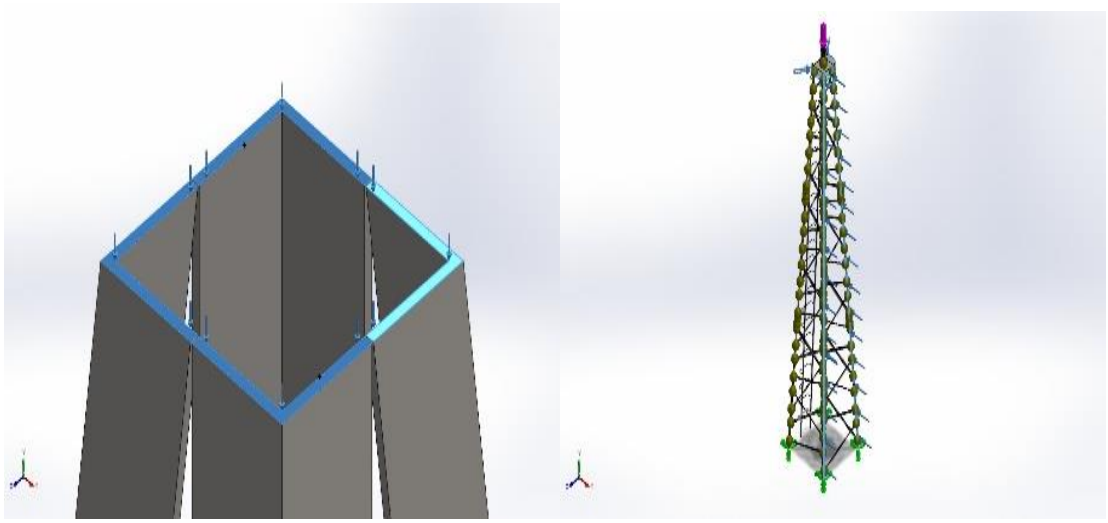


Figure IV. 3 : les chargements.

IV.7. Résultats de la simulation

Les contraintes maximales et minimales et ces positions sont présentées dans la (Figure IV.4), et la figure (IV.5) montre la variation des déplacements à pylône. On note que la valeur maximale du déplacement est de 1.048 mm, et pour la figure(IV.6) ci-dessous illustre les différentes zones de déformation, où la déformation maximale est de 6.406 ×10-5

Pour le matériau utilisés dans le système, il est question de l'acier non allié (voir caractéristiques en Annexe), et d'après les résultats en contraintes nous trouvons que : 2.434e^{7}(N/m²).

Les limites élastiques admissibles pour le matériau utilisé sont en effet comme suit :

Acier non allié : $\sigma_e = 235$ MPa

Ce qui fait que quel que soit la valeur extrême de la contrainte et quel que soit le matériau

Sollicité, on est très loin des valeurs admissibles du domaine élastique, on peut aisément

Affirmer que du point de vue statique, le pylône est largement résistant en plus de la grande rigidité qu'il présente.

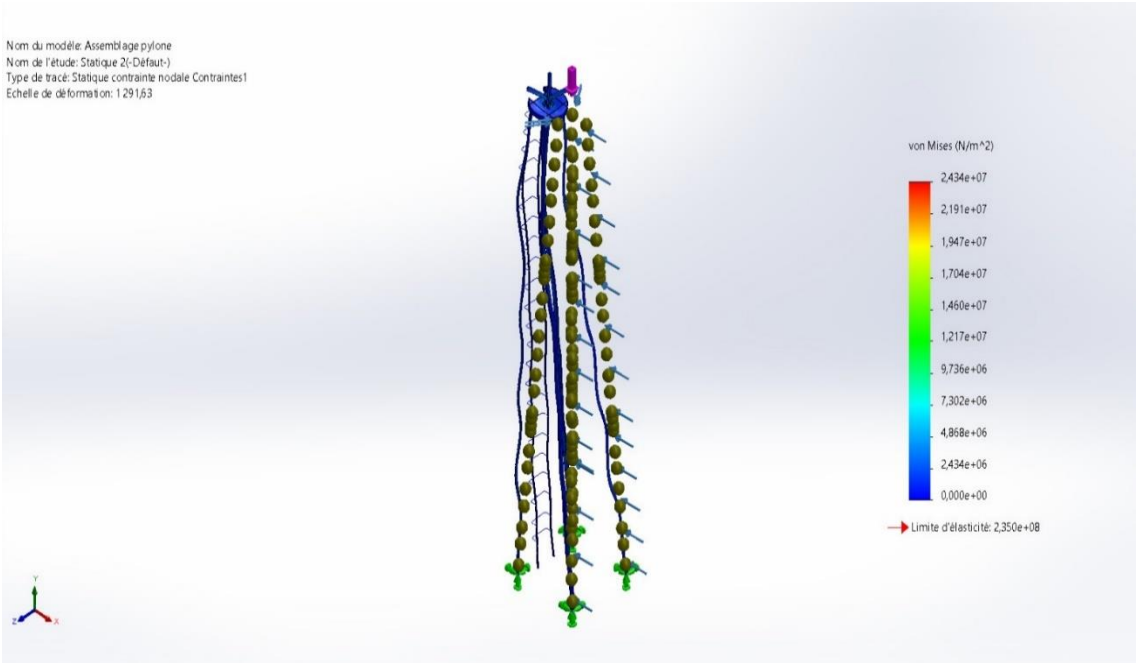


Figure IV. 4 : Champ des contraintes de Von Mises.

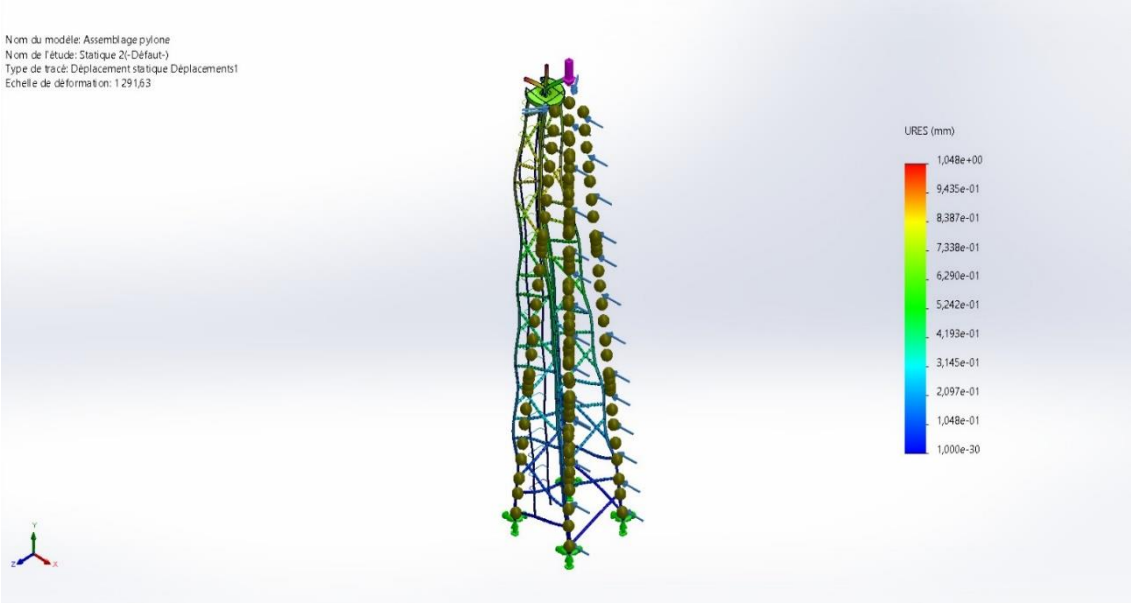


Figure IV. 5 : Champ des Déformation.

