REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ YAHIA FARÈS DE MÉDÉA



Faculte de Technologie

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

Mémoire de Fin d'Etude de Master

Filière : Génie mécanique

Spécialité :construction mécanique

THÈME

Conception d'une éolienne pour pompage d'eau

PRÉPARÉ ET PRÉSENTÉ PAR:

BAYAH AHMED CHRIF
SOUALHI ASMAA

DIRIGÉ PAR :

Pr. ABDELLAH ELHADJ A.

Pr. BACHENE M.

PROMO:2022/2023

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH tout puissant pour nous avoir guidés et aidés durant toute notre vie et durant ce travail

Nous tenons aussi à remercier vivement nous promoteurs Pr. ABDELLAH ELHADJ A. et Pr. BACHENE MOURAD pour leur encadrements et leurs conseils.

Nous remercions Mr :AISSA DJALWAHI Directeur central de développement et Les ingénieurs IRES ABDELKADER *Ben Aicha MOHAMED *BOURGHAYA RACHID *MESSOUDI RABEH * et MEZAAD HAKIM * KHORCHEF AYOUB de la société POVAL de Berouaghia pour tous ses efforts considérables ainsi que l'ensemble du personnel de POVAL

Nous Remercions tous les enseignants du département de génie mécanique faculté de technologie de l'université de YAHIA FARES qui ont contribué a notre formation

Nous remercions aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Enfin nous remercions tous nos amis

BAYAH AHMED CHERIF & SOUALHI ASMAA

DEDICACES

Je dédie ce mémoire
A mes très chers parents de ses précieux conseils, de tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour me Permettre de suivre mes études dans les meilleures conditions possibles et de m'avoir toujours Entourés et motivés à sans cesse devenir meilleur
a mes très chers quatre frères, et tous la famille* bayah *
A mes Oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines sans exception.
A mes chers amies
A toutes les personnes qui m'ont aidé de près et de loin par le fruit de leurs connaissances
A mes collègues d'étude

à mes grands père et mère qui sont actuellement à MECA.

AHMED CHERIF BAYAH

Résumé :

Le présent mémoire se concentre sur l'application de l'ingénierie inverse pour la re-conception d'une éolienne existante importée par l'unité maintenance (Poval), en utilisant le logiciel Solidworks comme principal outil de support. L'objectif est de comprendre en détail la conception de l'éolienne existante en décomposant et en analysant ses différentes composantes.

Nous avons fait des calculs de base pour vérifier les éléments de l'éolienne. Ensuite, nous avons dessiné tous les éléments de l'éolienne. Finalement, afin de vérifier la fonctionnalité de l'éolienne, nous assemblé tous composants de l'éolienne, en l'occurrence, gouvernail, pompe, réducteur, ….

Most clés

Pompe éolienne ; conception; SolidWorks ; Assemblage

ملخص:
تركز هذه الرسالة على تطبيق الهندسة العكسية لإعادة تصميم توربينات الرياح الحالية المستوردة بواسطة وحدة الصيانة (Poval) ، باستخدام برنامج Solidworks كأداة الدعم الرئيسية. الهدف هو أن نفهم بالتفصيل تصميم توربينات الرياح الحالية من خلال تفكيك وتحليل مكوناتها المختلفة.
أجرينا حسابات أساسية لفحص عناصر توربينات الرياح. بعد ذلك ، قمنا برسم جميع عناصر توربينات الرياح. أخيرًا ، من أجل التحقق من وظائف توربينات الرياح ، قمنا بتجميع جميع مكونات توربينات الرياح ، في هذه الحالة ، الدفة ، المضخة ، المخفض ،....

كلمات مفتاحية
مضخة الرياح، تصميم،SolidWorks ،التجميع

Abstract :
This thesis focuses on the application of reverse engineering for the re-design of an existing wind turbine imported by the maintenance unit (Poval), using Solidworks software as the main support tool. The objective is to understand in detail the design of the existing wind turbine by breaking down and analyzing its various components.
We did basic calculations to check the elements of the wind turbine. Next, we drew all the elements of the wind turbine. Finally, in order to check the functionality of the wind turbine, we assembled all the components of the wind turbine, in this case, rudder, pump, reducer, ….

Key words:
Wind pump; design; SolidWorks; Assembly

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicaces

Resumé

Introduction générale

Chapitre 1: generalité sur l'eolienne

1.1.Introduction 2
1.2.Historique des Énergie éoliennes 2
1.3. Définition et formation de l'énergie éolienne 5
1.4. L'éolien dans le monde 7
1.5. Principaux producteurs 8
1.6. Promouvoir l'energie eolienne en algerie 9
1.6.1. Les dispositifs mis en place 9
1.6.2. Les contraintes à la réalisation du programme des énergies renouvelables et au développement de l'énergie éolienne 11
1.7. Classification des éoliennes 13
1.7.1 Eolienne à axe horizontal 13
1.7.2 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne à axe horizontal 14
1.7.3 Eolienne à axe vertical 14
1.7.4 Les avantagés et inconvénient de l'énergie éolienne à axe vertical 16

Chapitre 2 : Eolienne pour pompage d'eau

2.1. Introduction 17
2.2. Système de pompage éolien 18
2.3. Historiquement 18
2.4. Évaluation du site 19
2.4.1. Vent 19
2.4.2. Ressources éoliennes 19
2.4.3. Obstacles et turbulence 19
2.4.4. Source d'eau 19
2.4.5. Terrain 19
2.4.6.Contraintes réglementaires 20
2.5. Dimensionnement 20
2.5.1. Besoins en eau 20
2.5.2. Vitesse du vent 20
2.5.3. Courbe de performance de l'éolienne 20
2.5.4. Profondeur de l'eau 20
2.5.5. Système de stockage 20
2.5.6. Conception mécanique 20

2.5.7. Maintenance et coûts 20
2.6. Choix de l'éolienne 21
2.6.1. Besoins en énergie 21
2.6.2. Vitesse du vent 21
2.6.3. Hauteur de l'éolienne 22
2.6.4. Contraintes du site 22
2.6.5. Fiabilité et durabilité 22
2.6.6. Coûts 22
2.6.7. Support technique 23
2.7. Préparation de la fondation 23
2.7.1. Étude du sol 23
2.7.2. Conception de la fondation 23
2.7.3. Préparation du site 23
2.7.4. Excavation 23
2.7.5. Coffrage et armature 23
2.7.6. Coulage du béton 23
2.7.7. Durcissement et séchage 23
2.7.8. Inspection et vérification 23
2.8. Installation de l'éolienne 24
2.8.1. Préparation du site 24
2.8.2. Transport de l'éolienne 24
2.8.3. Levage de la tour 24
2.8.4. Assemblage des composants 24
2.8.5. Mise en service 24
2.8.6. Formation et maintenance 24
2.9. Installation du système de pompage 25
2.9.1. Préparation du site 25
2.9.2. Identification de la source d'eau 25
2.9.3. Sélection de la pompe 25
2.9.4. Installation de la pompe 25
2.9.5. Raccordement électrique 25
2.9.6. Réglage et calibration 25
2.9.7. Essais et vérifications 25
2.9.8. Formation et maintenance 25
2.10. Installation du système de contrôle 26
2.10.1. Sélection du système de contrôle 26
2.10.2. Montage des composants 26
2.10.3. Connexions électriques 26
2.10.4. Configuration du système 26
2.10.5. Test du système 26
2.10.6. Intégration avec le système de pompage 26
2.10.7. Formation et maintenance 26
2.11. Test et mise en service 27
2.11.1. Vérification des connexions 27
2.11.2. Test des composants : 27
2.11.3. Test du démarrage 27
2.11.4. Test de performance 27

2.11.5. Test de contrôle 27
2.11.6. Test de sécurité 27
2.11.7. Réglages et ajustements 27
2.11.8. Formation des opérateurs 27
2.12. Entretien d'une éolienne de pompage d'eau 28
2.12.1. Inspection visuelle 28
2.12.2. Lubrification 28
2.12.3. Nettoyage des pales 28
2.12.4. Surveillance des performances 28
2.12.5. Vérification des connexions électriques 28
2.12.6. Maintenance du système de pompage 28
2.12.7. Maintenance du système de contrôle 28
2.12.8. Maintenance de la fondation 28
2.12.9. Suivi des conditions environnementales 29
2.12.10. Tenue de registres 29
2.13. Les avantages de l'utilisation d'éoliennes pour le pompage d'eau 29
2.14. Les inconvénients de l'utilisation d'éoliennes pour le pompage d'eau 30

Chapitre 3 : conception d'une eolienne

3.1. Introduction 31
3.2. Calcul de Puissances théoriques de l'éolienne 31
3.3. Etude de l'orientation 32
3.3.1. Système d'orientation 32
3.3.2.Pourquoi orienté l'éolienne 33
3.3.3. Dimensionnement du gouvernail 34
3.4. Etude des pales 37
3.5. Conception par Solidworks 37
3.6. Modélisation géométrique des éléments de l'éolienne 38
3.6.1 Montage pales-moyeu 38
3.6.2 Montage du cerceau 41
3.6.3. Montage de tige de pale 42
3.6.4. Conception de moyeu 44
3.9.5. Modélisation de gouvernail 45
3.9.6. Modélisation de mât complet 45
3.9.7. Modélisation de anneaux d'enroulement supérieurs avec bras 46
3.9.8. Modélisation d'anneau d'enroulement inférieur 46
3.9.9. Modélisation de manchon 47
3.9.10. Modélisation de Ressort 47
3.9.11. Modélisation articulation 48
3.9.12. Modélisation de manchon de frein 48
3.9.13. Modélisation d'un pilon 49
3.9.14. Modélisation d'une table du pilon 49
3.9.15. Modélisation de la tige de la pompe 50
3.9.16. Modélisation du nervure de la pale 51
3.9.17. Modélisation d'assemblage de frein 52
3.10. Conclusion 56

Conclusion générale
Reference
Annexe 1 : dessin technique des eolienne multipes
Annexe2 : dessin technique de Gouvernail
Annexe3: dessin technique de pièces des frein
Annexe4 : dessin technique des pilons

Liste des Figures

Chapitre 1

Figure(1.1). Ancinen…….…….3

Figure(1.2). Moulins à vent ……..……..4

Figure.(1.3). Image d'un moulin avent à voile……5

Figure.(1.4.les composant d'une éolienne…….7

Figure(1.5). part des renouveles dans la prodeuction mondialeD'électricité en 2018……8

Figure(1.7).Répartition par zones géographiques de la production d'électricité D'origine éolienne en 2018.……9

Figure(1.8).Éolienneaaxe horizontal……..13

Figure(1.9).Éolienneà axe vertical……..15

Chapitre 02

Figure(2.1).Moulinàvent(Allemagnedu Nord)……17

Figure(2.2).Installation de production d'énergie hydraulique partir d'un aérogénérateur et d'une éolienne de pompage. ……..21

Figure (2.3).corbe de puissansce d'une pompe ideal……..22

Chapitre 03

Figure(3.1)Le gouvernail…….34

Figure (3.2). schema d'un eolienne……34

Figure(3.3).Le gouvernail…….. ……36

Figure(3.4).Montage pales-moyeu……40

Figure(3.5). Modèle 3D de la pale……41

Figure(3.6). Modèle 3D de cerceau G.M et P.M……42

Figure(3.7). Modèle 3D de tige de pale……43

Figure(3.8). Modèle 3D de moyeu……44

Figure(3.9). Modèle 3D d'assemblage Gouvernail……45

Figure(3.10). Modèle 3D de mât complet……45

Figure(3.11). 3D anneaux d'enroulement supérieursavec /bras……46

Figure(3.12). Modèle 3D d'anneau d'enroulement inférieur;……46

Figure(3.13).Modèle 3D de manchon……47

Figure(3.14).Modèle 3D de ressort……47

Figure(3.15). Modéle 3D artucilation ……48

.Figure(3.16).Modéle 3D paice de frein……48

Figure(3.17).Modéle 3D pilon eolienne……49

Figure(3.18).Modéle 3D la table du pilon…… ……50

Figure(3.19).Modele 3D la tige de la pompe ……50

Figure(3.20). modele 3D nerveur de pale ……51

Figure(3.21). modele 3D asssemblage de frien……52

Figure (3.22).L'hélice……53

Figure (3.23). Les pièces du gouvernail……54

Figure (3.24). Les pièces de mât……55

Nomenclature

symbol	Nomeneclature	Unité
E	Energie cinétique	joul
L	longueur	m
Vv	Vitesse du vent	M /s
P	Puissance incident sur la rotor	Watt
ρ	Masse de volumique del'aire	Kg $.m^{-3}$
S	Surface balayée par la turbine éolienne	m^2
R_V	Rayon de la pale	m
λ	Vitesse spécifique	-
$P_{éol}$	Puissance captée par la turbine éolienne	W
$P_{éol}$	Puissance captée	W
C_p	Coefficient DE puissance	-

Principales constant

- **Gravité** g= 9.81m/s^2
- **Masse volimique d'aire** ρ= 1.225klg /m^2
- **Abreiations**
- **HAWT : éolienne a axe horizontal**
- **HAVT:éolienne a axe vertical**

Introduction générale

L'énergie éolienne est une source d'énergie renouvelable prometteuse qui peut être utilisée de différentes manières pour répondre aux besoins énergétiques, notamment pour le pompage d'eau. La conception d'une éolienne pour le pompage d'eau vise à exploiter l'énergie cinétique du vent pour faire fonctionner une pompe et extraire de l'eau d'une source, telle qu'un puits ou une rivière.

L'éolienne de pompage d'eau se compose généralement de trois éléments clés : le rotor, le réducteur et la pompe. Les pales du rotor captent l'énergie cinétique du vent et la convertissent en mouvement rotatif. Ce mouvement est ensuite transmis au mécanisme de transmission, qui le convertit en un mouvement adapté à la pompe. Le mécanisme de transmission utilise des engrenages, des bielles ou d'autres dispositifs mécaniques pour transférer l'énergie du rotor à la pompe, sans passer par une conversion électrique. La pompe, telle qu'une pompe à piston ou à diaphragme, utilise cette énergie mécanique pour extraire l'eau du puits ou de la source et la transporter vers un réservoir de stockage ou directement vers le système d'irrigation, répondant ainsi aux besoins en eau.

La conception d'une éolienne par ingénierie inverse pour le pompage d'eau implique l'analyse et la décomposition d'une éolienne existante afin de comprendre son fonctionnement interne, ses composants et ses mécanismes clés. SolidWorks offre un ensemble d'outils puissants pour créer des modèles 3D détaillés et précis de chaque composant de l'éolienne, ainsi que de l'ensemble de l'appareil. En utilisant SolidWorks, les ingénieurs peuvent prendre des mesures précises des composants de l'éolienne existante et les utiliser pour créer des modèles numériques. Grâce aux modèles 3D, il est possible d'observer précisément la géométrie des pièces et les interactions entre elles, ce qui permet de détecter les éventuels défauts de cotation ou d'ajustement dans l'assemblage. Ils peuvent également servir de base pour la création de nouvelles itérations de la conception.

Le mémoire est structuré en trois chapitres :

1. Le premier chapitre aborde les généralités, les définitions et les principes de fonctionnement d'une éolienne pour le pompage d’eau.
2. Le deuxième chapitre traite de la conception et de l'assemblage de l'éolienne.
3. Enfin, le troisième chapitre se concentre sur l'étude de l'orientation du gouvernail et les calculs associés.

Ce mémoire de fin d'étude se clôt par une conclusion générale qui englobe également les perspectives pour de futures recherches et travaux.

Chapitre 1 : Généralités sur l’éolienne

Chapitre 1 : Généralités sur l'éolienne

1.1. **Introduction** :

La combustion de combustibles fossiles dans les centrales thermiques génère des impacts environnementaux significatifs en raison des émissions de CO2 et de gaz polluants, contrairement aux sources d'énergie renouvelable comme l'énergie éolienne. Au fil des décennies, l'énergie éolienne est devenue l'une des sources renouvelables les plus viables en raison de son caractère inépuisable et non polluant.[1]

Les progrès technologiques ont permis aux éoliennes de générer davantage d'énergie, donnant ainsi naissance aux premiers parcs éoliens. Avec l'augmentation de la demande en électricité dans les zones résidentielles et industrielles, les gouvernements du monde entier ont été contraints de rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement en énergie, d'où l'importance croissante des sources d'énergie renouvelable.

Bien que l'énergie éolienne puisse sembler nouvelle, elle est utilisée depuis plus de trois mille ans. Historiquement, les moulins à vent étaient utilisés pour des activités telles que le pompage d'eau, le broyage des grains et d'autres tâches nécessitant de la force mécanique. Au fil du temps, l'utilisation de l'énergie éolienne s'est également étendue à la production d'énergie électrique.[2]

Les éoliennes de petite taille, d'une puissance inférieure à 20 kW et d'un diamètre de rotor inférieur à 5 m, sont souvent utilisées pour la génération d'électricité dans les communautés isolées, les maisons éloignées, les télécommunications ou la production d'électricité pour les équipements marins. Cependant, les éoliennes classiques sont conçues pour fonctionner dans des conditions spécifiques, ce qui limite leur efficacité dans des environnements de vent naturel turbulent et entraîne souvent des pertes d'énergie et des coûts importants.

Malgré les différentes formes de pales utilisées dans les éoliennes, elles ont toutes pour objectif de capter l'énergie du vent. Les éoliennes à axe horizontal (HAWT) sont les plus courantes et deux exemples de ce type d'éoliennes sont présentés dans la section suivante.[3]

1.2. Historique des Énergie éoliennes :

L'ancêtre de l'éolienne est le moulin à vent, apparu en Perse dès l'an 620 et suivi de la pompe à vent, apparue au ixe siècle dans l'actuel Afghanistan [4].



Figure (1.1) : Ancien moulin (1979)

De nos jours, les éoliennes sont toujours utilisées en combinaison avec des pompes à eau, principalement pour le drainage et l'assèchement des zones humides, ainsi que l'irrigation des zones arides et l'abreuvage du bétail. En 1888, Charles Francis Brush a construit une grande éolienne pour alimenter sa maison en électricité, avec un stockage par batterie. La première éolienne "industrielle" capable de générer de l'électricité a été développée par le Danois Poul La Cour en 1890, dans le but de produire de l'hydrogène par électrolyse. Dans les années qui ont suivi, il a conçu l'éolienne "Lykkegard", dont il a vendu soixante-douze exemplaires en 1908. En 1923, le généticien britannique John Burdon Sanderson Haldane a écrit sur les possibilités de l'énergie éolienne, déclarant que si une éolienne pouvait produire l'équivalent de 50 kg de charbon par jour (en termes d'énergie), les mines de charbon pourraient fermer rapidement. Il a également envisagé un futur où le pays serait recouvert de rangées d'éoliennes métalliques, fournissant un courant électrique à un réseau électrique centralisé. En France, une éolienne expérimentale de 800 kW a fonctionné de 1955 à 1963 à Nogent-le-Roi, conçue par le Bureau d'études scientifiques et techniques de Lucien Romani pour le compte d'EDF [6-9].

Deux autres éoliennes Ney pic de 130 kW et 1 000 kW ont également été testées par EDF à Saint-Rémy-des-Landes (Manche) à la même époque [10].



Figure (1.2) : Moulin à vent

Il y eut également une éolienne raccordée au secteur sur les hauteurs d'Alger (Dély-Ibrahim) en 1957. Cette technologie ayant été quelque peu délaissée par la suite, il faudra attendre les années 1970 et le premier choc pétrolier pour que le Danemark reprenne les installations d'éoliennes [11].



Figure (1.3): Image d'un moulin à vent (Dely brahim 1957)

1.3. Définition et formation de l'énergie éolienne [12-15] :

Les énergies renouvelables représentent une grande partie de notre avenir énergétique. Elles permettent le développement futur et présentent une solution de nos problèmes énergétiques et environnementaux. Il y a plusieurs énergies renouvelables qui existent mais sont peu utilisées par l'homme car elles ont un coût élevé. Leur création est dû aux changements climatiques et à la pollution et aux gaz échappés des industries. Elles ont des avantages propres à elles : elles sont inépuisables, respectueuses de l'environnement (aucun déchet rejeté dans la nature) comparées aux énergies fossiles comme le charbon ou le pétrole. Elles aident aussi à lutter contre l'effet de serre et la pollution atmosphérique. Elles sont aussi source d'emplois. Un argument permet de parler plus des énergies renouvelables, c'est l'épuisement des énergies fossiles (charbon, pétrole, ...)

Les influences négatives des combustibles fossiles ont attiré l'attention des scientifiques vers les sources d'énergie plus propres qui représentent à la fois l'environnement le plus approprié, convivial et renouvelable ; parmi ces sources, l'énergie éolienne a été sélectionnée. Aujourd'hui, l'énergie éolienne considérée comme un progrès technologique, efficace et économique de l'énergie en générale, qui peut concurrencer les technologies conventionnelles de production d'énergie. C'est une source d'énergie sans carburant, sans pollution et ayant un avantage qu'il peut produire à proximité des centres de charge en éliminant les pertes de transmission. L'énergie éolienne offre à la fois de grandes capacités de production d'énergie, tels que dans les parcs éoliens, ainsi que la possibilité de distribuer l'énergie dans des endroits éloignés avec l'utilisation de petites éoliennes.

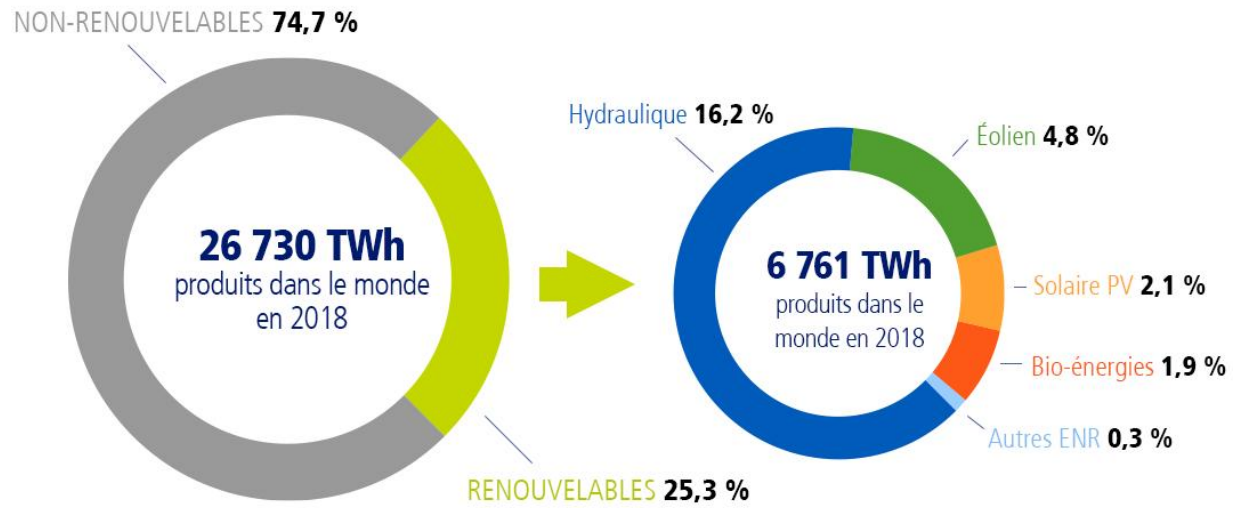
Mais l'un des principaux inconvénients des micro-turbines est leur faible efficacité. L'un des domaines où l'énergie éolienne nécessite encore un développement significatif est celui des éoliennes domestiques.



Figure (1.4): Les composants d'une éolienne.

1.4. L'ÉOLIEN DANS LE MONDE :

L'Europe a été pionnière dans le développement de l'éolien puis l'Asie et l'Amérique du Nord ont largement pris la tête, installant durablement l'éolien comme source de production d'électricité, soutenue par des politiques de baisse d'émissions de CO2.**[16]**



Part des renouvelables dans la production mondiale d'électricité en 2018
Source : International Energy Agency © EDF

Figure(1.5): Part des renouvelables dans la production mondiale d'électricité en 2018.**[50]**

1.5. Principaux producteurs :

En 2018, La Chine est le premier producteur d'électricité à partir de l'éolien avec 365,8 TWh (plus de 28 % de la production mondiale), les Etats-Unis occupent la deuxième place (303,4 TWh soit 24 %) et l'Allemagne, la troisième place (126 TWh soit 9 %). La France est dans le Top 10 avec une production de 34.6 TWh soit 2,7 % de la production mondiale**[17]**.

Zones	Production	% mondial
Asie	439,2 TWh	34%
Europe	403,39 TWh	32%
Amérique du Nord	321,9 TWh	25%
Amérique Centrale & Sud	65,4 TWh	5%
Océanie	20 TWh	2%
Afrique	14,2 TWh	1%
Moyen Orient	1,1 TWh	-
Eurasie*	0 TWh	-

Répartition par zones géographiques de la production d'électricité d'origine éolienne en 2018

** Arménie, Azerbaïjan, Bielorussie, Géorgie, Kazakhstan, Kirghizstan, Moldavie, Ouzbékistan, Russie, Tadjikistan, Turkménistan et Ukraine*

Source : International Energy Agency (IEA)

© EDF

Figure(1.7) : Répartition par zones géographiques de la production d'électricité D'origine éolienne en 2018 [17].

1.6. PROMOUVOIR L'ENERGIE EOLIENNE EN ALGERIE :

1.6.1 Les dispositifs mis en place :

A. Le programme des énergies renouvelables (EnR 2015-2030).

A travers le programme d'énergies renouvelables, l'Algérie compte de plus de plus sur ces énergies pour devenir un acteur majeur dans la production de l'électricité avec 37 % de la capacité installée d'ici 2030 et 27 % de la production d'électricité destinée à la consommation nationale, seront d'origine renouvelable2.

Les projets EnR de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes :

Première phase 2015 - 2020 : Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4010 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 515 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.

Deuxième phase 2021 - 2030 : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales

d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Bechar et leur intégration dans le système énergétique national. **[18]**

Il est à signaler que ce programme qui vise d'installer d'autres parcs éoliens d'une puissance totale de 1000 MW à moyen terme (2015-2020) pour atteindre 5010 MW à l'horizon 2030, vise aussi bien les installations connectées au réseau électrique que le petit éolien, à titre d'exemple les petites éoliennes destinées au pompage de l'eau ou à l'alimentation en électricité des localités isolées1.**[19]**

B. Le cadre juridique et facilitations :

Un certain nombre de textes ont été adoptés pour encadrer le domaine des énergies renouvelables ; Il s'agit essentiellement de :

- Loi n° 02-01 du 05 février 2002 modifiée et complétée, relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations; - Loi n° 04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable; - Loi n° 09-09 du 30 décembre 2009 portant loi de finances pour 2010, notamment son article 64 portant création du fond national pour les Energies renouvelables et la cogénération (FNER) ; - Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 portant loi de finances complémentaire pour 2011, notamment son article 40 modifiant l'article 63 de la loi n° 09-09; - Loi n° 14-10 du 30 décembre 2014 portant loi de finances pour 2015, notamment son article 108 qui prévoit la fusion des deux Fonds spéciaux « Le Fonds national pour la maîtrise de l'énergie (FNME) et le Fonds national pour les Energies renouvelables et la cogénération (FNER) »; - Décret exécutif n° 13-218 du 18 juin 2013 fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité; - Décret exécutif n° 15-69 du 11 février 2015 fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats ; - Décret exécutif n° 15-319 du 13 décembre 2015 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé « Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération » ;

- Arrêté du 2 février 2014 fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière éolienne ; - Arrêté du 21 février 2008 fixant les règles techniques de raccordement

au réseau de transport de l'électricité et les règles de conduite du système électrique.

Cet ensemble de textes vise à tracer le cadre général de la politique nationale dans le domaine de la maîtrise de l'énergie, l'élaboration d'un programme national de promotion des énergies renouvelables en corrélation avec les notions du développement durable et les moyens d'y parvenir et enfin, prévoit des incitations pour le développement des énergies renouvelables comme des avantages fiscaux et en terme de droits de douane peuvent être accordés aux projets œuvrant pour la promotion des énergies renouvelables.**[20]**

1.6.2. Les contraintes à la réalisation du programme des énergies renouvelables et au développement de l'énergie éolienne :

Le secteur des énergies renouvelable et l'énergie éolienne en particulier rencontre, malgré les efforts de l'état en ce sens, de nombreux obstacles et contraintes, dont beaucoup résultent d'une mauvaise planification dans le programme même élaboré à cet effet. Nous aborderons en premier lieux les difficultés que rencontre le programme des énergies renouvelable, puis nous citerons les contraintes de l'énergie éolienne en Algérie**[21]** :

A. Le financement du programme des énergies renouvelables :

Le montant total de l'investissement estimé initialement a 100 milliards de dollars en 2011, a en effet été révisé en 2015 pour atteindre 60 milliards de dollars, somme qui n'en est pas moins lourde compte tenu de la crise que rencontre le secteur des hydrocarbures depuis la chutes des prix du pétrole en 2014, source de financement initiale, pour ne pas dire exclusive, de l'Algérie, Ce qui laisse déduire que l'Algérie ne disposera probablement pas des recettes nécessaires pour financer ce projet. La réalisation du projet dépendra donc du partenariat, investisseurs locaux ou étrangers, qui ne s'engageraient que s'ils y trouvent un profit. **[22-23]**

B. Les délais de réalisation du programme :

La réalisation du programme marque un retard considérable car jusque-là seulement 0.5% du programme a été réalisé et le retard va s'accumuler davantage

car le rythme des réalisations est lent, et il est probable qu'il ne dépasse pas les 50% de l'objectif fixé qui était 22000MW en 2030, et donc sa contribution future dans le mix énergétique global ne dépassera pas les 2%. **[23-24]**

C. Le problème de la parité avec les énergies fossiles :

La comparaison du cout du KWh renouvelable avec le cout du KWh conventionnel reste la question principale dont dépendra la politique à suivre pour faire réussir le programme. Si la parité n'est pas atteinte, les subventions étatiques seront nécessaires, ce qui sera difficile à réaliser avec une rente pétrolière en chute.

Selon l'EIA en 2020 les seuils de rentabilités moyens en dollars, seront : - KWh conventionnel : 0.0726 dollars, - KWh éolien :0.0736, - KWh photovoltaïque :0.1253,

Le coût de l'énergie éolienne parait le plus proche du cout de l'énergie conventionnelle aux USA, ce qui est diffèrent dans le cas de l'Algérie qui n'est pas un pays de grands vents. Selon le ministère de l'énergie le KWh renouvelable reviendra quatre fois plus cher que le KWh conventionnel aussi à cause du savoir-faire algérien qui est loin d'égaler celui des Etats-Unis ce qui rend la parité à atteindre encore plus éloignée dans le temps d'où la nécessité d'éviter les investissements non rentables jusque-là.**[24-25]**

D. Les estimations ne tiennent pas compte de la vitesse du vent Algérie :

La quantité d'électricité générée par l'éolien a été estimée à 16.19 TW/an, et ceci par analogie avec les centrales éoliennes de Tarfaya au Maroc et d'El Ayoune au Sahara occidental. Mais la vitesse du vent dans ces deux régions dépasse les 8 m/s comparée à l'Algérie qui n'atteint généralement pas les 6 m/s. il est donc nécessaire de corriger cette surestimation dans la part de l'éolien dans le programme. Etant donné que le rendement électrique varie en fonction de la vitesse du vent, le passage de 8 m/s a 6 m/s réduit la quantité d'électricité générée de 42% de la valeur calculée ce qui fait un rendement de 6.83TWh/an au lieu de 16.19 TWh/an. Et ceci va se répercuter sur le rendement électrique total du programme qui diminuera de 46.84TWh/an à 34.47TWh/an. **[25-28]**

1.7. Classification des éoliennes [29-33] :

Généralement, on classifie les éoliennes suivant l'orientation de leur axe de rotation par rapport à la direction du vent. On distingue ainsi deux grandes familles:

- Les aérogénérateurs à axe horizontal

- Les aérogénérateurs à axe vertical

1.7.1 Eolienne à axe horizontal :

Actuellement, l'éolienne la plus utilisée est la HAWT ou Horizontal Axis Wind Turbine. Ces turbines utilisent des profils aérodynamiques, qui son très liés au rotor en se positionnant au vent ou sous le vent. Ils sont disponibles avec deux ou trois lames et peuvent fonctionner à des vitesses élevées.

Les éoliennes à axe horizontal actuelles utilisent la portance Ils fonctionnent une fois exposés au vent autour des parties supérieures et inférieure des pales.

Le différentiel de pression qui se développe entre les côtés supérieur et inférieur de la lame crée une force au-dessus de la lame. Un schéma d'une éolienne à axe horizontal est présenté ci-dessous.

Grâce au système d'enroulement, le HAWT peut être utilisé dans n'importe quelle direction du vent. Le système fait tourner la face du rotor pour qu'elle soit perpendiculaire à la direction du vent. Ainsi, la face du rotor peut se déplacer dans la direction dans laquelle elle peut faire face au vent à sa vitesse la plus élevée.

Aérodynamique pour faire tourner chaque pale de rotor, un peu comme un avion vole. En général, la portance aérodynamique.**[29]**



Figure(1.8) : éolienne à axe horizontal**[51]**

1.7.2 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne à axe horizontal :

Les avantages d'une éolienne à axe horizontal sont les suivants.

