



Université Mohamed Khider de Biskra
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

DABAH Wafa

Le : mercredi 23 septembre 2020

REALISATION ET ETUDE EXPERIMENTALE D'UNE TURBINE TESLA

Jury :

Titre	Mhamdi Djmoui	Grade	Université de Biskra	Président
Titre	Djebbloun Youcef	Grade	Université de Biskra	Examineur
Titre	Mahboub Chawki	Grade	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2019 - 2020

DEDICACES

A mon bien aimé Papa, mon héros, à toi je dédie mon travail

A ma mère, A mes proches

A tous mes Amis.

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m' avoir donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire, monsieur le professeur estimé Mahboub Chawki ,
Je le remercie de m' avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

A l' ensemble des enseignants du département génie mécanique, Sans oublier ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, et ceux qui ont fait l' honneur de jurer ce mémoire.

Sommaire

Dédicaces	
Remerciements	
Sommaire	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre 1 Généralité	
1.1 Introduction	2
1.2 Les principaux types des turbines	2
1.2.1. Les turbines hydrauliques	3
1.2.2. Les turbines à gaz	4
1.2.3. La turbine à vapeur	6
1.3. La turbine à vapeur ‘Tesla’	7
1.3.1. Description	7
1.3.2. Principe de fonctionnement	8
1.3.3. Applications	9
1.3.4. Avantages et inconvénients	9
1.4. Conclusion	10
Chapitre 2 Etude bibliographique	
2.1. Introduction	11
2.2. Revue de littérature	11
2.3. Conclusion	16
Chapitre 3 Etude expérimentale	

3.1. Introduction	17
3.2 Partie expérimentale	17
3.2.1. L'arbre rotatif	17
3.2.2 Les disques annulaires	18
3.2.3 La Buse d'entrée	18
3.2.4 Un caisson	19
3.2.5 Pièces de turbine dessinées par programme SolidWorks	20
3.2.6 Le matériel utilisé	24
3.2.7 Les instruments de mesure	24
3.2.8 Procédure expérimentale de teste	25
3.3 Partie théorique	26
Chapitre 4 Résultats et discussions	
4.1. Introduction	28
4.2. Effet du débit d'air à l'entrée de la turbine	30
4.3. Effet de la vitesse de rotation de la turbine	32
4.4. Discussion	34
4.5. Conclusion	35
Conclusion générale	
Liste bibliographique	

Liste des tableaux

tableaux	Description	page
Tableau 1.1	Avantages et inconvénients des turbines hydrauliques	4
Tableau 1.2	Avantages et inconvénients des turbines à Gaz	5
Tableau 1.3	Avantages et inconvénients des turbines à vapeur	7
Tableau 4.1	Paramètres mesurés	28
Tableau 4.2	Paramètres calculés	29

Liste des figures

Figures	Description	page
Figure 1.1	Schéma d'une turbine hydraulique	3
Figure 1.2	Schéma d'une turbine à gaz	5
Figure 1.3	Schéma d'un cycle d'une turbine à vapeur	6
Figure 1.4	Schéma de fonctionnement de la turbine de Tesla	9
Figure 3.1	l'arbre de la turbine	17
Figure 3.2	les disques annulaires	18
Figure 3.3	La buse d'entrée	19
Figure 3.4	le caisson	19
Figure 3.5	Disque annulaire	20
Figure 3.6	Disques annulaires regroupés et fixés dans un support	20
Figure 3.7	le caisson	21
Figure 3.8	pallier	22
Figure 3.9	support disque	22
Figure 3.10	la buse d'entrée	23
Figure 3.11	La structure finale de la turbine démontée	23
Figure 3.12	Le schéma d'installation final de dispositif	25
Figure 3.13	Photos du dispositif expérimental	26
Figure 4.1	Variation de la puissance à l'entrée en fonction du débit volumique de l'air	31
Figure 4.2	Variation de la puissance extraite en fonction de la vitesse angulaire de la turbine	32
Figure 4.3	Variation de la puissance extraite en fonction de la vitesse angulaire de la turbine	33

RESUME

Ce mémoire présente la réalisation d'une turbine de type TESLA et les résultats de son expérience. Cette turbine, classé non conventionnelle car utilisant des disques lisses au lieu des aubes, est décrite principalement par l'écoulement du fluide sur un disque par rapport à une vitesse, une pression ou un débit d'entrée. Elle est spéciale par sa capacité à contourner les principaux inconvénients des turbines conventionnelles.

Afin d'obtenir des résultats satisfaisants et de les afficher clairement, nous avons utilisé un programme de dessin assisté par ordinateur (SolidWorks) pour présenté les différentes parties (pièces) de la turbine et expliquer en détail la méthode d'essai et ses résultats expérimentaux déterminer les principaux paramètres affectant et contrôlant le rendement de ce type de turbines, et utilise le code MATLAB pour dessiner les courbes graphiques qui montrant l'étendue de ces paramètres sur l'efficacité.

Introduction Générale

L'énergie se trouve dans la nature sous différentes formes. Cependant, dans la plupart des cas elle ne peut pas être exploitée directement sous sa forme primaire; et elle doit donc être transformée ou convertie en une autre forme plus souhaitable afin de satisfaire les besoins de l'Homme. Le développement de l'activité économique exige des moyens de production d'énergie performants et avec rendement élevé; ce qui induit des retombés économiques positifs sur les populations.

Une partie importante de l'énergie consommée mondialement est sous forme d'électricité d'origine fossile. Cette énergie est produite principalement à l'aide des turbines à gaz. Aujourd'hui, l'orientation des politiques économiques vers l'exploitation des énergies renouvelables sert de motif à l'emploi des turbines à vapeur qui utilise l'énergie calorifique de la vapeur chauffée à haute température (haute pression) par la technologie de concentration du rayonnement solaire.

En 1913 Nikola Tesla a présenté sa turbine à vapeur sans pales dont le rotor se compose d'une série de disques lisses; mais cette turbine n'est pas encore largement utilisée. La turbine Tesla a été supplantée par les turbines à gaz (pendant la première et la deuxième guerre mondiale), par conséquent, l'application et la vulgarisation dans le domaine industriel reste relativement modeste. Le principe de fonctionnement de la turbine Tesla repose sur l'adhésion d'un fluide visqueux s'écoule entre deux disques parallèles. L'énergie du fluide introduit (énergie cinétique) sera transmise aux disques dans un rendement de rotation qui entrainera l'arbre porteur.

L'étude que nous allons entreprendre dans ce mémoire porte sur la réalisation d'une turbine Tesla et la détermination expérimentale de sa performance. Le premier chapitre portera sur les différents types de turbines, et leur principe de fonctionnement et mettre en évidence les caractéristiques de la turbine de Tesla objet de notre étude. Le deuxième chapitre revoit quelques études antérieures visant à tester, améliorer et développer des modèles théoriques pour la turbine de Tesla. Le troisième chapitre traitera de la réalisation, l'instrumentation et l'expérimentation de notre turbine. Le quatrième chapitre sera consacré à la présentation des résultats expérimentaux, discussion et commentaires. Nous terminerons avec une conclusion générale qui constitue un résumé de nos constatations relevées au cours de cette étude.

Chapitre I

GENERALITE

Chapitre 1

GENERALITE

1.1. Introduction

Tout processus énergétique consiste à établir des transferts de travail et de chaleur dans des appareils appropriés. Dans les machines volumétrique, objet de différents articles de ce traité, cet échange d'énergie a lieu par déformations de capacités à l'intérieur des quelles le fluide est provisoirement emprisonné. Dans les turbomachines, les écoulements sont supposés permanents en première approximation, ce qui n'est pas le cas pour les machines volumétriques.

Les turbomachines (pompes, ventilateurs, compresseurs et turbines), qui entraînent des débits de fluide plus grands que les machines volumétriques, jouent dans ces conversions d'énergie un rôle important d'échangeur de travail entre le fluide évoluant d'une part et un organe mécanique d'autre part, Ce dernier en possède une aussi.

1.2. Les principaux types de turbines

Partie en mouvement constituée d'un rotor muni d'ailettes. Par exemple, une turbine est un dispositif permettant d'extraire du travail sur un fluide lorsqu'il se détend depuis une haute pression jusqu'à une pression plus faible.

Les turbomachines de compression et de détente sont des machines dans lesquelles un fluide subit une transformation lors de son écoulement, en partie le long de conduits fixes formant le stator de la machine, et en partie le long de conduits mobiles appartenant au rotor, organe recevant ou transmettant la puissance mécanique selon le cas. Ces conduits offerts au fluide sont munis d'aubes. Dans une turbine, le rotor ou arbre d'entraînement transmet la puissance mécanique à un appareil récepteur qui peut être un alternateur, un compresseur, une pompe, etc. lequel utilise cette puissance à ses propres fins.

La turbine : est un dispositif rotatif destiné à utiliser la force d'un fluide et à transmettre le mouvement au moyen d'un arbre, ce dispositif convertissant partiellement l'énergie interne d'un fluide, liquide (comme l'eau) ou gazeux (vapeur, air, gaz de combustion), en

énergie mécanique au moyen d'aubes ou de disques disposées sur un arbre tournant à grande vitesse [1].

1.2.1. Les turbines hydrauliques

Pour rappel, l'hydroélectricité permet, au moyen d'une centrale adaptée, de récupérer l'énergie hydraulique et de la transformer en électricité. L'installation de ce genre de site permet à terme de réduire notre dépendance aux énergies fossiles.

Il faut donc passer par une énergie intermédiaire qui est l'énergie mécanique. La première transformation prend place dans la turbine tandis que la seconde se produit dans le générateur électrique. Comme dans tous les procédés, il y a des pertes :

- des pertes hydrauliques dans la conduite et la turbine (débit de fuite principalement);
- des pertes mécaniques dans la turbine et la génératrice (roulements, frottements,...);
- des pertes électriques dans la génératrice (pertes fer et pertes effet joules)

Chacune de ces pertes induit un certain rendement. Le rendement global de l'installation est égal au produit de tous les rendements intermédiaires [2].

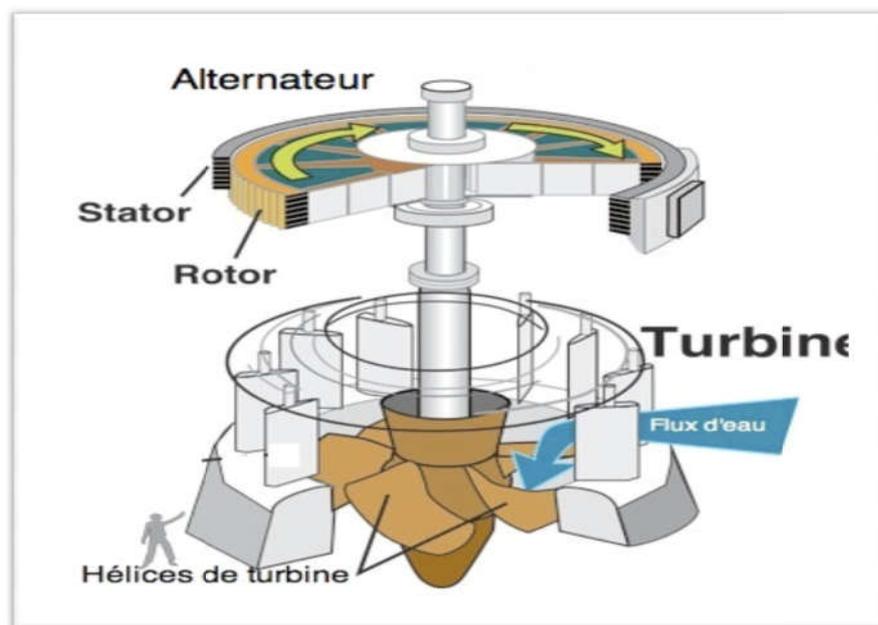


Figure 1.1 : Schéma d'une turbine hydraulique [2]

Tableau 1.1 : Avantages et inconvénients des turbines hydrauliques

Turbine hydraulique		
variétés	Avantages	Inconvénients
Turbine Pelton	<ul style="list-style-type: none"> • Non consommateur d'énergie fossile ; • Rendement élevé (80-95%) ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie de calculs et de fabrication des pales très complexes ; • Risques de corrosion ;
Turbine Turgo		
Turbine Banki		
Turbine Francis	<ul style="list-style-type: none"> • Construites sur mesure (Hauteur chute et débit) ; • Rendement (80-86%) ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Complexité du mécanisme ; • Coût élevé de fabrication ;
Turbine Kaplan		
Turbine Ossberger		

1.2.2. Les turbines à gaz

Les turbines à gaz font partie des turbomachines définies par Râteau comme étant des appareils dans lesquels a lieu un échange d'énergie entre un rotor tournant autour d'un axe à vitesse constante et un fluide en écoulement permanent. Une turbine à gaz, appelée aussi turbine à combustion, est une machine tournante thermodynamique appartenant à la famille des moteurs à combustion interne dont le rôle est de produire de l'énergie mécanique (rotation d'un arbre) à partir de l'énergie contenue dans un hydrocarbure (fuel, gaz...)