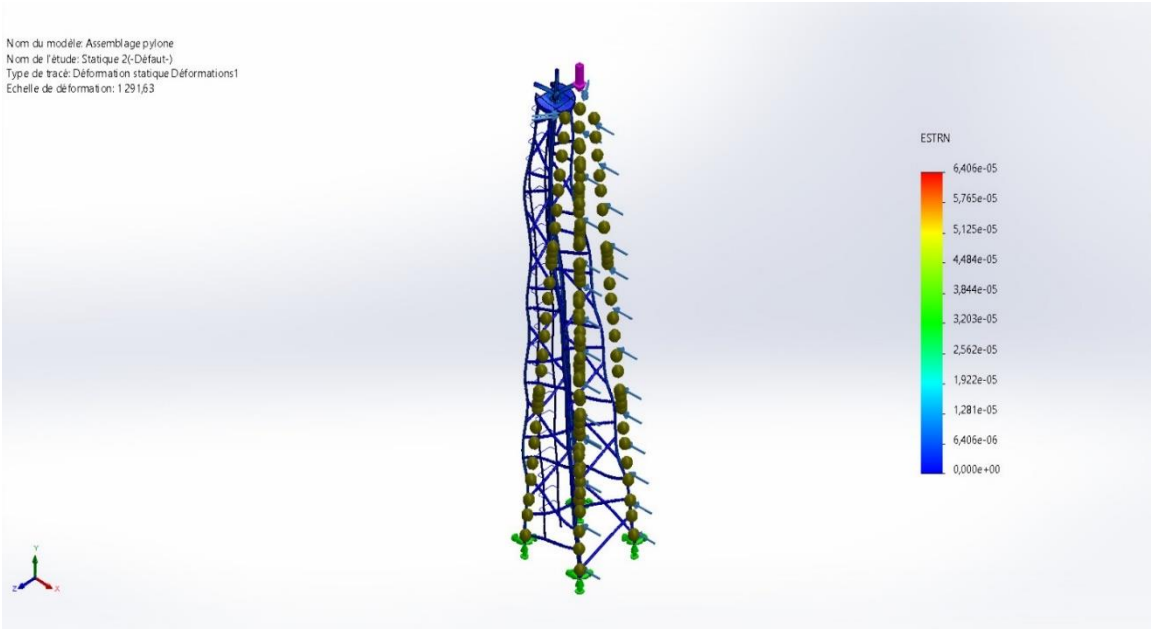


Figure IV. 6 : Champ des Déformation équivalente.

IV.8.Conclusion

En conclusion, l'étude statique de la structure en position de charge a permis de mesurer les pressions internes et les déformations subies par la structure. L'analyse de cette situation est cruciale afin d'assurer la stabilité et la sécurité du pylône, en particulier en cas de conditions météorologiques extrêmes ou de charges considérables.

En utilisant cette analyse, il est également possible de prendre des mesures pour renforcer la structure si besoin est, afin de prévenir tout risque de défaillance ou de chute. Lors de la conception et de la construction de pylônes, il est donc essentiel de procéder à une analyse statique approfondie pour garantir leur fiabilité et leur longévité.

Conclusion générale

Ce projet a été proposé par la société Poval-berouaghia dans le cadre d'un projet PNR en collaboration avec l'université de Médéa. Le but principal est de concevoir une éolienne pour le pompage d'eau utilisée dans les zones sahariennes.

Ce mémoire est destiné à la conception d'un réducteur pour une pompe éolienne et un système de freinage adapté. Ces éléments est indispensables pour convertir l'énergie mécanique du vent et pour le bon fonctionnement de l'éolienne. Il est essentiel de les concevoir de manière efficace et fiable afin d'assurer le bon fonctionnement et la durabilité des éoliennes.

Les résultats de cette thèse ont montré que la méthode de l'ingénierie inverse est réalisable et efficace pour créer un réducteur adapté aux besoins de l'éolienne de pompage d'eau. Grâce aux outils de conception et de simulation, comme SolidWorks, ont permis d'optimiser les choix de conception et de fabrication, en prenant en compte les contraintes techniques, économiques et environnementales.

En investissant dans la recherche et le développement, en encourageant la collaboration entre les acteurs de l'industrie (POVAL) et en adoptant des pratiques durables, nous avons réussi à améliorer la conception de réducteurs de pompe éolienne pour soutenir la croissance de l'énergie éolienne.

Bibliographie

Bibliographie

[1] : http://www.info-eolien.com/historique.html

[2] : https://wikiwater.fr/e42-les-pompes-a-energie-eolienne

[3] : http://sciencejunior.fr/ecologie-et-nature/les-eoliennes-cest-quoi-a-quoi-ca-sert/attachment/champ-eoliennes

[4] : l'energie renouvelable en algerie (univ-blida2.dz)

[5] : https://www.choisir.com/energie/articles/104442/leolienne

[6] : https://www.ecosources.org/eolienne-verticale-savonius

[7] : H. Belghitri , « Modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride Éolien-Photovoltaïque » Magister de l'université Abu-Bakr Belkaid de Tlemcen 2010.v

[8] : https://www.archiexpo.fr/prod/tozzi-green/product-62400-1822149.html

[9] : Windmill Water Pumping : How Does It Work - Windmills Tech.

[10] : https://wikiwater.fr/spip.php?page=article_pdf&id_article=42

[11] : https://diffusonslascience.fr/comment-un-moulin-a-vent-pompe-t-il-de-leau/

[12] : https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/energie-renouvelable/les-avantages-et-inconvenients-de-l-energie-eolienne

[13] : https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/eolienne/avantages-inconvenients-eolienne/

[14] : Manuel Franques Voneschen , .Introduction à la théorie des éoliennes. 1989

[15] : mémiore finale de mohamed.pdf (univ-blida.dz)

[16] : Engn. ELT (enp.edu.dz)

[17] : M.JOURIEH. Développement d'un modèle représentatif d'une éolienne afin d'étudier l'implantation de plusieurs machines sur un parc éolien. Thèse pour obtenir le grade de Docteur De l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. 20 décembre 2007.

[18] : https://www.flender.com/fr/products/gear-units

[19] : https://www.directindustry.fr/prod/licat-srl/product-68451-557400.html

[20] : https://www.printables.com/fr/model/487409-gearbox-model-of-an-industrial-gearbox

[21] : https://www.alira.fr/laboratoire-de-post-bac-transactis-reducteur-a-couple-conique.html

[22] : https://www.directindustry. fr/fabricant-industriel/reducteur-eolienne-142093.html

[23] : https://metall-servise.ru/

[24] : https://www.usinenouvelle.com/expo/reducteur-a-engrenages-cylindriques-co-p289842652.html

[25] : https://eduscol.education.fr/sti/concours_examens/epreuve-u33-bac-pro-edpi-juin-2021

[26] : https://blogs.plombiers-reunis.com/plomberie-sanitaire/les-differents-reducteurs-de-pression-et-leur-fonctionnement.html

[27] : A-Chevalier "Guide de dessinateur industriel" Ed –Hachette technique1981.

[28] : https://physigeek.com/types-dengrenages/

[29] : https://www.kfx-machining.com/gear/internal-gear/

[30] : cours- chapitre N°07;transmission par engrenage.M.Benjaber.

[31] : Cours Eléments de Machines destiné aux étudiants de Master 2, Institut des sciences et de la technologie Ain T'émouchent, 2016. BELOUFA AM

[32] : Projet de fin d'étude «Conception d'un réducteur par ingénierie inverse pour une éolienne destinée au pompage d'eau», par: CHOULI.A ET BEZAZ.C, UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA 2023

[33] : https://www.au-comptoir-hydraulique.fr/fr/conseils-actualites/1/124-pompe-a-palettes.html

[34] : http://sciencejunior.fr/ecologie-et-nature/les-eoliennes-cest-quoi-a-quoi-ca-sert/attachment/champ-eoliennes

ANNEXE

ANNEXE

Annexe 1

Propriétés mécanique des matériaux utilisés dans la modélisation du d'entrainement

Matériau : acier non allié

Nom de la propriété	valeur	Unités
Module d'élasticité	210000.0031	N/mm^2
Coefficient de poisson	0.28	S.O
Module de cisaillement	79000	N/mm^2
Masse volumique	7800	Kg/mç3
Limite de traction	360	N/mm^2
Limite d'élasticité	235	N/mm^2
Coefficient d'expansion thermique	$1.1e^{-5}$	/Kelvin
Conductivité thermique	14	W/ (m.K)
Chaleur spécifique	440	J/ (Kg.K)