- Il comprend une puissance de sortie élevée par rapport à l'éolienne verticale.
- Une grande tour reçoit des vents plus forts une fois que le cisaillement du vent change.
- Haute efficacité.
- Ce n'est pas cher par rapport à une turbine de type vertical.
- Il a une grande fiabilité.
- Il a un taux de capacité élevé.
- Sa vitesse de rotation est élevée.
- C'est plus cohérent.
- Ces turbines sont à démarrage automatique.
- Dans cette turbine, les aubes sont situées sur une face du centre de gravité de la turbine, ce qui améliore la stabilité.
- Il peut plier les pales de sorte que les aubes de turbine ont le meilleur angle d'attaque.
- La pale peut également incliner le rotor pendant une tempête pour réduire les dommages
- Les inconvénients de l'éolienne à axe horizontal sont les suivants.
- Ceux-ci sont disponibles en grande taille.
- Le poids est élevé.
- Nous ne pouvons pas nous déplacer facilement.
- L'installation est difficile.
- Bruit élevé.
- Pour concevoir cette éolienne, de grandes machines sont nécessaires.
- Son entretien est difficile par rapport à d'autres éoliennes.**[30]**

1.7.3 Eolienne à axe vertical :

Une éolienne à axe vertical (VAWT) est une éolienne dans laquelle l'arbre du rotor principal est placé transversalement au vent et les composants principaux sont situés au bas de l'éolienne. Cette disposition maintient le générateur et la boîte de vitesses près du sol pour faciliter l'entretien et les réparations. Le VAWT

n'a pas besoin d'être dirigé vers le vent, ce qui élimine le besoin de mécanismes de détection et de direction du vent. Les principaux inconvénients des conceptions antérieures (Savonius, Darrieus et giromill) comprenaient de grandes fluctuations de couple par tour et de grands moments de flexion sur la lame.

Les conceptions ultérieures ont traité l'ondulation du couple en balayant les pales de manière hélicoïdale (de type Gorlov). Les éoliennes à axe vertical Savonius (VAWT) ne sont pas largement utilisées, mais leur simplicité et leurs meilleures performances dans les champs d'écoulement perturbés, Par rapport aux petites éoliennes à axe horizontal (HAWT), ce qui en fait une bonne alternative aux systèmes de production distribués dans les zones urbaines.

Une éolienne à axe vertical a son axe perpendiculaire à la ligne du vent et perpendiculaire au sol. Les termes plus généraux qui incluent cette option sont « éoliennes à axe transversal » ou « éoliennes à flux croisés ». Par exemple, le brevet original de Darrieus, le brevet américain 1835018, incluait les deux options.

Les VAWT de type traînée (tels que les rotors Savonius) fonctionnent généralement à des rapports de vitesse de pointe inférieurs à ceux des VAWT basés sur la portance (tels que les rotors Darrieus et les turbines à cycle).

La modélisation informatique montre que les parcs éoliens construits à l'aide d'éoliennes à axe vertical sont 15 % plus efficaces que les éoliennes traditionnelles à axe horizontal, car ils créent moins de turbulences.**[31]**



(a) : Éolienne Savonius b) : Eolienne de Darrieus

Figure (1.9): Éolienne à axe vertical.**[52]**

1.7.4 Les avantagés et inconvénient de l'énergie éolienne à axe vertical :

a- Inconvénients :

Lorsque la vitesse d'une éolienne VAWT augmente, la puissance augmente également, mais à un certain point de pointe, la puissance diminue progressivement jusqu'à zéro même lorsque la vitesse de l'éolienne est à son maximum. De sorte que les freins à disque sont utilisés pour ralentir la vitesse d'une éolienne dans des conditions de vent fort. Cependant, parfois en raison d'une surchauffe des freins à disque, la turbine peut prendre feu.

Les VAWT souffrent souvent d'un décrochage dynamique des pales car l'angle d'attaque varie rapidement.

Les pales d'un VAWT sont sujettes à la fatigue en raison de la grande variation des forces appliquées lors de chaque rotation. Les lames orientées verticalement peuvent se tordre et se plier à chaque tour, ce qui raccourcit leur durée de vie utile.

Outre les types de traînée, les VAWT se sont révélés moins fiables que les HAWT, bien que les conceptions modernes aient surmonté de nombreux problèmes initiaux.**[32-33]**

b- Avantages :

Les VAWT offrent un certain nombre d'avantages par rapport aux éoliennes traditionnelles à axe horizontal (HAWT) :

Les VAWT omnidirectionnels peuvent ne pas avoir besoin de suivre le vent. Cela signifie qu'ils n'ont pas besoin d'un mécanisme complexe et de moteurs pour faire pivoter le rotor et incliner les pales.

Le remplacement et l'entretien de la boîte de vitesses sont plus simples et plus efficaces, car la boîte de vitesses est accessible au niveau du sol au lieu d'exiger que l'opérateur travaille à des centaines de pieds dans les airs. Les pannes de moteur et de boîte de vitesses sont généralement des considérations d'exploitation et de maintenance importantes.

Certaines conceptions peuvent utiliser des fondations sur pieux vissés, ce qui réduit le transport routier du béton et l'impact environnemental de l'installation. Les pieux vissés peuvent être entièrement recyclés en fin de vie.

Les VAWT peuvent être installés sur les parcs éoliens HAWT sous les HAWT existants, complétant la puissance de sortie.

Les VAWT peuvent fonctionner dans des conditions inadaptées aux HAWT. Par exemple, le rotor Savonius, qui peut fonctionner dans des contextes au niveau du sol irrégulier et à vent lent, est souvent utilisé dans des endroits éloignés ou sans surveillance, bien qu'il s'agisse du VAWT de type traînée le plus « inefficace ».

Réduction du bruit par rapport aux HAWT

Danger réduit pour les oiseaux .**[32-33]**

Chapitre 2
L’éolienne pour pompage d’eau

Chapitre 2 : L’éolienne pour pompage d’eau

2.1. Introduction :

Une éolienne à pompage d'eau pompe l'eau des puits, des étangs et des puits de forage pour la consommation, l'irrigation mineure, la saliculture, la pisciculture, etc. Les éoliennes disponibles sont de deux types, à savoir à entraînement direct et à engrenages. L'éolienne la plus couramment utilisée a un rotor à axe horizontal de 3 à 5,5 m de diamètre, avec 12 à 24 pales montées au sommet d'une tour en acier doux de 10 à 20 m de haut. Le rotor est couplé à une pompe alternative de 50 à 150 mm de diamètre par une bielle.**[34]**

Ces éoliennes commencent à soulever de l'eau lorsque la vitesse du vent approche de 8 à 10 kilomètres (km) par heure. Normalement, une éolienne est capable de pomper de l'eau dans la plage de 1 000 à 8 000 litres par heure, selon la vitesse du vent, la profondeur de la nappe phréatique et le type d'éolienne. Les éoliennes sont capables de pomper de l'eau à des profondeurs de 60 m. Les éoliennes à pompage d'eau ont l'avantage de ne pas nécessiter de carburant pour leur fonctionnement et peuvent donc être installées dans des zones venteuses éloignées où d'autres moyens conventionnels de pompage d'eau ne sont pas réalisables.**[35]**

Cependant, les éoliennes à pompage d'eau ont également des limites. Ils ne peuvent fonctionner de manière satisfaisante que dans des régimes de vent moyens (18 km/h). En outre, une attention particulière est nécessaire au moment de la sélection des sites car les sites doivent être exempts d'obstacles tels que des bâtiments et des arbres dans les zones environnantes. Le coût du système étant élevé, de nombreux utilisateurs individuels ne les trouvent pas abordables.**[36]**



Figure (2.1) : Moulin à vent (Allemagne du Nord)

2.2. Système de pompage éolien:

L'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau remonte à plusieurs siècles. De nos jours, des millions de personnes dans le monde dépendent de puits et d'aquifères pour leur approvisionnement en eau, et l'énergie éolienne offre une solution durable pour extraire cette eau des profondeurs vers la surface.**[37]**

Les systèmes éoliens autonomes sont particulièrement attrayants dans les régions éloignées où l'accès à l'électricité est limité. Ces systèmes comprennent généralement des éoliennes qui captent l'énergie du vent pour produire de l'électricité. Cette électricité peut être utilisée pour charger des batteries de stockage, qui assurent un approvisionnement continu en énergie en l'absence de vent.**[38-39]**

En plus de fournir de l'électricité, les éoliennes peuvent également être directement utilisées pour alimenter des pompes à eau. Cela permet de pomper l'eau des puits ou des sources vers les réservoirs de stockage ou les systèmes d'irrigation, répondant ainsi aux besoins en eau potable, d'irrigation agricole ou d'élevage.**[40-41]**

L'énergie éolienne offre ainsi une solution durable et respectueuse de l'environnement pour le pompage d'eau, permettant d'améliorer l'accès à l'eau potable dans les zones éloignées tout en réduisant la dépendance aux combustibles fossiles et en minimisant les impacts environnementaux associés.**[42-43]**

2.3. Historiquement :

Les pompes à eau éoliennes sont des dispositifs mécaniques traditionnellement utilisés pour pomper de l'eau pour diverses applications telles que l'abreuvage du bétail, le drainage des terres et l'irrigation. Grâce à leur utilisation de l'énergie éolienne, ces pompes sont particulièrement adaptées aux régions sèches ou arides où l'eau est rare. Aujourd'hui, bien que ces pompes mécaniques restent une option viable, l'avancement technologique a ouvert de nouvelles possibilités d'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage d'eau.

Les systèmes de pompage d'eau éolienne fonctionnent généralement de manière mécanique, comprenant un rotor éolien, une tour, une pompe mécanique, une liaison mécanique, un puits d'injection d'eau et une canalisation d'alimentation en eau. Dans certains cas, un stockage d'eau peut également être intégré au système.

Lors de la conception d'un système de pompage éolien, il est essentiel de choisir la combinaison appropriée entre le rotor de la turbine et la pompe, en tenant compte de la hauteur de chute totale et de la taille de la pompe et des pales de l'éolienne. Les turbines multipales ont des

diamètres variant de 1,5 à 5 mètres, tandis que les diamètres d'arbre de pompe vont de 20 mm à 125 mm, selon les besoins de pompage.

Il est crucial d'adapter correctement les pales du rotor à la pompe afin d'obtenir un couple suffisant pour élever l'eau à la hauteur requise. Les rotors modernes à rapport de pointe élevé comportent généralement deux ou trois pales. La vitesse du vent doit être supérieure à environ 5-6 mph (9-10 km/h) pour que le pompage puisse se produire.

La capacité de la pompe à soulever l'eau dépend du poids de l'eau et de sa vitesse d'écoulement. La puissance requise de la turbine dépend donc de ces facteurs. Les pompes à pistons alternatifs et les pompes rotatives à vis sont les types de pompes à eau éolienne les plus couramment utilisés.

En conclusion, les pompes à eau éoliennes, qu'elles soient mécaniques ou utilisant des technologies plus récentes, continuent d'offrir une solution durable et respectueuse de l'environnement pour le pompage de l'eau, en particulier dans les régions où l'accès à l'eau est limité.

2.4. Évaluation du site

2.4.1. Vent : Analysez la vitesse et la direction du vent sur le site. Mesurez la vitesse moyenne du vent à différentes hauteurs à l'aide d'un anémomètre. Vous pouvez également consulter les données météorologiques historiques pour obtenir une idée de la disponibilité et de la régularité de la ressource éolienne.

2.4.2. Ressources éoliennes : Vérifiez s'il existe des études préalables ou des cartes éoliennes disponibles pour votre région. Ces informations vous donneront une indication de la viabilité du vent pour alimenter l'éolienne de pompage d'eau.

2.4.3. Obstacles et turbulence : Évaluez la présence d'obstacles tels que des arbres, des bâtiments ou des reliefs naturels qui pourraient obstruer le flux de vent ou créer des turbulences. Assurez-vous que l'éolienne est positionnée de manière à minimiser ces perturbations et à recevoir un vent régulier.

2.4.4. Source d'eau : Évaluez la proximité de la source d'eau que vous souhaitez pomper, comme un puits, une rivière ou un réservoir. Assurez-vous que l'emplacement de l'éolienne est suffisamment proche de la source d'eau pour réduire les pertes de charge dans les conduites d'eau et maximiser l'efficacité du système.

2.4.5. Terrain : Examinez la qualité du sol et évaluez la stabilité du terrain pour l'installation de l'éolienne et des fondations. Si nécessaire, effectuez des études géotechniques pour déterminer la capacité portante du sol et prendre des mesures adéquates pour soutenir la structure de l'éolienne.

2.4.6.Contraintes réglementaires : Renseignez-vous sur les réglementations locales et les exigences en matière d'installation d'éoliennes de pompage d'eau. Certains endroits peuvent avoir des restrictions concernant la hauteur maximale de l'éolienne, la distance par rapport aux habitations ou d'autres considérations spécifiques.**[44-48]**

2.5. Dimensionnement :

Le dimensionnement d'une éolienne de pompage d'eau dépend de plusieurs facteurs, tels que la quantité d'eau à pomper, la profondeur à laquelle l'eau se trouve, la vitesse moyenne du vent dans la région, les conditions du site, etc. Voici les principales considérations lors du dimensionnement d'une éolienne de pompage d'eau :

2.5.1. Besoins en eau : Déterminez la quantité d'eau requise par jour ou par heure, ainsi que la hauteur à laquelle l'eau doit être soulevée. Cela vous aidera à choisir la capacité de pompage nécessaire de l'éolienne.

2.5.2. Vitesse du vent : Évaluez la vitesse moyenne du vent dans la région où l'éolienne sera installée. Cela vous permettra de sélectionner une éolienne de pompage avec une capacité appropriée pour tirer parti de la puissance éolienne disponible.

2.5.3. Courbe de performance de l'éolienne : Consultez les spécifications du fabricant pour connaître la courbe de performance de l'éolienne de pompage d'eau. Cette courbe indique le débit d'eau que l'éolienne peut produire à différentes vitesses du vent. Assurez-vous que les performances de l'éolienne correspondent à vos besoins en eau.

2.5.4. Profondeur de l'eau : Prenez en compte la profondeur à laquelle l'eau doit être pompée. Cela affectera la sélection de la pompe et la puissance de l'éolienne nécessaire pour surmonter la tête de pression requise.

2.5.5. Système de stockage : Si vous avez besoin de stocker de l'eau pour une utilisation ultérieure, vous devrez dimensionner le réservoir de stockage en fonction de la demande en eau et de la fréquence de pompage.

2.5.6. Conception mécanique : La structure de l'éolienne et le système de pompage doivent être conçus pour résister aux conditions environnementales, y compris les vents forts, les variations de pression, etc.

2.5.7. Maintenance et coûts : Prenez en compte les coûts d'installation, de maintenance et de réparation de l'éolienne de pompage d'eau lors du dimensionnement. Assurez-vous que le système est économiquement viable sur le long terme.**[44-48]**

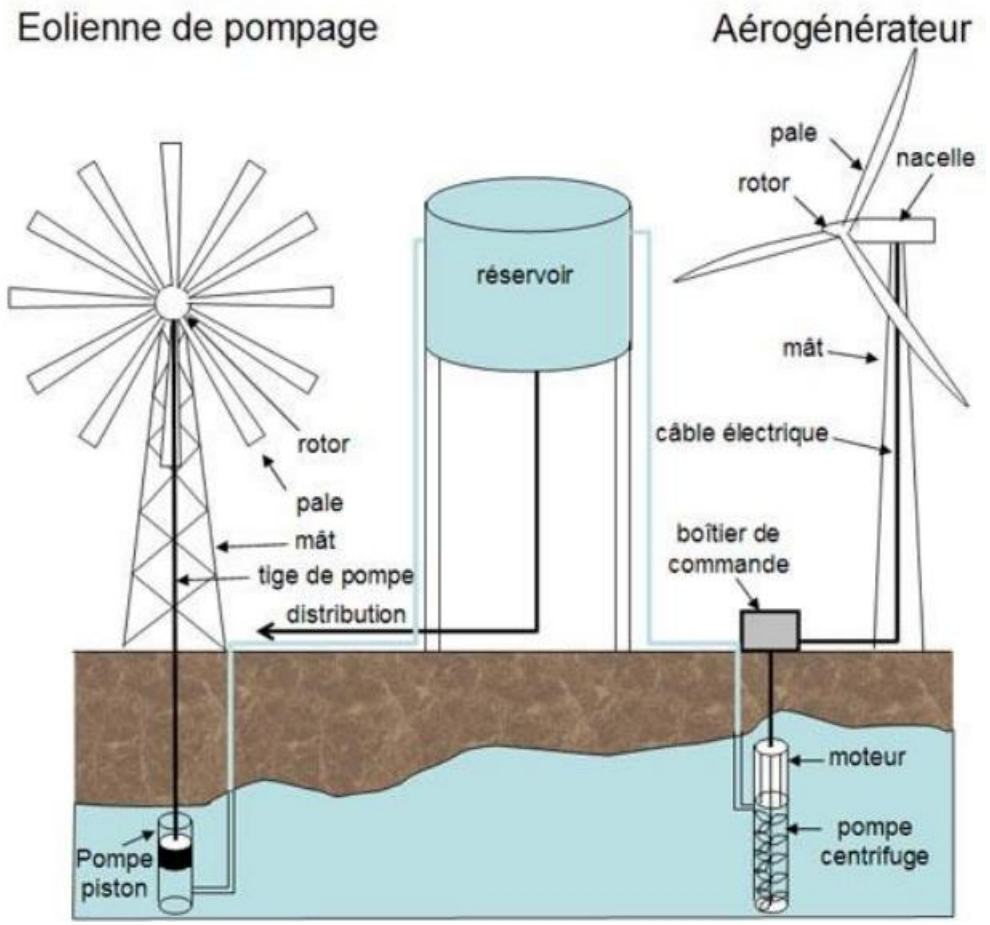


Figure (2.2) : Installation de production d'énergie hydraulique à partir d'un aérogénérateur et d'une éolienne de pompage.**[53]**

2.6. Choix de l'éolienne :

2.6.1. Besoins en énergie : Déterminez la quantité d'énergie dont vous avez besoin, exprimée en kilowatts (kW) ou en kilowattheures (kWh) par jour ou par an. Cela vous aidera à sélectionner une éolienne avec une capacité de production adaptée à vos besoins.

2.6.2. Vitesse du vent : Évaluez la vitesse moyenne du vent dans la région où l'éolienne sera installée. Les éoliennes ont généralement une vitesse de vent minimale à partir de laquelle elles commencent à produire de l'électricité, une vitesse de vent nominale à laquelle elles atteignent leur puissance maximale, et une vitesse de vent maximale au-delà de laquelle elles doivent se mettre en sécurité. Assurez-vous que la vitesse du vent dans votre région est compatible avec la plage de fonctionnement de l'éolienne.

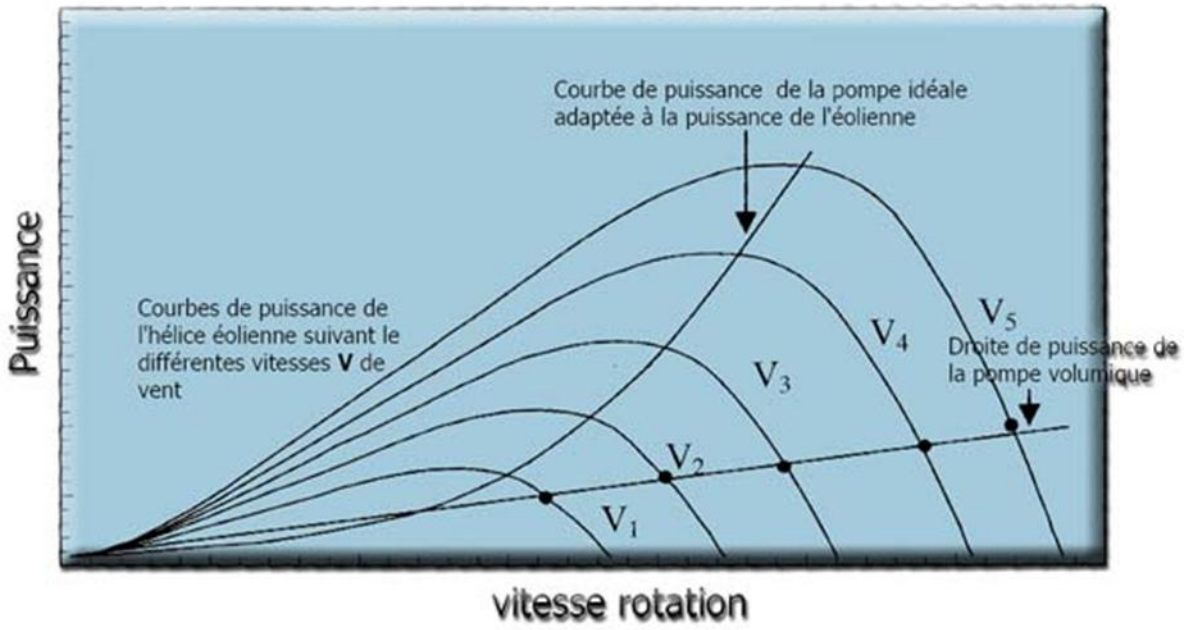


Figure (2.3) : courbe de puissance d'une pompe ideale.**[54]**

2.6.3. Hauteur de l'éolienne : La hauteur à laquelle l'éolienne est installée affecte la vitesse du vent

qu'elle peut capter. En général, plus l'éolienne est haute, plus elle est exposée à des vents forts et réguliers. Si vous installez l'éolienne dans un environnement avec des obstacles tels que des bâtiments ou des arbres, une hauteur plus élevée peut-être nécessaire pour éviter les turbulences.

2.6.4. Contraintes du site : Prenez en compte les contraintes du site, telles que les règlements locaux, les limitations d'espace, les conditions du sol, etc. Certains sites peuvent nécessiter des éoliennes de petite taille ou des éoliennes spécifiques pour respecter les réglementations en vigueur.

2.6.5. Fiabilité et durabilité : Renseignez-vous sur la fiabilité et la durabilité des éoliennes proposées. Consultez les spécifications techniques, les certifications et les retours d'expérience des fabricants pour évaluer la qualité de l'éolienne et sa capacité à résister aux conditions environnementales.

2.6.6. Coûts : Considérez les coûts associés à l'achat, à l'installation, à la maintenance et aux réparations de l'éolienne. Comparez les prix et les garanties offertes par différents fabricants. Évaluez également les économies d'énergie que vous pouvez réaliser grâce à l'utilisation de l'éolienne par rapport aux coûts d'électricité traditionnelle.

2.6.7. Support technique : Assurez-vous que le fabricant ou le fournisseur de l'éolienne propose un bon support technique, y compris l'installation, la mise en service et la maintenance de l'éolienne.**[44-48]**

2.7. Préparation de la fondation :

La préparation de la fondation d'une éolienne de pompage d'eau est une étape cruciale pour assurer la stabilité et la durabilité de la structure. Voici les étapes générales à suivre pour préparer la fondation :

2.7.1. Étude du sol : Faites réaliser une étude du sol par un géotechnicien ou un ingénieur spécialisé. Cette étude permettra de déterminer la composition et les caractéristiques du sol, ainsi que sa capacité portante. Ces informations sont essentielles pour concevoir la fondation adaptée à votre éolienne.

2.7.2. Conception de la fondation : Sur la base des résultats de l'étude du sol, un ingénieur en structures peut concevoir la fondation de l'éolienne. Différents types de fondations peuvent être utilisés, tels que les fondations en béton, les pieux, les socles en acier, etc. La conception prendra en compte la taille et le poids de l'éolienne, les forces exercées par le vent, ainsi que les caractéristiques du sol.

2.7.3. Préparation du site : Avant de commencer les travaux de fondation, préparez le site en enlevant les obstacles tels que les arbres, les rochers, les débris, etc. Assurez-vous que le sol est dégagé et accessible pour les équipements de construction.

2.7.4. Excavation : L'emplacement de la fondation sera déterminé selon la conception. Une excavation doit être effectuée pour créer un espace suffisant pour la fondation. Les dimensions de l'excavation dépendront de la taille et de la configuration de la fondation.

2.7.5. Coffrage et armature : Si la fondation est en béton, un coffrage sera installé pour définir la forme et les dimensions de la fondation. Une armature en acier sera également placée pour renforcer le béton. Suivez les plans de conception et assurez-vous que le coffrage et l'armature sont correctement installés.

2.7.6. Coulage du béton : Une fois le coffrage et l'armature en place, le béton peut être coulé dans la fondation. Veillez à utiliser un béton de qualité spécifiée dans les plans de conception. Assurez-vous que le béton est correctement vibré pour éliminer les poches d'air et assurer une bonne compaction.

2.7.7. Durcissement et séchage : Après le coulage du béton, la fondation doit être protégée et maintenue humide pendant la période de durcissement initial. Suivez les recommandations du fabricant de béton pour le temps de séchage complet. Évitez les charges ou les contraintes excessives sur la fondation pendant cette période.

2.7.8. Inspection et vérification : Une fois que la fondation a atteint sa résistance et sa solidité requises, elle doit être inspectée par un professionnel pour s'assurer qu'elle répond aux normes et aux spécifications.**[44-48]**

2.8. Installation de l'éolienne :

L'installation d'une éolienne de pompage d'eau nécessite une planification soignée et l'engagement de professionnels expérimentés. Voici les étapes générales à suivre pour l'installation de l'éolienne :

2.8.1. Préparation du site : Assurez-vous que la fondation est correctement préparée conformément aux recommandations du fabricant et aux plans de conception. Veillez à ce que le site soit dégagé et accessible pour les équipements de levage et d'installation.

2.8.2. Transport de l'éolienne : Organisez le transport de l'éolienne sur le site d'installation. Des équipements spéciaux et des véhicules adaptés peuvent être nécessaires pour le transport des composants de l'éolienne, tels que la tour, le rotor, les pales, le générateur, etc.

2.8.3. Levage de la tour : Utilisez des grues ou des équipements de levage appropriés pour ériger la tour de l'éolienne. Assurez-vous que la tour est correctement alignée et fixée sur la fondation. Suivez les procédures de levage et de montage spécifiées par le fabricant.

2.8.4. Assemblage des composants : Une fois la tour en place, procédez à l'assemblage des composants de l'éolienne, tels que le rotor, les pales et le générateur. Suivez les instructions du fabricant pour l'assemblage et l'interconnexion des différents éléments.

2.8.5. Mise en service : Après les vérifications et les essais réussis, procédez à la mise en service de l'éolienne. Cela peut impliquer la configuration des paramètres de fonctionnement, la synchronisation avec le système de pompage d'eau et la mise en marche opérationnelle.

2.8.6. Formation et maintenance : Fournissez une formation aux opérateurs sur l'utilisation, l'entretien et la sécurité de l'éolienne. Établissez un plan de maintenance régulier pour assurer le bon fonctionnement de l'éolienne sur le long terme.**[44-48]**

2.9. Installation du système de pompage :

L'installation du système de pompage d'une éolienne de pompage d'eau est une étape importante pour assurer un fonctionnement efficace et fiable. Voici les étapes générales à suivre pour l'installation du système de pompage :

2.9.1. Préparation du site : Avant de commencer l'installation, assurez-vous que la fondation de l'éolienne est correctement préparée et que l'éolienne est installée conformément aux recommandations du fabricant.

2.9.2. Identification de la source d'eau : Déterminez la source d'eau à laquelle vous souhaitez pomper. Cela peut être un puits, un réservoir ou un cours d'eau. Assurez-vous que la source d'eau est à proximité de l'éolienne et qu'elle est accessible pour le système de pompage.

2.9.3. Sélection de la pompe : Choisissez la pompe appropriée en fonction de vos besoins en eau, de la profondeur de la source d'eau et des caractéristiques hydrauliques du site. Les types courants de pompes utilisées dans les éoliennes de pompage d'eau sont les pompes centrifuges, les pompes à piston et les pompes à engrenages. Consultez un professionnel pour vous aider à choisir la pompe adaptée à votre application.

2.9.4. Installation de la pompe : Installez la pompe dans la source d'eau choisie en respectant les instructions du fabricant. Assurez-vous que la pompe est correctement fixée et que les raccordements d'entrée et de sortie sont étanches.

2.9.5. Raccordement électrique : Effectuez le raccordement électrique entre le générateur de l'éolienne et le moteur de la pompe. Suivez les recommandations du fabricant pour le câblage électrique et assurez-vous que toutes les connexions sont sécurisées et conformes aux normes de sécurité.

2.9.6. Réglage et calibration : Vérifiez les réglages de la pompe pour vous assurer qu'elle fonctionne efficacement. Cela peut inclure le réglage de la vitesse de rotation du moteur, le réglage de la pression de fonctionnement et l'optimisation du système de contrôle. Assurez-vous que la pompe est calibrée pour fournir le débit d'eau souhaité.

2.9.7. Essais et vérifications : Une fois l'installation terminée, effectuez des essais et des vérifications pour vous assurer que le système de pompage fonctionne correctement. Vérifiez le débit d'eau, la pression, la performance électrique, ainsi que les systèmes de sécurité et de contrôle.

2.9.8. Formation et maintenance : Fournissez une formation aux opérateurs sur l'utilisation et la maintenance du système de pompage. Établissez un plan de maintenance régulier pour surveiller et entretenir le système de pompage, y compris l'inspection des composants, le nettoyage, le remplacement des pièces d'usure, etc.**[44-48]**

2.10. Installation du système de contrôle :

L'installation du système de contrôle d'une éolienne de pompage d'eau est essentielle pour surveiller, réguler et optimiser le fonctionnement de l'éolienne et du système de pompage. Voici les étapes générales à suivre pour l'installation du système de contrôle :

2.10.1. Sélection du système de contrôle : Choisissez un système de contrôle approprié en fonction des spécifications de l'éolienne et des exigences de votre application. Il peut s'agir d'un système de contrôle intégré fourni par le fabricant de l'éolienne ou d'un système de contrôle tiers compatible.

2.10.2. Montage des composants : Installez les composants du système de contrôle, tels que l'unité de contrôle, les capteurs, les actionneurs, les panneaux de commande, etc. Suivez les instructions du fabricant pour le montage et assurez-vous que tous les composants sont correctement fixés et protégés.

2.10.3. Connexions électriques : Effectuez les connexions électriques nécessaires entre les différents composants du système de contrôle. Cela peut impliquer le câblage électrique, les relais, les interrupteurs, les fusibles, etc. Assurez-vous que les connexions sont sécurisées et conformes aux normes électriques en vigueur.

2.10.4. Configuration du système : Configurez les paramètres du système de contrôle en fonction de vos besoins spécifiques. Cela peut inclure le réglage des seuils de fonctionnement, les modes de contrôle, les plages de sécurité, etc. Suivez les instructions du fabricant et référez-vous aux spécifications techniques du système de contrôle.

2.10.5. Test du système : Une fois l'installation et la configuration terminées, effectuez des tests pour vérifier le bon fonctionnement du système de contrôle. Vérifiez les fonctions de surveillance, les réponses aux commandes, la communication avec les autres composants du système, etc. Effectuez les ajustements nécessaires si besoin.

2.10.6. Intégration avec le système de pompage : Connectez le système de contrôle avec le système de pompage, en assurant la communication appropriée entre les deux. Cela peut impliquer la connexion des capteurs de pression, de débit ou de niveau d'eau, ainsi que la programmation des commandes pour réguler le fonctionnement de la pompe en fonction des paramètres mesurés.

2.10.7. Formation et maintenance : Fournissez une formation aux opérateurs sur l'utilisation et la surveillance du système de contrôle. Assurez-vous qu'ils comprennent les fonctions et les procédures de sécurité du système. Établissez un plan de maintenance régulier pour surveiller et entretenir le système de contrôle, y compris la vérification des connexions, la calibration des capteurs, les mises à jour logicielles, etc.**[44-48]**

2.11. Test et mise en service :

Une fois l'installation de l'éolienne de pompage d'eau terminée, il est nécessaire de procéder à des tests et à la mise en service pour vérifier le bon fonctionnement du système dans son ensemble. Voici les étapes générales pour les tests et la mise en service :

2.11.1. Vérification des connexions : Assurez-vous que toutes les connexions électriques, mécaniques et hydrauliques sont correctement réalisées et sécurisées. Vérifiez également que les dispositifs de protection, tels que les disjoncteurs et les fusibles, sont correctement installés et fonctionnent correctement.

2.11.2. Test des composants : Effectuez des tests individuels sur chaque composant du système, y compris le générateur, la pompe, le moteur, les capteurs et les actionneurs. Vérifiez que chaque composant fonctionne correctement et répond aux commandes.

2.11.3. Test du démarrage : Effectuez un test de démarrage pour vérifier que l'éolienne démarre correctement, que le générateur produit de l'énergie électrique et que le moteur de la pompe est activé.

2.11.4. Test de performance : Mesurez et enregistrez les performances de l'éolienne de pompage d'eau, telles que le débit d'eau pompé, la pression générée, la vitesse de rotation de l'éolienne, la production d'énergie, etc. Comparez les résultats aux spécifications du fabricant et aux objectifs du projet.

2.11.5. Test de contrôle : Vérifiez le bon fonctionnement du système de contrôle en testant les différentes fonctions de surveillance, de régulation et de protection. Vérifiez que les capteurs détectent correctement les paramètres tels que le niveau d'eau, la pression, la vitesse du vent, etc., et que les commandes ajustent efficacement le fonctionnement de la pompe.

2.11.6. Test de sécurité : Effectuez des tests de sécurité pour vous assurer que les systèmes de protection sont opérationnels. Vérifiez que les dispositifs d'arrêt d'urgence fonctionnent correctement et que les procédures de sécurité sont bien comprises et respectées par les opérateurs.

2.11.7. Réglages et ajustements : Si nécessaire, effectuez les réglages et les ajustements sur le système pour optimiser les performances et garantir un fonctionnement efficace. Cela peut inclure des réglages de contrôle, des paramètres de sécurité, des calibrations des capteurs, etc.