- Selon le type de fluide utilisé, dit fluide actif ou fluide moteur, on a une turbine hydraulique, une turbine à vapeur ou une turbine à gaz. Dans ce dernier cas, le fluide moteur le plus fréquemment utilisé provient des gaz de combustion d'un combustible liquide ou gazeux.

- Selon le type d'énergie délivrée, les turbines à gaz se répartissent en deux classes : d'une part, les turbomoteurs fournissant de l'énergie mécanique disponible sur un arbre et, d'autre part, les turboréacteurs fournissant de l'énergie cinétique utilisable pour la propulsion. C'est dans l'aéronautique que la turbine à gaz s'est imposée en priorité. Les turboréacteurs sont utilisés de façon quasi universelle pour la propulsion des appareils à voilure fixe : avions et missiles. Seule l'aviation générale (tourisme, affaire) utilise encore les moteurs alternatifs mais leur domaine est sans cesse grignoté par la turbine à gaz. Pour les voilures tournantes, de façon similaire, les turbomoteurs équipent aussi la quasi-totalité des différents types d'hélicoptères. L'ensemble de la turbine à gaz est constitué par trois composantes essentielles :

- Le compresseur à écoulement axial.
- La chambre de combustion.

- La Turbine [3].

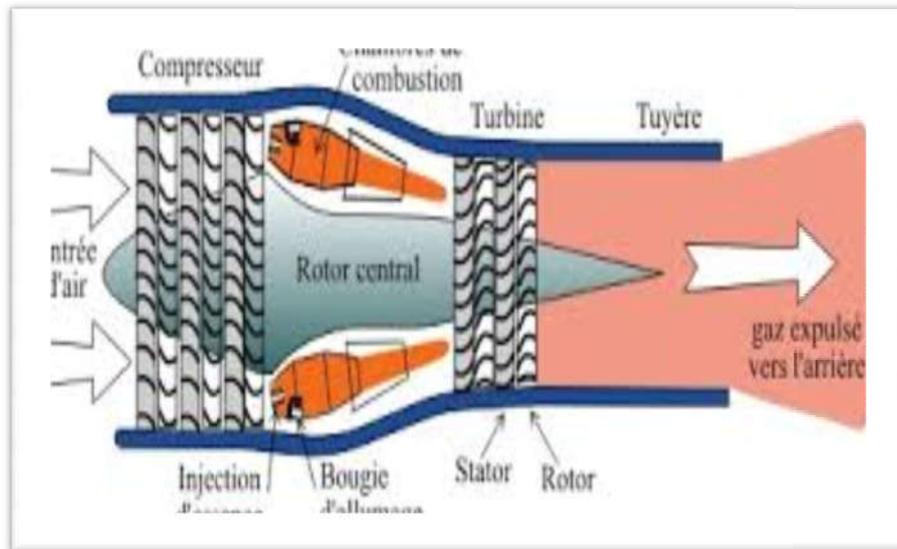


Figure 1.2 : Schéma d'une turbine à gaz [3]

Tableau 1.2 : Avantages et inconvénients des turbines à Gaz

Turbine à gaz		
variétés	Avantages	Inconvénients
<p>De nos jours, les turbines à gaz sont généralement transformées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • soit en un cycle combiné : récupération de la chaleur d'échappement pour monter un cycle de Rankine ; • soit en cogénération : récupération de la chaleur des gaz d'échappement pour approvisionner en eau chaude ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Aptitude à la récupération de chaleur ; • Démarrage rapide ; • Aptitude aux démarrages/arrêt ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Le compresseur est consommateur d'énergie mécanique produite ; • la tenue des matériaux (résistance mécanique des aubages) ; • Emissions des GES polluants (NOx, SO2, CO...) ; • Coût d'usinage élevé ; • Maintenance et sécurité accrue ;

1.2.3. La turbine à vapeur

Est actionnée par la vapeur produite par le générateur. Elle transforme la pression de la vapeur en énergie cinétique de rotation qui couplé à l'alternateur permet la génération de la puissance électrique. Les tuyères fixes formées des ailettes fixes transforment l'énergie thermique de la vapeur en énergie cinétique des jets de vapeur à grande vitesse. La vapeur est projetée à haute vitesse sur les ailettes mobiles et les force à tourner. Un exemple de l'agencement des ailes mobiles et des ailes fixes, Une turbine à vapeur comporte un ou plusieurs étages, composés chacun de deux aubages, ou grilles d'aubes, dont l'un est fixe et l'autre mobile. Le plus souvent, la direction générale de l'écoulement de la vapeur est parallèle à l'axe de la turbine ; celle-ci est alors du type *axial*. Dans certains cas, cette direction est perpendiculaire à l'axe (habituellement, dans le sens centripète) ; la turbine est alors du type radial [4] [5].

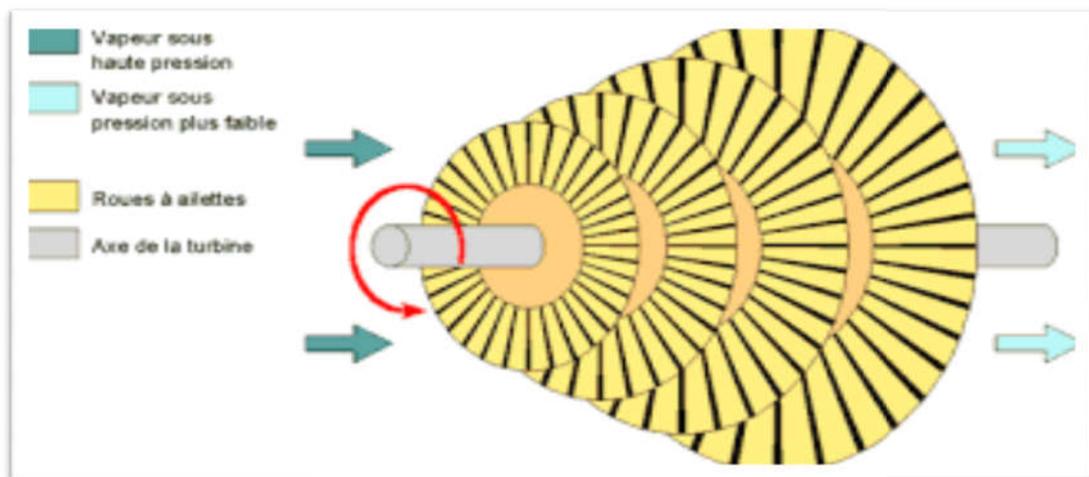


Figure 1.3 : Schéma d'un cycle d'une turbine à vapeur [5]

Tableau 1.3 : Avantages et inconvénients des turbines à vapeur

Turbine à vapeur		
Variétés	Avantages	Inconvénients
Turbine de Laval	<ul style="list-style-type: none"> • Moteur à combustion externe (libre alimentation en vapeur) ; • Mieux adapté en dessous de 10MW ; 	<ul style="list-style-type: none"> • Usinage très complexe des aubes ; • Réalisation contraignantes (acier fortement allié Cr-Ni-Va, aubes de longueur limitée, contraintes chimiques, mécaniques et thermiques) ; • Coût très élevé malgré les économies d'échelles ; • Complexité des installations ; • Important débit d'eau de refroidissement ; • Possibilité de consommation des énergies fossiles ;
Turbine de Curtis		
Turbine Râteau		
Turbine Parsons		

1.3. La turbine à vapeur 'Tesla'

la turbine Tesla est une turbine à flux centripète sans lame, brevetée par Nikola Tesla en 1913. Elle est appelée une turbine sans lame. Elle est également appelée turbine à couche limite, turbine du type à cohésion et turbine à couche de Prandtl (d'après Ludwig Prandtl) car elle utilise l'effet de couche limite et non un fluide heurtant les aubes comme dans une turbine classique. Elle porte aussi l'appellation d'une pompe centrifuge à disques multiples. L'un des souhaits de Tesla pour la mise en œuvre de cette turbine était l'énergie géothermique [6].

1.3.1. Description

Turbine se composait d'un ensemble de disques minces parallèles très proches les uns des autres, maintenus séparés par des entretoises et assemblés sur un arbre, formant un rotor qui était monté dans un boîtier à cylindrique ses extrémités fermées par des plaques correctement équipées de roulements pour maintenir le rotor arbre. Dans la région centrale des disques, près de l'arbre, les orifices d'échappement ont été ouverts, avec des espaces dans les entretoises, offrant ainsi une sortie vers l'atmosphère. Une buse a été placée

tangentiellement à l'alésage du boîtier, alimentant le fluide de travail, sur les disques, les faisant tourner tout en se dirigeant vers les orifices d'échappement, la turbine Tesla a un certain nombre de disques plats étroitement espacés montés sur un arbre, entraînés par un fluide circulant entre eux, en spirales concentriques à l'arbre, vers une sortie centrale. Le transfert d'énergie ne se produit pas par impact. Au lieu de cela, l'énergie du fluide est transmise aux disques par la force de l'adhésion. Lorsque le fluide entre en contact avec un disque, ses molécules adhèrent au disque et résistent au départ. La force du fluide agit contre la résistance du disque et une partie de l'énergie du fluide communique au disque. La force de la viscosité, ou l'adhésion entre les couches de molécules fluides, permet à plus de fluide d'agir sur le disque qu'il ne peut y adhérer. La couche de fluide qui peut agir sur le disque à travers la viscosité est appelée couche limite. À mesure que le fluide perd de l'énergie, il est aspiré par la pression plus faible à la sortie de la turbine

L'idée maîtresse du développement de la turbine Tesla est le fait que, pour atteindre une économie maximale, les changements de vitesse et de direction du mouvement du fluide doivent être aussi progressifs que possible. Par conséquent, le fluide de propulsion de la turbine Tesla se déplace dans des chemins naturels ou des lignes de courant de moindre résistance [6] [7].

1.3.2. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement de la turbine de Tesla repose sur les deux propriétés relatives aux fluides. .que sont l'adhésion et la viscosité. Elle utilise l'attraction qu'exerce un fluide en mouvement sur les parois de disques très minces et très rapprochés les uns des autres (effet de couche limite). Le fluide circulant entre ces disques les entraîne avec elle et les fait participer à son mouvement. Dans la turbine Tesla l'espace entre les disques doit être très mince et sans être très faible pour permettre une injection appropriée et suffisante de fluide.