Annexe 2

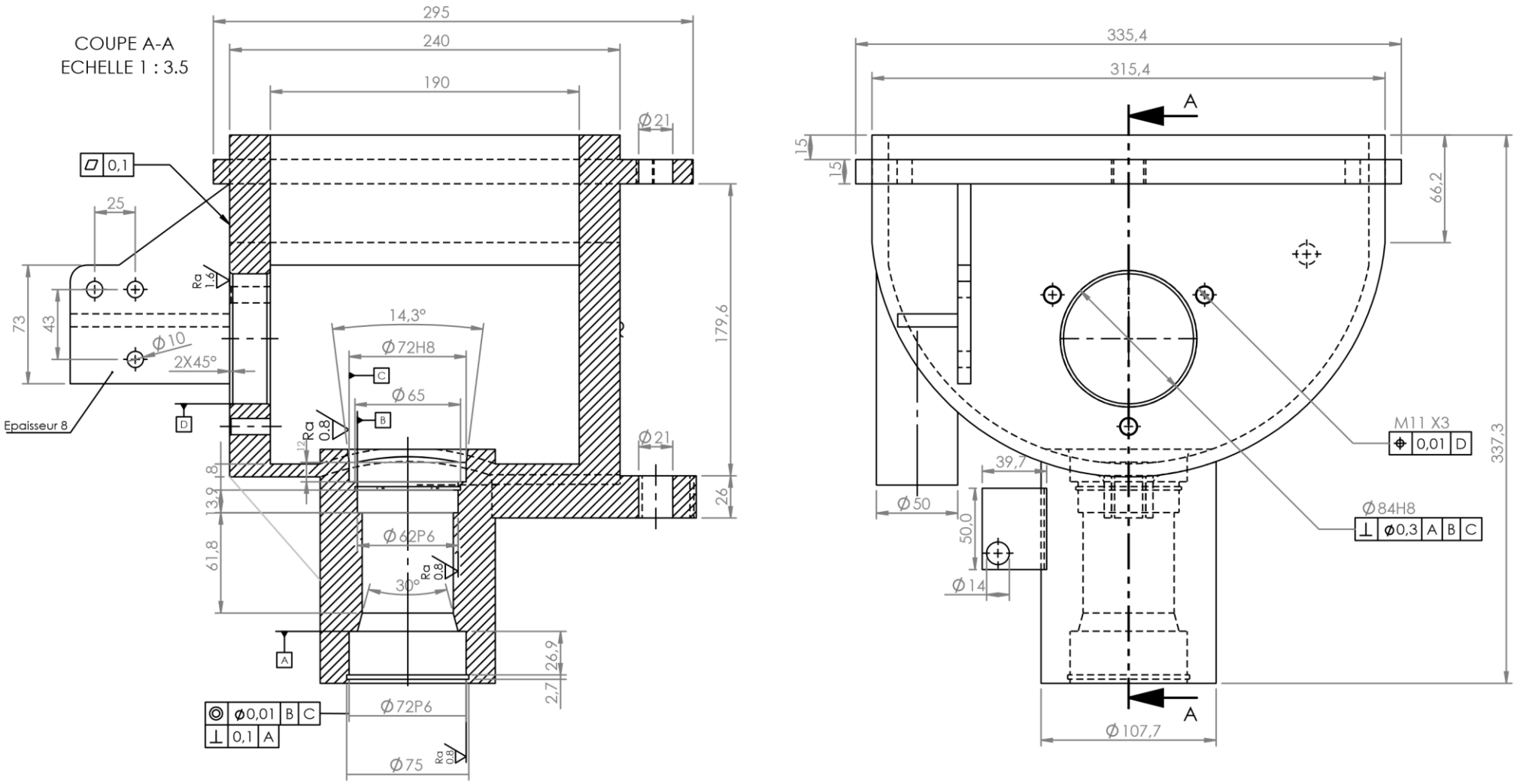
Principaux écart micromètres

Alésages	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 121 + 68
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0
J 7	+ 4 − 6	+ 6 − 6	+ 8 − 7	+ 10 − 8	+ 12 − 9	+ 14 − 11	+ 18 − 12	+ 22 − 13	+ 26 − 14	+ 30 − 16	+ 36 − 16	+ 39 − 18	+ 43 − 20
K 6	0 − 6	+ 2 − 6	+ 2 − 7	+ 2 − 9	+ 2 − 11	+ 3 − 13	+ 4 − 15	+ 4 − 18	+ 4 − 21	+ 5 − 24	+ 5 − 27	+ 7 − 29	+ 8 − 32
K 7	0 − 10	+ 3 − 9	+ 5 − 10	+ 6 − 12	+ 6 − 15	+ 7 − 18	+ 9 − 21	+ 10 − 25	+ 12 − 28	+ 13 − 33	+ 16 − 36	+ 17 − 40	+ 18 − 45
M 7	− 2 − 12	0 − 12	0 − 15	0 − 18	0 − 21	0 − 25	0 − 30	0 − 35	0 − 40	0 − 46	0 − 52	0 − 57	0 − 63
N 7	− 4 − 14	− 4 − 16	− 4 − 19	− 5 − 23	− 7 − 28	− 8 − 33	− 9 − 39	− 10 − 45	− 12 − 52	− 14 − 60	− 14 − 66	− 16 − 73	− 17 − 80
N 9	− 4 − 29	0 − 30	0 − 36	0 − 43	0 − 52	0 − 62	0 − 74	0 − 87	0 − 100	0 − 115	0 − 130	0 − 140	0 − 155
P 6	− 6 − 12	− 9 − 17	− 12 − 21	− 15 − 26	− 18 − 31	− 21 − 37	− 26 − 45	− 30 − 52	− 36 − 61	− 41 − 70	− 47 − 79	− 51 − 87	− 55 − 95
P 7	− 6 − 16	− 8 − 20	− 9 − 24	− 11 − 29	− 14 − 35	− 17 − 42	− 21 − 51	− 24 − 59	− 28 − 68	− 33 − 79	− 36 − 88	− 41 − 98	− 45 − 108
P 9	− 9 − 31	− 12 − 42	− 15 − 51	− 18 − 61	− 22 − 74	− 26 − 88	− 32 − 106	− 37 − 124	− 43 − 143	− 50 − 165	− 56 − 186	− 62 − 202	− 68 − 223