2.11.8. Formation des opérateurs : Fournissez une formation aux opérateurs sur l'utilisation du système, les procédures de démarrage, les opérations normales, les procédures d'arrêt d'urgence et les procédures de maintenance de base. Assurez-vous que les opérateurs sont familiarisés avec les fonctionnalités du système et savent comment réagir en cas de problème.**[44-48]**

2.12. Entretien d’une éolienne de pompage d'eau:

L'entretien régulier d'une éolienne de pompage d'eau est essentiel pour assurer un fonctionnement optimal et prolonger la durée de vie du système. Voici quelques aspects importants de l'entretien régulier :

2.12.1. Inspection visuelle : Effectuez régulièrement des inspections visuelles de l'éolienne, de la tour, des pales, des câbles et des composants électriques pour détecter tout signe de dommage, de corrosion, de fuites ou de défaillance. Recherchez également les éventuels dépôts de saleté, d'oiseaux ou d'insectes qui pourraient entraver le bon fonctionnement de l'éolienne.

2.12.2. Lubrification : Vérifiez et lubrifiez régulièrement les points de lubrification de l'éolienne, tels que les roulements, les engrenages et les mécanismes de transmission. Utilisez les lubrifiants recommandés par le fabricant et suivez les intervalles de lubrification spécifiés.

2.12.3. Nettoyage des pales : Nettoyez régulièrement les pales de l'éolienne pour éliminer les dépôts de saleté, d'huile, d'insectes ou de résidus qui peuvent réduire l'efficacité de l'aérodynamique. Utilisez des méthodes de nettoyage appropriées, telles que l'eau à haute pression ou des brosses douces.

2.12.4. Surveillance des performances : Surveillez régulièrement les performances de l'éolienne, y compris le débit d'eau, la pression, la vitesse de rotation, la production d'énergie, etc. Comparez les résultats aux données précédentes et aux objectifs du projet pour identifier toute anomalie ou dégradation des performances.

2.12.5. Vérification des connexions électriques : Vérifiez périodiquement toutes les connexions électriques pour vous assurer qu'elles sont sécurisées et bien isolées. Recherchez les signes de surchauffe, de corrosion ou de mauvais contacts. Serrez les connexions si nécessaires.

2.12.6. Maintenance du système de pompage : Effectuez l'entretien régulier du système de pompage, y compris le nettoyage des filtres, la vérification de l'étanchéité des raccords, le remplacement des pièces d'usure (comme les joints d'étanchéité) et la calibration des capteurs de pression ou de débit.

2.12.7. Maintenance du système de contrôle : Vérifiez régulièrement le bon fonctionnement du système de contrôle, y compris les capteurs, les actionneurs, les panneaux de commande et les dispositifs de sécurité. Assurez-vous que les logiciels et les firmwares sont à jour et qu'il n'y a pas d'erreurs ou de dysfonctionnements dans les systèmes de surveillance ou de régulation.

2.12.8. Maintenance de la fondation : Vérifiez périodiquement l'état de la fondation de l'éolienne, en particulier si elle est exposée à des conditions environnementales difficiles. Recherchez les signes de fissures, d'érosion ou de tassement. Réparez ou renforcez la fondation si nécessaire.

2.12.9. Suivi des conditions environnementales : Surveillez les conditions environnementales, telles que la vitesse du vent, la température, l'humidité, etc., qui peuvent affecter les

performances de l'éolienne. Utilisez ces données pour ajuster les paramètres de fonctionnement si nécessaire.

2.12.10. Tenue de registres : Tenez des registres détaillés de toutes les activités d'entretien, y compris les inspections, les réparations, les remplacements de pièces, les tests de performance, etc. Ces registres vous aideront à suivre l'historique de l'éolienne et à planifier les prochaines activités d'entretien.**[44-48]**

2.13. Les avantages de l'utilisation d'éoliennes pour le pompage d'eau :

a-Énergie renouvelable : Les éoliennes utilisent l'énergie éolienne, une source d'énergie renouvelable et inépuisable. Contrairement aux combustibles fossiles, tels que le pétrole ou le charbon, l'énergie éolienne ne contribue pas aux émissions de gaz à effet de serre ni à l'épuisement des ressources naturelles.

b-Coûts réduits : Une fois l'éolienne installée, les coûts d'exploitation sont généralement bas. L'énergie éolienne est gratuite, ce qui permet de réduire les dépenses liées à l'approvisionnement en électricité ou au carburant nécessaire pour faire fonctionner une pompe traditionnelle.

c-Accès à l'eau dans les zones éloignées : Les éoliennes de pompage d'eau sont particulièrement utiles dans les régions éloignées ou rurales où l'accès à l'électricité est limité. Elles peuvent fournir de l'eau potable, de l'eau pour l'irrigation agricole ou encore de l'eau pour le bétail, contribuant ainsi à améliorer les conditions de vie et à soutenir le développement local.

d-Faible entretien : Les éoliennes de pompage d'eau sont généralement fiables et nécessitent peu d'entretien une fois installées. Les composants clés, tels que les pales et les systèmes de pompage, peuvent être conçus pour être durables et résistants aux conditions environnementales.

e-Indépendance énergétique : L'utilisation d'éoliennes de pompage d'eau permet de devenir plus autonome sur le plan énergétique. Les communautés ou les exploitations agricoles peuvent générer leur propre électricité à partir de l'énergie éolienne, réduisant ainsi leur dépendance vis-à-vis des fournisseurs d'énergie extérieurs.

f-Impact environnemental réduit : L'énergie éolienne est une alternative propre et respectueuse de l'environnement aux sources d'énergie conventionnelles. Elle ne produit pas d'émissions polluantes ni de déchets toxiques. L'utilisation d'éoliennes de pompage d'eau contribue donc à la préservation de l'environnement et à la lutte contre le changement climatique.

En résumé, les avantages de l'utilisation d'éoliennes pour le pompage d'eau comprennent l'utilisation d'une énergie renouvelable, des coûts réduits, l'accès à l'eau dans les

zones éloignées, un faible entretien, l'indépendance énergétique et un impact environnemental réduit. Ces avantages en font une solution durable et économique pour répondre aux besoins en eau dans diverses applications.**[44-48]**

2.14.Les inconvénients de l'utilisation d'éoliennes pour le pompage d'eau:

L'utilisation d'éoliennes pour le pompage d'eau présente certains inconvénients, notamment :

a-Dépendance aux conditions météorologiques : Les éoliennes dépendent du vent pour générer de l'électricité, ce qui signifie que leur efficacité est étroitement liée aux conditions météorologiques. Si le vent est insuffisant ou irrégulier, le pompage d'eau peut être limité ou interrompu, ce qui peut poser des problèmes en cas de besoin urgent d'eau.

b-Variabilité de la production d'électricité : Même lorsque le vent est présent, la production d'électricité des éoliennes peut varier considérablement en fonction de la vitesse du vent. Cela peut rendre difficile la planification et l'assurance d'un approvisionnement constant en eau, en particulier dans les régions où les variations saisonnières du vent sont importantes.

C -Coût élevé et maintenance : Les éoliennes nécessitent un investissement initial important pour leur installation. De plus, leur maintenance régulière peut également être coûteuse, notamment en raison de la nécessité de réparer et de remplacer les composants mécaniques et électriques. Ces coûts supplémentaires peuvent rendre l'utilisation d'éoliennes pour le pompage d'eau moins économiquement viable.

d-Impact visuel et sonore : Les éoliennes sont des structures imposantes qui peuvent être considérées comme visuellement peu attrayantes, en particulier dans les zones rurales ou les paysages naturels préservés. De plus, elles produisent également un bruit constant qui peut être perçu comme gênant par les personnes vivant à proximité.

e-Effets sur la faune et l'environnement : Les éoliennes peuvent avoir un impact sur la faune aviaire, en particulier sur les oiseaux migrateurs et les chauves-souris qui peuvent entrer en collision avec les pales des éoliennes. De plus, leur installation peut nécessiter des travaux de terrassement et d'accès routier, ce qui peut perturber les écosystèmes locaux et causer une dégradation de l'environnement. **[44-48]**

Chapitre 3

Conception d'une éolienne

Chapitre 3: Conception d'une éolienne

3.1. Introduction :

Le présent chapitre se concentre sur la conception des pièces mécaniques pour le pompage d'eau par action mécanique en utilisant le logiciel SolidWorks. SolidWorks est largement reconnu comme un outil puissant et polyvalent dans le domaine de la conception assistée par ordinateur (CAO) pour l'ingénierie mécanique. Ce chapitre mettra en évidence les fonctionnalités avancées de SolidWorks qui facilitent la modélisation, l'assemblage et l'analyse des composants mécaniques impliqués dans les systèmes de pompage d'eau. Nous aborderons les différentes étapes du processus de conception, en mettant l'accent sur les techniques spécifiques utilisées pour créer des modèles 3D précis et fonctionnels. Des exemples pratiques de conception de pièces pour des pompes à eau seront présentés, démontrant ainsi l'efficacité de SolidWorks dans le domaine de la conception mécanique pour le pompage d'eau.

Avant d'entamer le processus de conception, il est essentiel de réaliser des calculs préliminaires pour garantir l'efficacité et la performance optimale du système de pompage d'eau. Ces calculs permettent d'évaluer les paramètres clés tels que la puissance requise, le débit d'eau, la pression de fonctionnement, la vitesse de rotation, et d'autres variables essentielles. Ils jouent un rôle crucial dans la détermination des spécifications techniques nécessaires pour les composants mécaniques, tels que les pompes, les roues, les engrenages, les arbres, et les autres éléments qui composent le système de pompage. En réalisant ces calculs préliminaires, nous pourrons ainsi établir une base solide pour la conception des pièces mécaniques, en garantissant la fiabilité et l'efficacité de l'ensemble du système de pompage d'eau par action mécanique.

3.2. Calcul de Puissances théoriques de l'éolienne :

La relation entre la puissance maximale collectée par les éoliennes lentes et le diamètre de la roue (D) ainsi que la vitesse du vent (V) a été établie à partir d'essais.

$$P_{max} = 0{,}15 * D^2 * V^3 \quad \textbf{[49]} \qquad (1)$$

Le diamètre de la roue étant de 2,45m , on aura :

$$P_{\max} = 0{,}9 * v^3$$

La puissance théorique développée par la pompe sera égale à la puissance fournie par l'éolienne:

$$p_{\max} = Ppth = Q * \mathrm{Y}_e * h \qquad (2)$$

Avec $\gamma_e = 9800\ N/m^3$ Poids volumique de l'eau.

Donc de cette équation on déduit le débit correspondant.

3.3. Etude de l'orientation :

3.3.1. Système d'orientation :

L'éolienne utilise la queue pour guider et orienter la direction de la turbine par rapport au vent. La queue, également appelée gouvernail, est un dispositif monté à l'arrière de l'éolienne et est souvent équipée d'une surface plane ou d'un aileron. Son rôle principal est de maintenir l'éolienne face au vent, ce qui permet d'optimiser la capture de l'énergie éolienne.

Lorsque le vent souffle, il exerce une force sur les pales de l'éolienne, ce qui entraîne la rotation du rotor. Cependant, si l'éolienne ne parvient pas à se maintenir face au vent, la force

exercée par le vent peut provoquer une déviation de l'axe de rotation, ce qui réduit l'efficacité de la turbine.

3.3.2.Pourquoi orienté l'éolienne :

L'orientation de l'éolienne dans le contexte du pompage d'eau est cruciale pour garantir une utilisation optimale de l'énergie éolienne disponible. Voici quelques raisons pour lesquelles il est important d'orienter correctement une éolienne utilisée pour le pompage d'eau :

1. Maximiser la capture de l'énergie éolienne : En orientant l'éolienne de manière à faire face au vent dominant, on optimise la surface d'exposition des pales au vent. Cela permet de capturer un maximum d'énergie cinétique du vent, qui est ensuite convertie en énergie mécanique pour alimenter la pompe à eau.

2. Assurer une rotation régulière des pales : Une orientation adéquate permet à l'éolienne de maintenir une rotation régulière des pales, même en cas de vents variables. Cela garantit un fonctionnement fluide de la pompe à eau, assurant un débit d'eau constant et fiable.

3. Adaptable aux conditions de vent changeantes : En ajustant l'orientation de l'éolienne en fonction des variations de direction et d'intensité du vent, on peut s'assurer que la pompe à eau continue de fonctionner efficacement dans différentes conditions météorologiques. Cela permet de maintenir un approvisionnement en eau constant, même lors de changements imprévus du vent.

4. Réduire les contraintes mécaniques : Une orientation appropriée de l'éolienne permet de réduire les contraintes mécaniques sur les composants du système de pompage, ce qui peut prolonger leur durée de vie et réduire les coûts de maintenance.

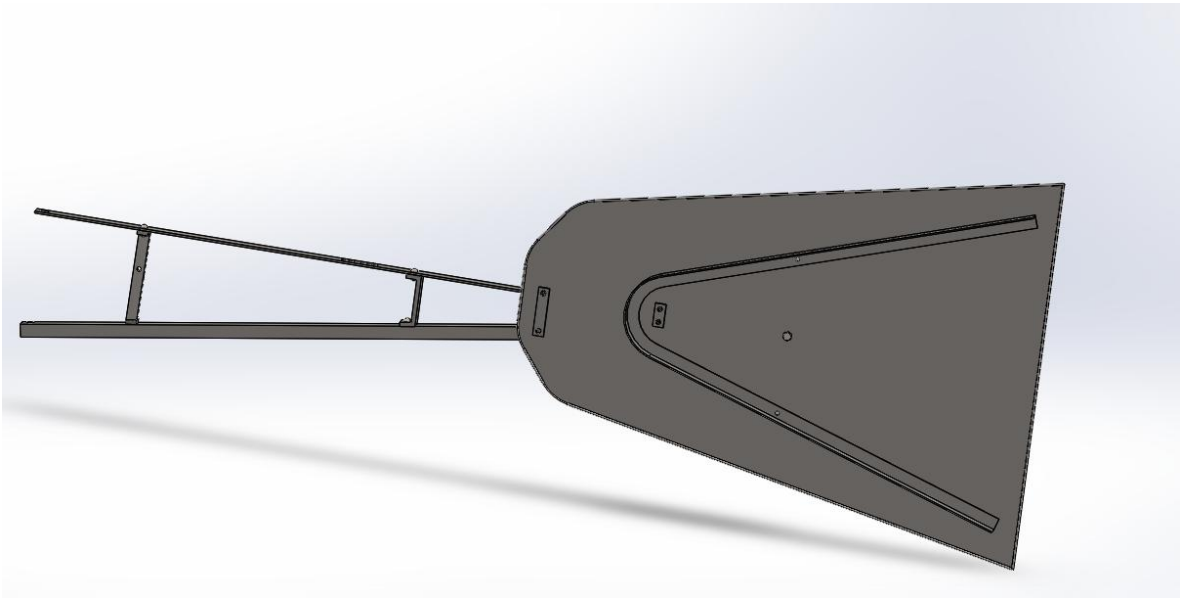
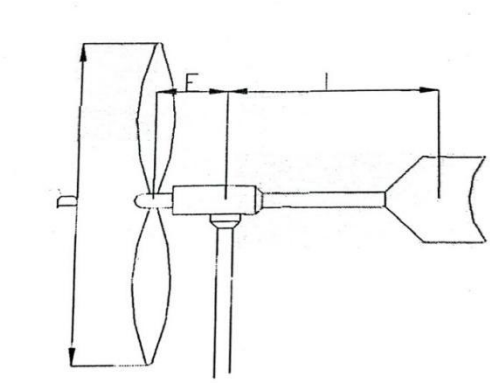


Figure (3.1.) Le gouvernail

3.3.3. Dimensionnement du gouvernail :

Nous avons utilisé le système d'empennage pour orienter notre éolienne, ce qui est particulièrement adapté aux éoliennes lentes de jusqu'à 2,45 mètres de diamètre, correspondant exactement à notre éolienne.**[49]** Pour assurer un fonctionnement optimal, certaines conditions doivent être respectées :



Figure(3.2.) Schéma d'une éolienne

Si on donne à la distance axe d'orientation - centre de l'empennage, une valeur L égale à 4 E, E désignant la distance entre l'axe d'orientation et le plan de rotation de l'hélice, la surface s de l'empennage doit avoir une relation en fonction S (aire balayée par l'hélice).

Pour une éolienne multipales $s = (0{,}1 * S)$ (réf : énergie éolienne, Désiré LE GOURIERES)

On a :

$$s = (0{,}1 * S) = 0{,}1 * (\pi * \frac{6{,}0025}{4}) = 0.471 \text{ m}^2 \quad (3)$$

D'où la surface de l'empennage est de :

$$S = 0.471 \ m^2$$

En pratique, on donne souvent à L une valeur voisine de $0{,}6 * D$

Soit : $L = 0{,}6 * 2{,}45 = 1{,}47 \ m$ (4)

Ce qui donne :

$$E = \frac{L}{4} = \frac{1,47}{4} = 0,9\ m \qquad (5)$$

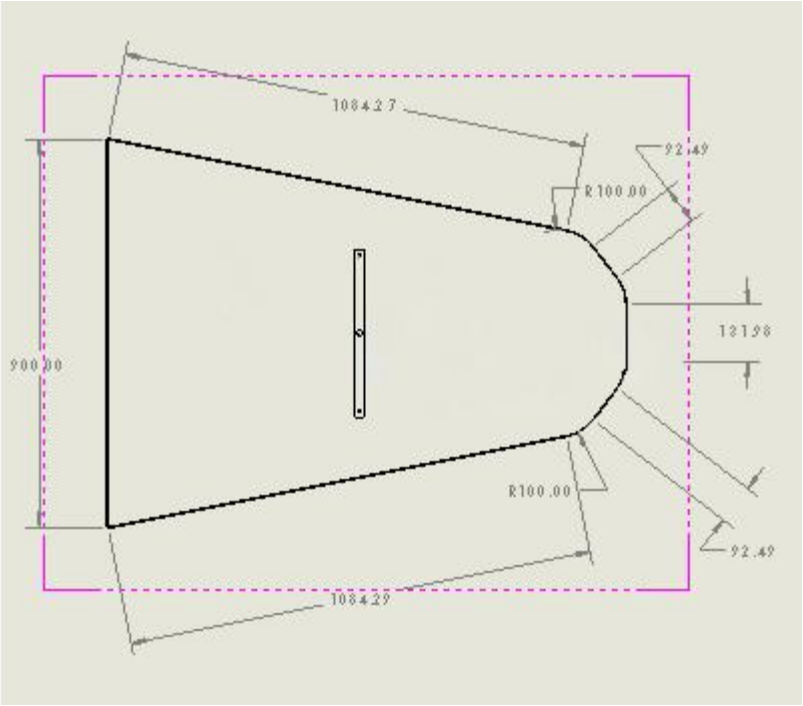


Figure. (3.3). Le gouvernail

Il est fait en tôle d'acier laminée XC d'épaisseur 2 mm.

Masse volumique $\rho = 8000\ kg/m^3$

m = 15,42 kg

pour le support :

On a :

$p = 15{,}42 * 9{,}81 = 151{,}27\ N$(6) Si le poids du gouvernail.

Cette force est répartie sur ce boulon de fixation à raison de 22 N sur chaque boulon.

3.4. Etude des pales :

Nous évaluons les efforts les plus élevés qui puissent s'appliquer sur l'hélice:

Pour cela, nous prenons la vitesse la plus élevée qui est susceptible de se produire dans notre région.

Dans notre pays, on n'assiste pas à des ouragans mais il peut se produire de violentes tempêtes; donc pour être sécuritaire, nous utilisons une vitesse maximale de Vmax = 19,44 m/s = 70 km/h.

On applique la théorie de Betz.

$$F_{max} = \frac{4}{9}\rho S V^3 \qquad (7)$$

Avec :

ρ : La masse volumique de l'air = 1,25 kg/m^3

S: La surface balayée par l'hélice

V : La vitesse du vent = 19,44 m/s

$$F_{max} = 19{,}22\ KN$$

3.5. Conception par Solidworks

SolidWorks est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows, c'est un modeleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

3.6. Modélisation géométrique des éléments de l'éolienne :

Nous avons réalisé une étude de rétro-ingénierie complète sur une éolienne dédiée au pompage d'eau, en examinant chaque composant et en analysant son fonctionnement. À partir de cette analyse approfondie, nous sommes parvenus à reconstruire les différentes pièces et systèmes de l'éolienne. Maintenant, nous sommes prêts à présenter ces pièces avec le procédé de montage correspondant. Dans cette présentation, nous détaillerons les différentes étapes du montage, en mettant l'accent sur les connexions, les fixations et les ajustements nécessaires pour assurer un assemblage solide et fonctionnel. Nous fournirons également des informations sur les outils et les techniques recommandés pour faciliter le processus de montage. Grâce à cette approche de rétro-ingénierie et à notre connaissance approfondie de l'éolienne, nous sommes confiants quant à notre capacité à présenter ces pièces avec précision et à démontrer la manière dont elles s'assemblent pour former un système cohérent et opérationnel.

3.6.1 Montage pales-moyeu :

Le montage des pales sur le moyeu d'une éolienne est une étape cruciale dans la construction de l'éolienne. Le moyeu est la pièce centrale qui relie les pales à l'arbre principal de l'éolienne, permettant ainsi la transmission de l'énergie cinétique du vent. Voici une description générale du processus de montage des pales sur le moyeu :

1. Préparation : Assurez-vous d'avoir toutes les pièces nécessaires, y compris les pales et le moyeu, ainsi que les outils appropriés pour le montage. Vérifiez également que les pales sont en bon état et qu'elles correspondent aux spécifications du fabricant.

2. Positionnement du moyeu : Placez le moyeu dans une position appropriée pour le montage des pales. Assurez-vous qu'il est aligné correctement et que les connexions et les fixations nécessaires sont en place.

3. Fixation des pales : Une fois le moyeu en position, fixez chaque pale sur le moyeu à l'aide des fixations fournies. Suivez les instructions du fabricant pour le serrage des fixations, en vous assurant de respecter les spécifications de couple recommandées.

4. Équilibrage : Une fois toutes les pales fixées, il est important de s'assurer qu'elles sont équilibrées pour minimiser les vibrations et les contraintes inutiles. L'équilibrage peut être réalisé à l'aide d'outils spécialisés, en ajustant éventuellement le poids des pales pour obtenir un équilibre optimal.

5. Vérification finale : Après le montage, effectuez une vérification finale pour vous assurer que toutes les fixations sont correctement serrées, que les pales sont solidement attachées et qu'il n'y a pas de jeu excessif. Vérifiez également que le moyeu est correctement fixé à l'arbre principal de l'éolienne.

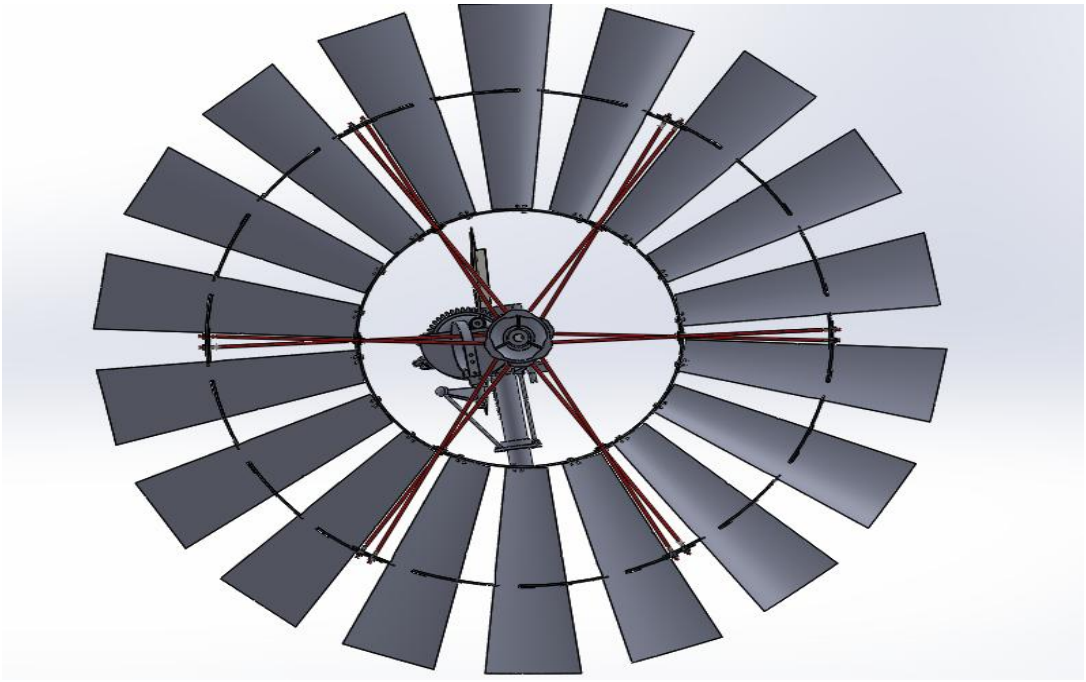


Figure. (3.4). Montage pales-moyeu

Une pale d'éolienne extrait l'énergie cinétique du vent et la transforme, grâce à sa connexion avec le rotor, en mouvement de rotation. Le phénomène de portance aérodynamique est au cœur du principe de fonctionnement. Les pales forment une partie très importante des éoliennes. De leur nature dépendront le bon fonctionnement et la durée de vie de la machine ainsi que le rendement du moteur éolien.

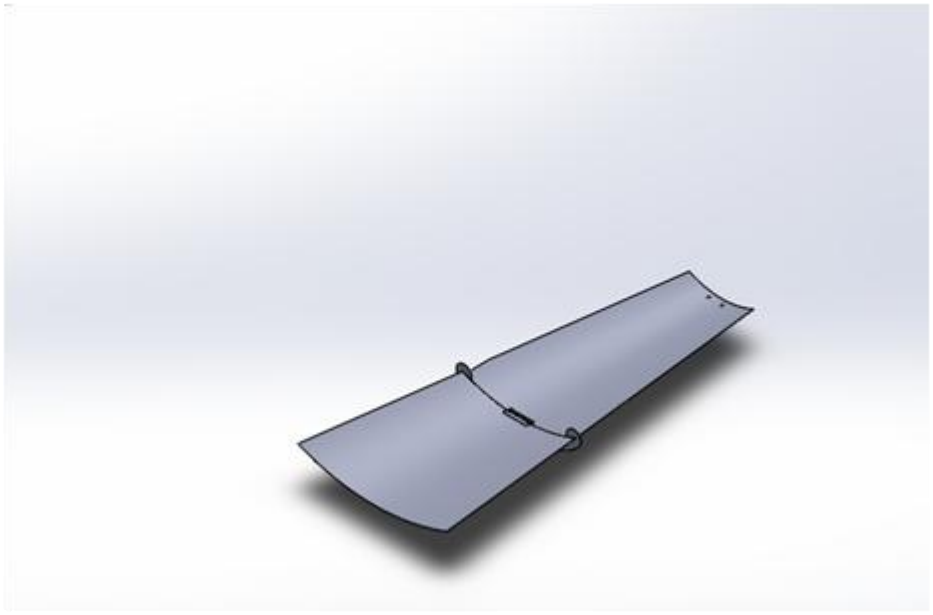


Figure (3.5). Modèle 3D de la pale.

3.6.2 Montage du cerceau :

Le montage du cerceau d'une éolienne est une étape importante dans la construction de la structure de support qui maintient les pales de l'éolienne. Voici une description générale du processus de montage du cerceau :

1. Préparation : Assurez-vous d'avoir toutes les pièces nécessaires pour le cerceau, y compris les segments de cerceau, les connexions et les fixations appropriées. Vérifiez également que les segments de cerceau sont en bon état et qu'ils correspondent aux spécifications du fabricant.

2. Assemblage des segments : Commencez par assembler les segments de cerceau les uns aux autres en utilisant les connexions fournies. Suivez les instructions du fabricant pour l'alignement et l'assemblage corrects des segments. Assurez-vous que les connexions sont bien serrées pour assurer la solidité de la structure.

3. Positionnement : Une fois les segments assemblés, placez le cerceau dans une position appropriée pour le montage sur la tour de l'éolienne. Assurez-vous qu'il est correctement aligné et qu'il correspond aux dimensions et aux spécifications requises.

4. Fixation : Fixez solidement le cerceau sur la tour de l'éolienne à l'aide des fixations appropriées. Assurez-vous de suivre les recommandations du fabricant pour le serrage des fixations afin d'obtenir une connexion solide et sécurisée.

5. Vérification finale : Après le montage, effectuez une vérification finale pour vous assurer que le cerceau est solidement fixé à la tour de l'éolienne, qu'il n'y a pas de jeu excessif et que toutes les fixations sont correctement serrées. Vérifiez également que le cerceau est aligné correctement et qu'il ne présente pas de défauts visibles.

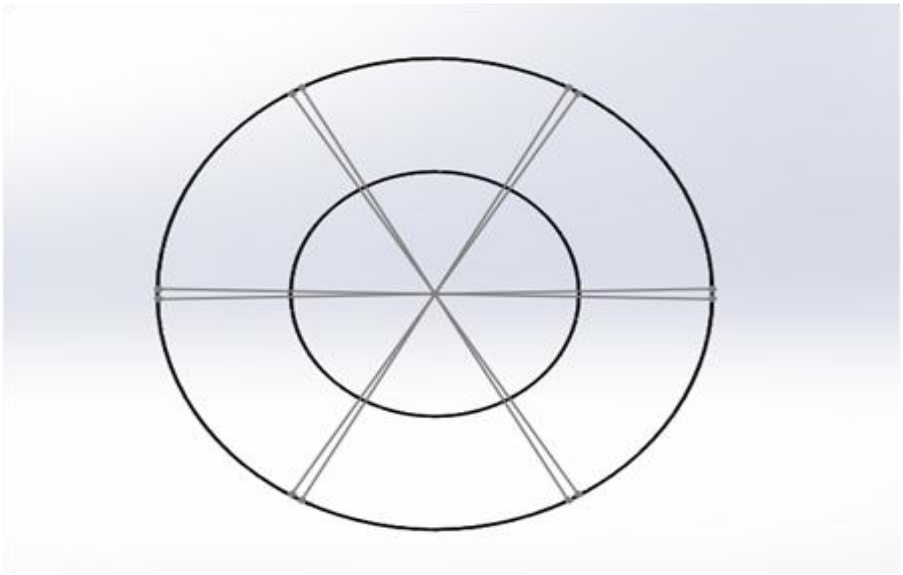


Figure.(3.6.) Modèle 3D de cerceau G.M et P.M

3.6.3. Montage de tige de pale :

Le montage des tiges de pales de l'éolienne est une étape cruciale dans la construction de l'éolienne. Les tiges de pales relient les pales individuelles au moyeu de l'éolienne, permettant ainsi la transmission de l'énergie cinétique du vent. Voici une description générale du processus de montage des tiges de pales :

1. Préparation : Assurez-vous d'avoir toutes les tiges de pales nécessaires, ainsi que les fixations et les outils appropriés pour le montage. Vérifiez également que les tiges de pales sont en bon état et qu'elles correspondent aux spécifications du fabricant.

2. Positionnement du moyeu : Placez le moyeu de l'éolienne dans une position appropriée pour le montage des tiges de pales. Assurez-vous qu'il est aligné correctement et que les connexions et les fixations nécessaires sont en place.

3. Fixation des tiges de pales : Une fois le moyeu en position, fixez chaque tige de pale sur le moyeu à l'aide des fixations fournies. Suivez les instructions du fabricant pour le serrage correct des fixations, en vous assurant de respecter les spécifications de couple recommandées.

4. Alignement des pales : Assurez-vous que les tiges de pales sont correctement alignées avec le moyeu et que les pales sont positionnées de manière équilibrée autour du cercle. Vérifiez que les angles des pales sont conformes aux spécifications du fabricant.

5. Serrage final : Une fois que toutes les tiges de pales sont fixées et que les pales sont correctement alignées, serrez toutes les fixations de manière sécurisée. Assurez-vous que les connexions sont fermement maintenues pour garantir la stabilité et la sécurité de l'ensemble du système de l'éolienne.