Ainsi est-il possible de transférer de l'énergie, dans un sens comme dans l'autre, entre le fluide et les disques du rotor. Autrement dit, le même dispositif peut agir comme une turbine (transfert fluide -> rotor) mais aussi comme une pompe/compresseur (rotor -> fluide). La fine couche de fluide qui interagit au voisinage d'une surface est appelée « couche limite ». D'où l'appellation de « turbine à couche limite » parfois donnée à cette remarquable invention.

La machine de Tesla opère tout en douceur et avec souplesse. En effet, il n'y a aucun changement brusque de vitesse ou de direction pour le fluide qui traverse la turbine selon la trajectoire. Contrairement aux autres turbines qui meuvent le rotor soit par effet de choc, de pression ou encore par réaction suivant leur type [7] [8].

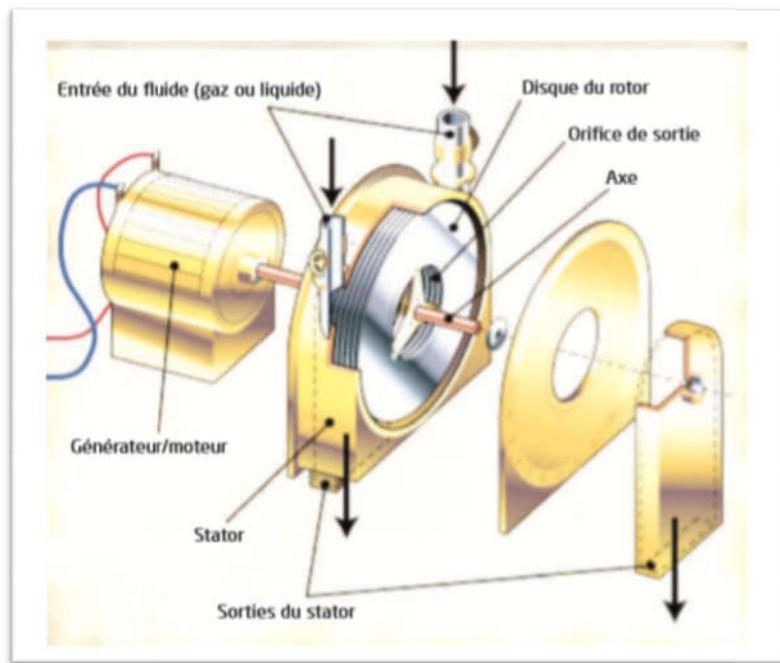


Figure 1.4: Schéma de fonctionnement de la turbine de Tesla [7]

1.3.3. Applications

Les applications de la turbine tesla en tant que pompe à sang centrifuge à disques multiples ont donné des résultats prometteurs, elle n'a pas connu d'utilisation commerciale généralisée Depuis son invention .la turbine tesla cependant est disponible dans le commerce depuis 1982 Et est utilisée pour pomper des fluide abrasifs visqueux sensibles au cisaillement contenant des solides ou autrement difficiles à manipules avec d'autres pompes [6].

1.3.4. Avantages et inconvénients

Les avantages sont très nombreux :

- pas de système de refroidissement, compliqué et volumineux en général;

- processus de combustion continu qui offre une puissance de sortie constante et réduit la pollution par comparaison avec les moteurs classiques ;
- large panel de carburants admissibles (essence, gazole, méthane...);
- quasi-absence de pièces réalisant une étanchéité dynamique (pas de segment, car pas de piston);
- grande simplicité de construction avec seulement un assemblage sur l'axe du rotor;
- fiabilité exceptionnelle;
- taille réduite/faible poids;
- réversibilité totale du dispositif (turbine ou pompe/compresseur);
- possibilité d'inversion du sens de rotation de la turbine;
- absence de cavitation pour les pompes;
- échelle de fabrication très flexible : le passage des modèles de faibles puissances aux plus grosses n'introduit pas d'obstacle technologique spécifique;
- quasi-absence de vibrations;
- bruits de fonctionnement très réduits (bruit de type « bruit blanc »), conséquence de l'avantage précédent;

Du côté des inconvénients, citons :

- la vitesse de rotation élevée pour l'utilisation en turbine qui nécessite l'emploi d'un réducteur de vitesse ou d'une technologie adaptée;
- le couple développé par les turbines dépend fortement des caractéristiques de montage des disques;
- la difficulté de conception de tuyères performantes d'entrée et de sortie;
- un rendement faible en comparaison avec les autres turbines;
- Il souffre cependant d'autres problèmes comme les pertes par cisaillement et par limitation de débit [7].

1.4. Conclusion

Le principe de fonctionnement de cette machine a beau présenter une simplicité biblique, il n'en reste pas moins vrai que les réglages d'optimisation sont très délicats. Cette dernière particularité permet néanmoins d'espérer des mini-révolutions technologiques.

Chapitre II

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 2

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Introduction

Il est question de passer en revue les résultats importants de la littérature et des travaux de recherche effectués sur la turbine de Tesla.

2.2. Revue de littérature

TSUANYO [8]

Dans ce mémoire, l'auteur a présenté les résultats d'une simulation numérique de l'écoulement de l'air et de la vapeur d'eau comme fluide de travail en utilisant l'outil CFD. Les constats relevés sont les suivants :

- (i) la turbine de Tesla fonctionne mieux avec de la vapeur d'eau qu'avec l'air comprimé selon le modèle simulé. Une étude expérimentale est nécessaire pour valider ce constat.
- (ii) vu la réduction rapide de la vitesse et de la pression du fluide sur le disque, la surface d'écoulement du fluide sur un disque de Tesla doit être optimisée, ce qui signifie que la turbine de Tesla ne peut être produite à une certaine grande échelle et donc elle serait bien adaptée pour les productions autonomes.
- (iii) le nombre d'injecteurs n'accroît pas nécessairement l'écoulement dans la turbine.
- (iv) la contrainte tangentielle reste assez constante jusqu'à un certain niveau pour chacun des cas étudiés, or cette contrainte est liée au couple moteur, ce qui signifierait que la nature tangentielle de l'écoulement dans la turbine de Tesla est principalement responsable des bonnes ou mauvaises performances de cette machine.
- (v) l'augmentation des variables d'entrée (vitesse de rotation, vitesse ou pression du fluide) a une incidence positive sur le profil d'écoulement du fluide.

KENDA NITEDEM [9]

Ce mémoire vise à développer et à concevoir une centrale de production d'électricité en utilisant le modèle de turbine de Tesla sous un cycle organique de Rankine au R245fa. Le progiciel de dimensionnement de la turbine de Tesla mis en œuvre a permis d'obtenir un rendement isentropique de 87% pour une turbine de 250W. L'intégration de la tuyère supersonique de Laval a permis d'améliorer le modèle physique pris en compte dans le progiciel. Des simulations des différentes géométries de la tuyère avec le logiciel Fluent ont permis de valider les hypothèses du progiciel, de mettre en évidence le profil conique de la géométrie cylindrique comme choix adéquat pour la turbine de Tesla. Une expérimentation de cette tuyère sous une pression de 4.5 bars à 60°C donne un rendement de 88% contre 90% obtenu par la simulation. Les simulations nous ont permis de mettre en évidence le fait que toutes les géométries sont équivalentes. Le profil conique de la géométrie cylindrique est le plus adapté pour la turbine de Tesla. Elle permet d'avoir en sortie un écoulement parallèle aux disques du rotor, d'où une limitation des phénomènes de turbulence. Les résultats des expériences ont permis de valider le modèle mis en œuvre, les premiers résultats donnent un rendement de 88% pour la tuyère conique. Malgré tous ces résultats, des améliorations restent à faire, notamment sur le modèle utilisé (mathématique et physique).

DENG et al. [10]

Dans cet article, la méthode d'analyse théorique proposée dans une étude précédente a été améliorée, et la méthode de conception a pris en compte la chute de pression se produisant dans le rotor afin d'approcher sa condition physique d'écoulement. La sensibilité des paramètres de conception sur l'efficacité isentropique des turbines Tesla a été étudiée, et les résultats indiquent que le nombre de Mach à la pointe du rotor est le facteur le plus sensible, suivi par le rapport de pression à travers la turbine, le rapport de chaleur spécifique, le rapport du rayon de rotor, la différence adimensionnelle de vitesse tangentielle d'entrée et le nombre de Reynolds modifié. Une turbine Tesla typique a été conçue et ses caractéristiques d'écoulement ont été simulées numériquement en 3D. Les résultats montrent que l'efficacité isentropique augmente avec la vitesse de rotation, et avec l'augmentation du rapport de pression de la turbine, et lorsque le nombre de buses diminue. La puissance de sortie augmente avec la vitesse de rotation et avec l'augmentation du nombre de buses, mais diminue avec l'augmentation du rapport de pression à travers la turbine. Le rendement isentropique le plus élevé de 0,436 avec 2 buses est obtenu avec un

rapport de pression de 0,8 et une vitesse de rotation de 24,658r/min. Combinant l'effet du nombre de buses sur l'efficacité isentropique et la puissance de sortie, une turbine Tesla à deux ou quatre buses est recommandée. Généralement, les résultats des calculs numériques montrent qu'ils sont raisonnablement en accord avec les résultats de la méthode de conception et sont également cohérents avec les résultats de l'analyse de sensibilité.

QI et al. [11]

Cet article vise à proposer une méthode réalisable pour déterminer une distance d'espacement de disque appropriée dans la conception des turbines Tesla. Par conséquent, une turbine Tesla typique avec sept distances différentes d'espacement des disques a été simulée numériquement à différentes vitesses de rotation pour étudier l'influence de la distance d'espacement des disques sur les performances aérodynamiques et le champ d'écoulement des turbines Tesla. Les résultats montrent que l'efficacité isentropique des turbines Tesla est maximal lorsque la distance d'espacement du disque prend sa valeur optimale, et elle diminue rapidement lorsque la distance d'espacement du disque diminue. Il ont trouvé qu'il y a une valeur optimale du nombre adimensionnel d'Ekman dont les turbines Tesla obtiennent ses meilleures performances, et elle est influencée par la vitesse de rotation. La valeur optimale de la différence adimensionnelle de vitesse tangentielle d'entrée du rotor qui détermine la vitesse de rotation est également affectée par la distance d'espacement des disques. Donc, la détermination des valeurs optimales de la différence adimensionnelle de vitesse tangentielle d'entrée du rotor et du nombre d'Ekman est un processus itératif cyclique pour qu'elles soient à leurs valeurs optimales ou dans leurs gammes optimales.

RICE [12]

Un type non conventionnel de turbomachine employant un rotor composé de disques lisse est décrit et la principale motivation de ces appareils sont brièvement discutés. Plusieurs expériences sur les turbines d'air de disque multiples sont décrites et les données montrant leur performance et efficacité sont présentées. Les équations de mouvement pour un écoulement incompressible entre les disques et les paramètres de performance en absence de pertes extérieures du rotor sont établis. Les résultats indiquent que les turbines de disques multiples peuvent être attractives si la puissance utile extraite est relativement

basse, ou si le coût de fabrication est élevé, ou encore si les propriétés du fluide de travail ne sont pas adéquates pour utiliser des turbines conventionnelles.

CHOON et al. [13]

Le développement de la turbine Tesla est effectué pour déterminer la taille, le nombre et l'espace entre les disques en se basant sur les équations mathématiques disponibles dans la littérature. L'optimisation est effectuée à l'aide d'un logiciel CFD. Une analyse des performances réelles du prototype basée sur la vitesse de rotation et le couple a également été réalisée. Après l'optimisation, ils ont observé que la conception de la turbine Tesla donne un couple de 0,033 N.m et une efficacité de 10,7% à partir de l'alimentation en eau comme fluide de travail avec une perte de charge de 0,04 m.