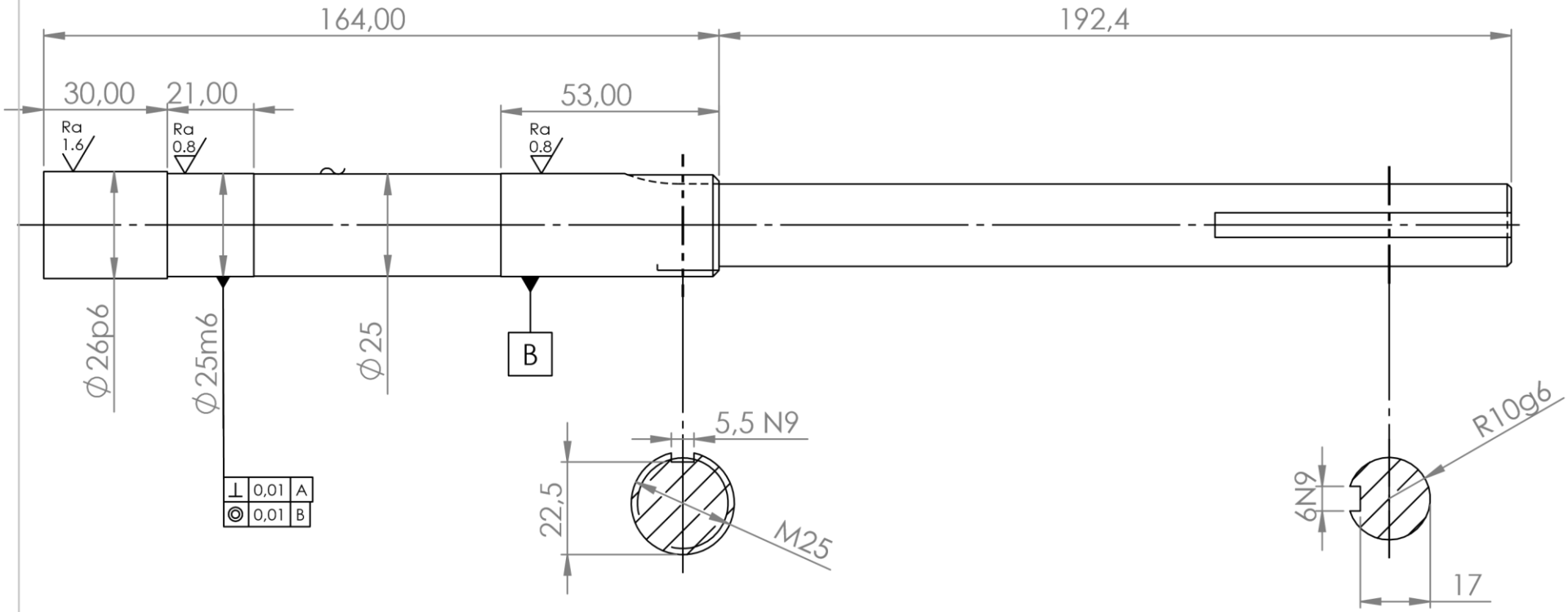
ANNEXE

Arbres	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
a 11	− 270 − 330	− 270 − 345	− 280 − 370	− 290 − 400	− 300 − 430	− 320 − 470	− 360 − 530	− 410 − 600	− 580 − 710	− 820 − 950	− 1 050 − 1 240	− 1 350 − 1 560	− 1 650 − 1 900
c 11	− 60 − 120	− 70 − 145	− 80 − 170	− 95 − 205	− 110 − 240	− 130 − 280	− 150 − 330	− 180 − 390	− 230 − 450	− 280 − 530	− 330 − 620	− 400 − 720	− 480 − 840
d 9	− 20 − 45	− 30 − 60	− 40 − 75	− 50 − 93	− 65 − 117	− 80 − 142	− 100 − 174	− 120 − 207	− 145 − 245	− 170 − 285	− 190 − 320	− 210 − 350	− 230 − 385
d 10	− 20 − 60	− 30 − 78	− 40 − 98	− 50 − 120	− 65 − 149	− 80 − 180	− 100 − 220	− 120 − 250	− 145 − 305	− 170 − 355	− 190 − 400	− 210 − 440	− 230 − 480
d 11	− 20 − 80	− 30 − 105	− 40 − 130	− 50 − 160	− 65 − 195	− 80 − 240	− 100 − 290	− 120 − 340	− 145 − 395	− 170 − 460	− 190 − 510	− 210 − 570	− 230 − 630
e 7	− 14 − 24	− 20 − 32	− 25 − 40	− 32 − 50	− 40 − 61	− 50 − 75	− 60 − 90	− 72 − 107	− 85 − 125	− 100 − 146	− 110 − 162	− 125 − 182	− 135 − 198
e 8	− 14 − 28	− 20 − 38	− 25 − 47	− 32 − 59	− 40 − 73	− 50 − 89	− 60 − 106	− 72 − 126	− 85 − 148	− 100 − 172	− 110 − 191	− 125 − 214	− 135 − 232
e 9	− 14 − 39	− 20 − 50	− 25 − 61	− 32 − 75	− 40 − 92	− 50 − 112	− 60 − 134	− 72 − 159	− 85 − 185	− 100 − 215	− 110 − 240	− 125 − 265	− 135 − 290
f 6	− 6 − 12	− 10 − 18	− 13 − 22	− 16 − 27	− 20 − 33	− 25 − 41	− 30 − 49	− 36 − 58	− 43 − 68	− 50 − 79	− 56 − 88	− 62 − 98	− 68 − 108
f 7	− 6 − 16	− 10 − 22	− 13 − 28	− 16 − 34	− 20 − 41	− 25 − 50	− 30 − 60	− 36 − 71	− 43 − 83	− 50 − 96	− 56 − 106	− 62 − 119	− 68 − 131
f 8	− 6 − 20	− 10 − 28	− 13 − 35	− 16 − 43	− 20 − 53	− 25 − 64	− 30 − 76	− 36 − 90	− 43 − 106	− 50 − 122	− 56 − 137	− 62 − 151	− 68 − 165
g 5	− 2 − 6	− 4 − 9	− 5 − 11	− 6 − 14	− 7 − 16	− 9 − 20	− 10 − 23	− 12 − 27	− 14 − 32	− 15 − 35	− 17 − 40	− 18 − 43	− 20 − 47
g 6	− 2 − 8	− 4 − 12	− 5 − 14	− 6 − 17	− 7 − 20	− 9 − 25	− 10 − 29	− 12 − 34	− 14 − 39	− 15 − 44	− 17 − 49	− 18 − 54	− 20 − 60
h 5	0 − 4	0 − 5	0 − 6	0 − 8	0 − 9	0 − 11	0 − 13	0 − 15	0 − 18	0 − 20	0 − 23	0 − 25	0 − 27
h 6	0 − 6	0 − 8	0 − 9	0 − 11	0 − 13	0 − 16	0 − 19	0 − 22	0 − 25	0 − 29	0 − 32	0 − 36	0 − 40
h 7	0 − 10	0 − 12	0 − 15	0 − 18	0 − 21	0 − 25	0 − 30	0 − 35	0 − 40	0 − 46	0 − 52	0 − 57	0 − 63
h 8	0 − 14	0 − 18	0 − 22	0 − 27	0 − 33	0 − 39	0 − 46	0 − 54	0 − 63	0 − 72	0 − 81	0 − 89	0 − 97
h 9	0 − 25	0 − 30	0 − 36	0 − 43	0 − 52	0 − 62	0 − 74	0 − 87	0 − 100	0 − 115	0 − 130	0 − 140	0 − 155
h 10	0 − 40	0 − 48	0 − 58	0 − 70	0 − 84	0 − 100	0 − 120	0 − 140	0 − 160	0 − 185	0 − 210	0 − 230	0 − 250
h 11	0 − 60	0 − 75	0 − 90	0 − 110	0 − 130	0 − 160	0 − 190	0 − 220	0 − 250	0 − 290	0 − 320	0 − 360	0 − 400
h 13	0 − 140	0 − 180	0 − 220	0 − 270	0 − 330	0 − 390	0 − 460	0 − 540	0 − 630	0 − 720	0 − 810	0 − 890	0 − 970
j 6	+ 4 − 2	+ 6 − 2	+ 7 − 2	+ 8 − 3	+ 9 − 4	+ 11 − 5	+ 12 − 7	+ 13 − 9	+ 14 − 11	+ 16 − 13	+ 16 − 16	+ 18 − 18	+ 20 − 20
js 5	± 2	± 2,5	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 7,5	± 9	± 10	± 11,5	± 12,5	± 13,5
js 6	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 8	± 9,5	± 11	± 12,5	± 14,5	± 16	± 18	± 20
js 9	± 12	± 15	± 18	± 21	± 26	± 31	± 37	± 43	± 50	± 57	± 65	± 70	± 77
js 11	± 30	± 37	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180	± 200
k 5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4	+ 32 + 5
k 6	+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4	+ 40 + 4	+ 45 + 5
m 5	+ 6 + 2	+ 9 + 4	+ 12 + 6	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20	+ 46 + 21	+ 50 + 23
m 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 57 + 21	+ 63 + 23
n 6	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34	+ 73 + 37	+ 80 + 40
p 6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62	+ 108 + 68

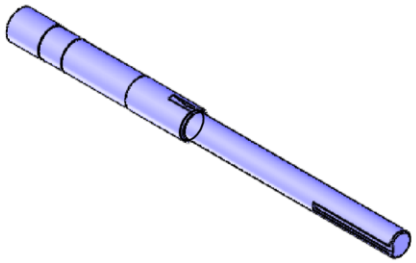
Dessin définition d'un réducteur et système de freinage :