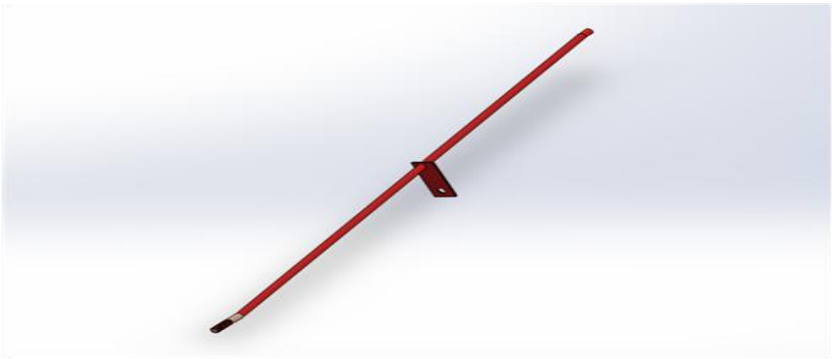


Figure. (3.7) Modèle 3D de tige de pale

3.6.4. Conception de moyeu :

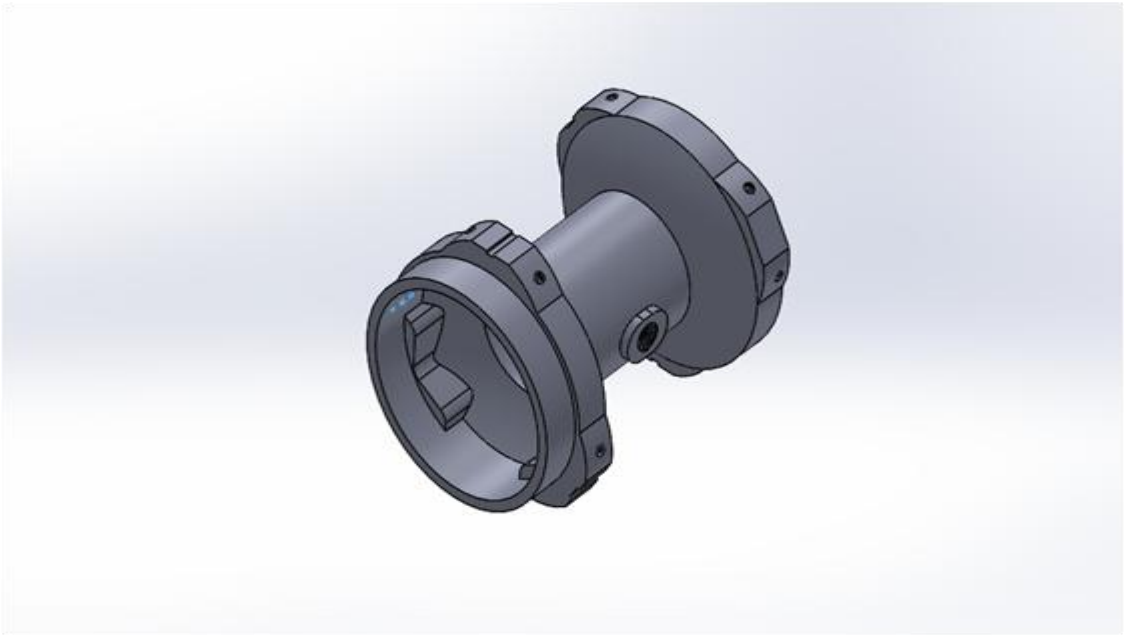


Figure. (3.8) Modèle 3D de moyeu

3.9.5. Modélisation de gouvernail :

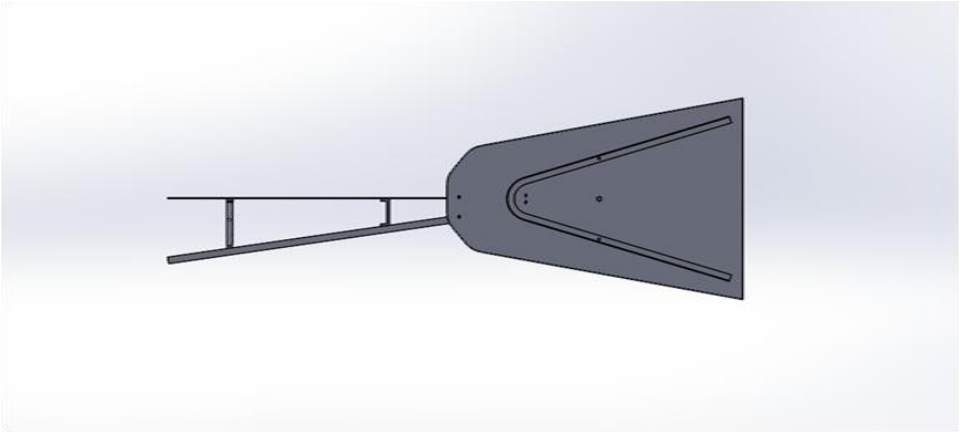


Figure.(3.9). Modèle 3D d'assemblage Gouvernail

3.9.6. Modélisation de mât complet :



Figure.(3.10). Modèle 3D de mât complet

3.9.7. Modélisation de anneaux d'enroulement supérieurs avec bras :

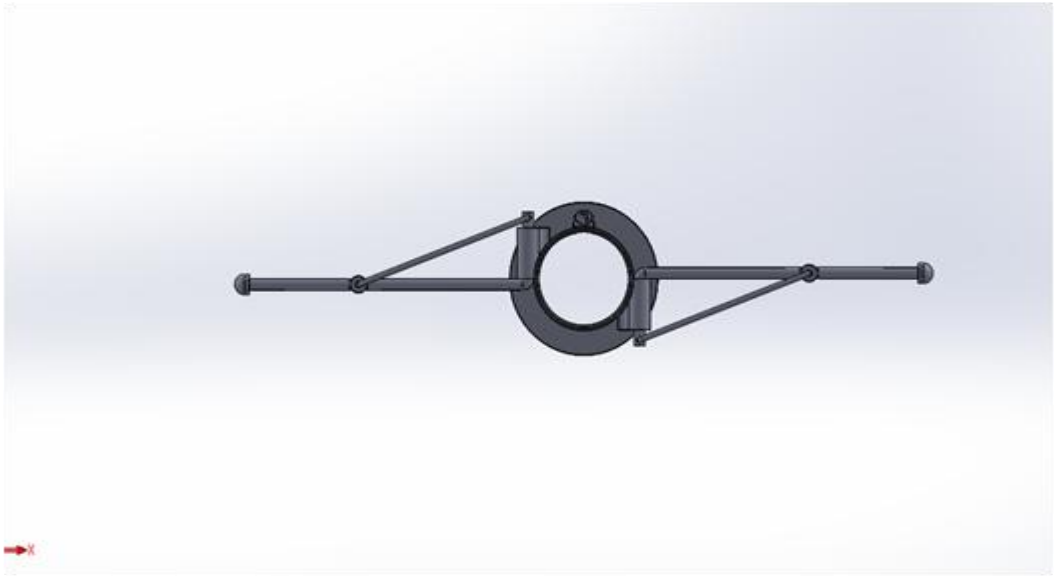


Figure. (3.11) . Modèle 3D anneaux d'enroulement supérieurs avec /bars

3.9.8. Modélisation d'anneau d'enroulement inférieur :

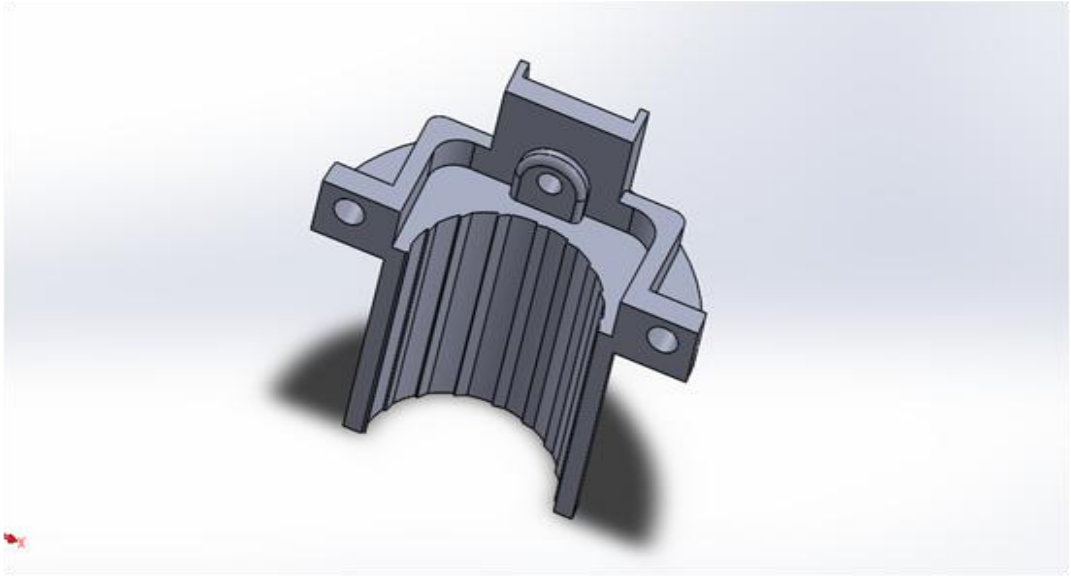


Figure.(3.12). Modèle 3D d'anneau d'enroulement inférieur

3.9.9. Modélisation de manchon :

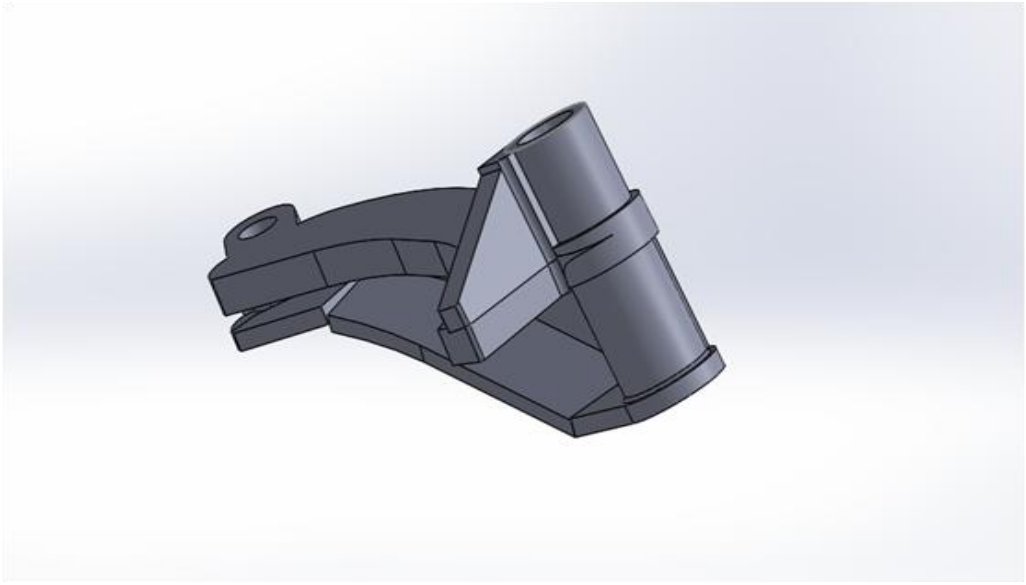


Figure.(3.13). Modèle 3D de manchon

3.9.10. Modélisation de Ressort :

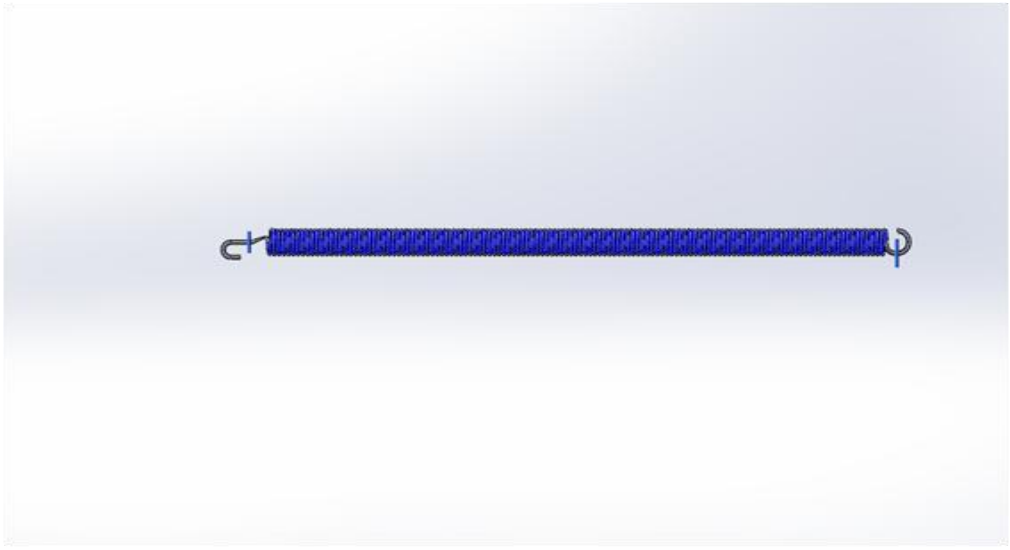


Figure.(3.14). Modèle3D de ressort

3.9.11. Modélisation articulation :

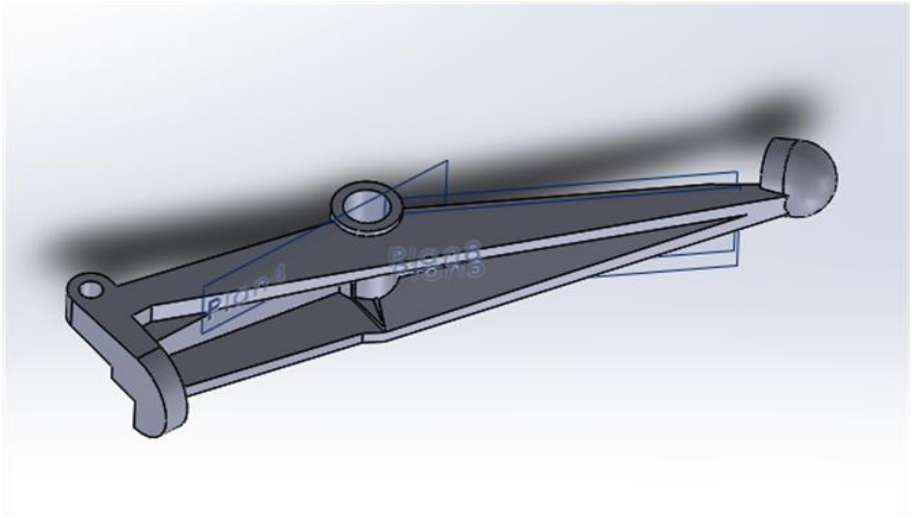


Figure. (3.15). Modélisation articulation

3.9.12. Modélisation de manchon de frein :

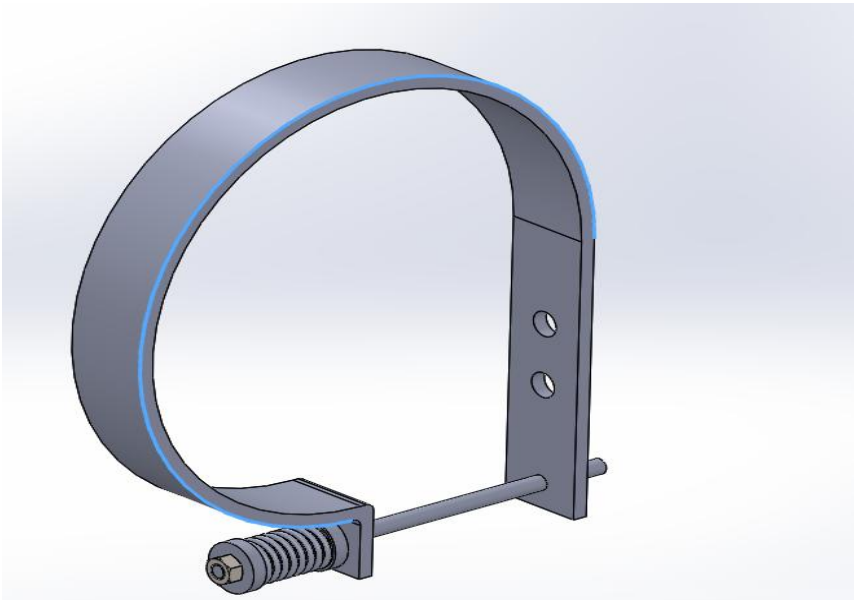


Figure. (3.16). Modèle 3D d'un frein du manchon

3.9.13. Modélisation d'un pilon:



Figure.(3.17). Modèle 3D d'un pilon éolienne

3.9.14. Modélisation d'une table du pilon :

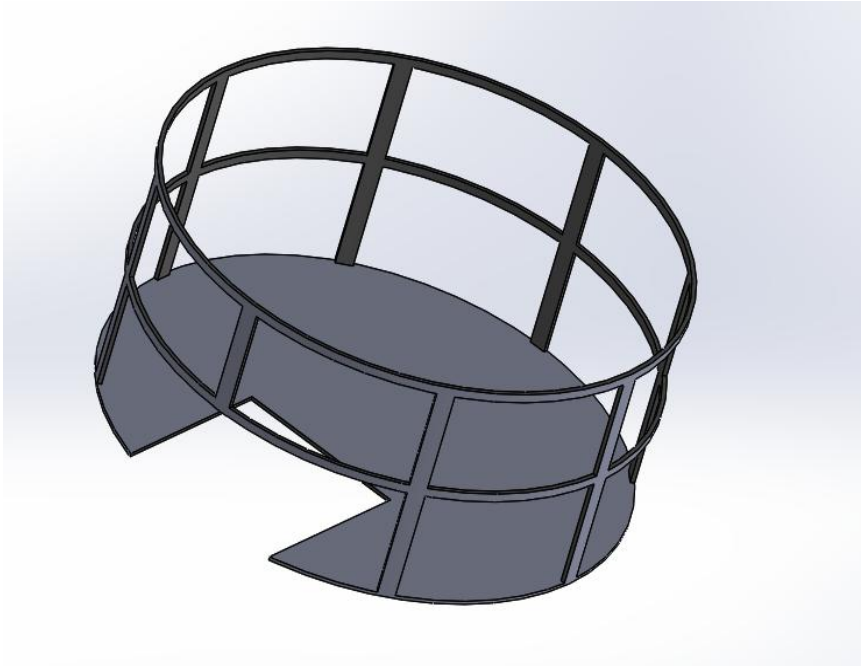


Figure. (3.18). Modèle 3D d'une table du pilon

3.9.15. Modélisation de la tige de la pompe :

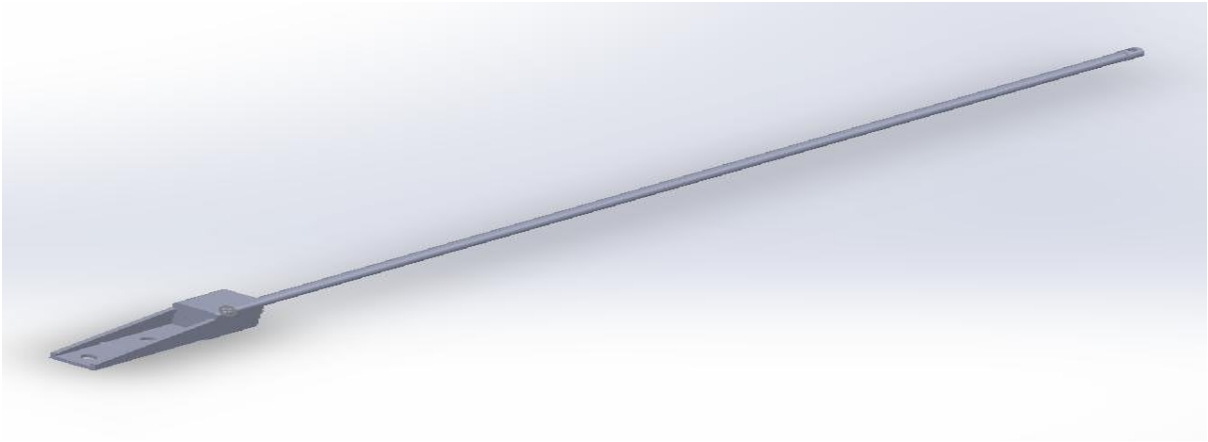


Figure. (3.19). Modèle 3D de la tige de la pompe

3.9.16. Modélisation du nervure de la pale :



Figure. (3.20). Modèle du nervure de la pale

3.9.17. Modélisation d'assemblage de frein :

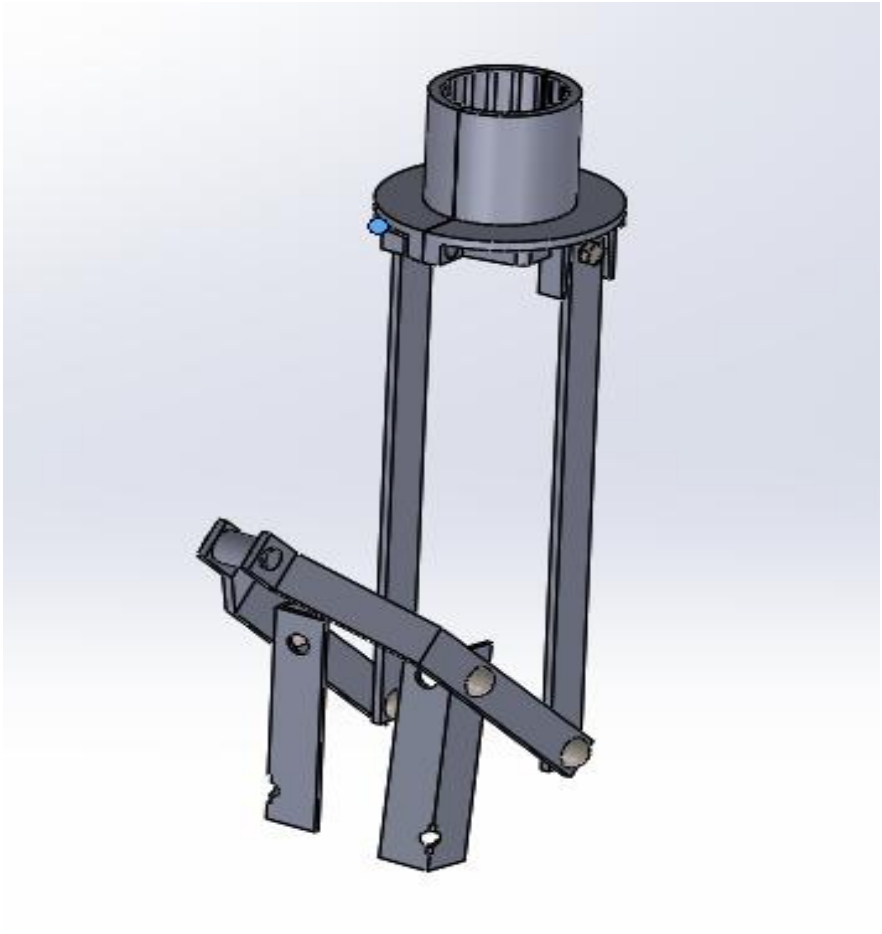
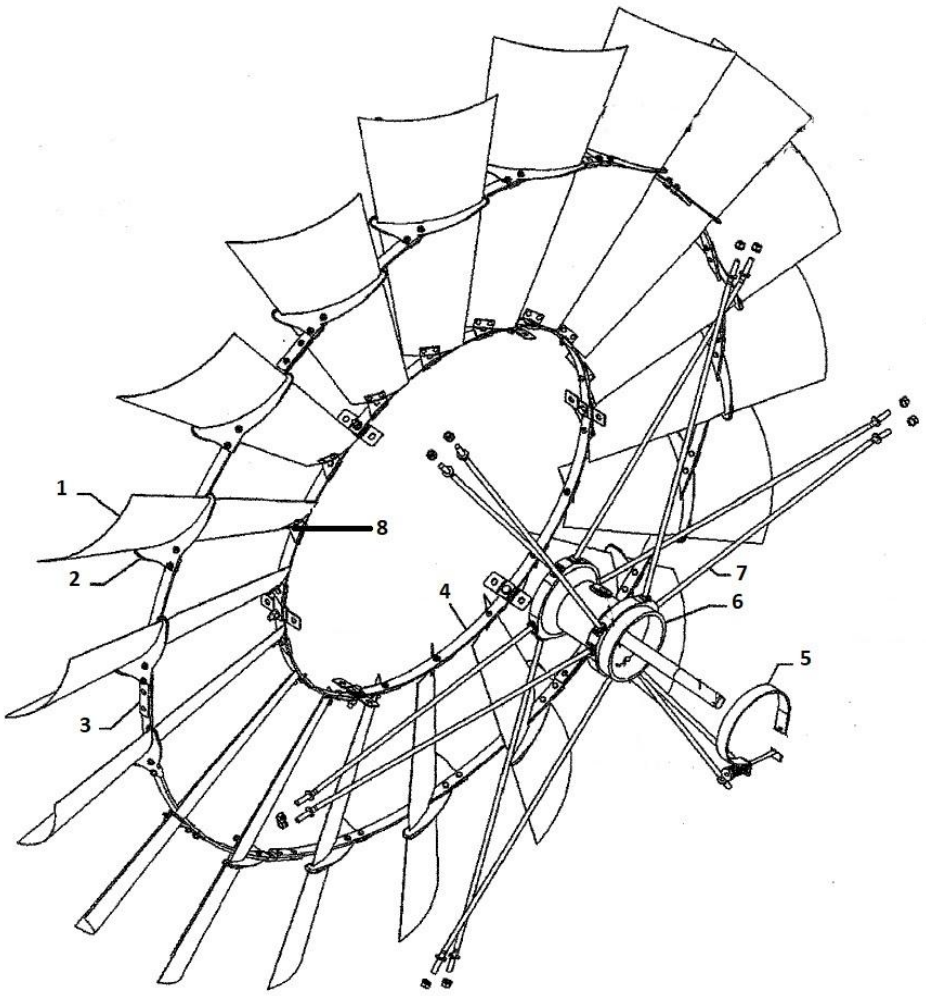


Figure .(3.21). Modèle3D Assemblage de frein

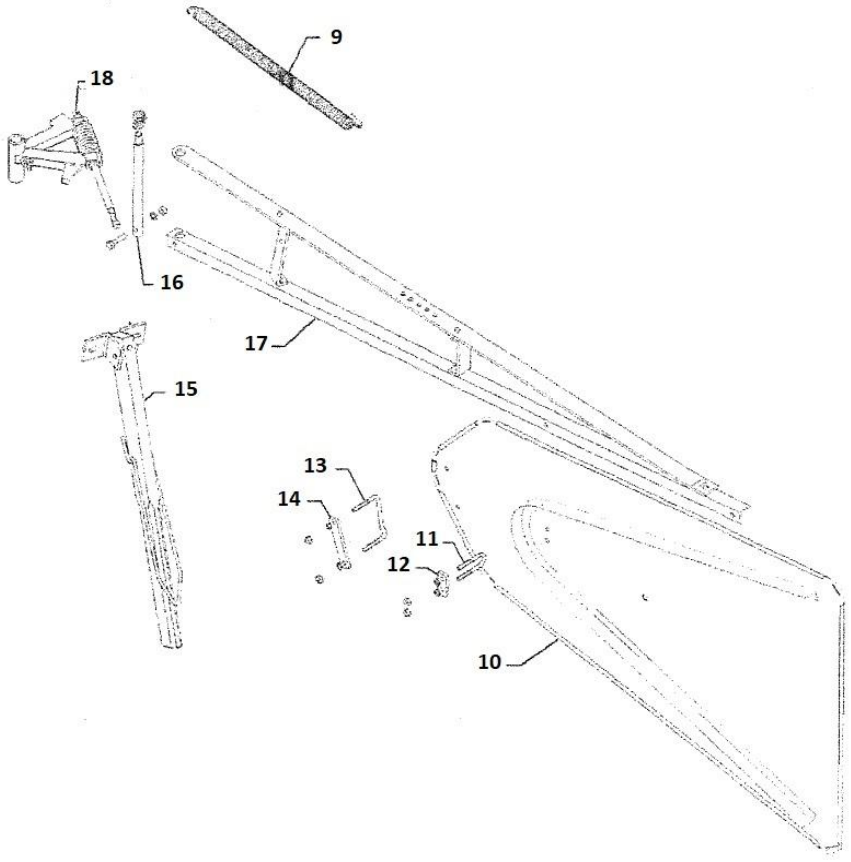


pièces d'assemblage des roues

nombres des pièces	DESCRIPTION
1	pale
2	nerveur de pale
3	cerceux grand model
4	cerceux petit model

nombres des pièces	DESCRIPTION
5	frein
6	le moyeu
7	tige de pale
8	support de pale

Figure. (3.22). L'hélice

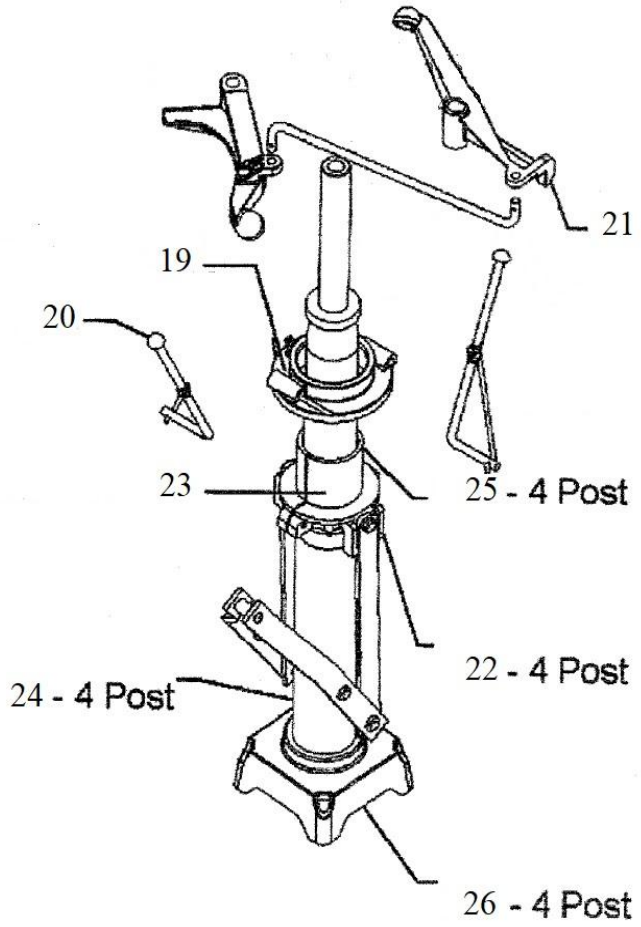


parties de Gouvernail

nombres des pièces	DESCRIPTION
9	rossort
10	aile
11	boulon U , étroit
12	rondelle
13	boulon U , large

nombres des pièces	DESCRIPTION
14	rondelle
15	Poignée d'enroulement complète
16	axe
17	support du gouvernail
18	dispositif tampon complet

Figure. (3.23). Les pièces du gouvernail



pièces de mât

nombres des pièces	DESCRIPTION
19	anneau d'enroulement supérieur
20	bras d'enroulement
21	moulage du coccyx
22	levier d'enroulement complet
23	anneau d'enroulement inférieur

nombres des pièces	DESCRIPTION
24	mât à large base
25	anneau d'enroulement inférieur
26	base du mât uniquement

Figure. (3.24). Les pièces de mât

3.10. Conclusion :

La conception des différentes composantes d'une éolienne a permis de définir les formes géométriques réelles des pièces, des assemblages et des éléments individuels qui composent l'éolienne. Cette approche met en évidence l'importance de la modélisation géométrique et les capacités du logiciel Solidworks pour atteindre cet objectif.

Conclusion générale

En conclusion, la présente memoire a démontré l'efficacité de l'approche d'ingénierie inverse combinée avec l'utilisation du logiciel Solidworks pour la conception et l'amélioration d'éoliennes existantes. En démentant chaque composant de l'éolienne existant à l'unité de maintenue pour éventuelle fabrication à leur niveau et en utilisant Solidworks pour créer des modèles géométriques précis, il a été possible de reproduire fidèlement les pièces, les assemblages et les parties individuelles.

Cette approche nous a permis d'optimiser la conception de l'éolienne, d'améliorer ses dimensions. L'utilisation de Solidworks s'est avérée essentielle, offrant des fonctionnalités avancées de modélisation géométrique et une interface conviviale qui a facilité le processus de conception.

L'application de l'ingénierie inverse à la conception d'éoliennes existantes ouvre de nouvelles perspectives pour l'industrie éolienne. Elle permet d'adapter les éoliennes aux besoins spécifiques des projets futurs, d'améliorer leur efficacité énergétique, leur fiabilité et leur durabilité. De plus, cette approche favorise l'innovation en encourageant l'introduction de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux dans la conception des éoliennes.

En résumé, l'utilisation de l'ingénierie inverse et du logiciel Solidworks pour la conception d'éoliennes existantes offre une méthode efficace pour améliorer les performances et optimiser la conception de ces systèmes énergétiques durables. Cette approche contribue à l'avancement de l'industrie éolienne en proposant des solutions plus efficaces, rentables et respectueuses de l'environnement, tout en favorisant l'innovation et la durabilité.

Références:

1. Smith, J. (2020). Wind Energy: An Introduction. Cambridge University Press.
2. Ackermann, T., et al. (2019). Wind Power: Renewable Energy Systems. Wiley.
3. Abbasi, T., et al. (2012). A review of environmental effects and alternative configurations for the Darrieus wind turbine. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(1), 322-329.
4. Tudorache, T., et al. (2018). Small wind turbines: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81(Part 2), 1931-1943.
5. Ackermann, T. (2005). Wind Power in Power Systems. John Wiley & Sons.
6. Aitken, H. (2009). The Continuous City: A Photographic Exploration of Urbanization. Random House.
7. Leppänen, S. (2016). Poul la Cour and the Danish Windmill Experiment, 1890–1919. In Wind Energy and Wildlife Interactions (pp. 21-30). Springer.
8. Haldane, J. B. S. (1923). Daedalus or Science and the Future. E. P. Dutton & Co.
9. Romani, L., & Romani, M. (2013). Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Springer Science & Business Media.
10. Réseau de Transport d'Électricité (RTE). (2014). Bilan électrique de la France en 2013. RTE.
11. Bader, R. (2008). L'énergie éolienne: Histoire et évolution d'une filière industrielle. Presses Universitaires de Rennes.
12. Global Wind Energy Council (GWEC). (2021). Global Wind Report 2021. GWEC.
13. REN21. (2021). Renewables 2021 Global Status Report. REN21 Secretariat.
14. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). Renewable Power Generation Costs in 2020. IRENA.
15. IPCC. (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
16. Global Wind Energy Council (GWEC). (2021). Global Wind Report 2021. GWEC.
17. Global Wind Energy Council (GWEC). (2019). Global Wind Statistics 2018. GWEC.
18. Programme des énergies renouvelables (EnR 2015-2030) - Ministère de l'Energie Algérie.
19. Loi n° 02-01 du 05 février 2002 modifiée et complétée, relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations.
20. Loi n° 04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
21. Loi n° 09-09 du 30 décembre 2009 portant loi de finances pour 2010.
22. Loi n° 11-11 du 18 juillet 2011 portant loi de finances complémentaire pour 2011.
23. Loi n° 14-10 du 30 décembre 2014 portant loi de finances pour 2015.
24. Décret exécutif n° 13-218 du 18 juin 2013 fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité.
25. Décret exécutif n° 15-69 du 11 février 2015 fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable et de l'usage de ces certificats.
26. Décret exécutif n° 15-319 du 13 décembre 2015 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-131 intitulé "Fonds national pour la maîtrise de l'énergie et pour les énergies renouvelables et de la cogénération".
27. Arrêté du 2 février 2014 fixant les tarifs d'achat garantis et les conditions de leur application pour l'électricité produite à partir des installations utilisant la filière éolienne.