SIDDIQUI et al. [14]

Cet article présente une analyse numérique d'une turbine sans pales Tesla utilisant de l'air comprimé comme fluide de travail. Plusieurs configurations de l'écoulement sont analysées en régime laminaire et turbulent. Le coefficient de charge et l'efficacité des turbines sont évalués pour les cas 2D et 3D. La simulation montre que l'utilisation des disques multiples est une option viable mais il a été observé qu'ils entraînent une perte de performance pour le régime laminaire et turbulent.

HO-YAN [15]

De nombreuses études analytiques et expérimentales ont été effectuées pour caractériser l'écoulement dans la configuration de la turbine Tesla. Il a été constaté que la performance rapportés par Tesla n'a pas été reproduite par d'autres. Les inefficacités sont souvent attribuées aux pertes dues aux écoulements à travers la buse et à la sortie. Les turbines Tesla ne seront pas considérées comme compétitives sur le marché jusqu'à ce que les rendements dépassent ceux des conceptions conventionnelles et que les densités de puissance peuvent être améliorées. Cela dit, la conception relativement simple de la turbine Tesla se prête bien aux projets d'énergie à petite échelle car elle peut être facilement fabriquée et entretenue localement. Dans ce travail, une conception préliminaire d'une turbine Tesla pour les applications hydroélectriques a été entreprise en utilisant la méthode

analytique de Rice. L'étude a abouti à une conception capable de générer 300 W dans des conditions de pression équivalente à 20 m et de débit de 2,5 l/s. L'efficacité de la conception préliminaire de la turbine était proche de 80%, mais on pense que la plupart des pertes d'efficacité se produit au niveau de l'admission et de l'échappement, qui ne sont pas pris en compte dans cette analyse.

KHAN et al. [16]

Dans cet article, nous avons proposé et suggéré quelques techniques pour améliorer la conception de la turbine Tesla (à couche limite) de manière à tirer le meilleur parti de son efficacité, en compensant tous ses inconvénients. Un modèle d'essai de la turbine à couche limite proposée a été fabriqué et testé dans différentes conditions. Des expériences utilisant différents débits et changeant de nombreux autres facteurs ont été réalisées et les résultats de ces expériences sont utilisés pour vérifier les améliorations de la puissance de sortie obtenue pour la présente turbine à couche limite. Cette conception modifiée de la turbine Tesla peut ainsi devenir un moyen efficace de production d'énergie verte comme toute autre ressource d'énergie renouvelable.

PALOUSEK et al. [17]

L'objectif de cet article est d'envisager une conception de la construction de la turbine Tesla, sa production et de réaliser une expérience pour garantir son efficacité. Dans la première partie, un design conceptuel de la construction de la turbine est présenté; dans la deuxième partie, on traite du modèle 3D de la turbine dans le logiciel de CAO approprié, puis de la création de la documentation de dessin 2D et enfin de la réalisation du prototype. La dernière partie est consacrée à un contrôle expérimental de l'efficacité de la turbine, et à une comparaison du résultat par une simulation numérique. La turbine Tesla réalisée est démontable et elle peut être testée avec un nombre différent de disques. On constate qu'avec l'augmentation de la charge mécanique de la turbine, la vitesse diminue ainsi que la pression à l'entrée de la turbine. Pour ce résultat, la puissance centrifuge diminue et le trajet de l'écoulement d'eau à travers la turbine devient plus court. Grâce à cet effet, une augmentation de l'efficacité de la turbine est observée. Tandis que la diminution de la charge mécanique est accompagnée par une augmentation de la vitesse ainsi que de la pression et la puissance centrifuge. Pour ce résultat, le trajet de l'écoulement d'eau à travers le rotor devient long et il se produit donc une diminution de l'efficacité. La valeur la plus

élevée de l'efficacité de la turbine est de 54,93% pour un débit de 1,192 l/s et un couple de 0.31 N.m; et la valeur la plus faible de l'efficacité est de 4,87% pour un débit de 1,537 l/s et un couple de 0.08 N.m.

HARIKISHAN GUPTA [18]

Cet article tente de présenter les résultats des recherches menées par divers chercheurs au cours des quatre dernières décennies. Un résumé des procédures de modélisation, de simulation et expérimentales utilisées pour comprendre les machines Tesla est présenté. Les performances des turbines Tesla sont influencées par un certain nombre de paramètres, notamment l'épaisseur des disques, le nombre de disques, l'écart entre les disques, l'angle du jet à l'entrée, la pression d'entrée, la charge appliquée, le nombre de Mach et le nombre de Reynolds. Le document décrit également les résultats des études effectuées par les chercheurs et identifie en outre les lacunes, qui peuvent servir d'orientations futures pour la recherche dans ce domaine.

ZAHID et al. [19]

L'objectif de la présente recherche est d'examiner les avantages potentiels de la turbine Tesla qui représente un moyen écologique de conversion d'énergie d'un fluide non polluant à haute pression (air comprimé, eau et vapeur) en une forme d'énergie utile (électricité, puissance mécanique) utilisable dans diverses applications. Un prototype a été conçu et différentes expériences ont été réalisées avec différentes plages de pression d'air comprimé. La conception, le choix des matériaux, la fabrication, le modèle théorique, l'efficacité, la puissance extraite à la sortie, les avantages, les limites, et les applications ont été discutées. Le résultat obtenu à partir de la présente recherche pourrait être utilisé comme guide pour la conception et le fonctionnement futurs du système industriel.

2.3 Conclusion

Après une recherche bibliographique, nous avons eu un aperçu complet de l'activité et des développements de cette turbine représenté des analyses et des simulations numériques modélisation sur des différentes logicielles et quelques techniques pour améliorer la conception de la turbine tesla, toutes ces recherches tournent autour de l'objectif de développer l'efficacité de cette turbine.

Chapitre III

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre 3

ETUDE EXPERIMENTALE

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, qui est divisé en deux parties, dans la première partie nous présentons les composants qui ont été utilisés pour réaliser la conception et calculer l'efficacité de la turbine TESLA, les étapes de réalisation du projet et quelques composants supplémentaires, en plus du dessin qui a été implémenté sur le programme DAO SolidWorks, ainsi que la méthode de son test expérimental. Quant à la deuxième partie, est un rappel des équations de mécanique des fluides qui ont été utilisées pour calculer les paramètres nécessaires qui nous ont conduits à calculer le rendement de la turbine

3.2. Partie expérimentale

Initialement la turbine de TESLA ce composait des organes illustré sur les figures comme indiqué ci-dessous :

3.2.1. L'arbre rotatif : est l'un des principaux composants de la turbine, car il est le support du disque fabriqué avec la machine de tournage, et nous avons utilisé l'acier comme un métal. Son rôle est de recevoir l'énergie fluide convertie en énergie cinétique par les disques, l'écoulement étant défléchi au passage de la roue, il existe donc une force exercée par le fluide sur les disques, il y a donc travail (échange d'énergie).



Figure 3.1 : Arbre de la turbine

3.2.2. Les disques annulaires : Les disques annulaires sont les pièces principales de la turbine tesla. Ils appartiennent à la partie tournante et sont montés sur l'arbre central. Ce sont les composants dans lesquels la vapeur sortant de la buse peut pénétrer sur la surface du disque. Le disque doit être suffisamment haut pour résister à la pression et à la température de la vapeur. Les disques annulaires peuvent être de différents types, et il suit un principe de fonctionnement c'est le principe de la couche limite. Pour plusieurs raisons nous avons choisi l'aluminium pour réaliser les disques, l'opération passe par étapes (cisaillement, perçage, tournage ...) Les disques sont fabriqués avec une épaisseur de 0,9 mm par disque et un diamètre extérieur de 100 mm et un diamètre intérieur de 40 mm, trois trous ont été percés pour fixer un support de disque en polyamide avec des vis, des rondelles métalliques sont utilisées comme séparateurs entre les disques. Trois trous percés à 120° pour fixer un support de disque en polyamide avec des vis, des rondelles métalliques sont utilisées comme séparateurs entre les disques. Les rondelles ne sont pas fixées de manière rigide, généralement les espaces intermédiaires ne dépassent pas 1 à 2 millimètres, et Pour s'assurer que le fluide peut passer librement entre les disques.



Figure 3.2 : Disques annulaires

3.2.3. La Buse : La conception des buses joue un rôle essentiel dans les performances des turbines, car est un appareil conçu pour contrôler la direction ou les propriétés de l'écoulement d'un liquide (en particulier pour augmenter la vitesse), lorsqu'il sort (ou entre) dans une pièce ou un tube fermé, il se compose de deux parties : Tube en cuivre de 150 mm de long et 14 mm de diamètre extérieure et 12 mm de diamètre intérieur ce dernier est soudé tangentiellement avec un cercle épais de l'inox, le diamètre du cercle intérieur est de 95 mm et le diamètre extérieur est de 104 mm Son épaisseur

est de 5 mm et sa largeur de 64 mm, afin de couvrir les disques, la buse est caractérisé par une forme intérieure ovale comme indiqué dans la figure 3.3.



Figure 3.3 : Buse d'entrée

3.2.4. Le caisson : c'est l'enveloppe de la turbine (chambre d'expansion) il se compose de deux carrés en aluminium portant des paliers en polyamide, ces deux derniers, un à l'arrière pour l'échappement et l'autre à l'avant. Le but de la chambre d'expansion est simple: entourer le pack de disques et forcer le fluide à transiter à travers les disques, ainsi que de fournir une certaine protection en cas de panne. De plus, le caisson servirait à monter tous les composants, y compris les buses et les supports de palier. Étant donné que, une circonférence interne légèrement plus grande que le pack de disques (pour permettre l'étirement dans les disques eux-mêmes à la vitesse).

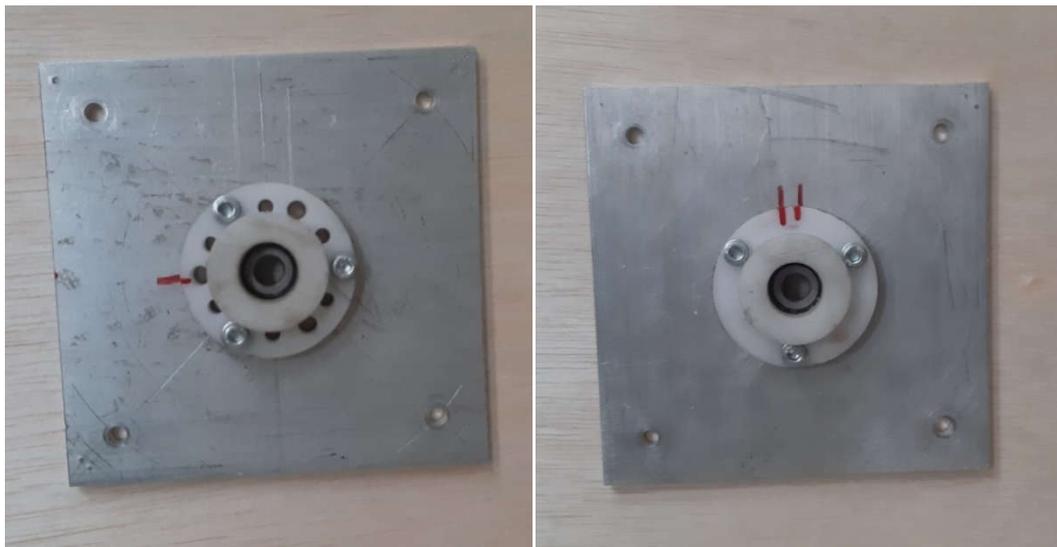


Figure 3.4 : Caisson

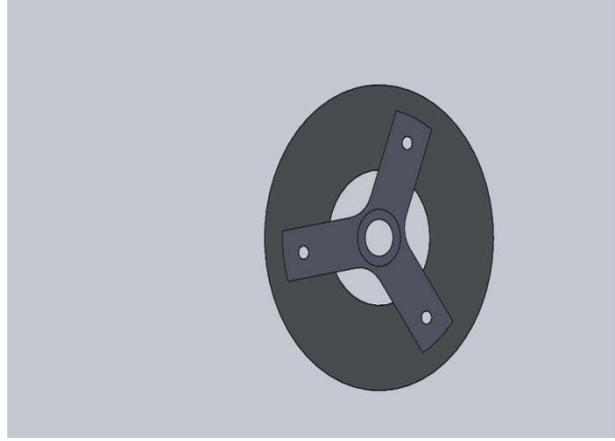
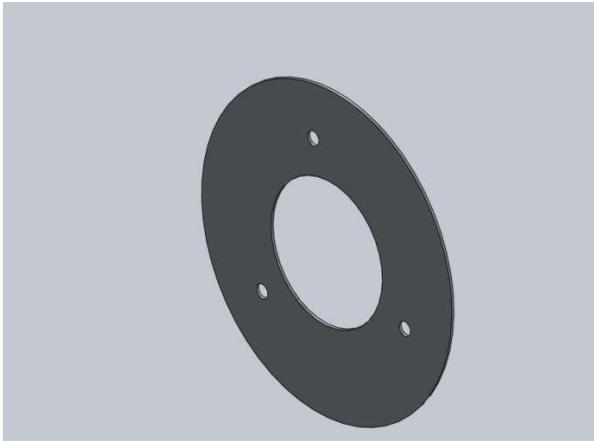