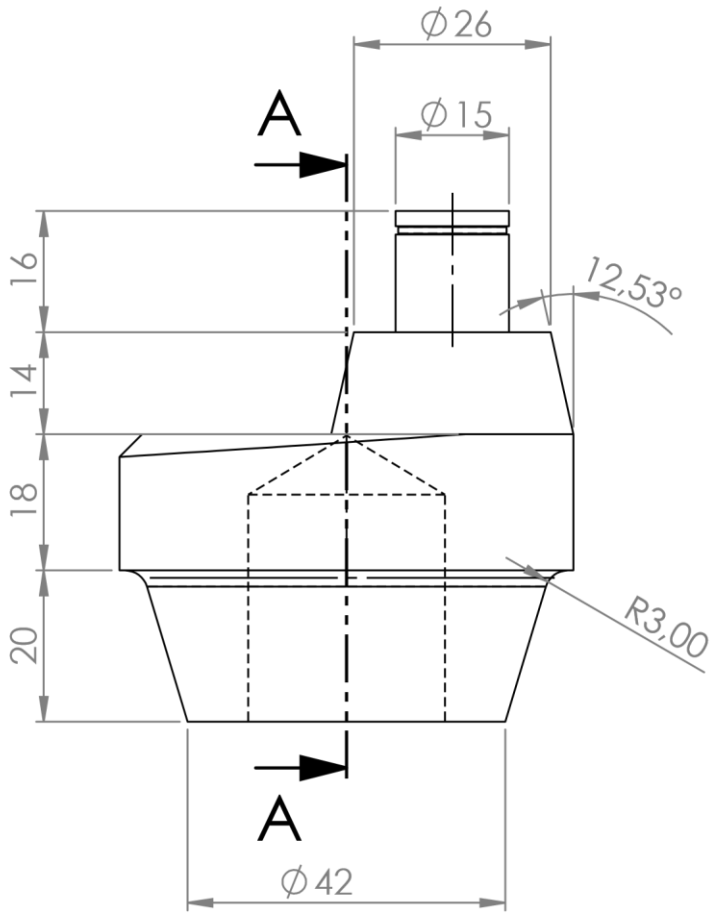
ECHELLE : 1:3.5	Matiére : Fonte Grise	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	Corps réducteur		Tolérance Général Iso 2768-mk
02/07/2024			A4



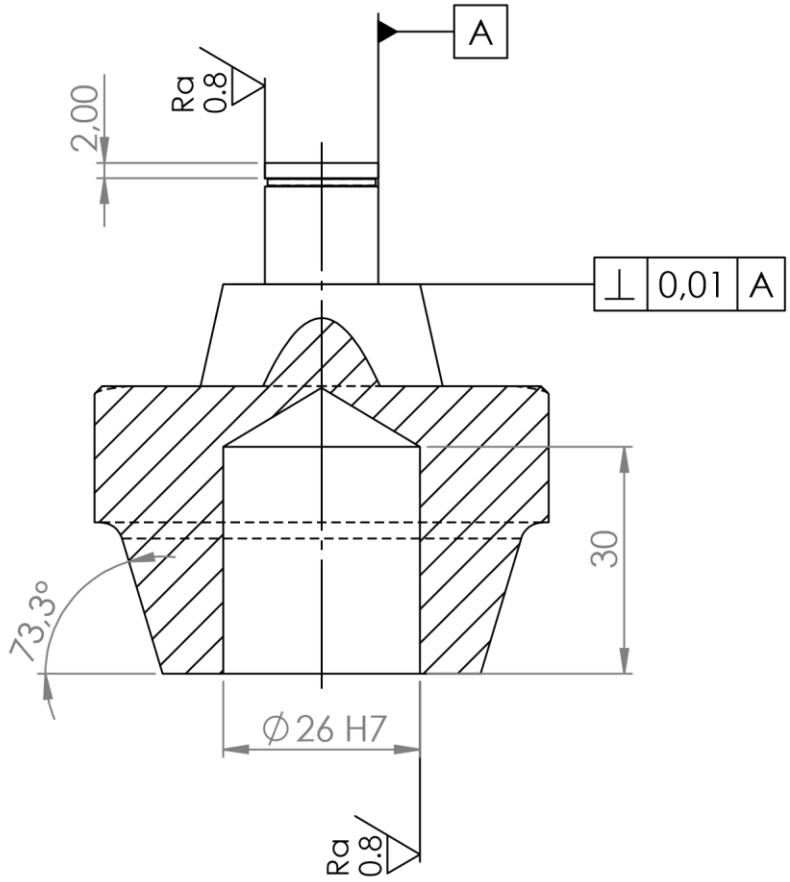
tous les chanfrin sont 1x45°

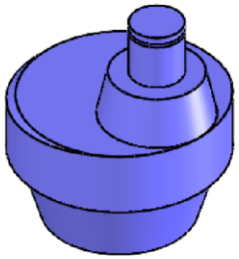


ECHELLE : 1:1.5	matiérie : acier	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	Arbre de roue		Tolérance Général Iso 2768-mk
02/07/2024			A4

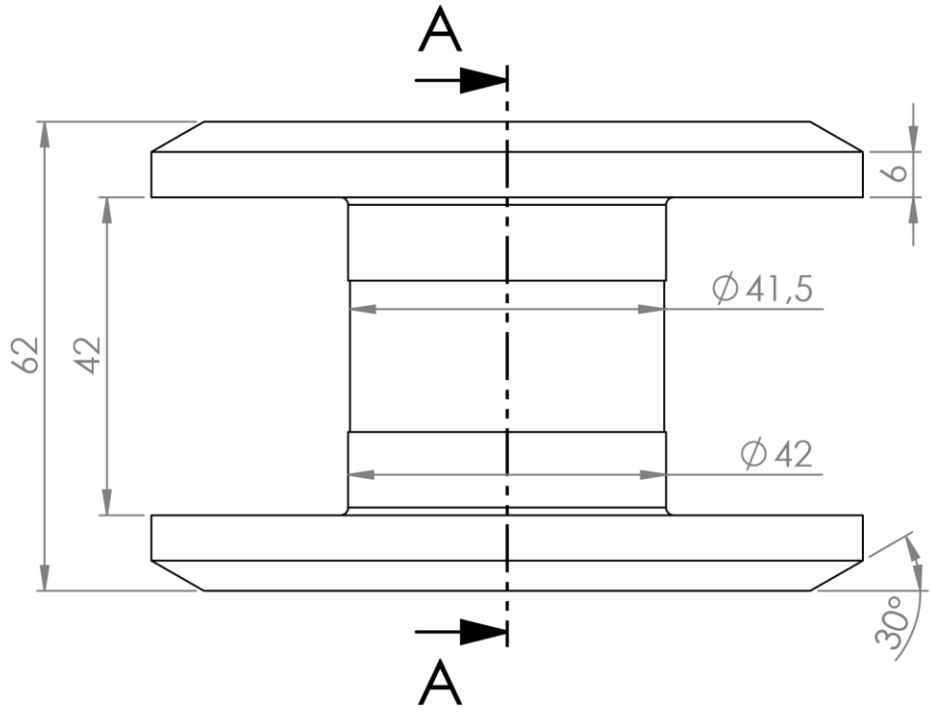


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

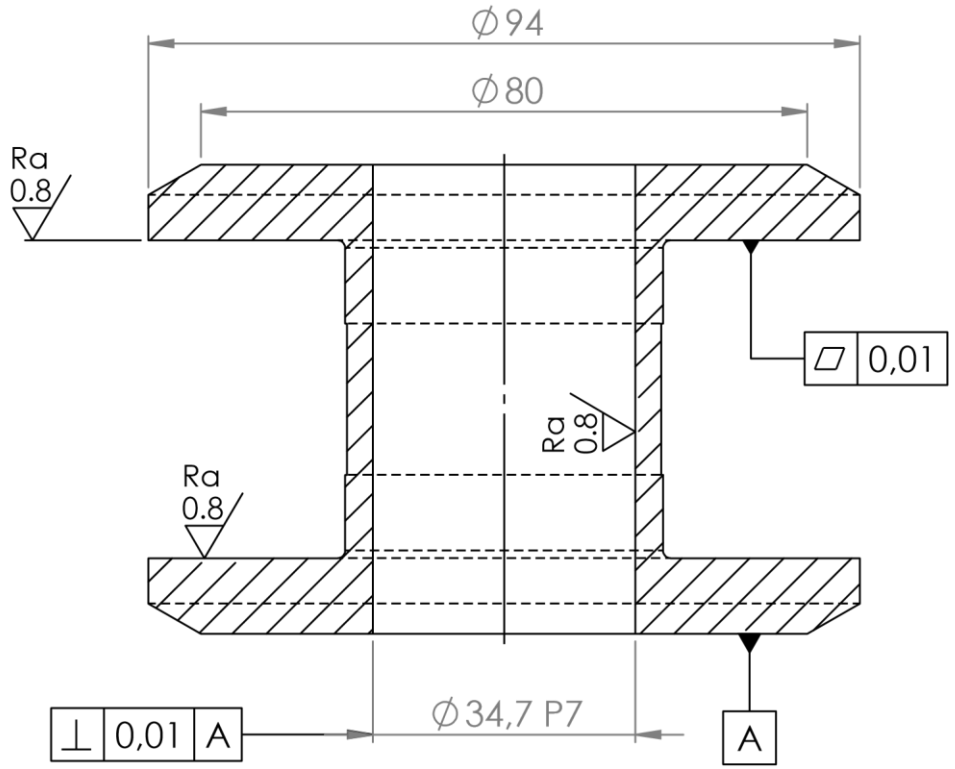


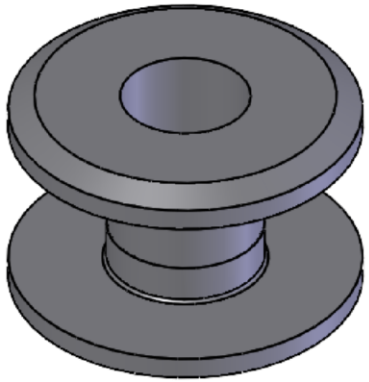


ECHELLE: 1:1	matiérie : acier	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	Excentrique		Tolérance Général Iso 2768-mk
11/06/2024			A4