28. Arrêté du 21 février 2008 fixant les règles techniques de raccordement au réseau de transport de l'électricité et les règles de conduite du système électrique.
29. "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application" par James F. Manwell, Jon G. McGowan, and Anthony L. Rogers.
30. "Wind Energy Handbook" par Tony Burton, Nick Jenkins, David Sharpe, et Ervin Bossanyi.
31. "Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering" par Ahmad Hemami.
32. "Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation" par Robert Gasch et Jochen Twele.
33. "Renewable and Efficient Electric Power Systems" par Gilbert M. Masters.
34. Hall, D.G.E. (1987). "Water Pumping Windmills: A Handbook on Their Theory and Design." Intermediate Technology Publications.
35. Duffie, John A., and William A. Beckman. (2013). "Solar Engineering of Thermal Processes." John Wiley & Sons.
36. Manwell, J.F., McGowan, J.G., and Rogers, A.L. (2009). "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application." John Wiley & Sons.
37. Cretu, Laura, and Robert Cretu. (2014). "Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction, and Operation." CRC Press.
38. Sathyajith, Mathew. (2017). "Introduction to Wind Energy Systems: Basics, Technology, and Operation." Springer.
39. Acharjee, Tapas, et al. (2021). "Wind Energy for Water Pumping: Current Status and Future Perspectives." Energies, vol. 14, no. 12, article 3685.
40. Lu, Lin, et al. (2020). "An Overview of Wind Energy for Water Pumping Applications." Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 119, article 109617.
41. Hamisu, Abdulrahman, et al. (2020). "Wind Energy for Water Pumping in Developing Countries: Challenges and Opportunities." Energy for Sustainable Development, vol. 55, pp. 186-205.
42. Altin, Müfit Bahadir, et al. (2017). "A Review on Water Pumping Methods Using Renewable Energy Sources." Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 79, pp. 925-935.
43. Siddiqui, Mohammad Shafiqur Rahman, et al. (2017). "A Review on Wind Energy Conversion Systems for Water Pumping Applications." Energy Reports, vol. 3, pp. 220-232.
44. Sørensen, Jens Nørkær. (2017). "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application." John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-11141-1.
45. Manwell, James F., McGowan, Jon G., & Rogers, Anthony L. (2010). "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application." John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-470-69915-1.
46. Burton, Tony, et al. (2011). "Wind Energy Handbook." John Wiley & Sons. ISBN: 978-0-470-69982-3.
47. Balzani, Claudio, et al. (2020). "Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering." Springer. ISBN: 978-3-030-44732-2.
48. Gasch, Robert, & Twele, Jochen. (2018). "Windkraftanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit." Springer Vieweg. ISBN: 978-3-658-20260-2. (Note: This reference is in German)
49. . M. saér diop reconception d'une eolinne de pompage pour la socité selmeg au senegal PFE, ingenieur de conception ESP utbm 2000/2001

50. https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/l-eolien-en-chiffres

51. https://jardi-brico.com/les-differents-types-deoliennes/amp/

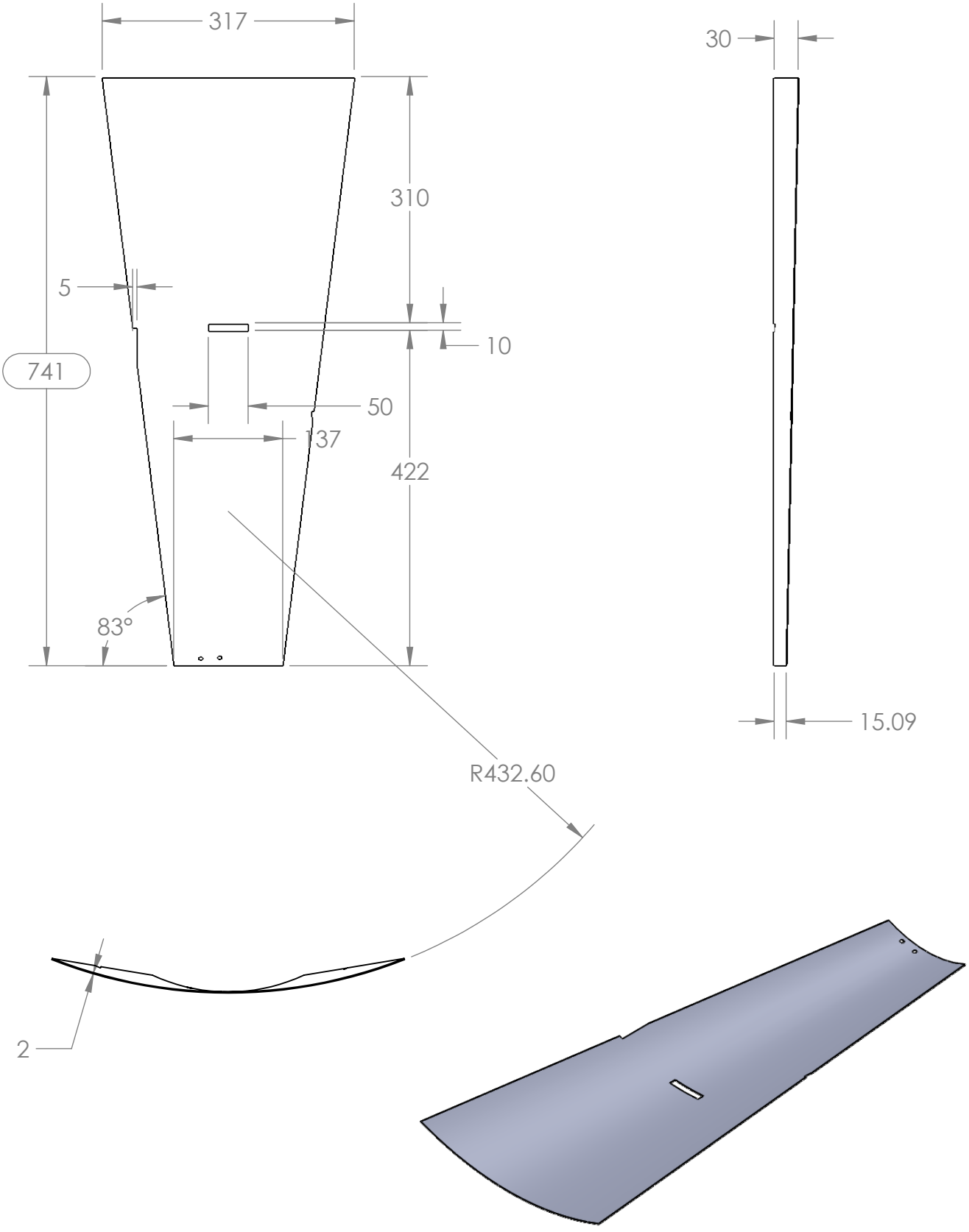
52.https://eolienne.ooreka.fr/comprendre/eolienne-verticale

53. https://docplayer.fr/amp/3660746-Doctorat-en-sciences-optimisation-floue-genetique-d-un-systeme-de-pompage-eolien-guettaf-abderrazak-devant-le-jury-compose-de.html

54.https://heliciel.com/helice/eolienne%20hydrolienne/eolienne-pompage.htm

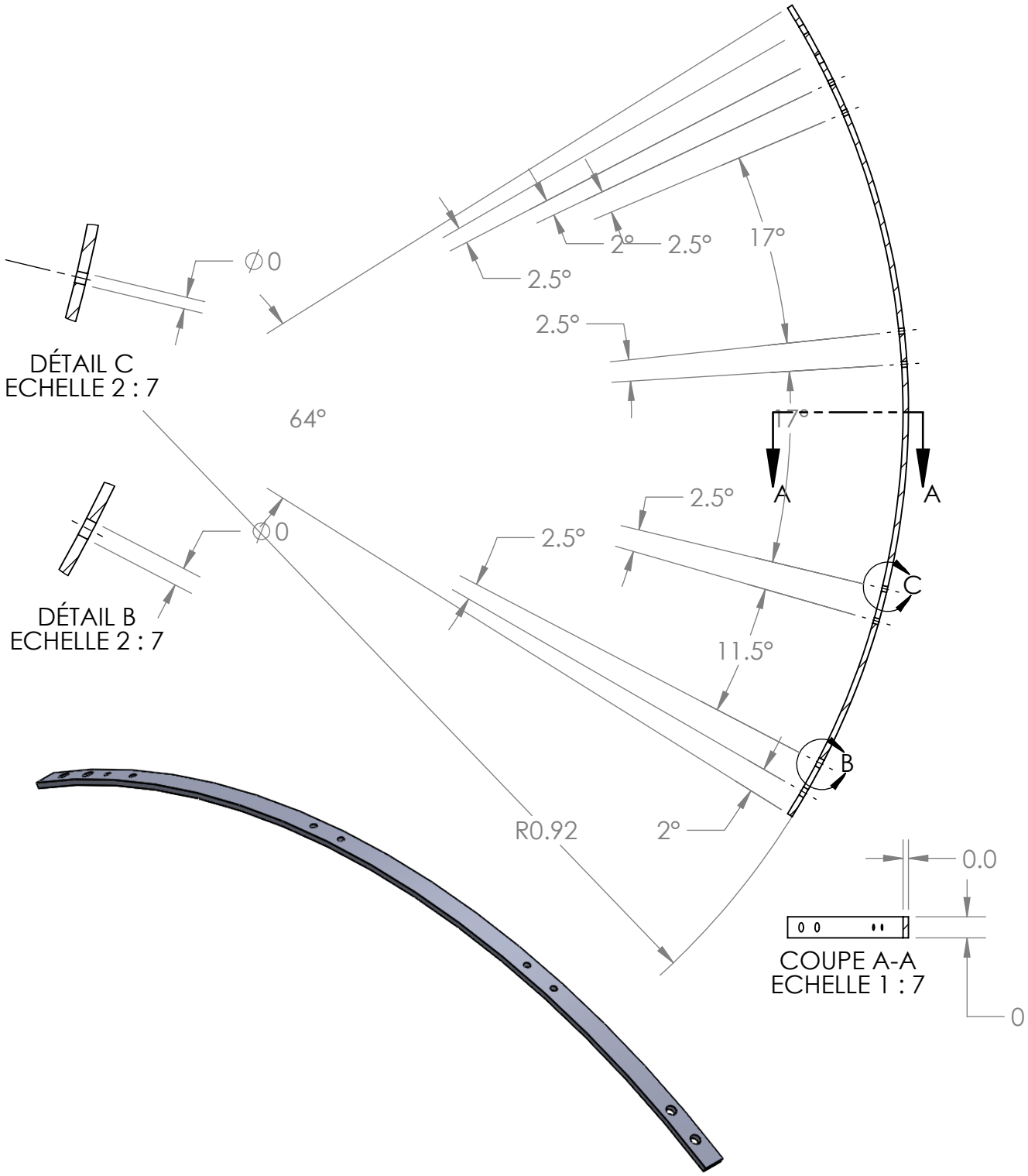
ANNEXES 01:

Dessins techniques technique des eolienes

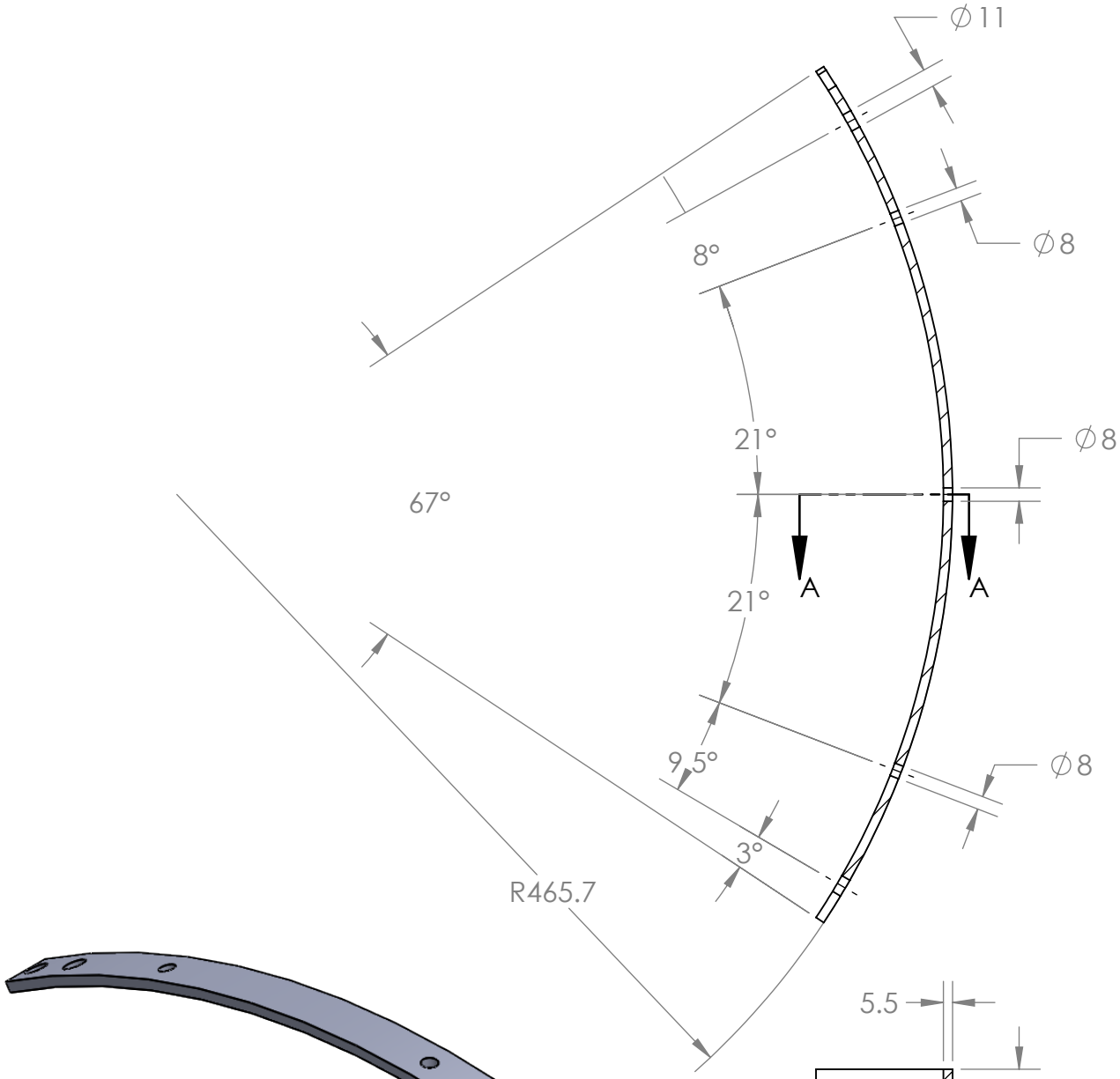


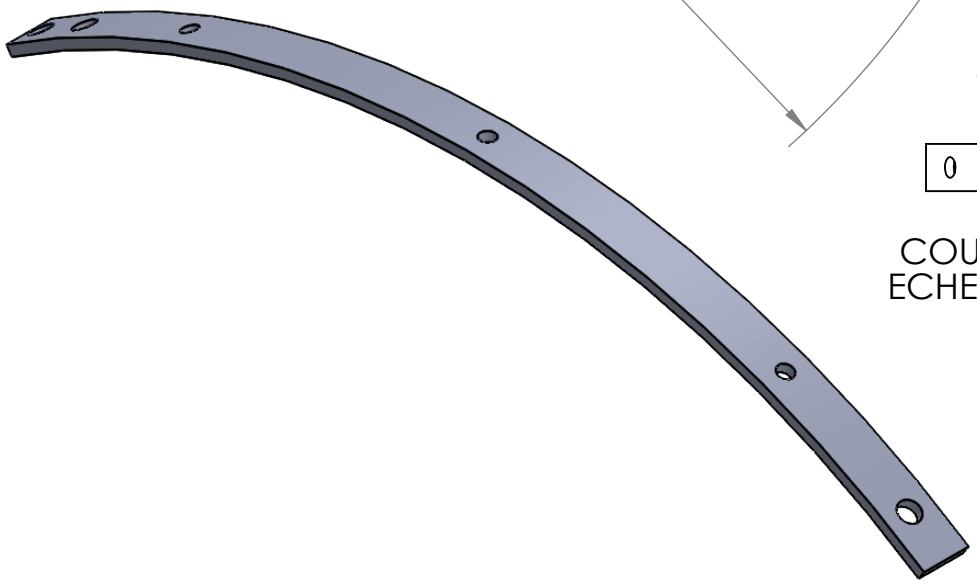
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**
	Da:23/05/2023
Format: A4	ECHELLE:1:7

La Pale

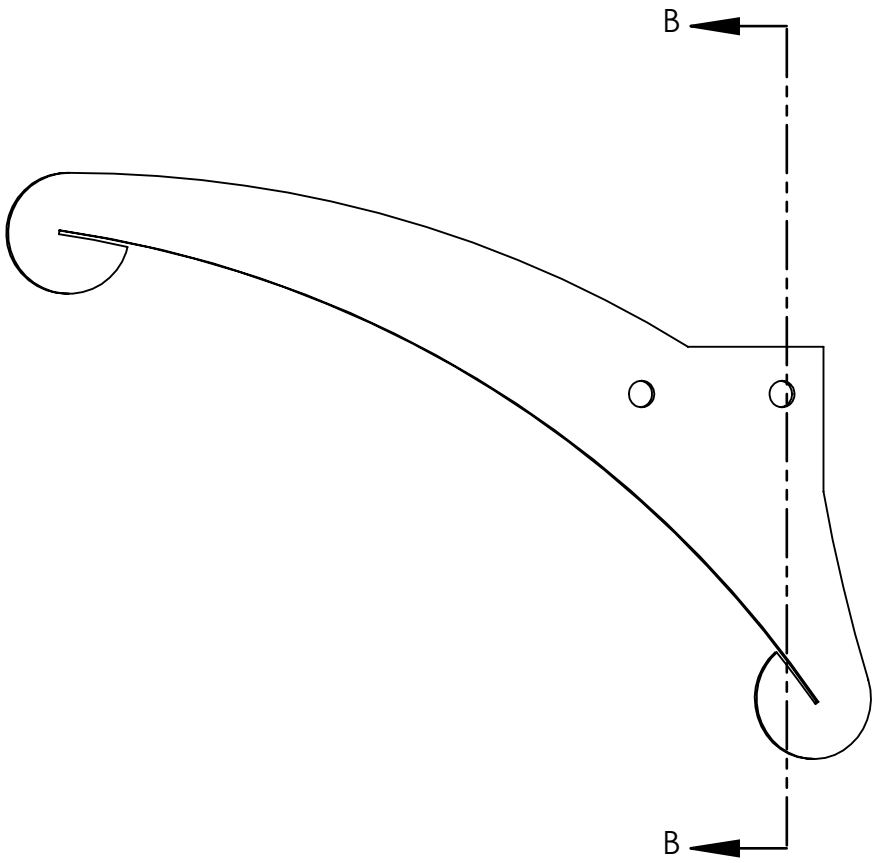


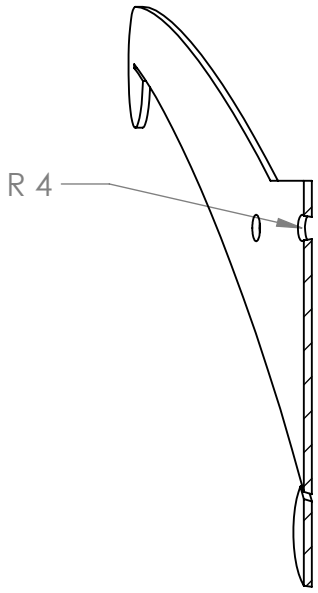
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	cerçeau G.M	Da:01/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:5



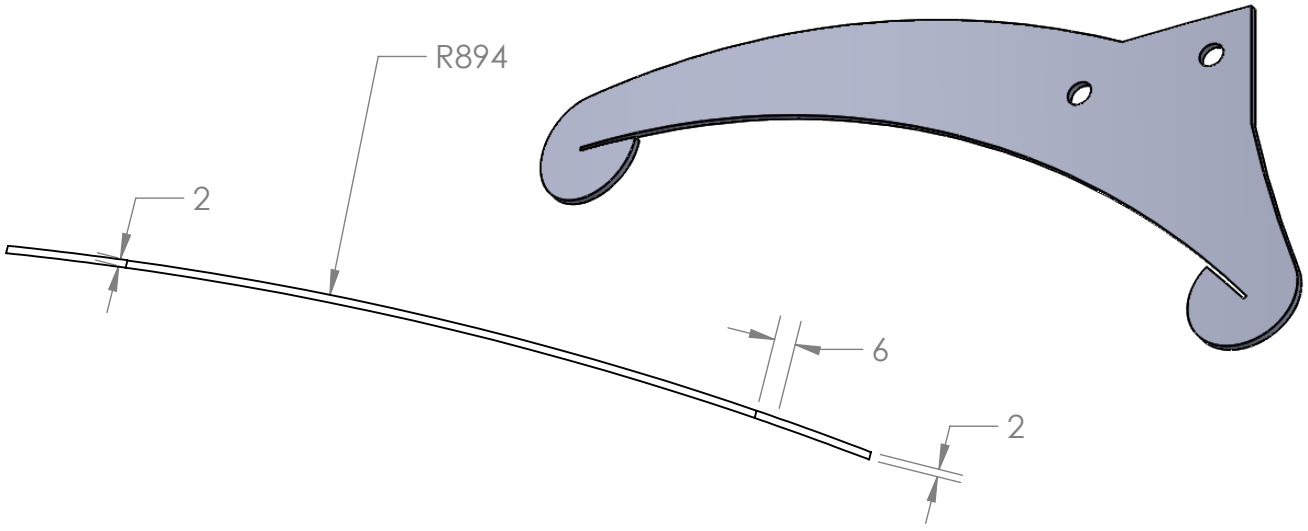


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	cerçeau P.M	Date:01/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:4

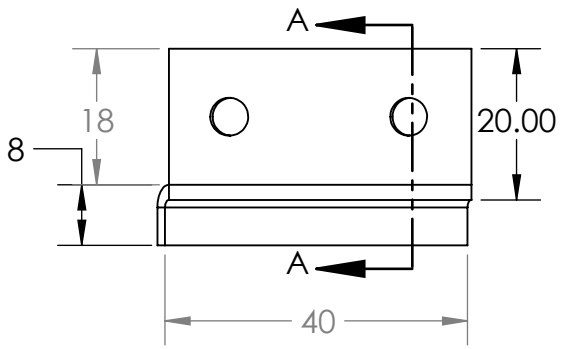


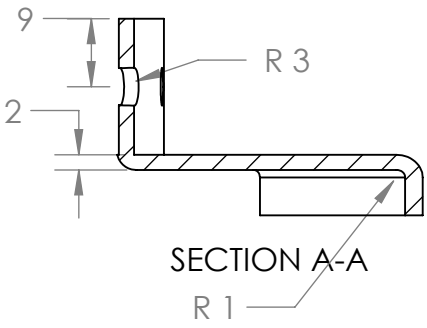


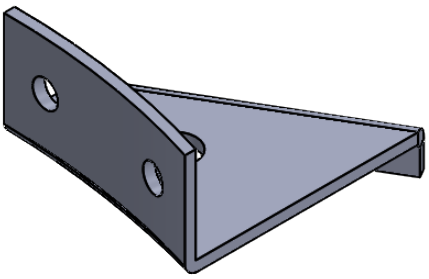
SECTION B-B
SCALE 1 : 2

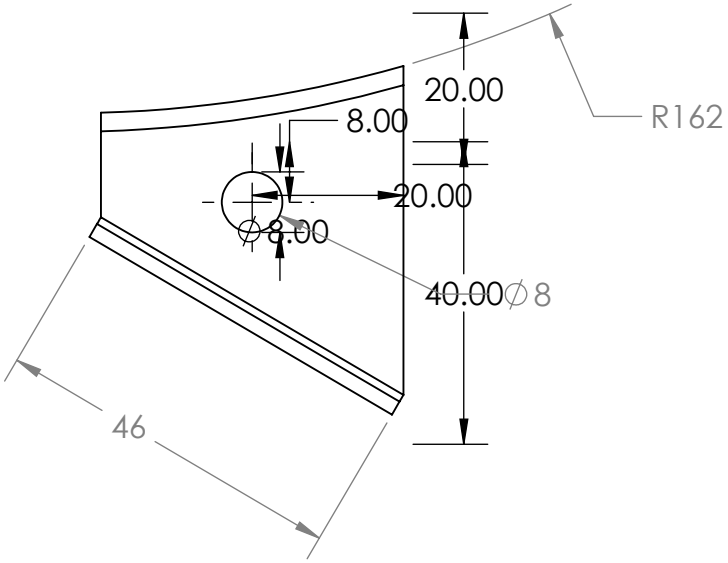


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	nervure d'hélice	Date:01/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:2

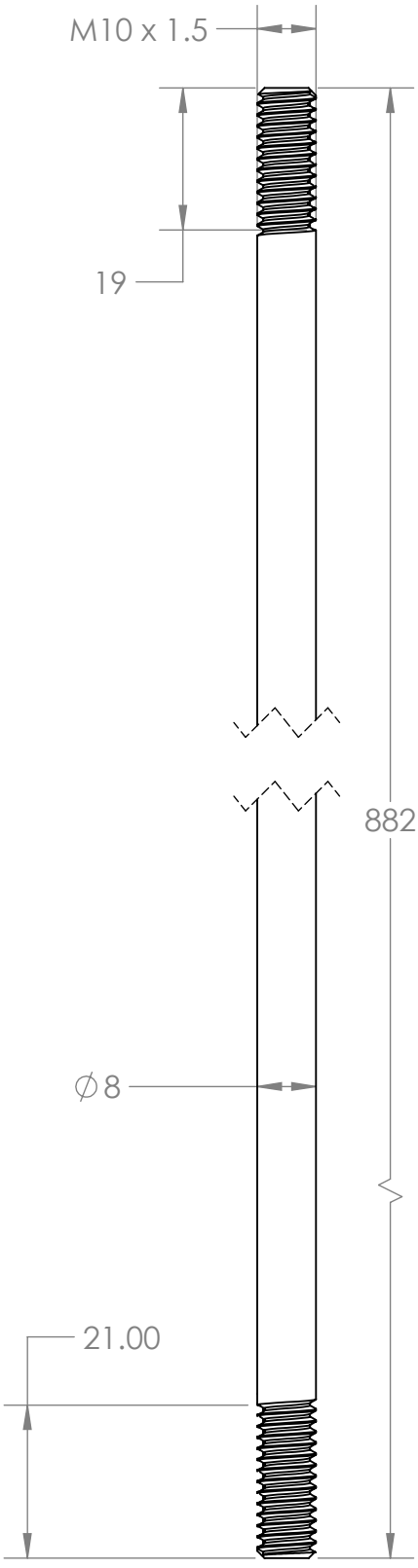




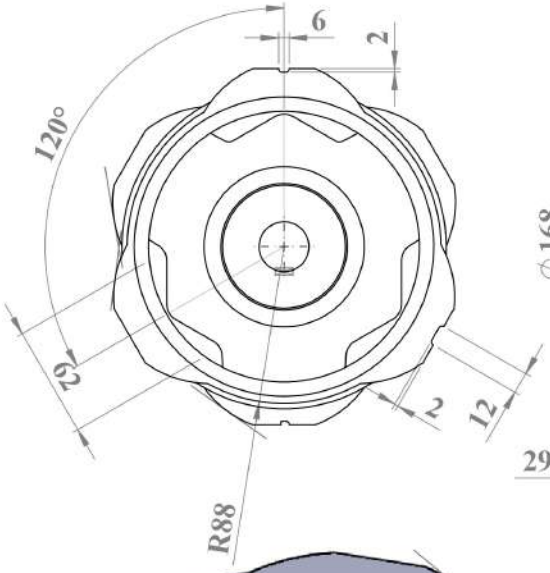


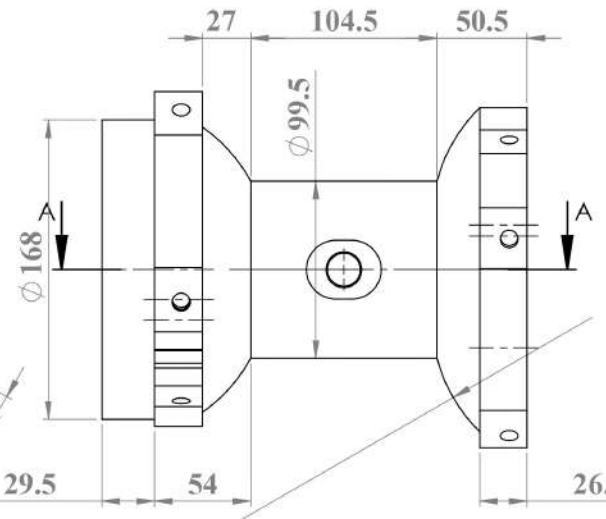


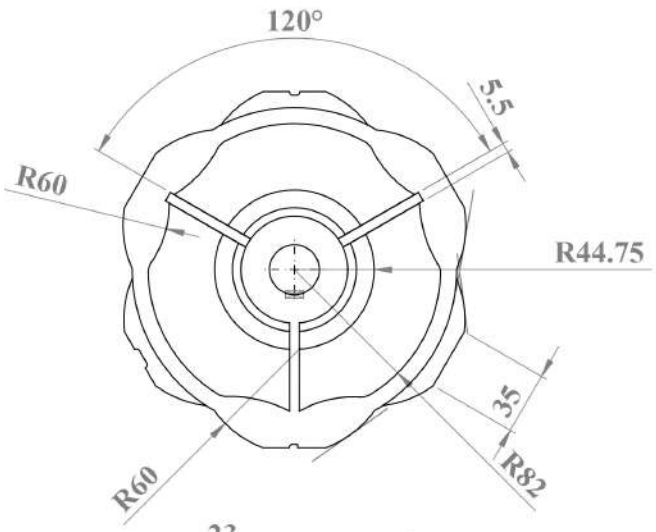
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	support pour helice	Date:01/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:1

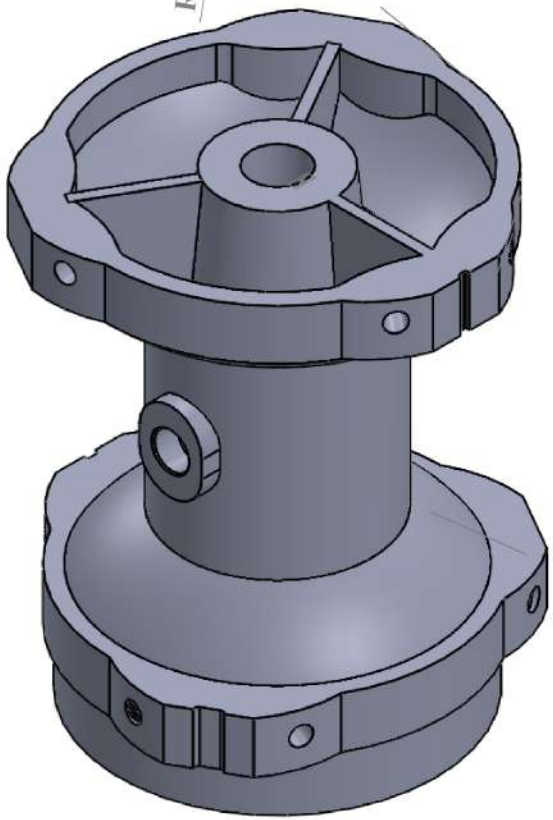


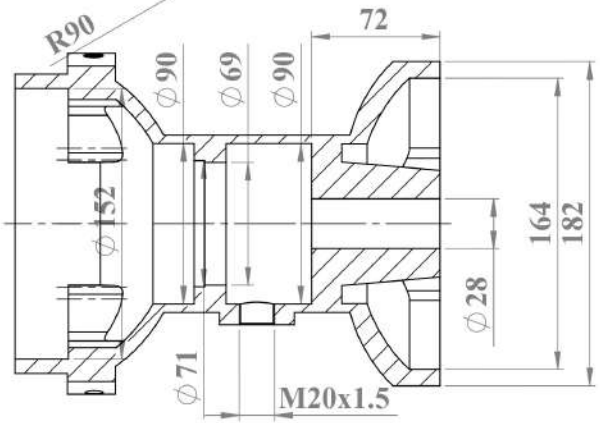
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**
	tige de pale
Format: A4	Date:12/04/2023
	ECHELLE:1:10