Figure 3.5 : Disque annulaire

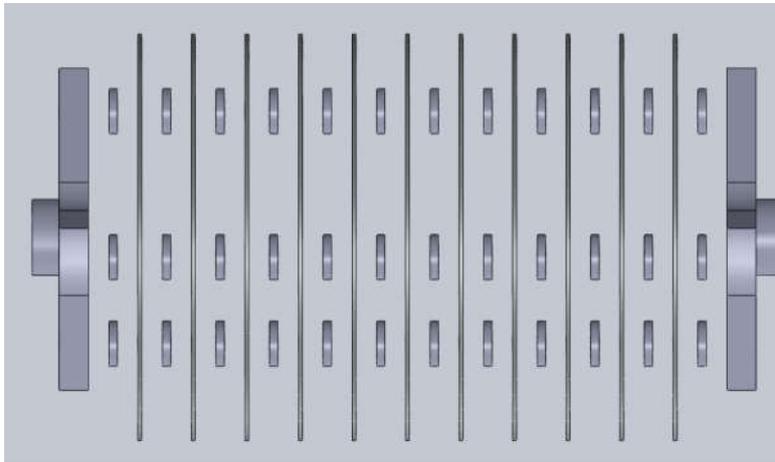


Figure 3.6 Disques annulaires regroupés et fixés sur un support

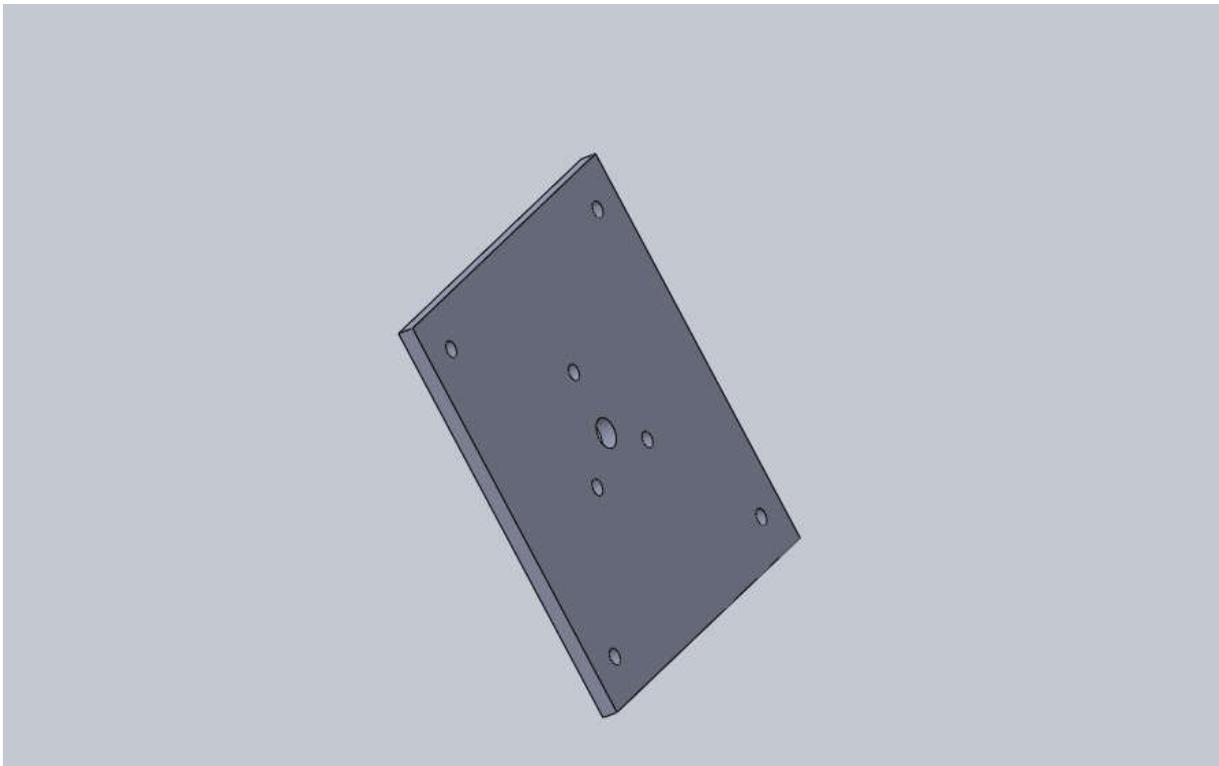
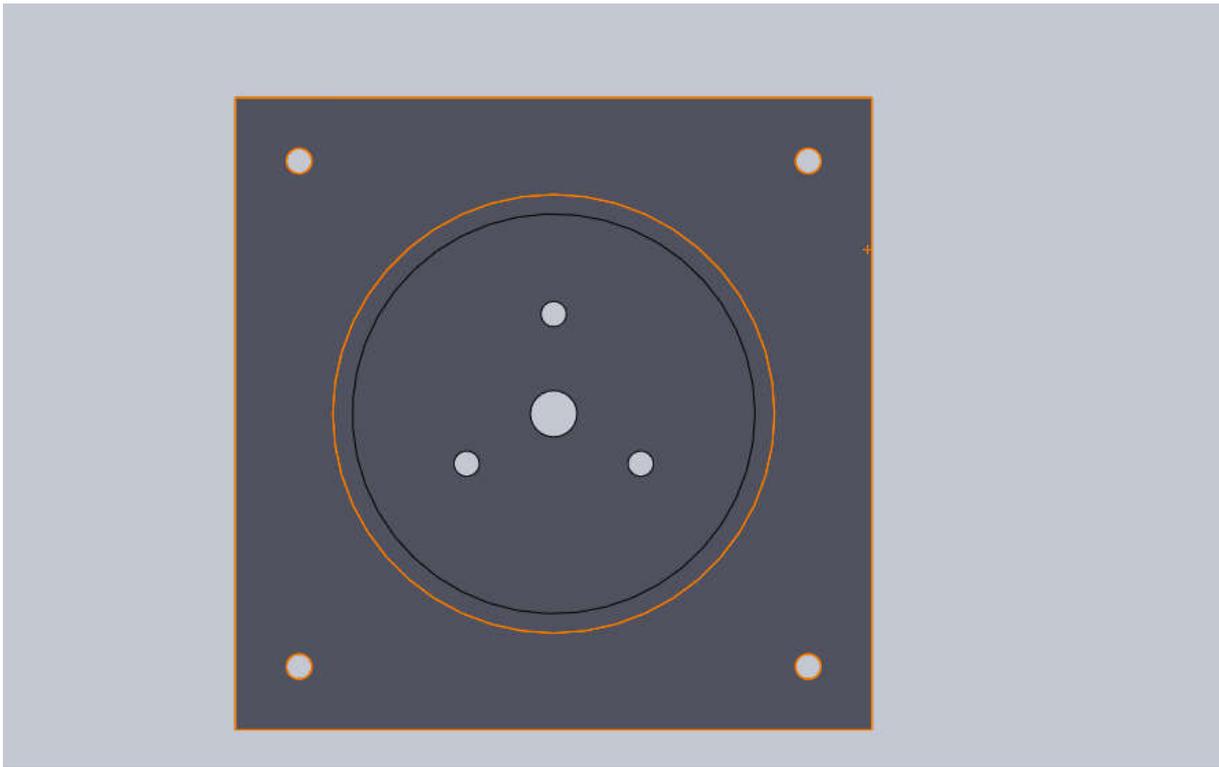