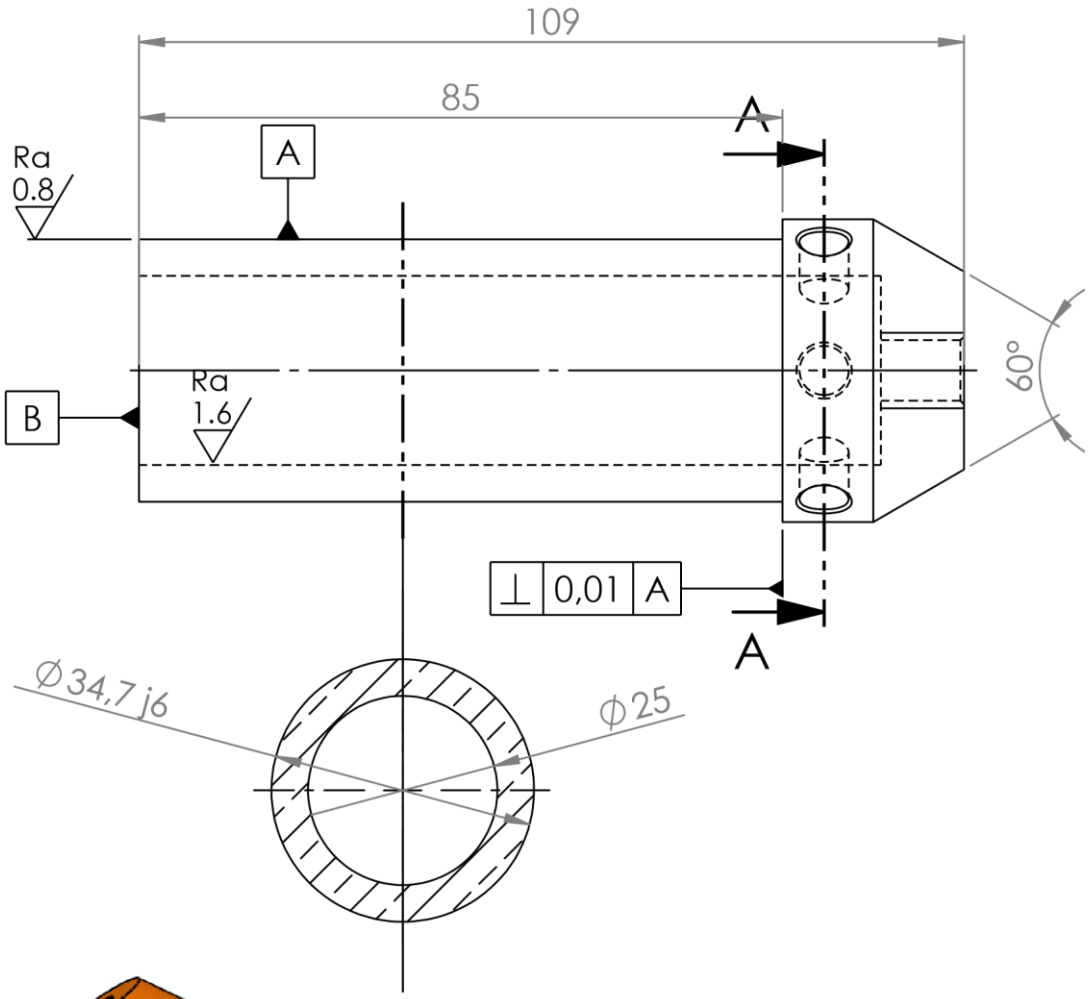


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

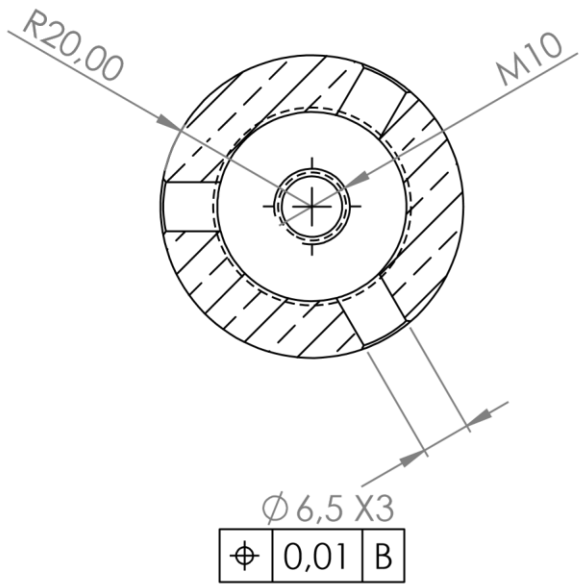




ECHELLE : 1:1	matiérie : acier	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	Bobine		Tolérance Général Iso 2768-mk
12/06/2024			A4