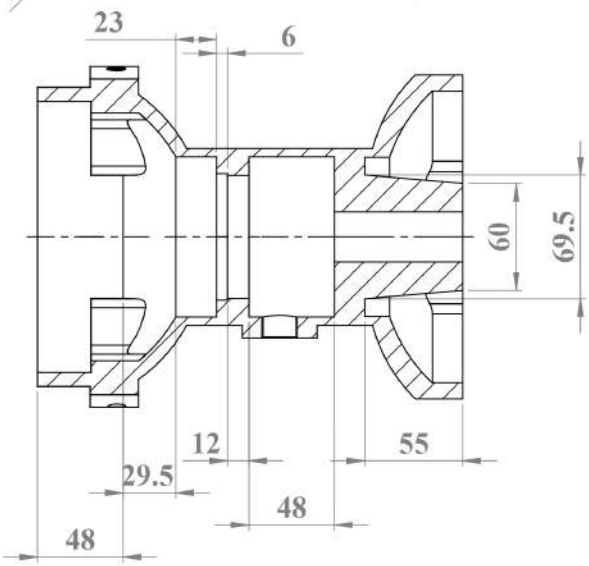








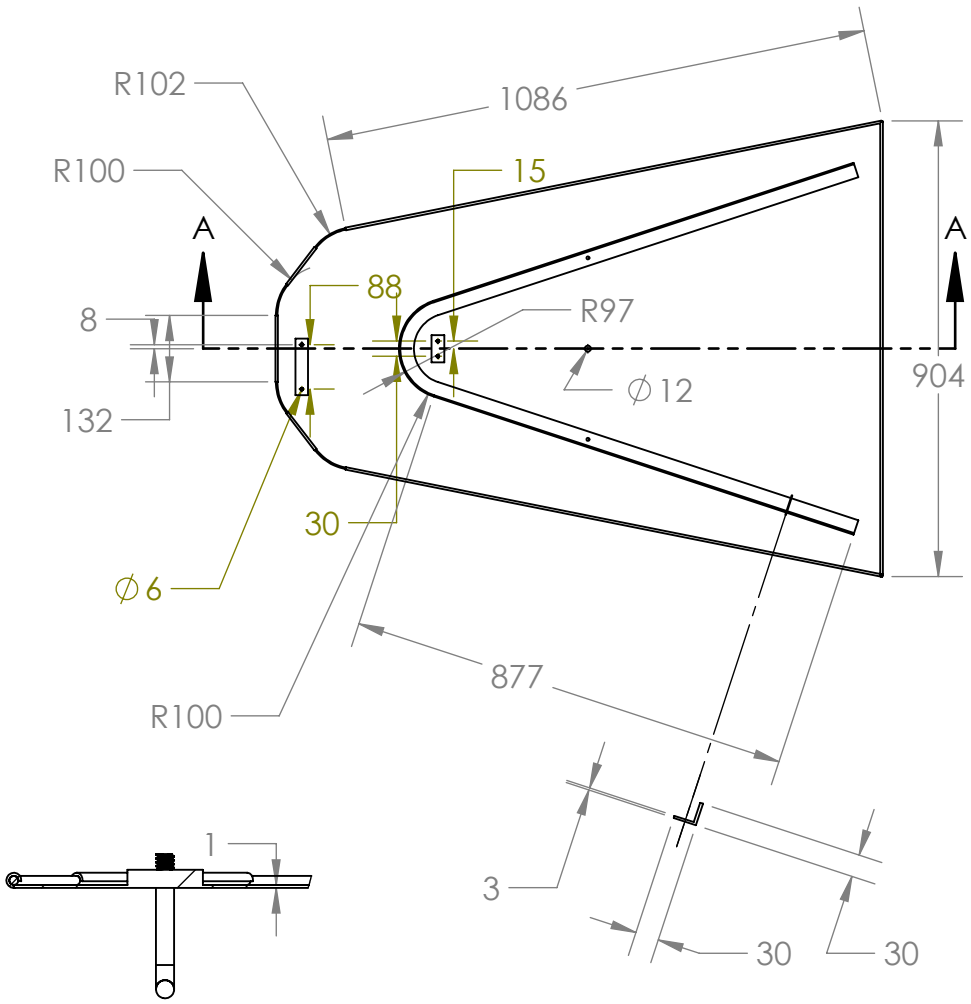
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 3



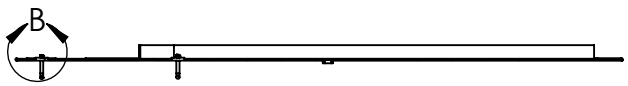
Dessine par : Bayah. A& Soialhi .A	unversite Dr Yahia _MEDEA-	
Format A4	**MOYON**	Da:20/04/2023
		ECHELLE:1:5

ANNEXES02

Dessins techniques gouvenail

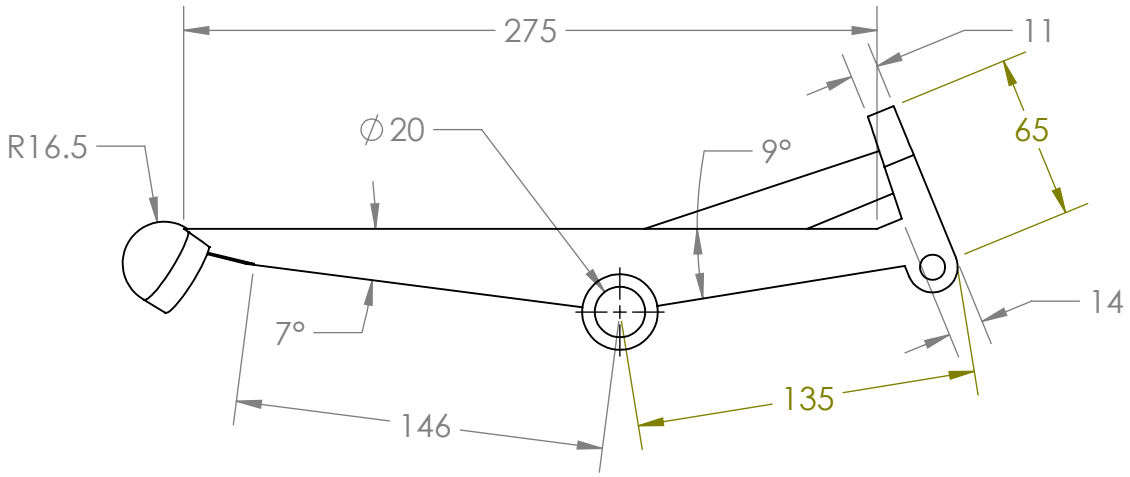


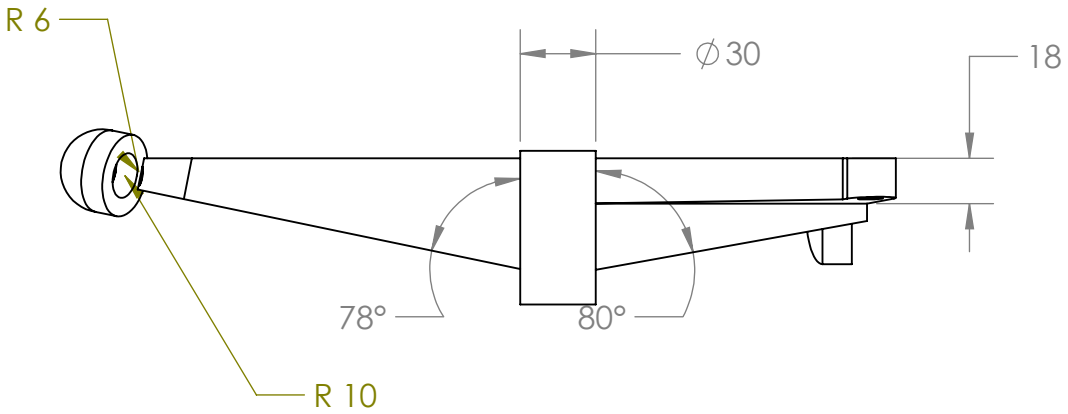
DÉTAIL B
ECHELLE 2 : 5

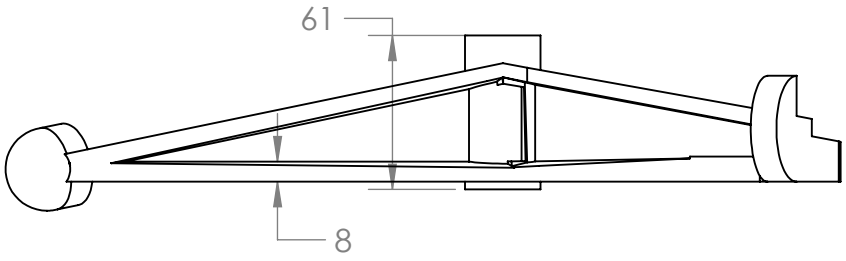


COUPE A-A
ECHELLE 1 : 15

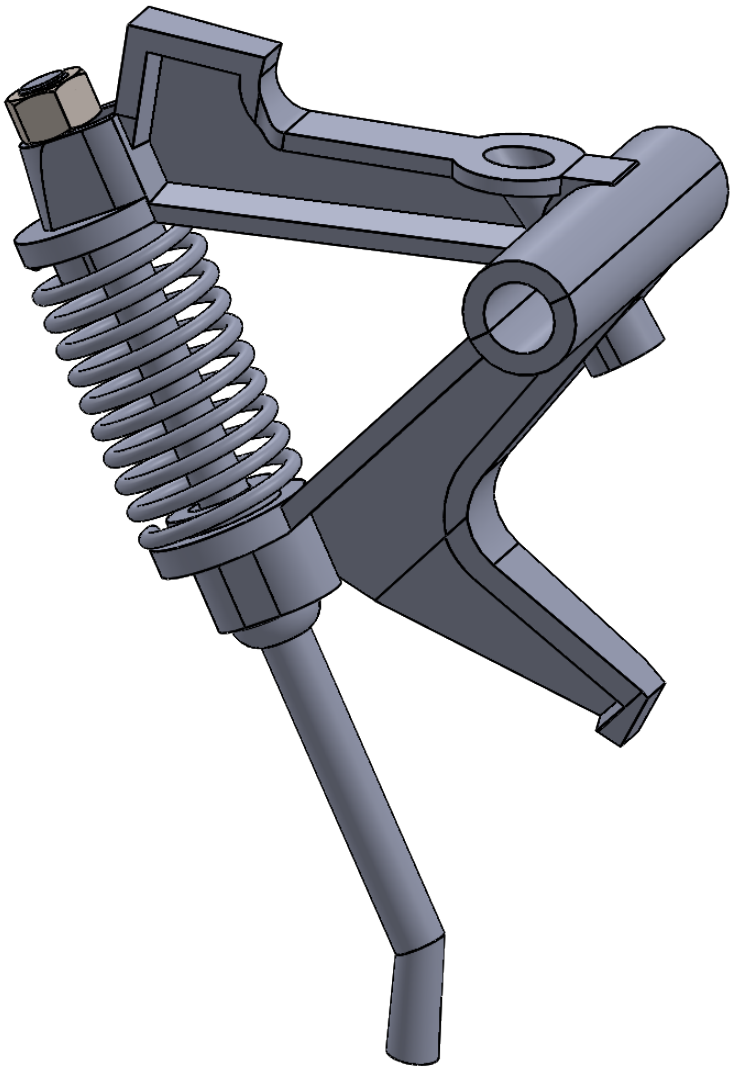
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	Aile	Date:10/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:15



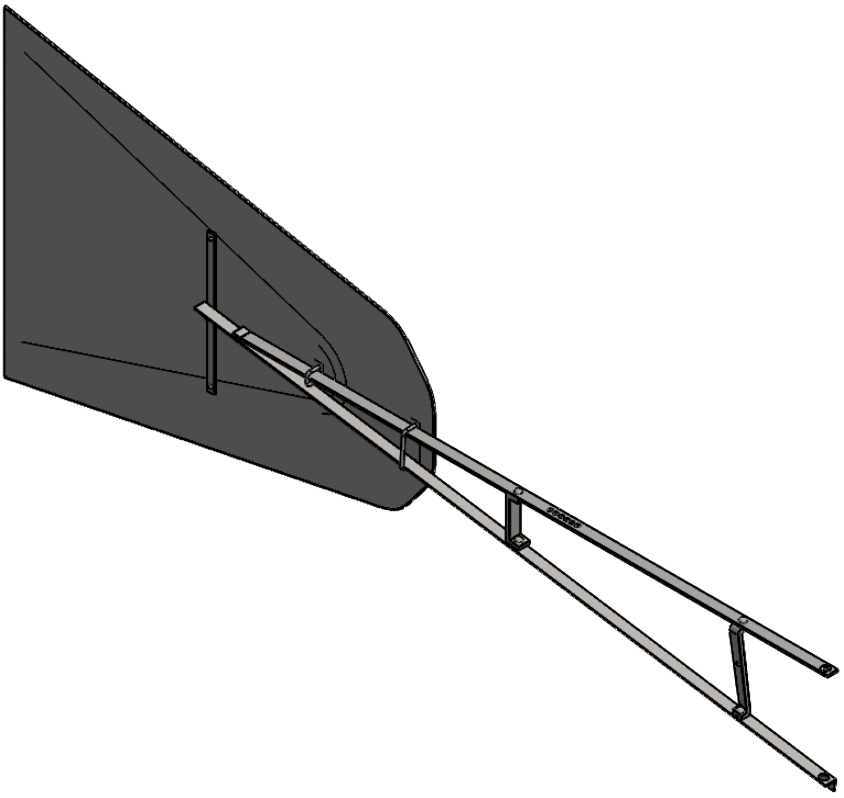


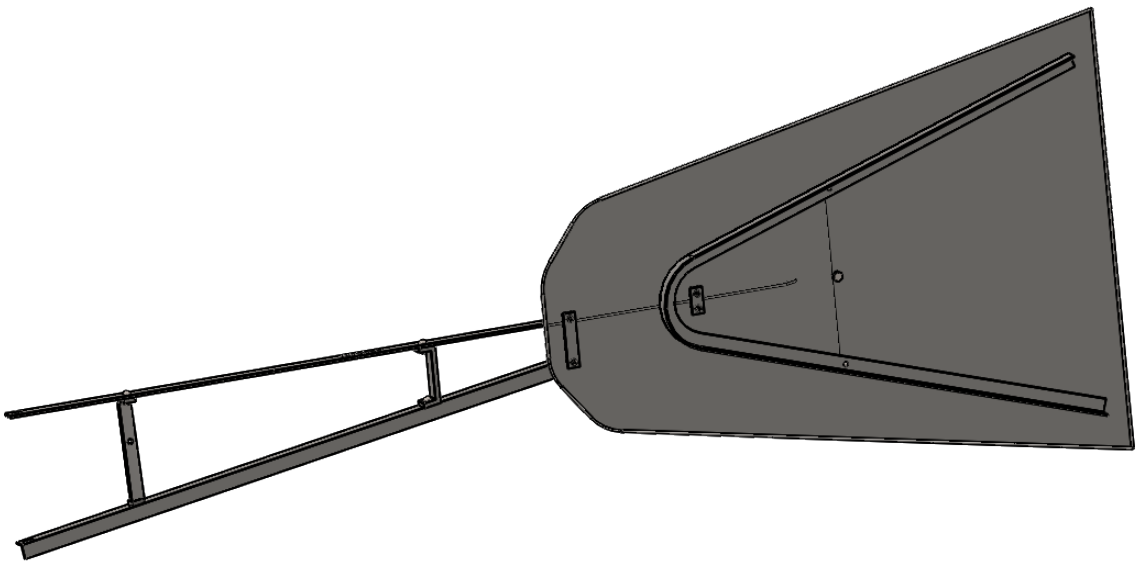


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	articulation en fonte (2)	Date:06/05/2023
Format: A4		ECHELLE1:5

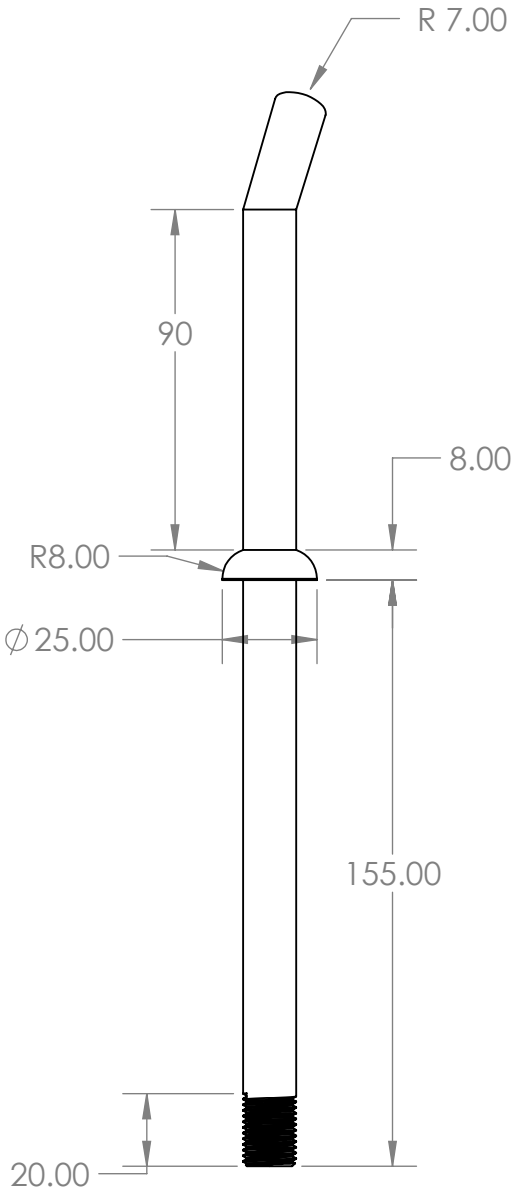


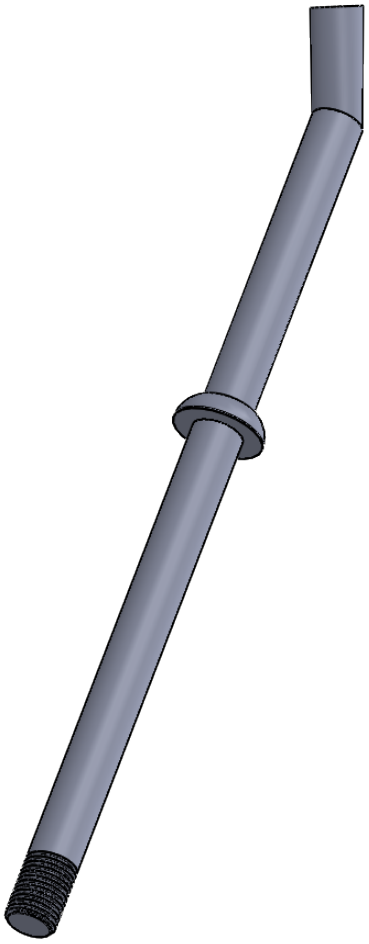
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	Assemblage dispositif tampon complet	Da:28/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:2



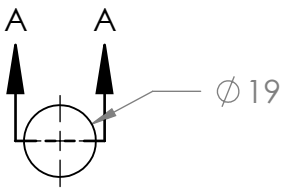


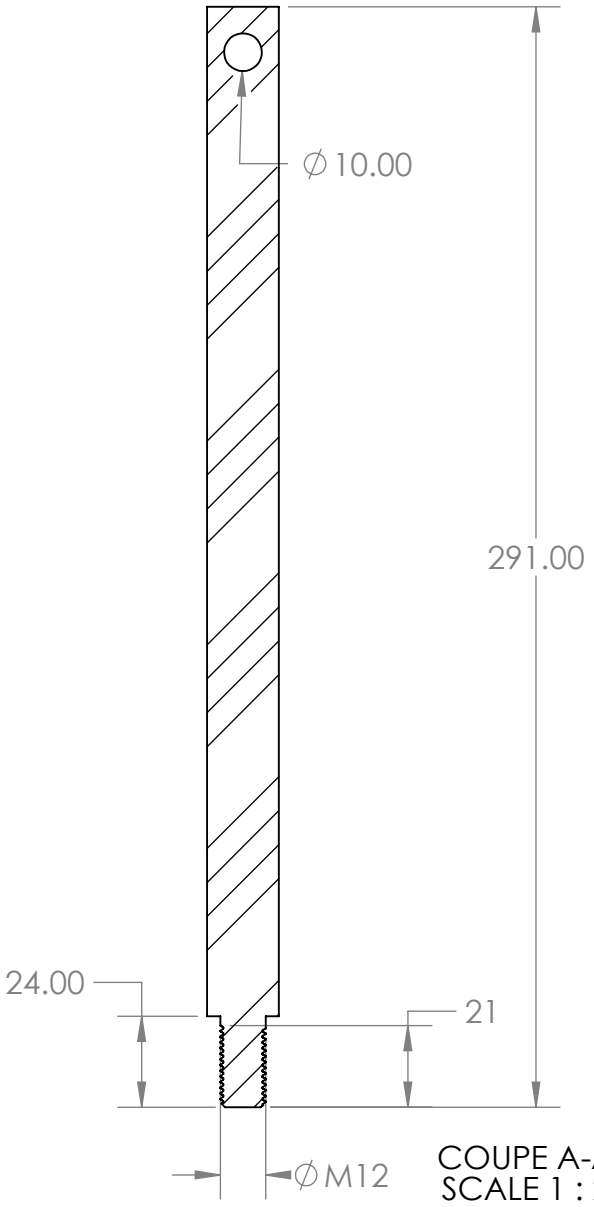
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	Draw1	Date:17/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:15





Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	axe 1	Date:23/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:2

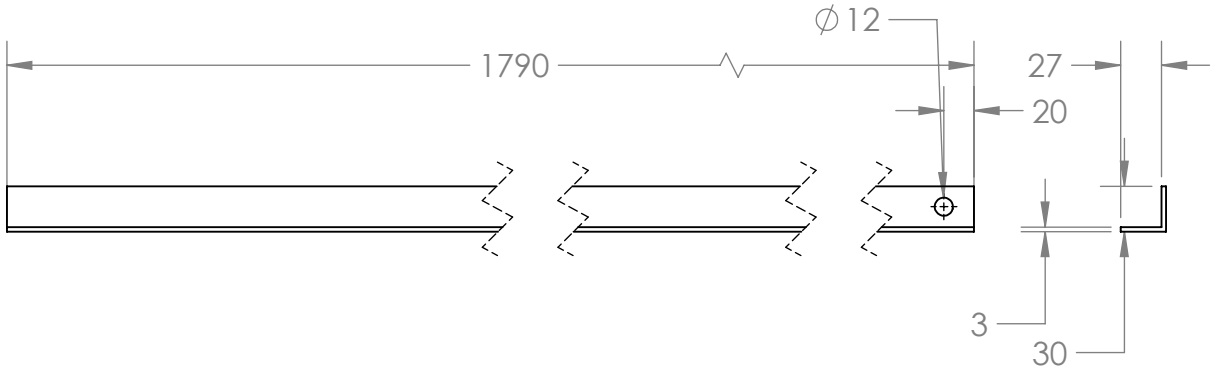


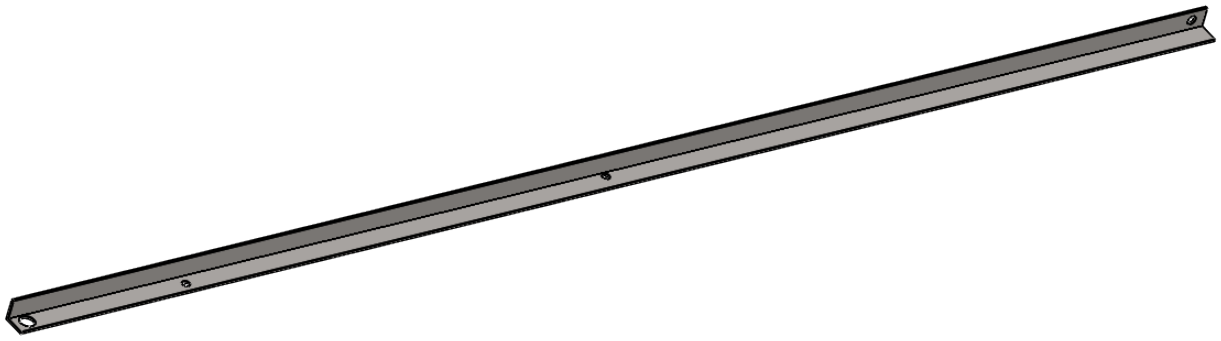


COUPE A-A
SCALE 1 : 2

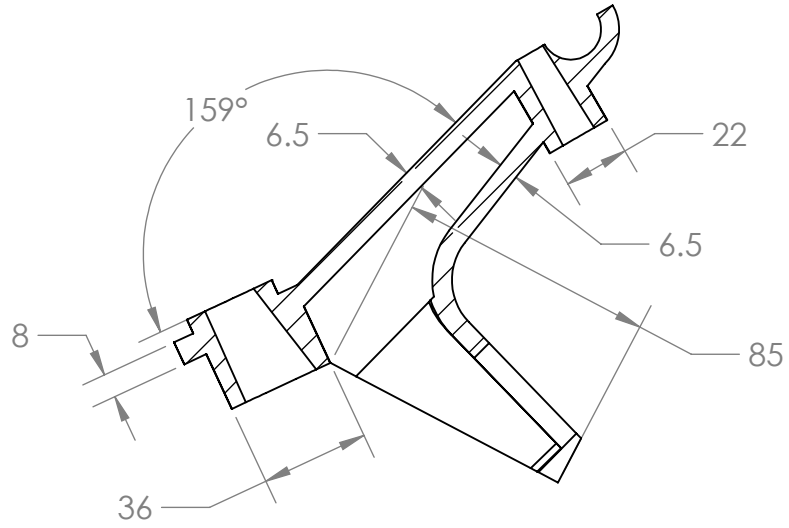


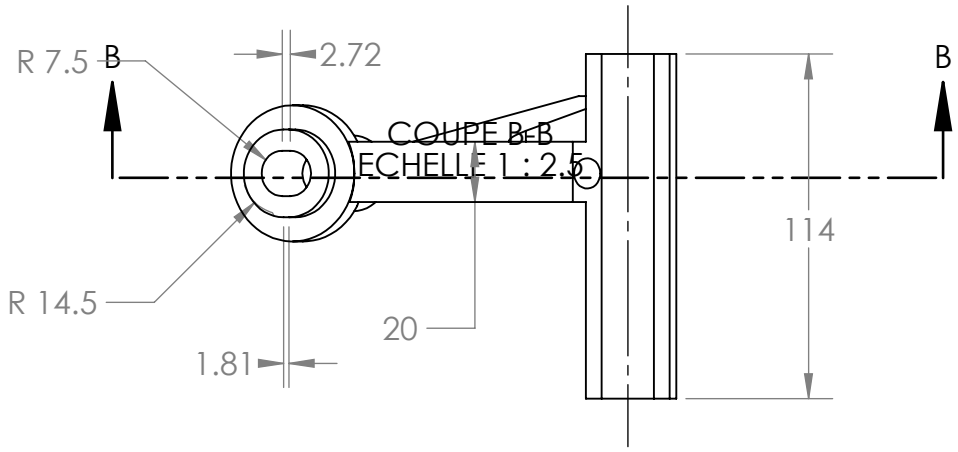
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	axe	Date:10/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:5

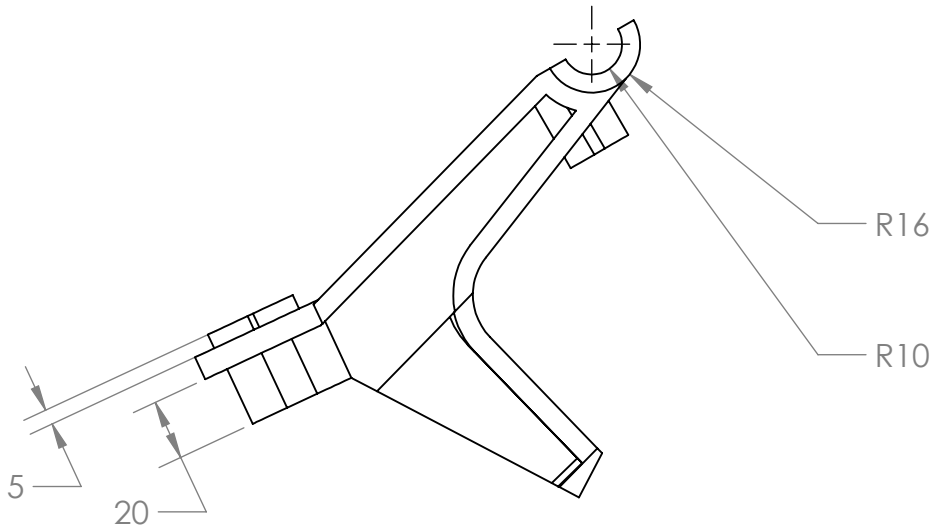




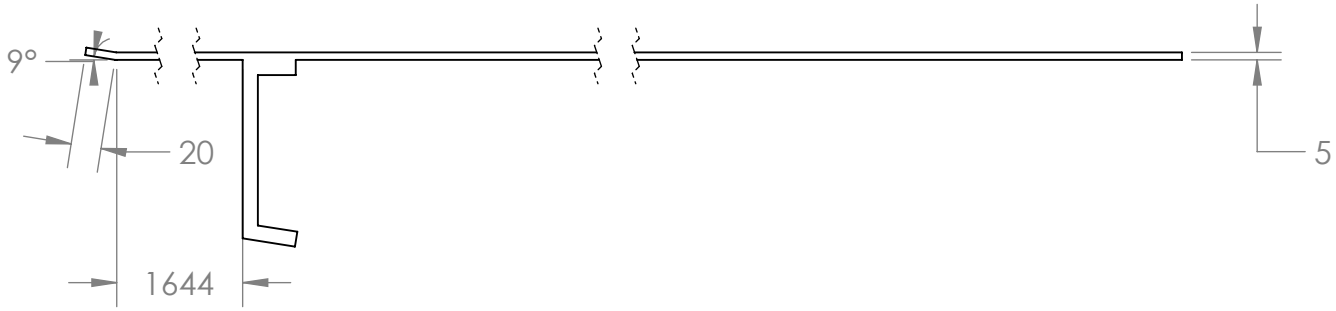
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**		**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**
	coccyx	Date:15/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:20

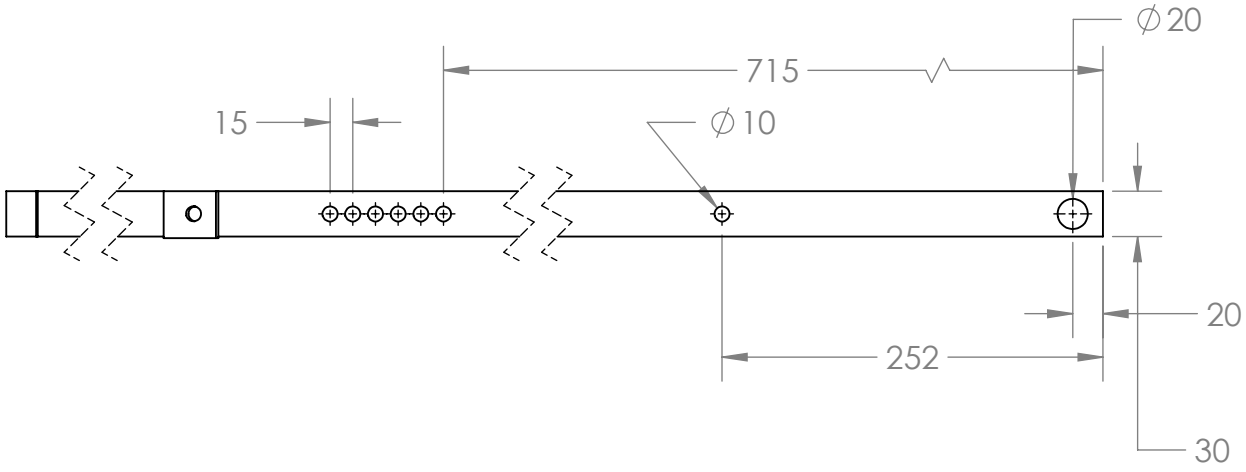




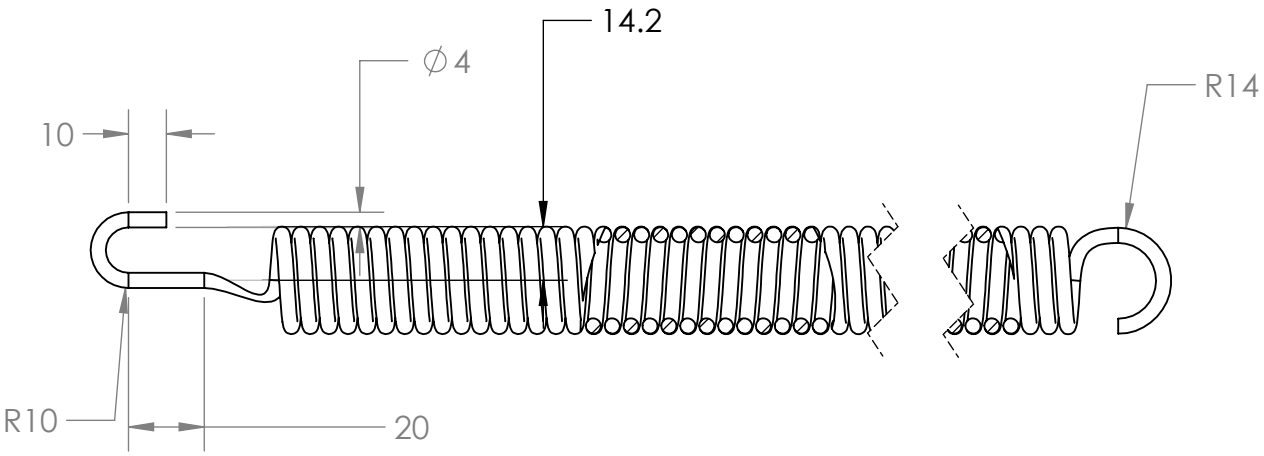


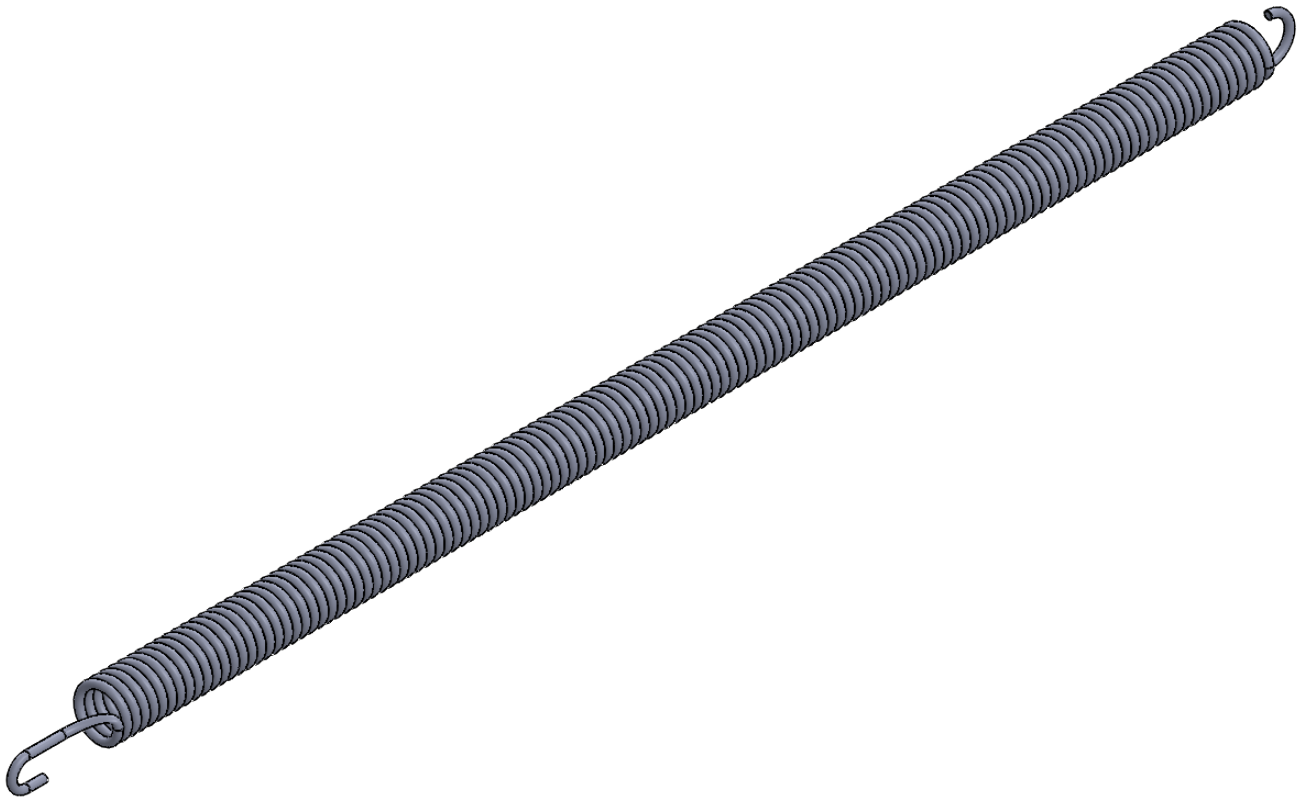
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	dispositif tampon 1	Date:24/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:2.5