Figure 3.7 : le caisson

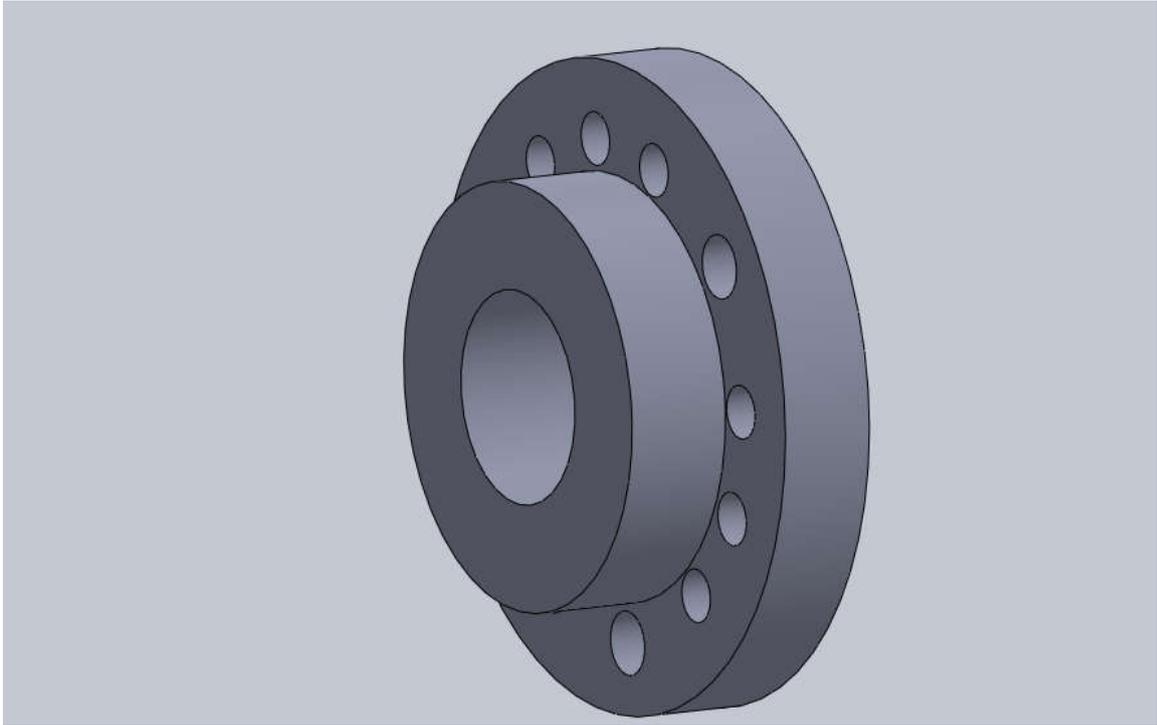


Figure 3.8 : pallier

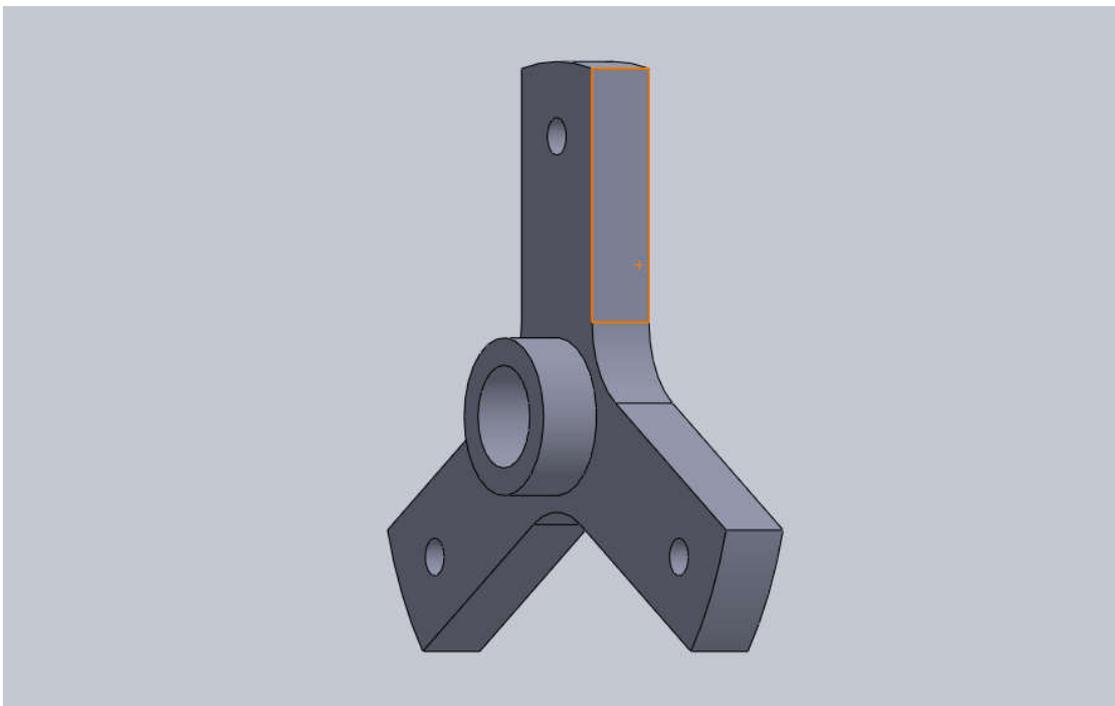


Figure 3.9: support disque

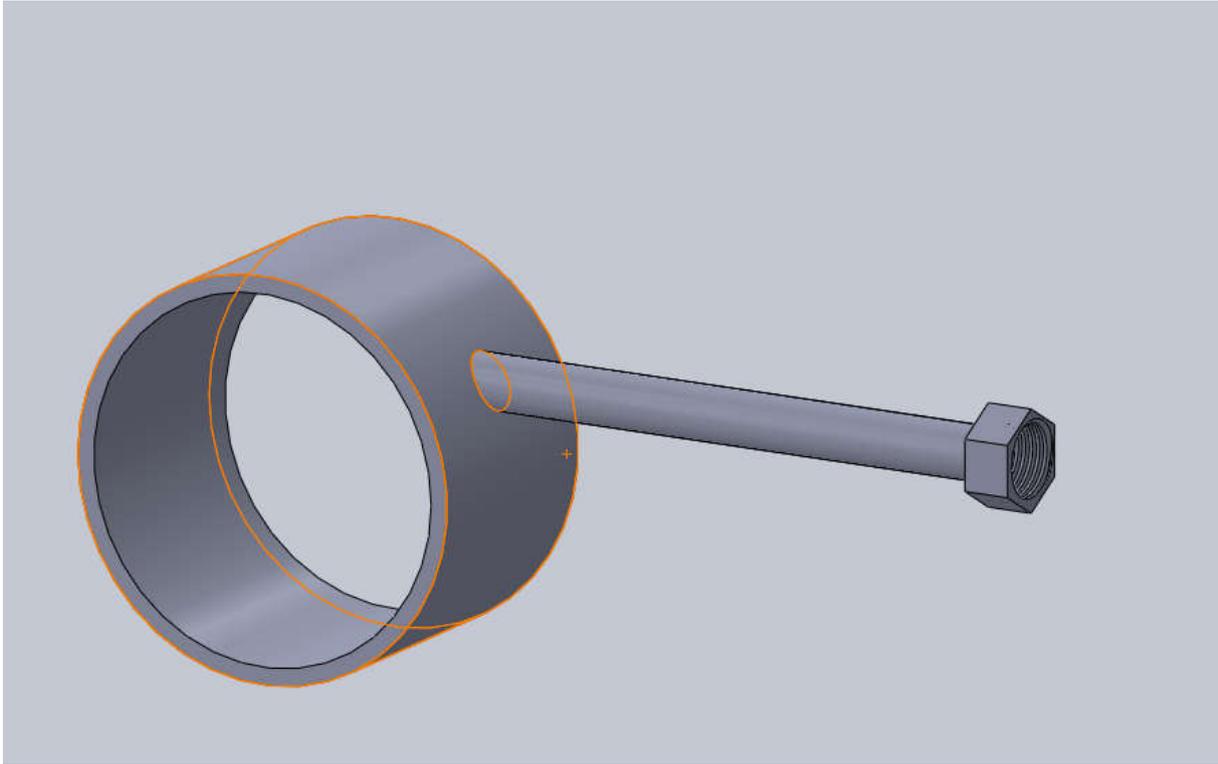


Figure 3.10 : la buse d'entrée

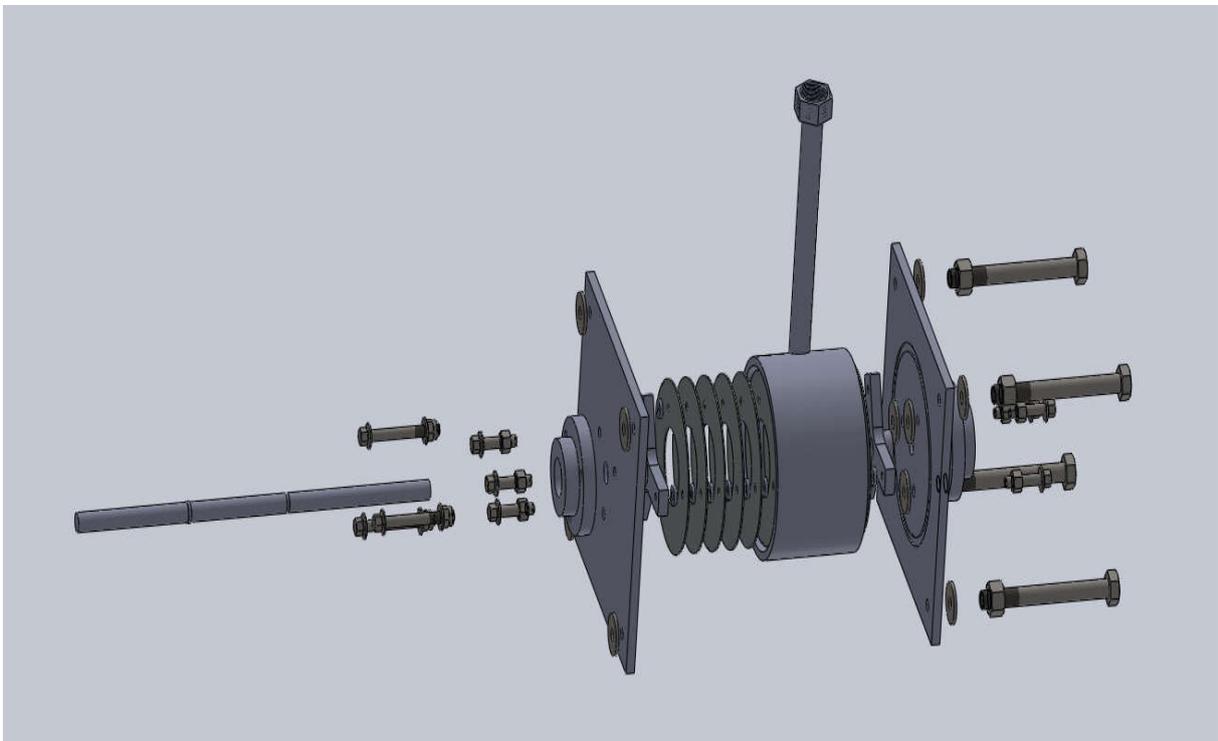


Figure 3.11 : La structure finale de la turbine démontée

3.2.6. Le matériel utilisé :

Plaque en aluminium mince de 0,9 mm utilisé dans la fabrication des disques , Deux plaques en aluminium de 6 mm pour le caisson, un cylindre creux en acier inoxydable épais pour fabriquer la buse et un tube en cuivre de 150 mm de long avec un diamètre intérieur de 12 mm pour l'entrée de ce dernier.

Cylindre polyamide pour les deux paliers, deux tubes carrés en acier doux ont été utilisés pour le support ainsi qu'une assiette plate en étain, un cylindre en aluminium d'un diamètre de 59 mm est utilisé pour fabriquer la poulie, un axe en acier est de 10 mm de diamètre est un rotor, vis de différents diamètres finalement courroie en cuir utilisé dans le système de freinage.

3.2.7. Les instruments de mesure :

La turbine Tesla possède de nombreuses variables qui doivent être prises en compte afin d'obtenir une compréhension des conditions de fonctionnement. Aux fins de ce mémoire. Et discuter des capteurs individuels utilisés pour les mesures

- deux thermomètres : Pour mesurer la température dans le compresseur et l'autre à l'entrée de la turbine.

Thermomètre digital LCD encastrable avec, son câble de 2m et sa sonde étanche Idéal pour l'intérieur, l'extérieur, les serres, , précis au 1/10ème de degré de moins 50°C à + 70° C, Écran digital LCD qui permet une lecture facile des mesures, idéal pour mesurer précisément aussi bien les températures négatives que positives de moins 50 °C à + 70 ° C

- deux dynamomètres digital : Connecté au système de freinage (poulie + courroie) pour mesurer la force, de haute qualité Précision: 5 g min Pondération: 20g Homme Pondération: 50 kg et 20 g minimum,

- Manomètre : Pour obtenir la pression d'air à l'entrée de la turbine, est un manomètre professionnel à haute précision, 9 unités à choisir écran digital de pression positive, négative ou pression différentielle, adéquate pour l'air et les gaz

- Tachéomètre digital : Pour détecter le nombre de tours de l'arbre tournant, Modèle DT6236B, Plage de mesure : compteur photo : 2,5 ~ 99,999 tr/min, Vitesse de contact : 0,5 ~ 19,999 tr/min, Vitesse de surface : 0,05 à 1,999,9 (m/min), Résolution : Vitesse photo : 0,01 tr/min. (2,5-999,99 tr/min), 0,1 tr/min (1000 à 9.999,9 tr/min), Précision : ± (0,05% + 1 chiffre), Temps de balayage :

0,5 secondes (plus de 120 RPM), Distance de détection : 50 à 500 mm, Écran : affichage LCD à 5 chiffres), Sélection de la zone : rangement automatique.