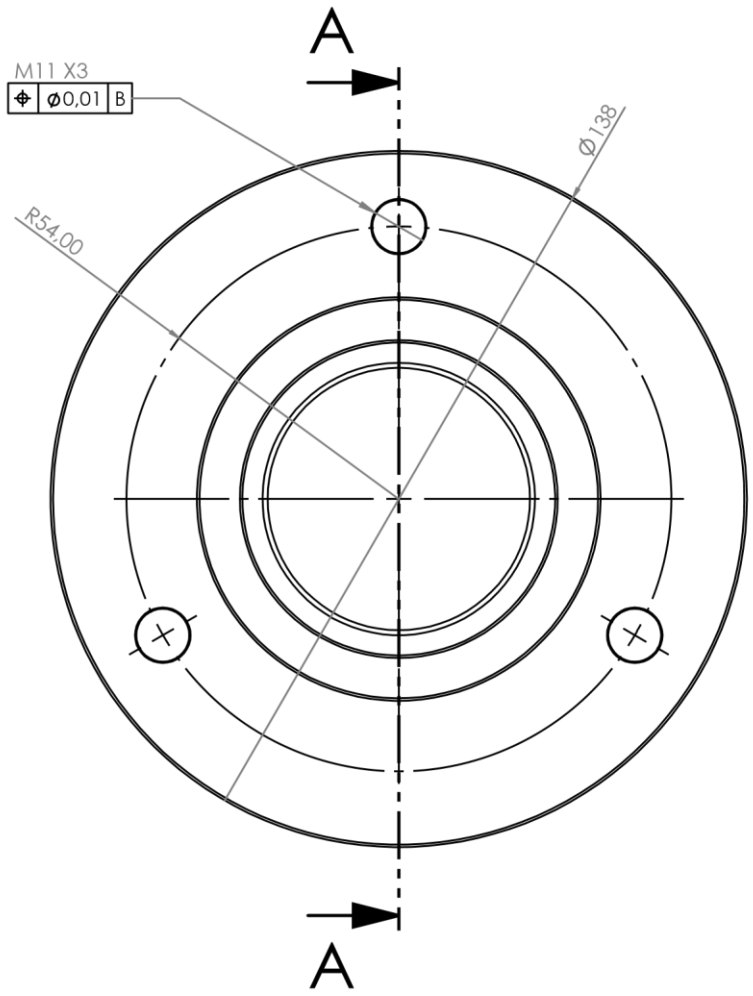


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1

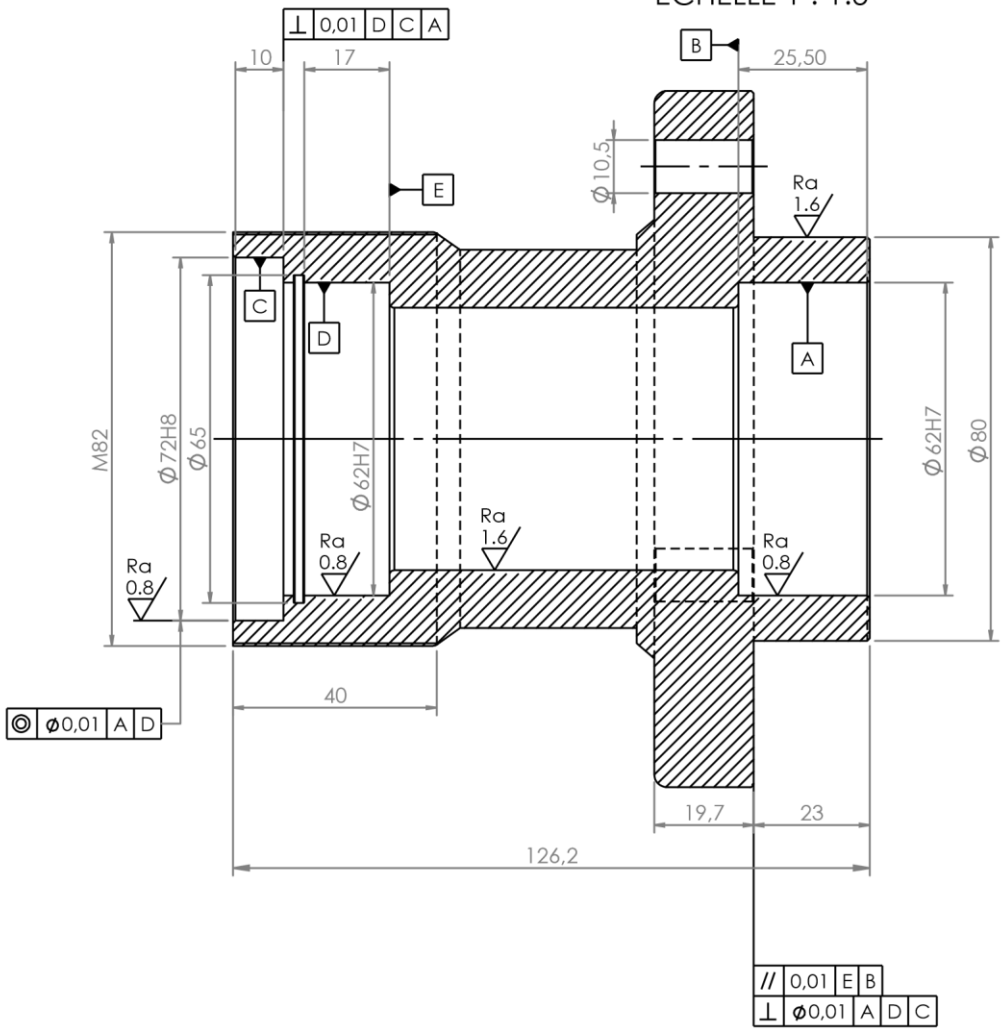


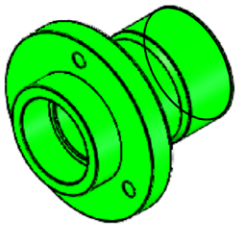


ECHELLE : 1:1	matiérie : Bronze	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	coulisseau bronze		Tolérance Général Iso 2768-mk
12/06/2024			A4

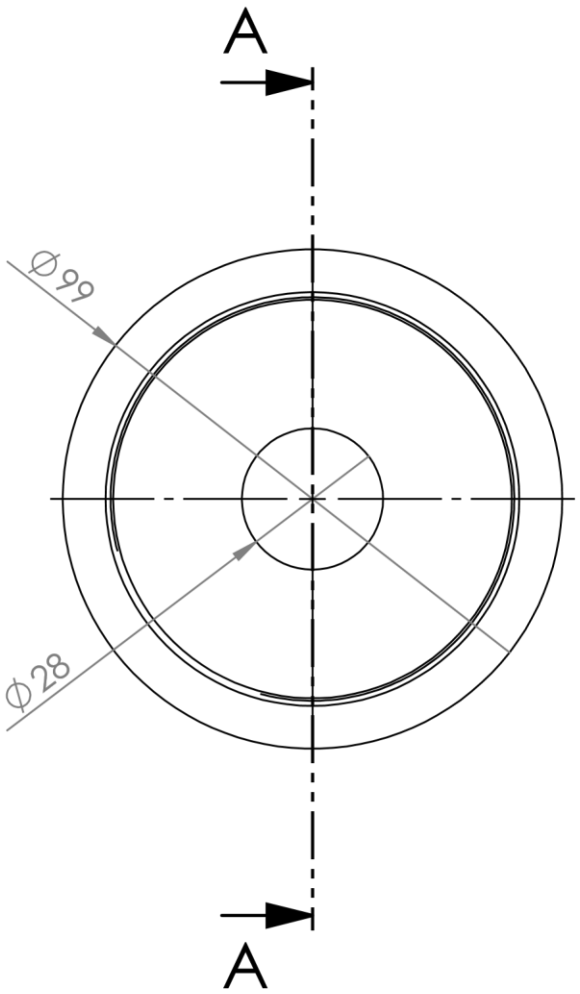


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1.5

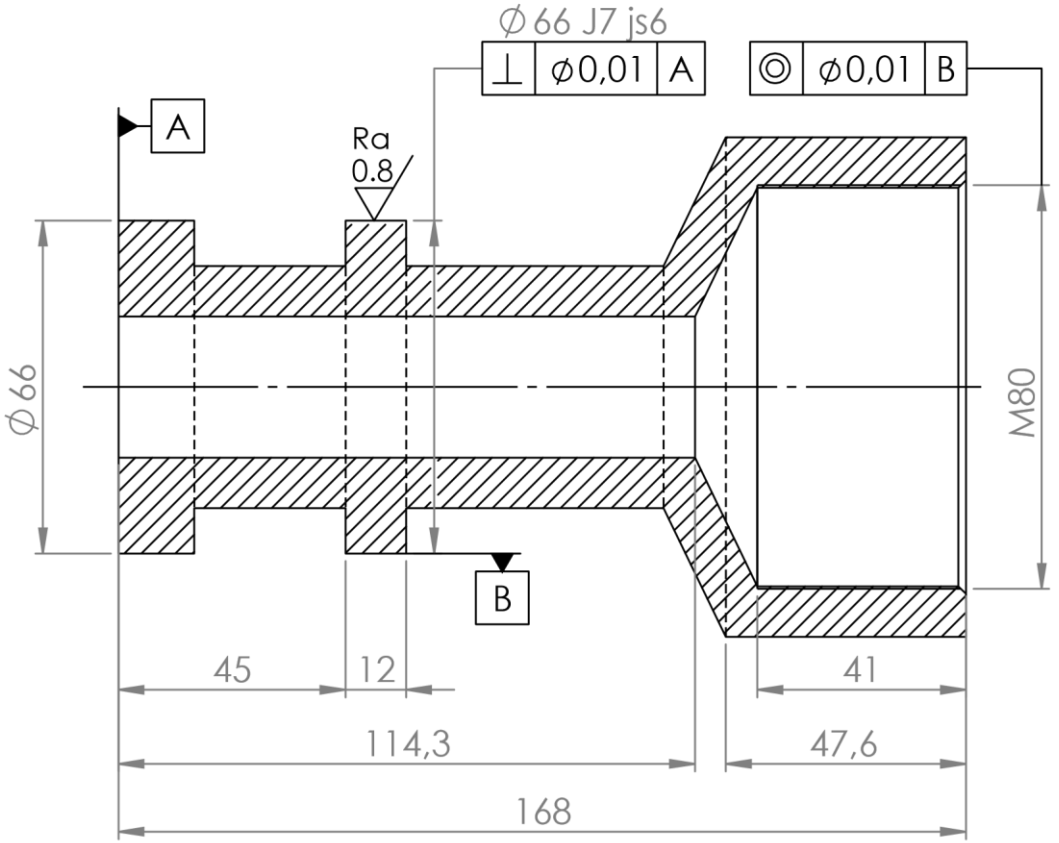




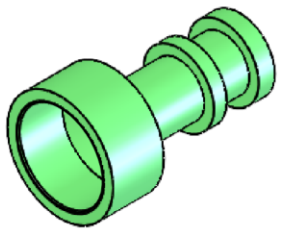
ECHELLE : 1:1.5	matiérie : Fonte Grise	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	nez de roue		Tolérance Général Iso 2768-mk
02/07/2024			A4



COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1.5



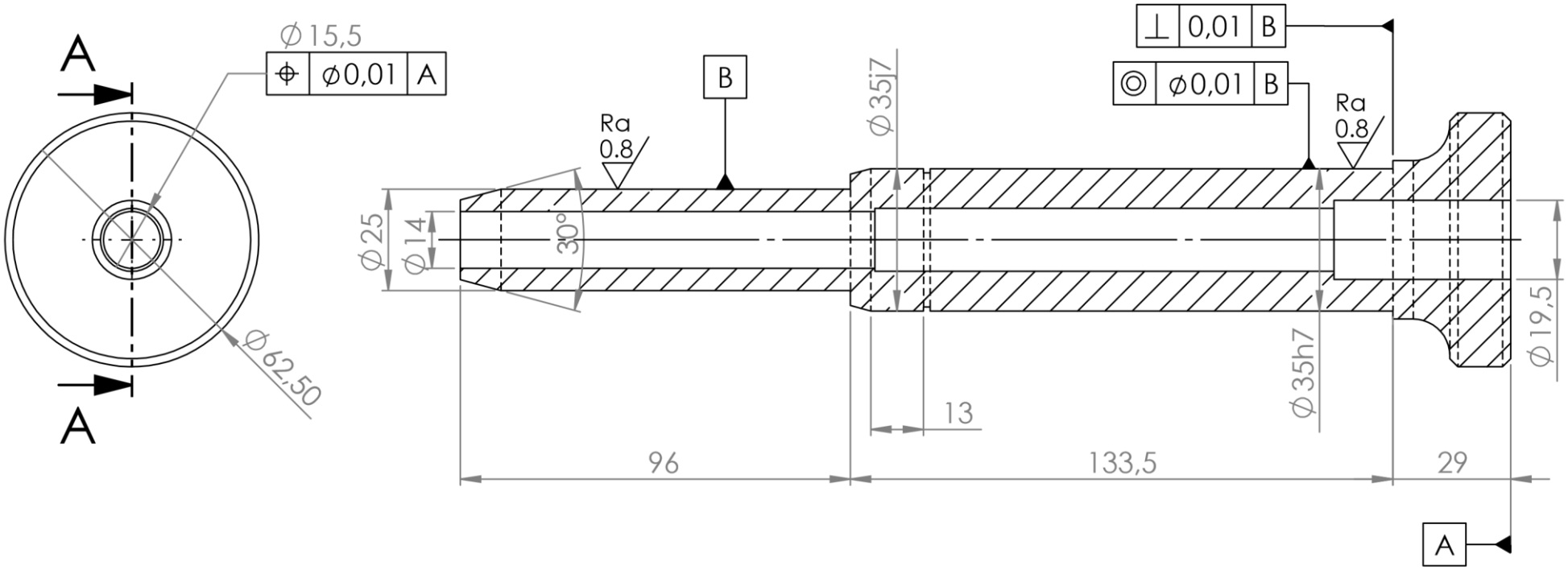
Rugosité générale Ra=3.2

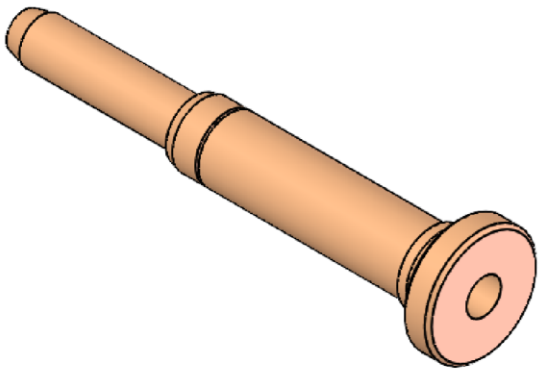


ECHELLE : 1:1.5	matiérie : Fonte Grise	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	support d'moyeu		Tolérance Général Iso 2768-mk
12/06/2024			A4

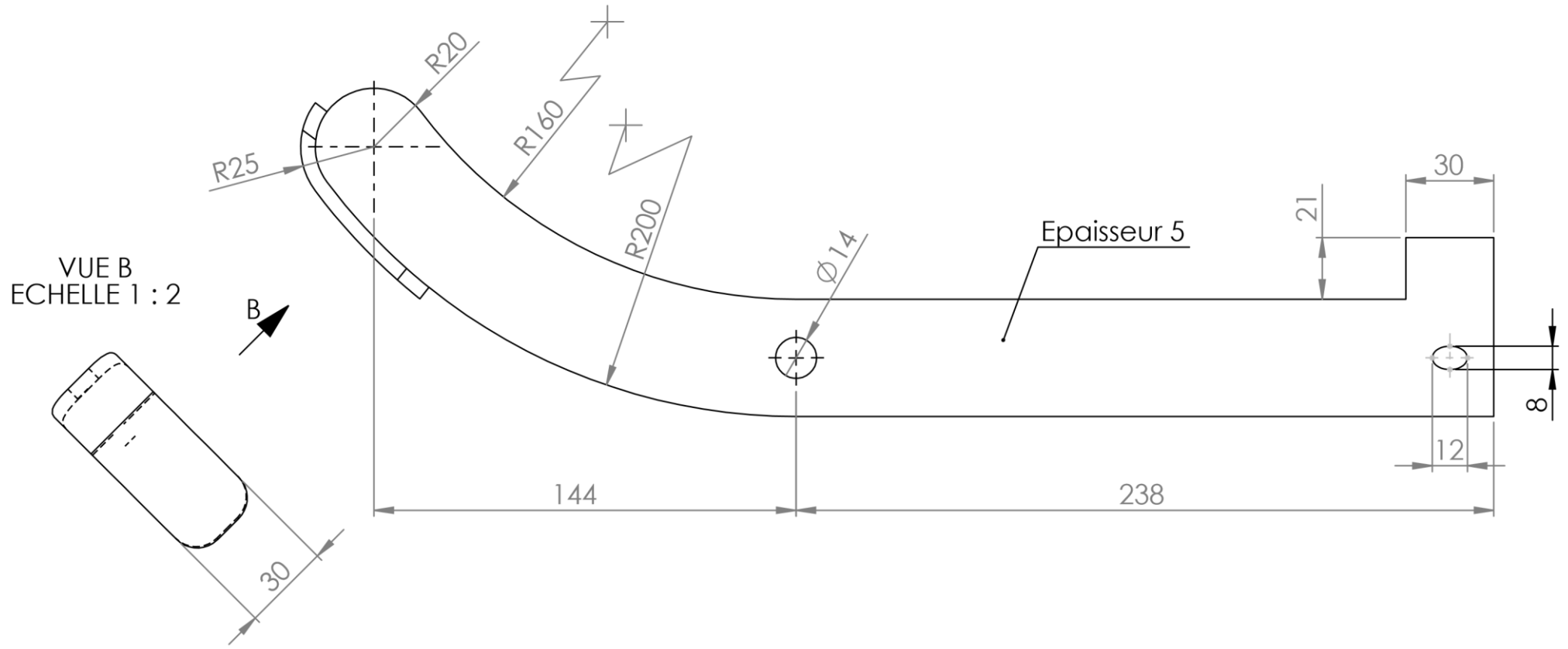
COUPE A-A

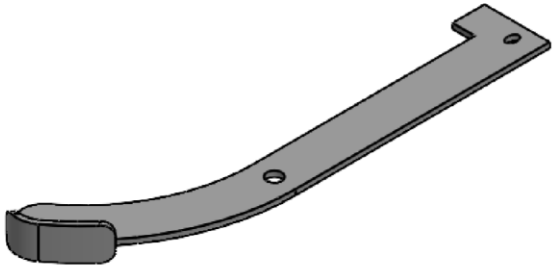
ECHELLE 1 : 1.5





ECHELLE : 1:1.5	matiérie : Fonte Grise	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	tube de pivot		Tolérance Général Iso 2768-mk
12/06/2024			A4





ECHELLE : 1:2	matiérie : Fonte Grise	**DEBIEB** .W - **BENTOUATI** .A	**Université de Médéa**
	pédale		Tolérance Général Iso 2768-mk
12/06/2024			A4