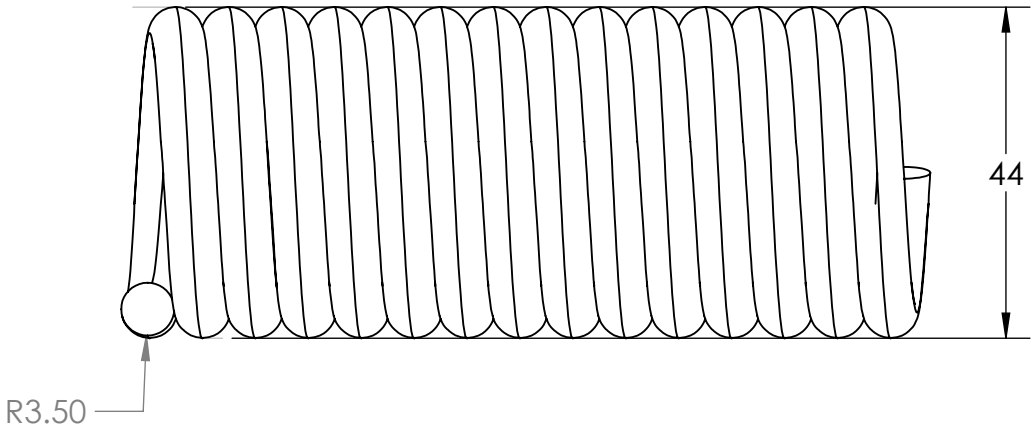


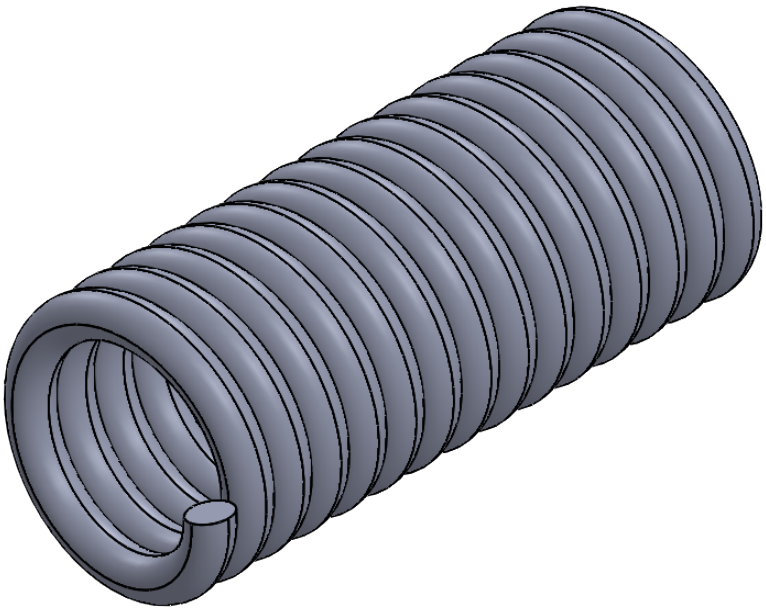
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	fer plat (gouver)	Date:15/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:20



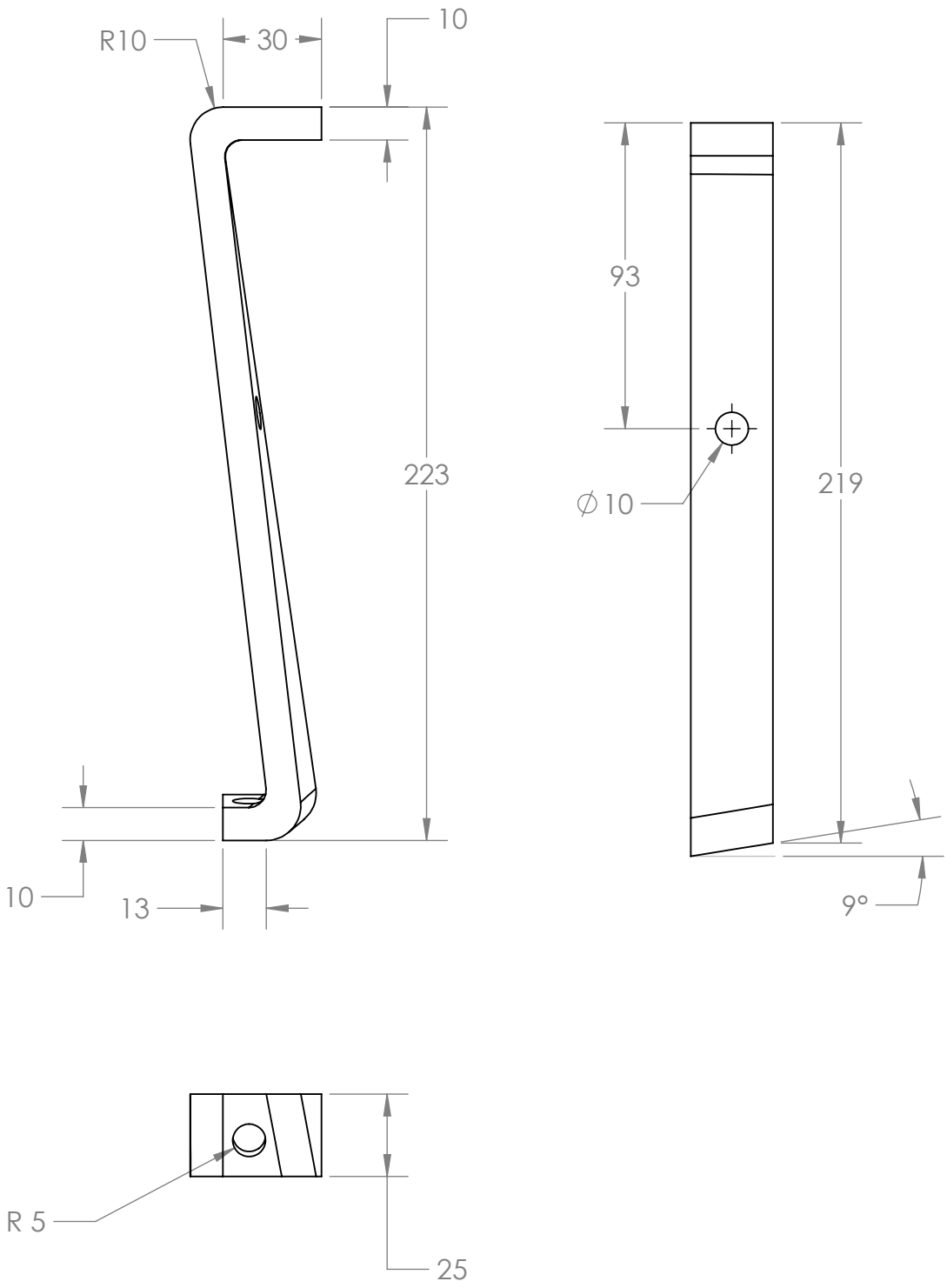


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	ressort 2	Date:15/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:10





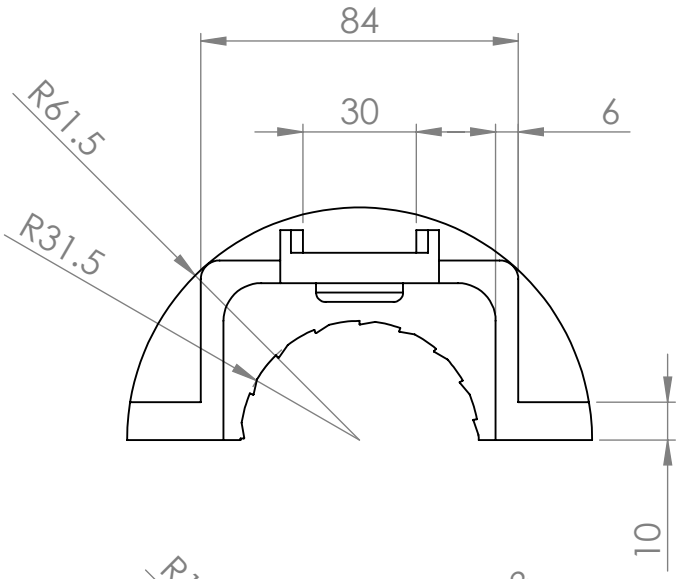
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**		**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**
	ressort	Date:10/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:2

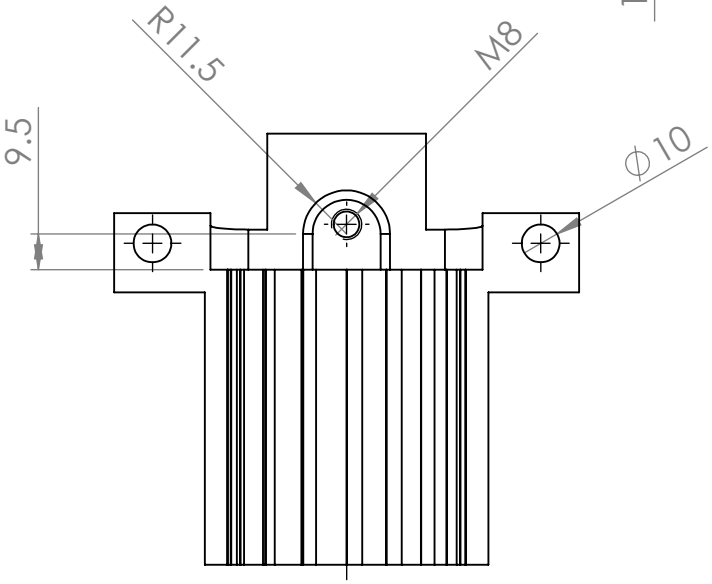


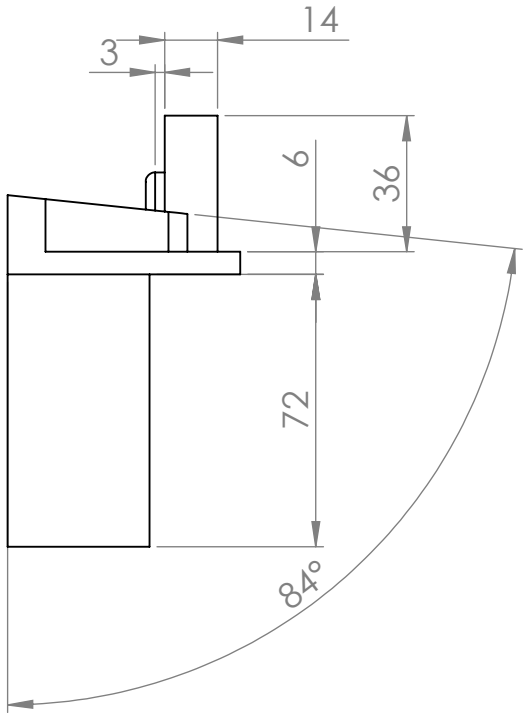
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**		**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**
	support (gouver)	Date:24/05/2025
Format: A4		ECHELLE:1:2

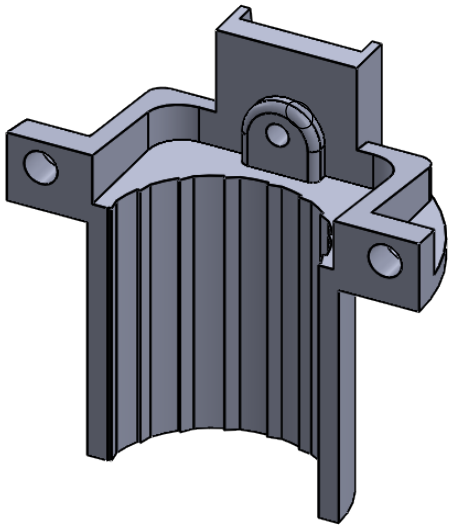
ANNEXES03

Dessins techniques Pièce de frein

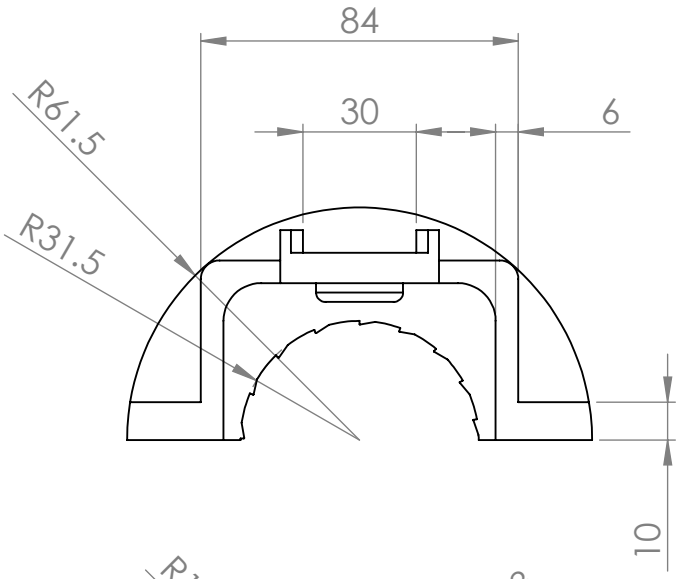


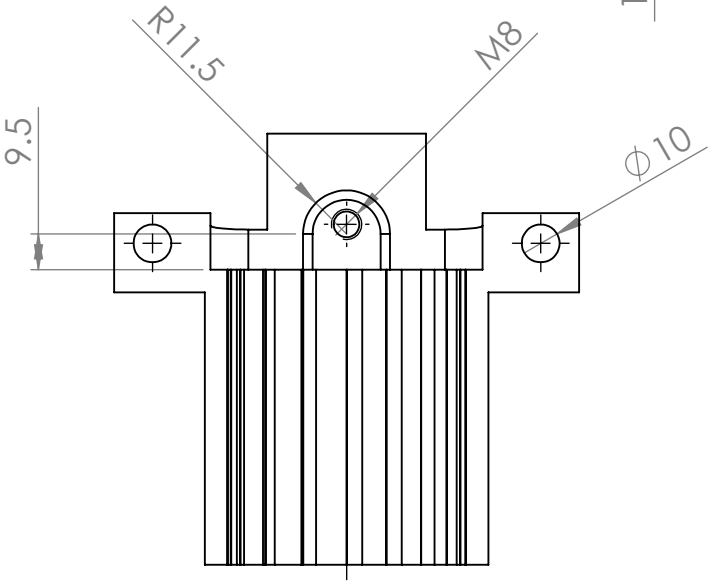


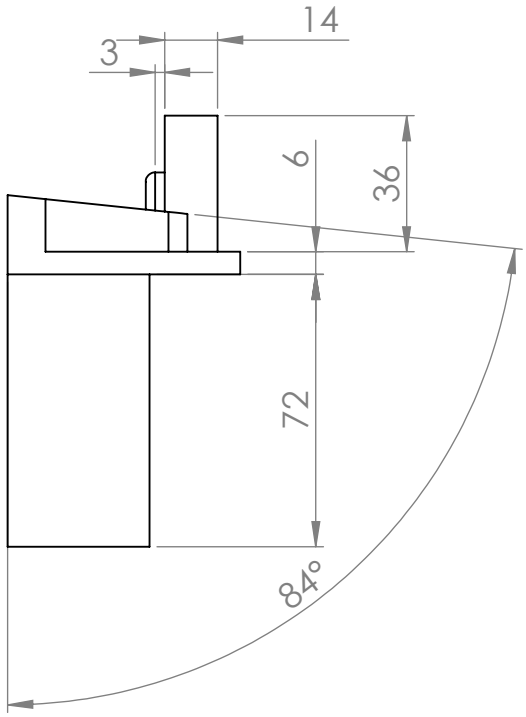


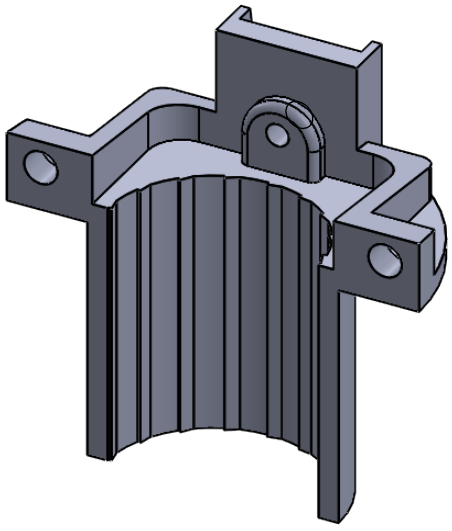


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	anneau d'enroulement inférieur	Date:10/05/2023
Format: A4		ECHELLE: 1:2

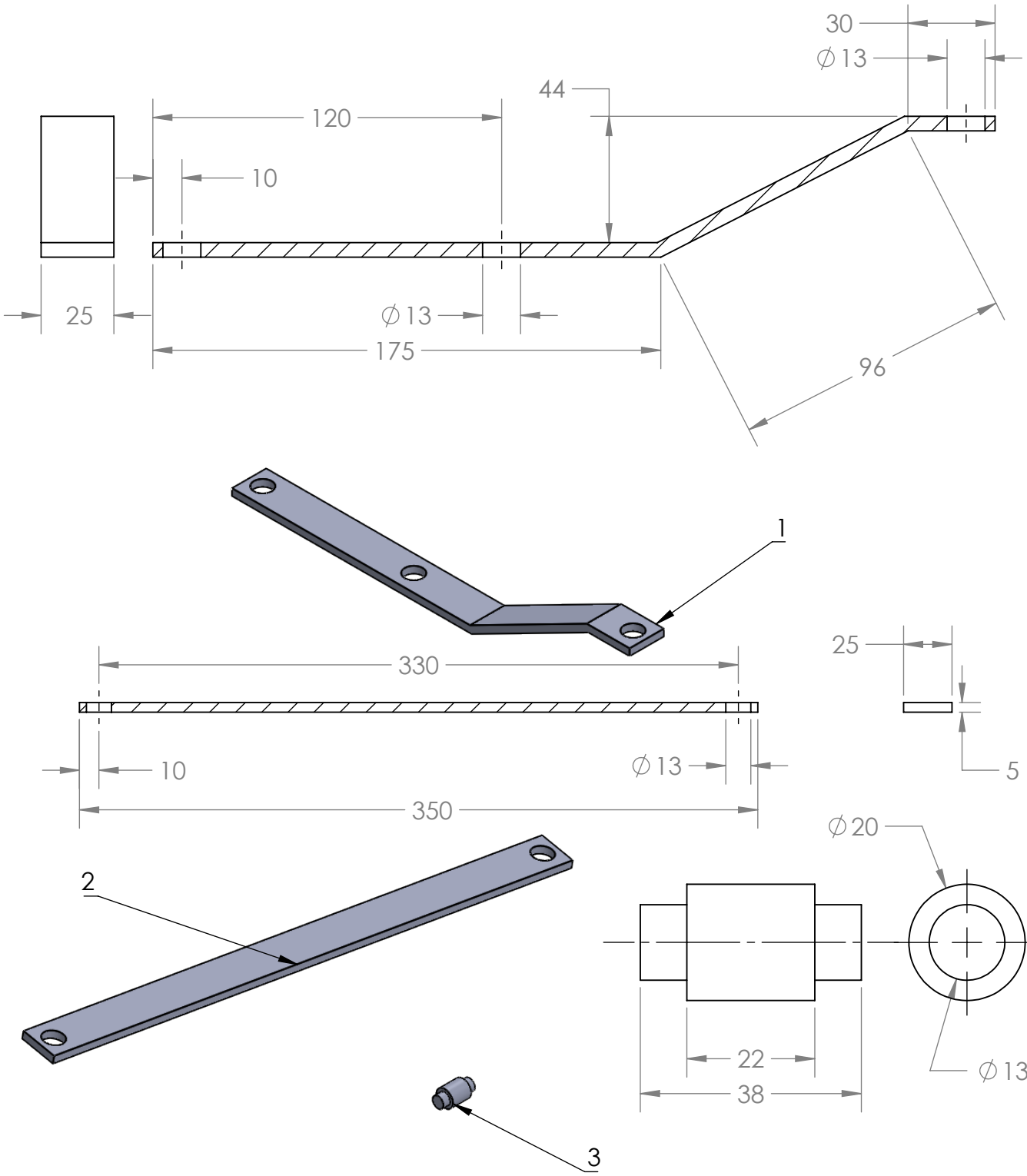




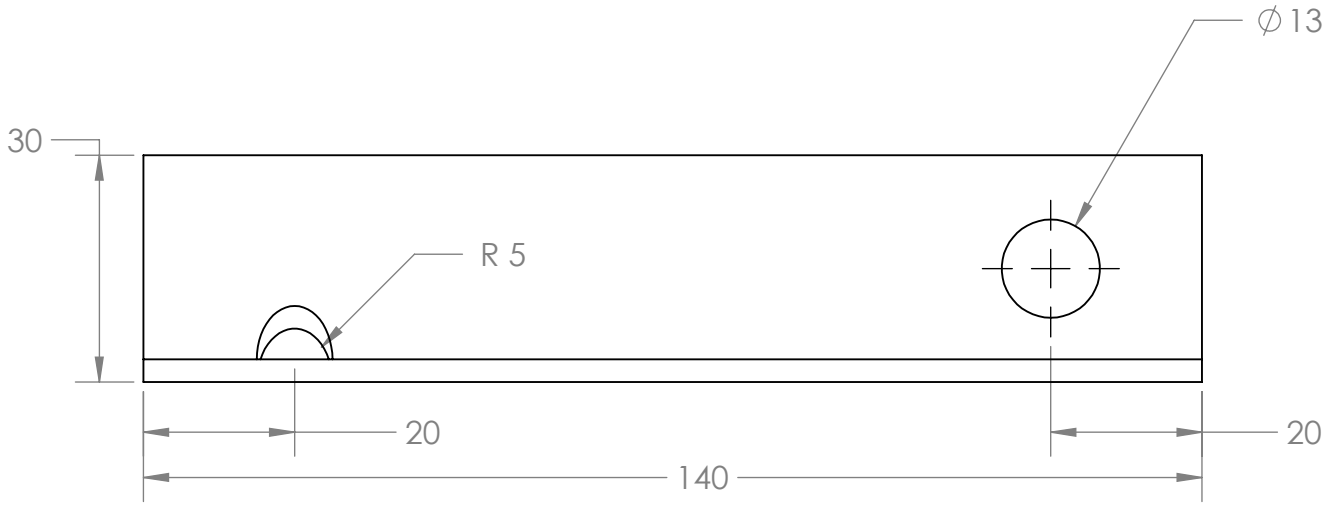


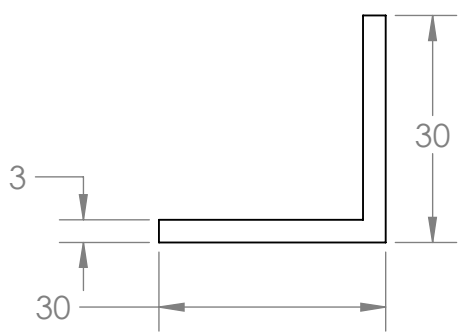


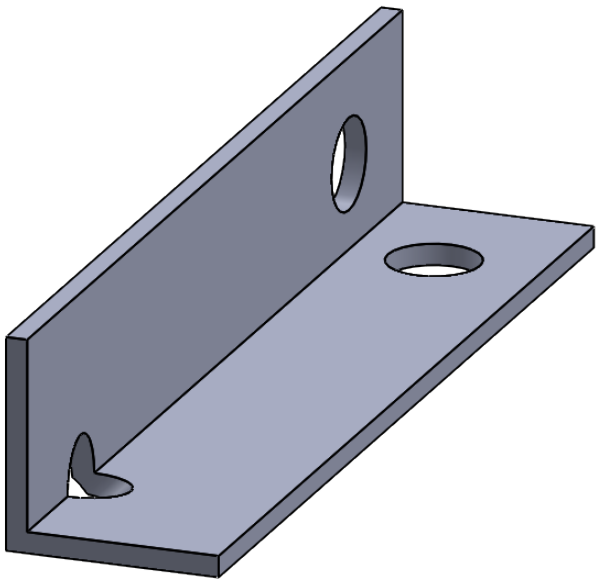
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	anneau d'enroulement inférieur	Date:10/05/2023
Format: A4		ECHELLE: 1:2



Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	fer plat (1+2) frein	Date:08/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:5

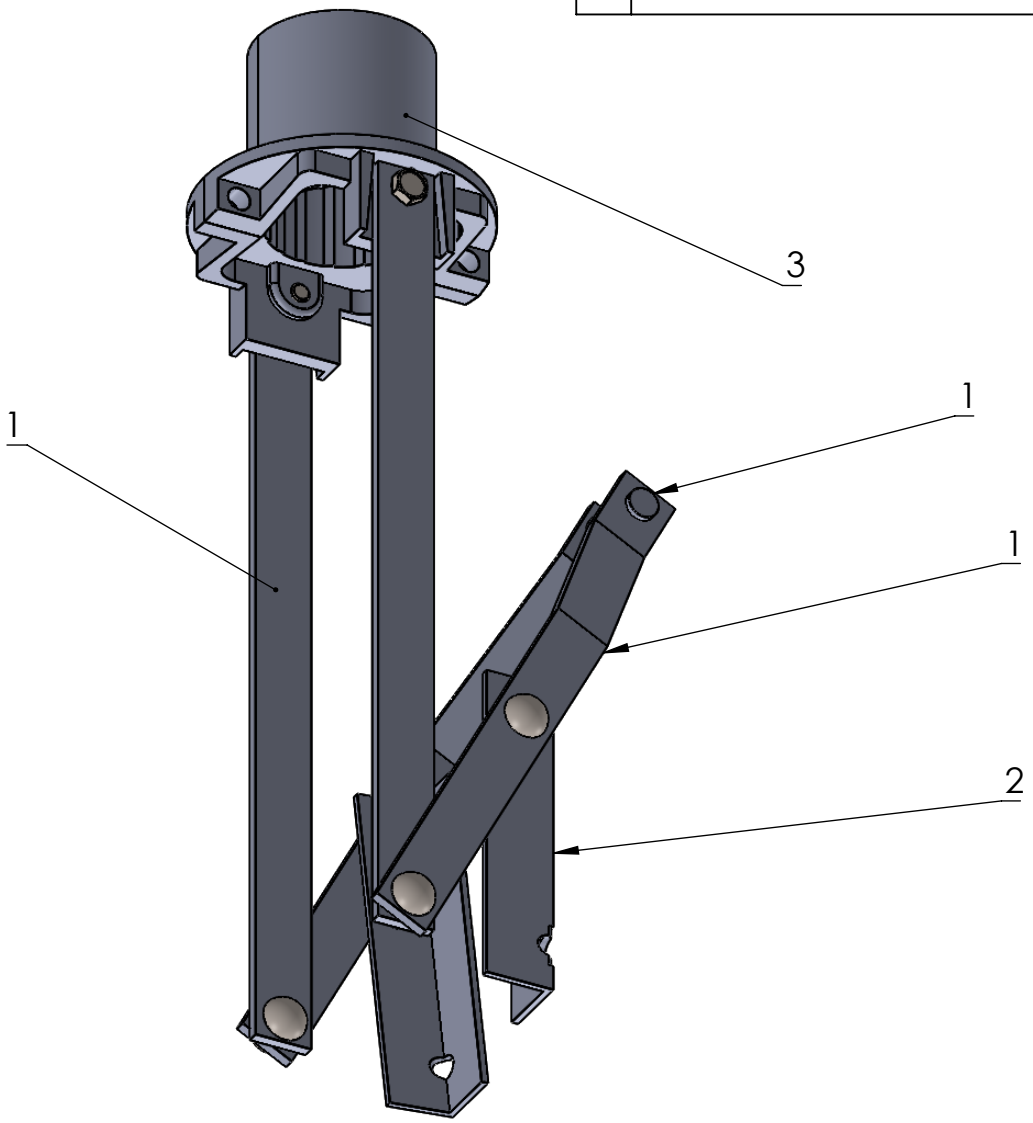




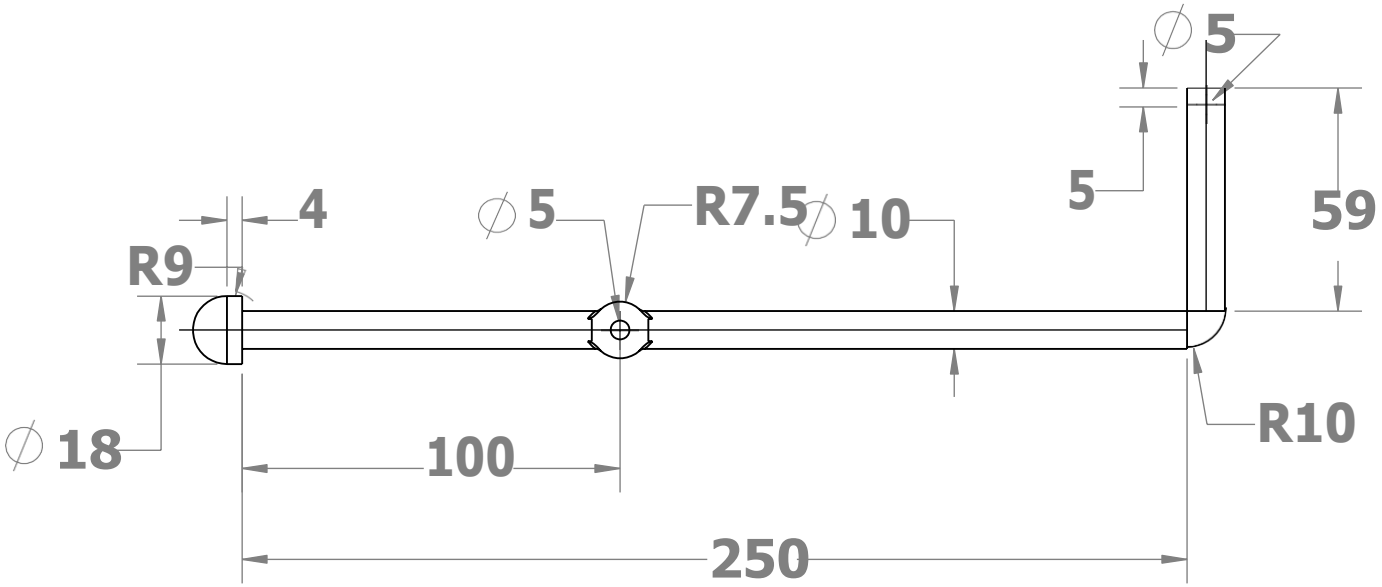


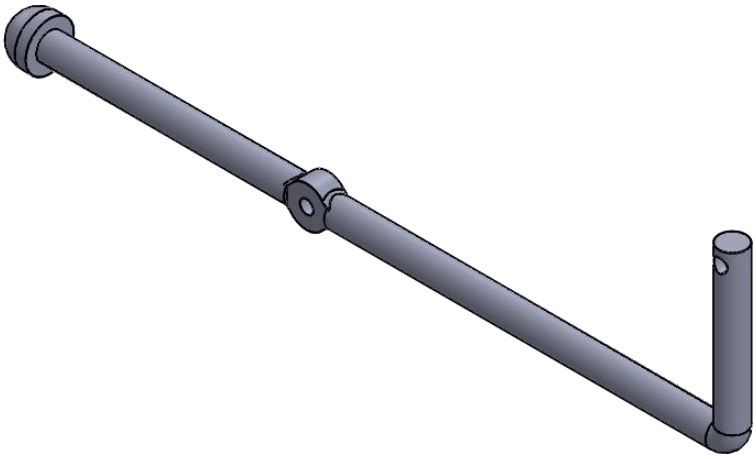
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	articulation	Date:07/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:2