3.2.8. La procédure expérimentale de teste :

Premièrement, nous connectons la turbine aux instruments de mesure représentés par deux thermomètres, le premier mesure la température de l'air à l'intérieur du compresseur et le second mesure la température de l'air comprimé à l'entrée de la turbine. En plus de mesurer la différence de pression à l'entrée en connectant le manomètre. D'autre part, nous relierons les deux dispositifs dynamomètres aux deux extrémités de la poulie au moyen d'une courroie pour le système de freinage afin de pouvoir mesurer la force. Et nous utilisons le tachymètre pour mesurer la vitesse de rotation. Après avoir installé les outils de mesure, nous connectons la turbine au compresseur à l'aide d'un tuyau recouvert d'un matériau isolant, Ensuite, le compresseur commence à alimenter la turbine en ajustant la pression dans chaque expérience, les résultats sont enregistrés afin que nous répétions l'expérience plusieurs fois en changeant la pression dans chaque expérience pour aboutir à des résultats plus précis et nous permettre de calculer le rendement de la turbine, qui est le but de notre expérience.

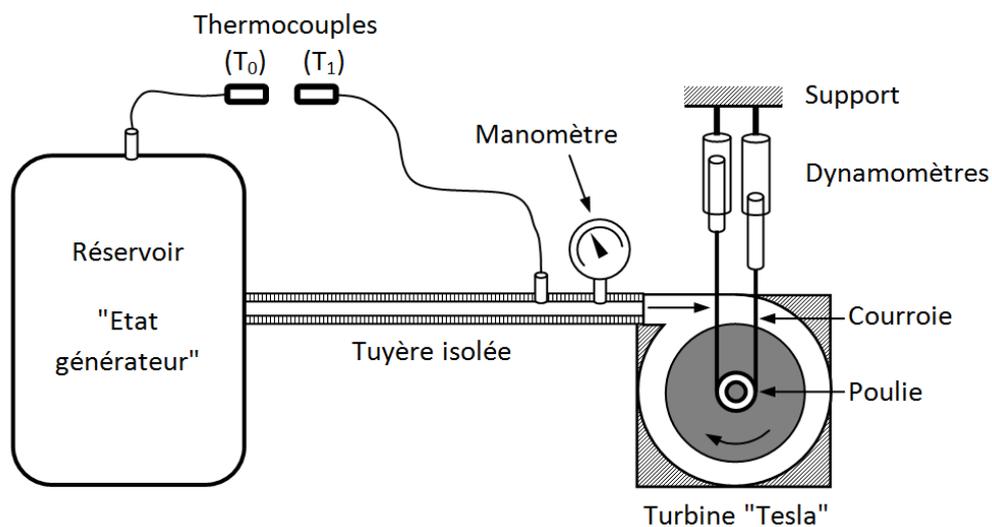


Figure 3.12 : Schéma d'installation final de dispositif



Figure 3.13: Photos du dispositif expérimentale

3.3. Partie théorique

Voici un rappel de quelques formules fondamentales de la thermodynamique nécessaires pour l'étude des écoulements compressibles, et utilisées pour calculer les puissances et déterminer éventuellement le rendement de la turbine Tesla. Ce dernier est défini comme étant le rapport entre la puissance de sortie extraite par le système de freinage Prony, et la puissance de l'air comprimé à l'entrée de la turbine, qui sont données respectivement par [20]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3.1)$$

$$P_{out} = (F_D - F_G) \times r \times \omega \quad (3.2)$$

$$P_{in} = Q_V \times p_e \quad (3.3)$$

La vitesse de rotation est donnée par $\omega = 2\pi \times N/60$, et le débit volumique est égal la vitesse multiplié par la section droite de la tuyère isolée $Q_V = U \times \frac{\pi}{4}D^2$; dont la vitesse peut être déterminée en considérant un écoulement compressible isentropique dans la tuyère isolée entre le réservoir et la turbine. Cela nous amène à formuler l'équation unidimensionnelle de conservation de l'énergie entre deux points quelconques comme:

$$h_1 + \frac{1}{2}U_1^2 = h_2 + \frac{1}{2}U_2^2 \quad \text{ou encore} \quad h + \frac{1}{2}U^2 = h_0 \quad (3.4)$$

En considérant que l'air comprimé comme gaz parfait de chaleur spécifique constante, l'équation (3.4) conduit à [21]:

$$U = \left(2 \times c_p (T_0 - T)\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

Avec:

$$r = 56 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D = 15 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$c_p = 1005 \text{ J/kgK}$$

Les paramètres à mesurer durant le test expérimental sont les suivants:

- F_D : La force dans le sens positif de la poulie en Newton [N] ;
- F_G : La force dans le sens négatif de la poulie en [N] ;
- N : Le nombre de tours [tr/min] ;
- p_e : La pression à l'entrée de la turbine [N/m^2];
- T_0 , T : La température au sein du compresseur et la température à l'entrée de la turbine.

Chapitre IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Chapitre 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Introduction

Après avoir testé le dispositif, les mesures ont été rassemblés et présentés sous forme de tableaux ci-après. Dans ces tableaux, chaque valeur de la pression à l'entrée de la turbine correspond à un test, dont on a fait varier le couple et mesurer la vitesse de rotation associée. Dans le même ordre que les tableaux, quelques résultats ont été présentés sous forme de graphes, qui nous fournissent l'effet du débit, et de la vitesse angulaire sur le rendement de la turbine.

Tableau 4.1 : Paramètres mesurés

p [N/m ²]	F _D [N]	F _G [N]	ω [tr/min]	T ₀ [K]	T [K]
0.5×10 ⁵	465	-15	3596.8	295.3	290.2
	255	-150	3641.2	299.1	290.3
	320	-145	7579.9	299.1	290.3
	295	-145	8975.9	299.1	290.3
	345	-160	4985.8	298.9	290.3
	345	-160	7957.1	298.9	290.3
	385	-175	5693.1	299	290.7
	365	-285	3177.7	298.3	290.5
	425	-335	486.72	299.6	290.8
	425	-300	1510.2	299.6	291.1
0.6×10 ⁵	640	-20	4293.9	295.3	290.2
	610	-20	4491.3	295.4	289.8
	660	-30	4817.0	295.4	289.8
	315	-40	5481.0	294.4	291.5
	210	-15	5932.8	298.3	289.4
	340	-15	13433	298.3	289.4
	300	0	12582	297.1	289.6
	120	-15	2874.0	297.3	289.6
	120	-15	10999	297.3	289.6
	125	-15	2874.0	297.3	289.6

0.7×10^5	490	-30	662206	296.9	292.3
	200	-25	6889.8	296.9	292.3
	345	-285	873.54	298	290.5
	55	-25	2960.9	297	289.6
	190	-25	6889.8	297.6	290
	395	-285	873.57	298	290.5
	445	-280	596.72	299.4	291
	88	0	1943.5	296.1	292.9
	295	-15	6389.4	296.1	292.9
	335	-15	9627.5	296.1	292.9
0.8×10^5	640	25	3322.1	293.9	289.4
	650	30	3939.9	293.9	289.4
	650	98	3566.8	293.9	289.4
	498	15	3693.6	293.9	288.7
	650	40	3614.8	293.9	289.4
	455	195	1106.8	297.3	289.4
	580	60	1106.6	297.3	289.4
	565	60	2971.0	297.3	289.4
	695	60	4535.3	297.3	289.4
	580	68	1106.8	297.3	289.4

En se basant sur les mesures dans le tableau 4.1 et en utilisant les relations (2) - (4) du Chapitre 3, nous pouvons calculer les paramètres permettant de déterminer le rendement de la turbine Tesla réalisée dans ce travail et fonctionnant sous les conditions spécifiées précédemment.

Tableau 4.2 : Paramètres calculés

p [N/m ²]	U [m/s]	Q _v [m ³ /s]	ω [rad/s]	P _{in} [W]	P _{out} [W]	η
0.5×10^5	101.24	1.184	376.65	59200	10124.35	0.17
	132.99	1.555	381.30	77750	8647.88	0.11
	132.99	1.555	793.76	77750	20669.5	0.26
	132.99	1.555	939.95	77750	28424.08	0.36
	131.47	1.538	522.11	76900	14765.27	0.19
	131.47	1.538	833.26	76900	23564.5	0.30
	129.16	1.511	596.18	75550	18696.2	0.24
	125.21	1.464	332.76	73200	12112.46	0.16
	132.99	1.555	50.96	77750	2168.85	0.02
	130.70	1.529	158.14	65000	6420.79	0.10

0.6×10^5	101.24	1.1845	449.65	71070	16619.06	0.28
	106.09	1.2412	470.32	74400	16581.6	0.21
	106.09	1.2412	504.43	74475.18	19491.17	0.25
	76.34	0.893	573.96	53580	21052.85	0.27
	133.74	1.5647	621.28	93600	8871.87	0.11
	132.23	1.5470	1406.7	92400	27965.19	0.36
	122.78	1.4365	1317.5	85800	22134	0.29
	124.40	1.4555	300	87000	2268	0.03
	124.40	1.4555	1151.8	87000	8707.6	0.11
	124.40	1.4555	300.96	87000	2359.52	0.03
0.7×10^5	96.156	1.125	693.51	78750	20195.01	0.25
	96.156	1.125	721.49	78750	9090.87	0.115
	122.78	1.436526	91.470	100556.82	3227.30	0.032
	121.95	1.426815	310.06	99877.05	1389.06	0.013
	123.59	1.446	721.49	101220	8686.73	0.085
	122.78	1.436526	91.480	100556.82	3483.55	0.034
	126.80	1.48356	62.480	103849.2	2536.68	0.024
	80.190	0.938	203.52	65660	1002.94	0.015
	80.190	0.938	669.09	65660	11615.4	0.017
	80.190	0.938	1008.18	65660	19760.32	0.30
0.8×10^5	95.10	1.11267	347.88	89013.6	11980.98	0.134
	95.10	1.11267	365.88	89013.6	12703.35	0.142
	95.10	1.11267	373.51	89013.6	11545.94	0.129
	120.29	1.407	386.79	112560	10461.89	0.092
	95.10	1.11267	378.54	89013.6	12930.92	0.145
	126.80	1.48356	115.90	118684.8	1687.50	0.014
	126.80	1.48356	115.88	118684.8	3374.42	0.028
	126.80	1.48356	311.12	118684.8	8798.47	0.074
	126.80	1.48356	477.93	118684.8	16888.51	0.142
	126.80	1.48356	115.90	118684.8	3323.08	0.027

4.2. Effet du débit d'air à l'entrée de la turbine

Nous remarquons à partir des courbes présentées dans la figure ci-dessous l'effet du débit sur la puissance d'entrée, car il a un rôle important similaire à celui de la pression, donc en augmentant l'une d'entre elles, la puissance d'entrée augmente, et cela ne reflète pas l'objectif principal de la turbine, qui est d'atteindre le rendement le plus élevé avec le plus faible taux d'énergie extrait possible.

Comme le montrent les résultats susmentionnés dans les tableaux, les valeurs de rendement les plus élevées sont obtenues avec les valeurs les plus basses du débit correspondant aux valeurs de pression les plus basses.