N°	DÉSIGNATION
1	**levier d'enroulement complet**
2	**cornière d'articulation**
3	**anneau d'enroulement inférieur**

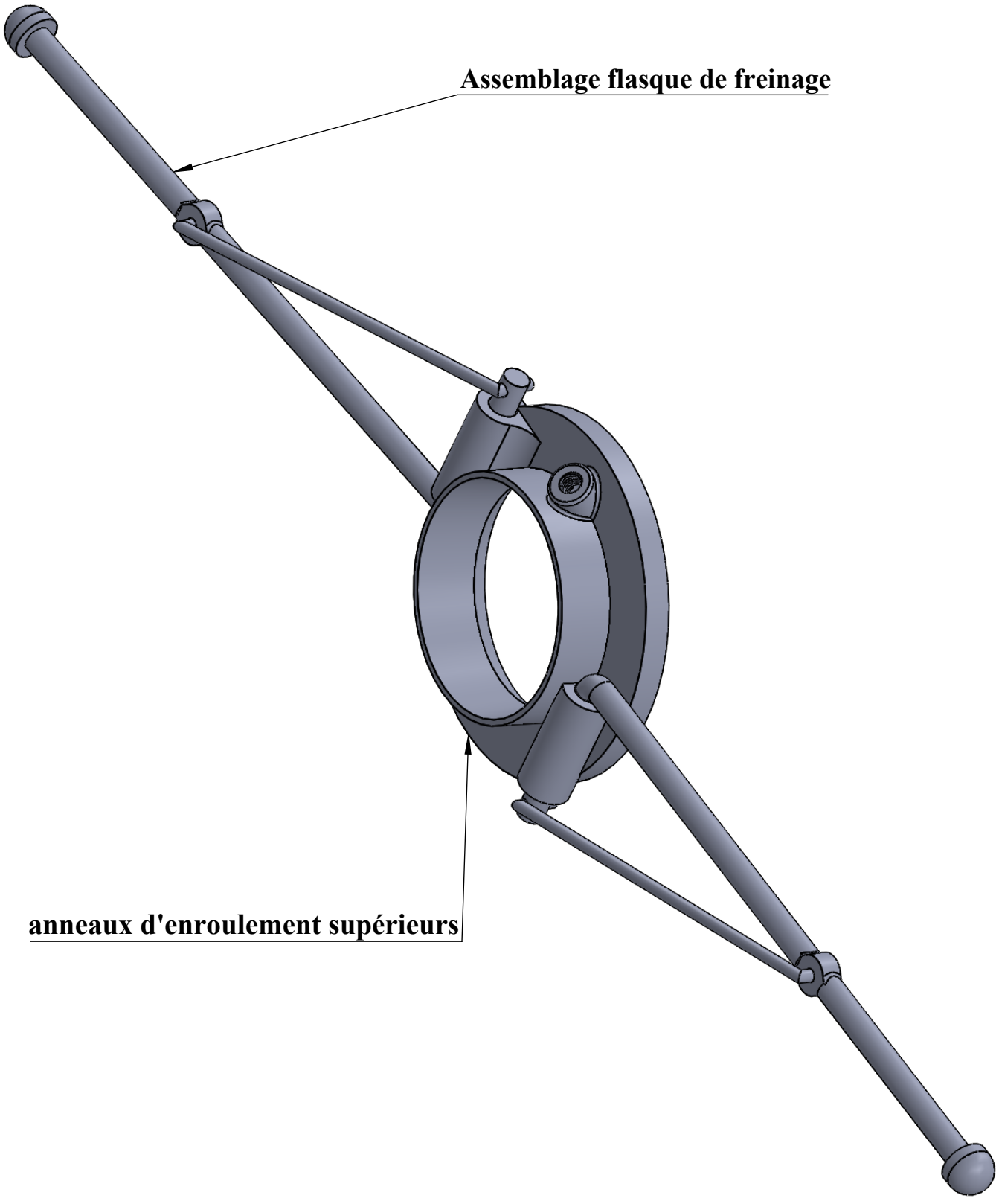


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	Assemblage1	Date:16/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:10

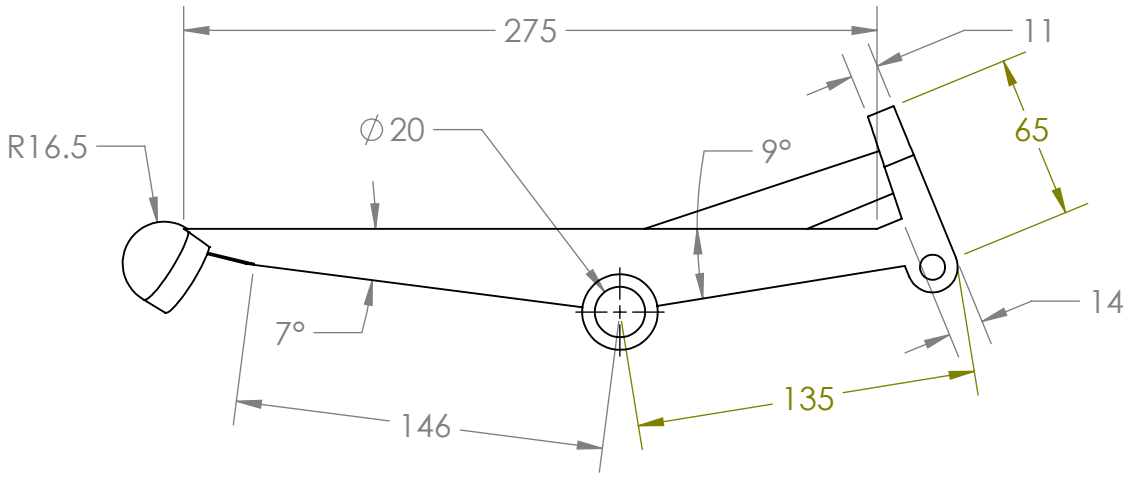


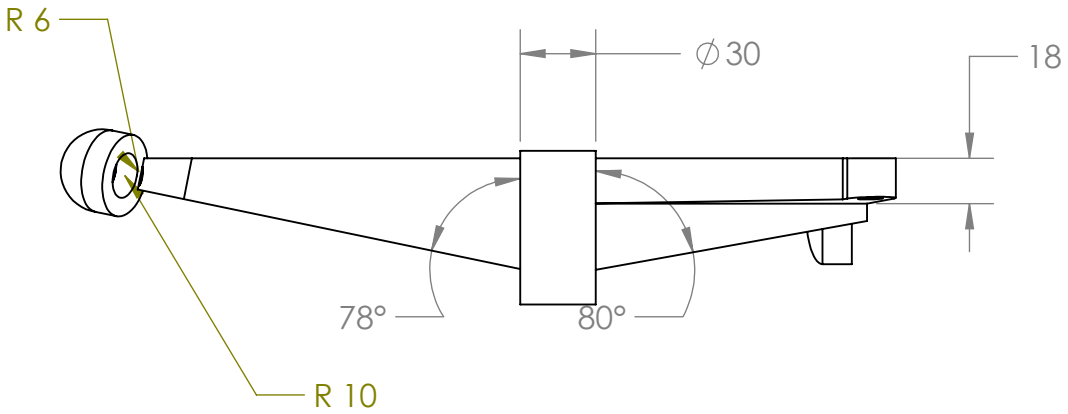


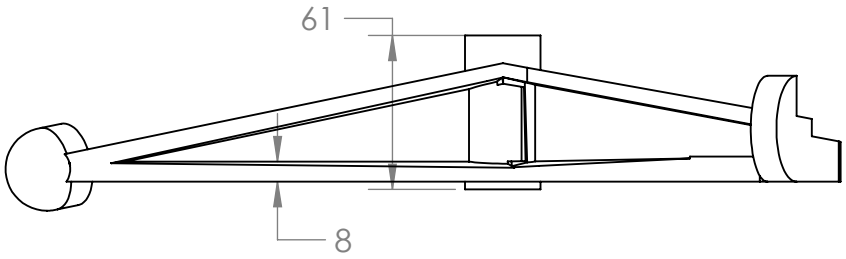
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	bras d'enroulement	Date:09/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:5



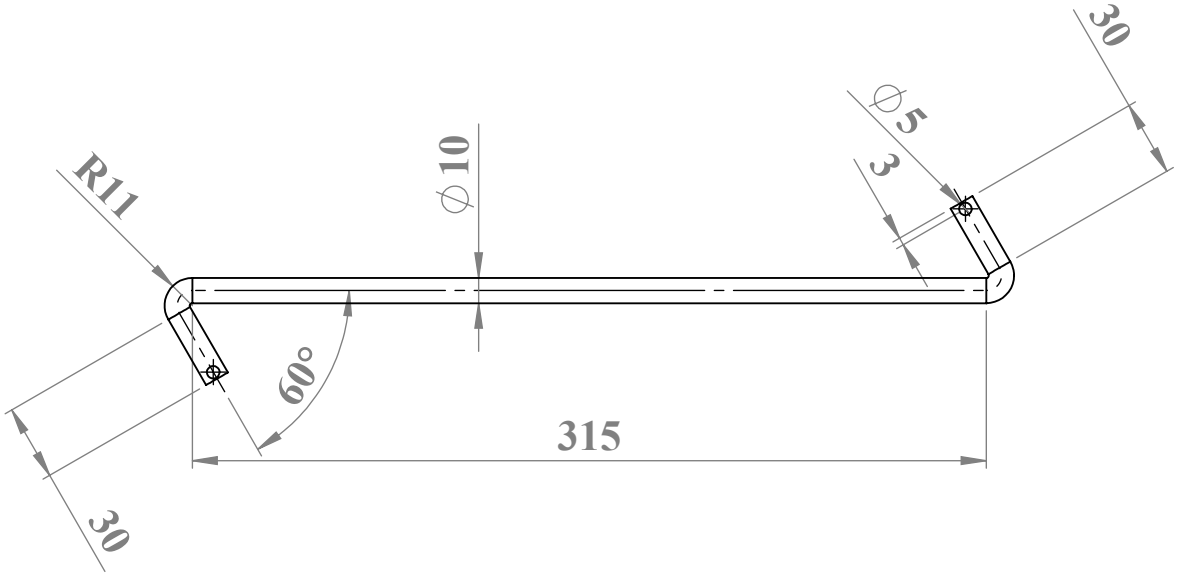
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	Assemblage flasque de freinage	Date:06/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:10

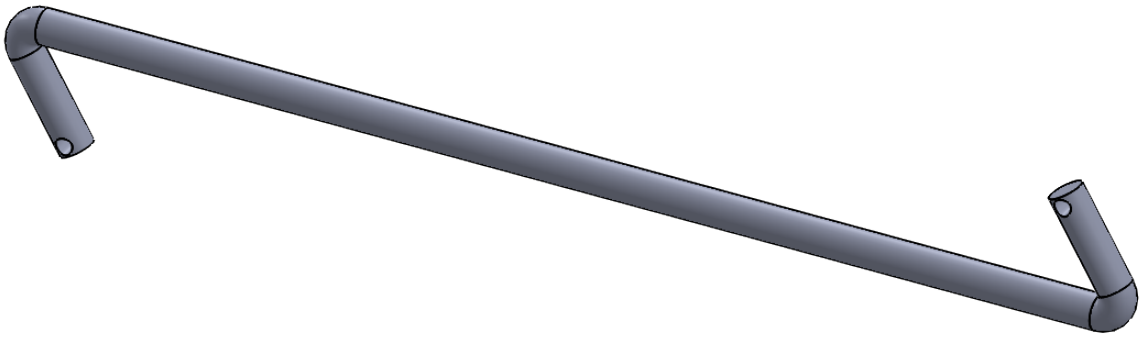




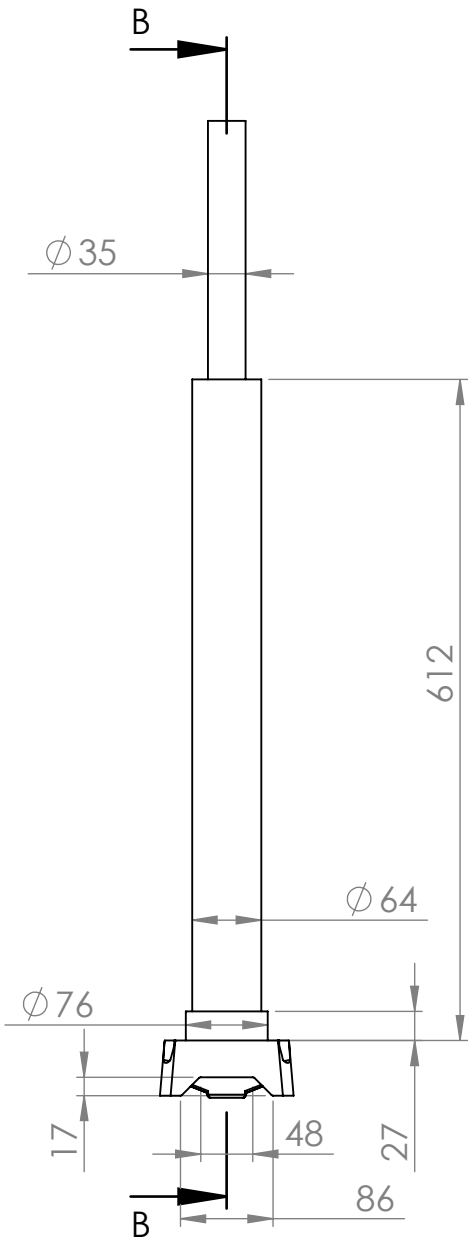


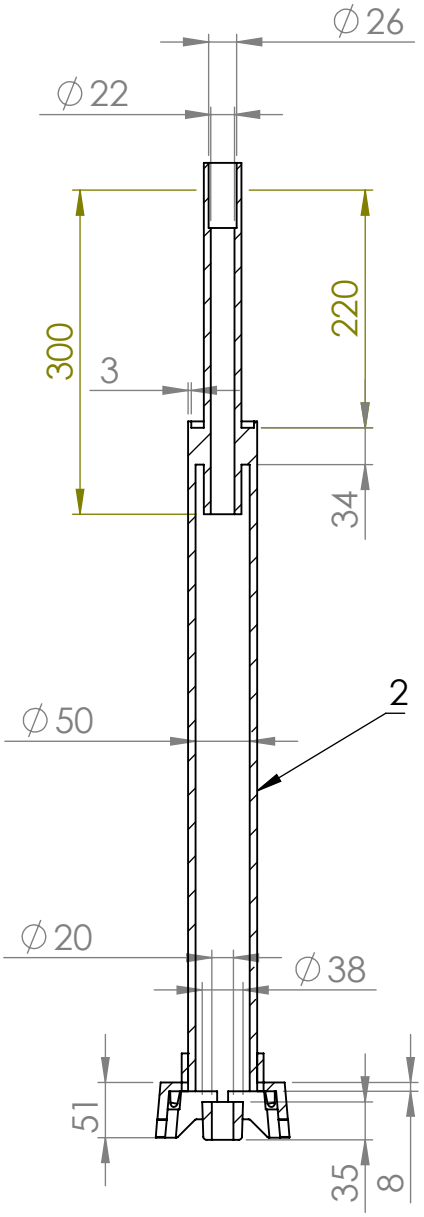
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	articulation en fonte (2)	Date:06/05/2023
Format: A4		ECHELLE1:5



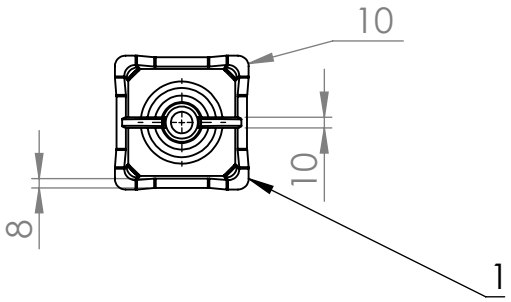


SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:	FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION		
				universite Dr Yahia Fares - MEDEA-			
	NOM	SIGNATURE	DATE	TITRE:			
AUTEUR	**Soualhi A**		**06/05/2023**	tige plié			
VERIF.	**Ayoub kh**		**06/05/2023**				
APPR.							
FAB.							
QUAL.				MATERIAU:	No. DE PLAN		A4
				MASSE:	ECHELLE:1:5	FEUILLE 1 SUR 1	





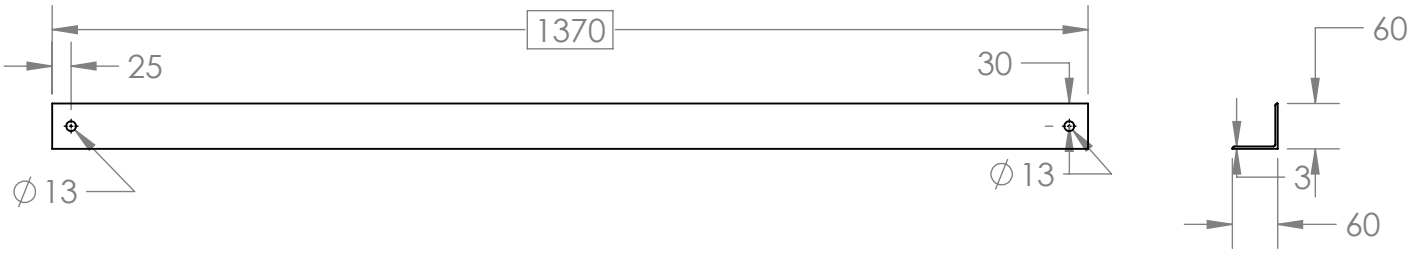
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 7

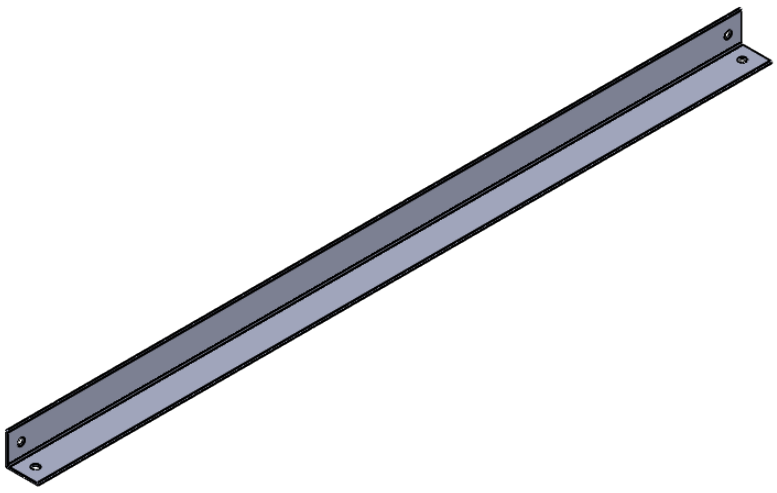


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	mât complet	Date:04/05/2023
Format: A4		ECHELLE: 1:10

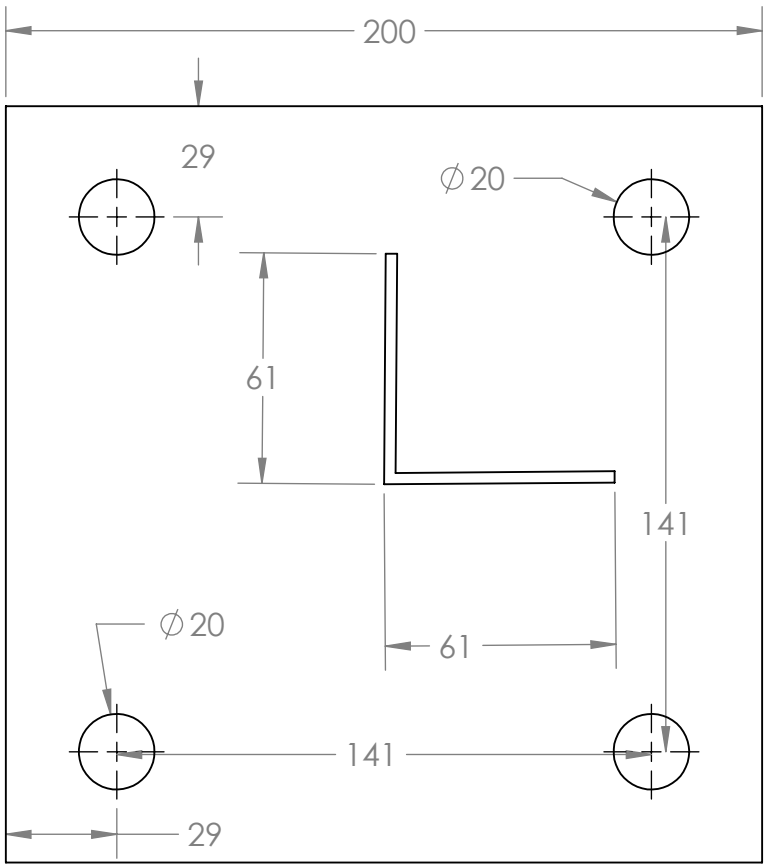
ANNEXES04

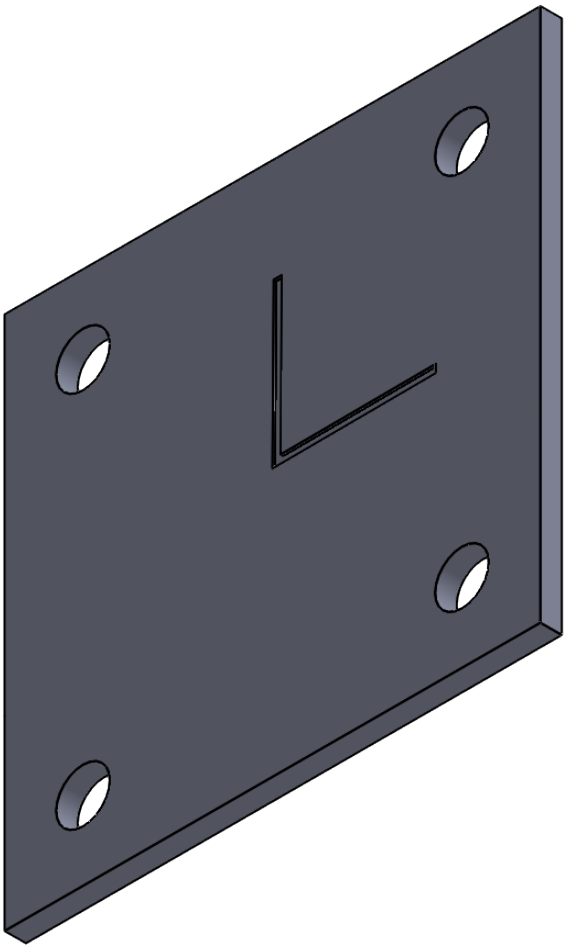
Dessins techniques de pilon

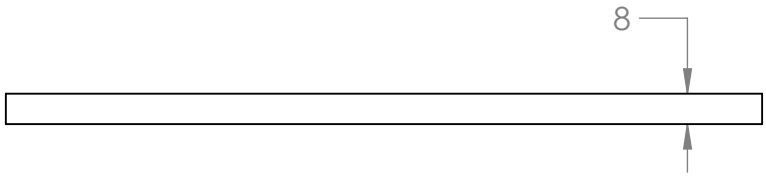




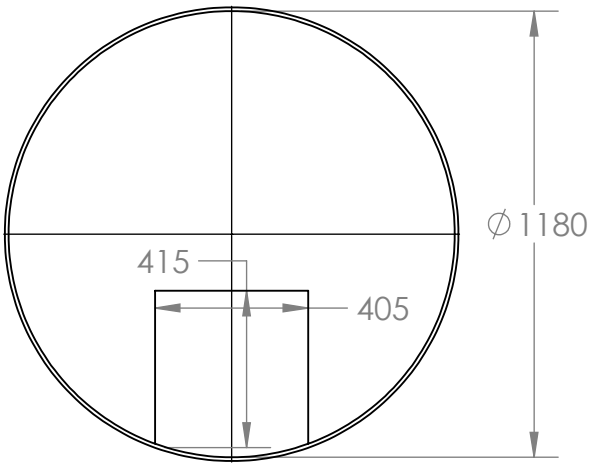
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	corniere 60x60x3x871.6	Date:20/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:20

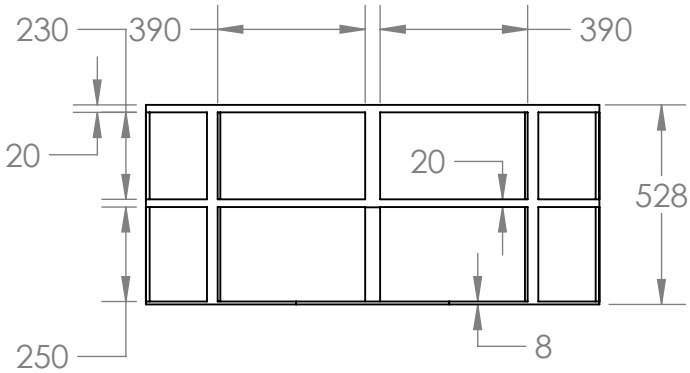


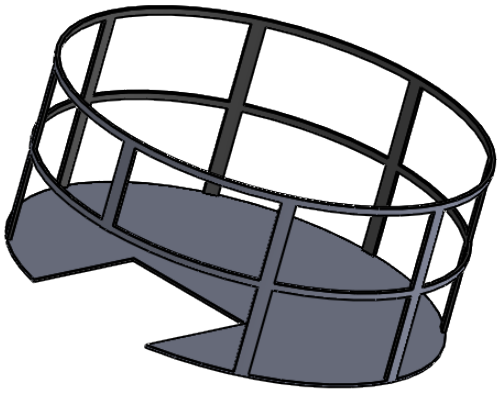




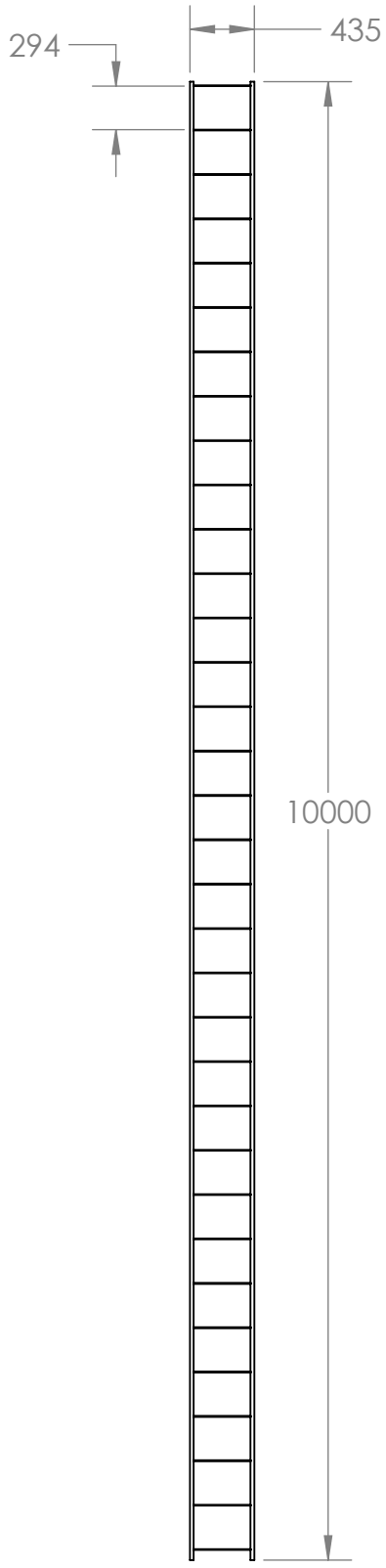
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	plaque pied	Date:20/05/2023
Format: A4		ECHELLE:1:2





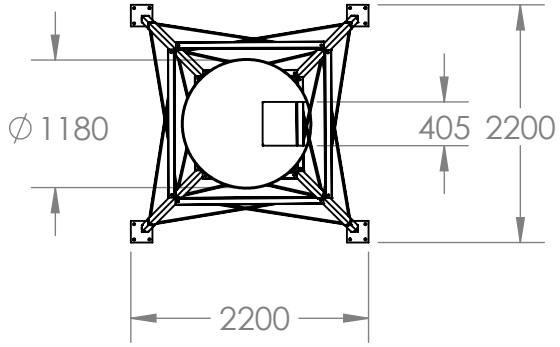


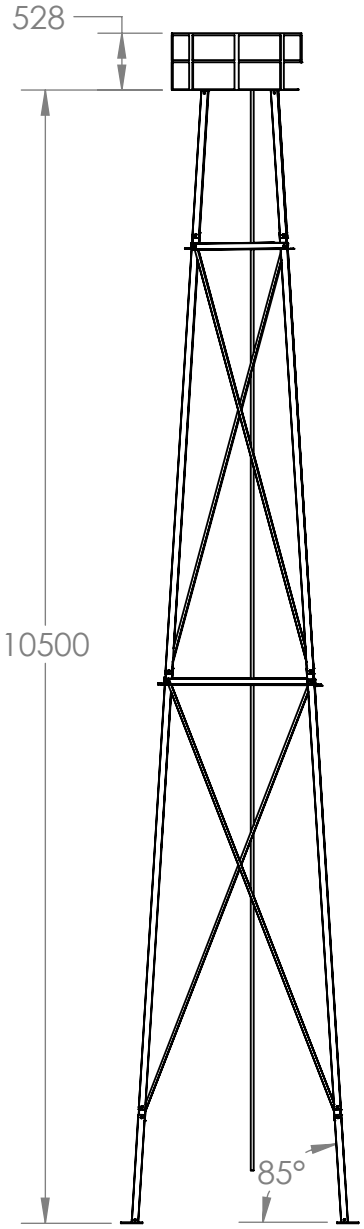
Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**	
	table	Date:
Format: A4		ECHELLE:1:20

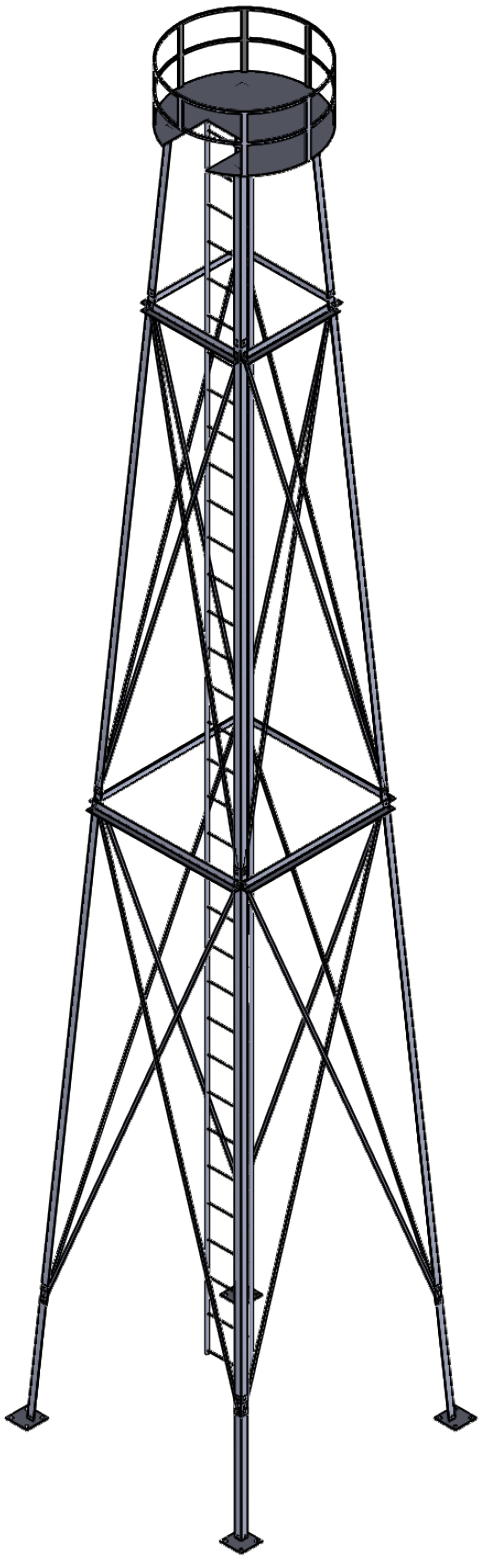


Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**
	Date:20/05/2023
Format: A4	ECHELLE:1:100

echelle







Dessine par: **Bayah A & soualhi . A**	**universite Dr Yahia Fares - MEDEA-**
	pilons pompe eolienne
Format: A4	ECHELLE:1:100
	Date:25/06/2023