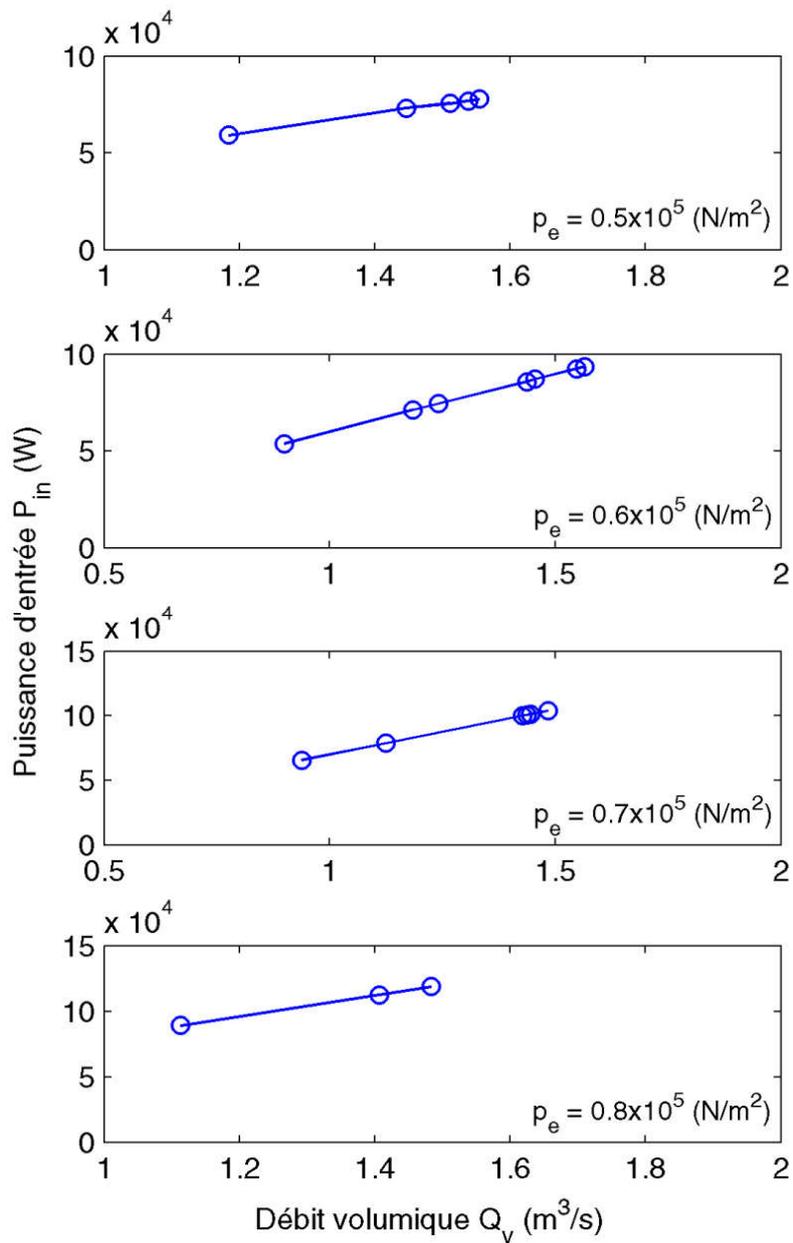


Figure : 4.1 Variation de la puissance à l'entrée en fonction du débit volumique de l'air

4.3. Effet de la vitesse de rotation de la turbine

Les figures (4.2) (4.3) ci-dessous montre que les courbes de rendement en fonction de la vitesse de rotation avec une pression et un débit constants dans chaque courbe, là où on remarque clairement la relation proportionnelle et directe entre eux de sorte que l'efficacité augmente avec l'augmentation de la vitesse de rotation.

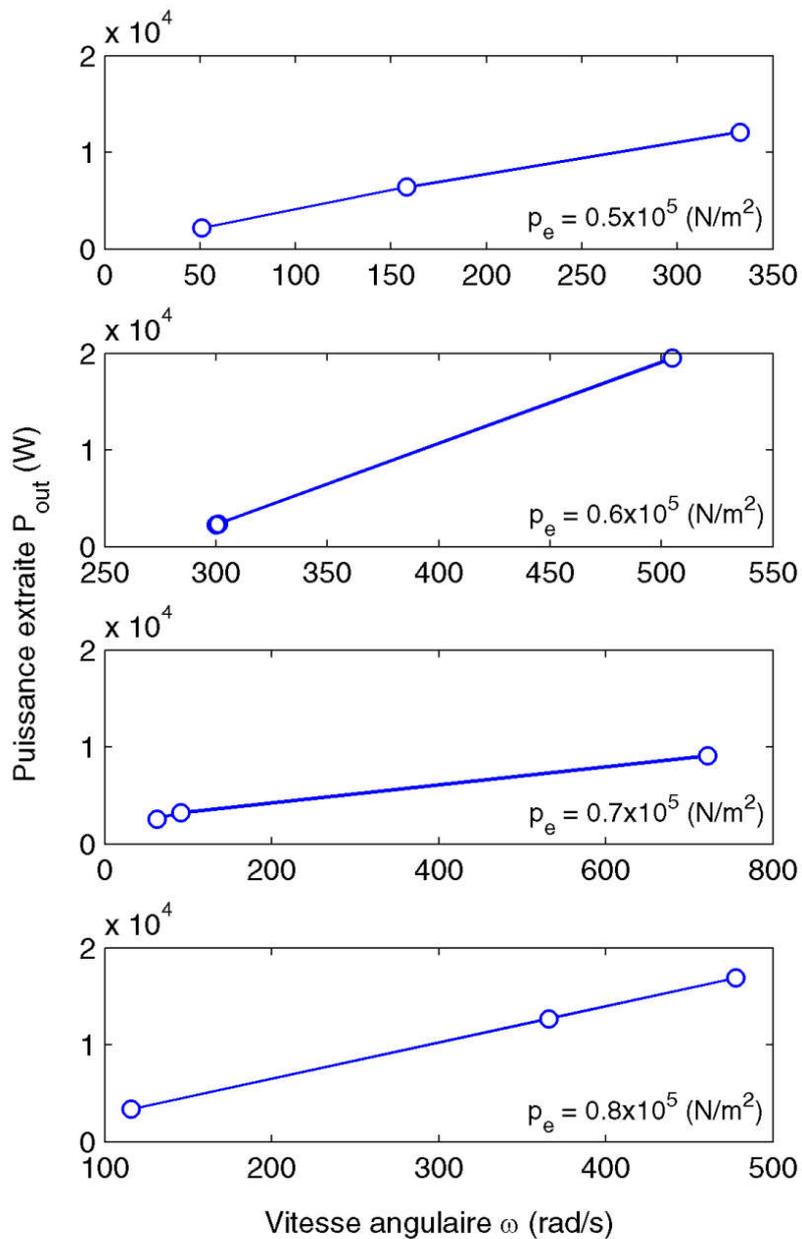


Figure : 4.2 Variation de la puissance extraite en fonction de la vitesse angulaire de la turbine

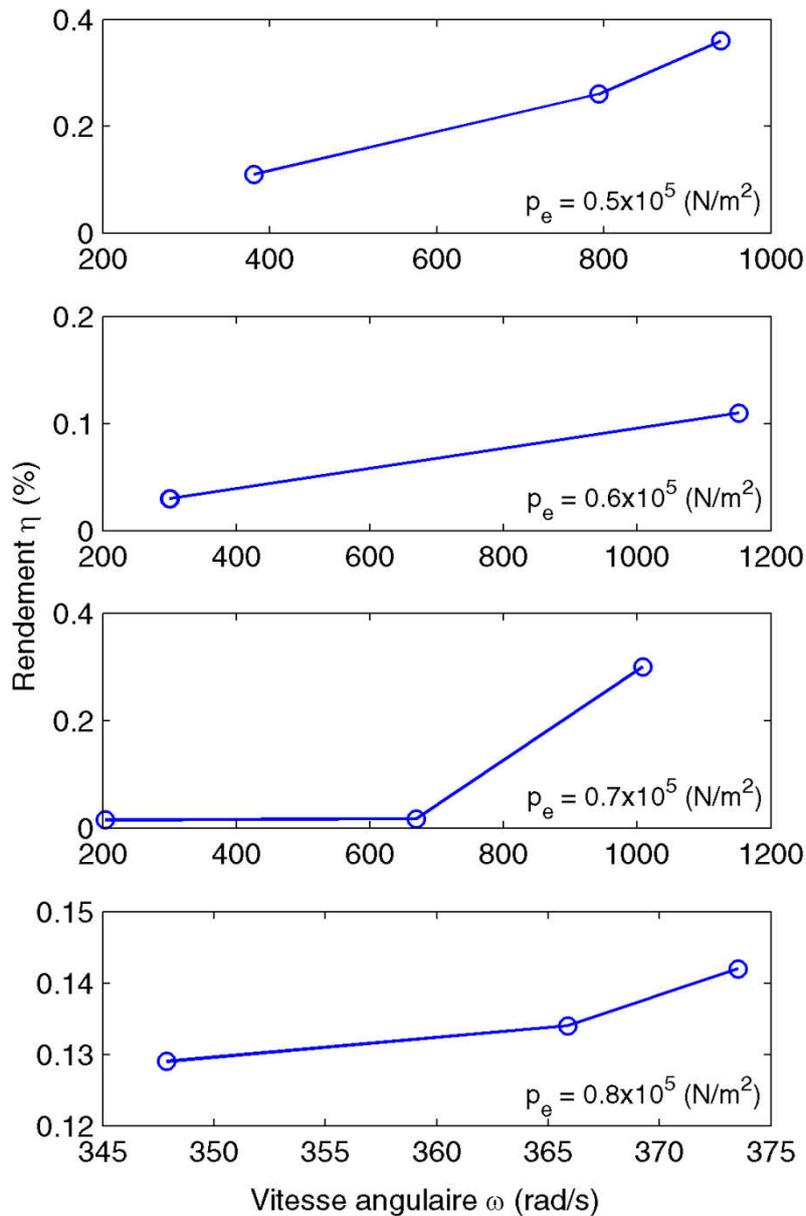


Figure : 4.3 Variation du rendement en fonction de la vitesse angulaire de la turbine

On ne peut nier que la pression a également un effet sur la vitesse et la viscosité du fluide qui sont responsables de la couche limite formée sur les surfaces des disques, qui est le principe du travail de la turbine, cela fait suite aux analyses obtenues à partir des résultats présentés dans les tableaux ci-dessus, de sorte qu'il existe une nette variation de la vitesse de rotation, chaque fois que la pression change.

En plus d'autres facteurs affectant la vitesse de rotation, tels que, l'angle de la buse, c'est-à-dire l'angle d'entrée du fluide, et plusieurs facteurs techniques, Par conséquent, tous ces paramètres doivent être mis en évidence lorsque nous parlons de l'augmentation de la vitesse de rotation et donc de l'amélioration de l'efficacité.

4.4. Discussion

D'après les résultats de notre expérience, nous constatons que l'augmentation de variable d'entrée, a une incidence positive sur le profil d'écoulement du fluide, car la puissance de sortie augmente avec la vitesse de rotation, mais diminue avec l'augmentation de pression à travers la turbine, comme le montre les figures ci-dessous.

Cela signifie que si l'énergie utile extraite est relativement faible ou si les propriétés du fluide de travail sont adéquates et moins visqueuses pour éviter le maximum de pertes de charge, cela améliorera certainement notre efficacité. Une autre remarque, au niveau de l'entrée de la buse, la réduction croissante de la vitesse et de la pression montre qu'il est nécessaire d'optimiser cette zone avant chaque conception.

D'autre part, nous devons prendre en compte l'effet de la conception de la buse, et de la taille, du nombre et de la distance entre les disques, pour qu'il y ait de nombreuses études menées sur ces deux derniers en raison de leur grand impact sur le rendement de la turbine Tesla, certaines d'entre elles ont été mentionnées au chapitre deux [11] [13].

On peut dire que les résultats expérimentaux obtenus sont acceptables et raisonnables par rapport aux recherches antérieures dans la littérature parallèles à nos travaux, cela dit, le processus était extrêmement instructif, même avec les défis présentés tout au long de la façon. Malgré le fait que la machine souffrait de problèmes de vibrations, elle était toujours capable de fonctionner à plus de 8975 tr / min, à seulement 500 ml bar, (prise en compte de la réduction de pression à l'entrée) et un rendement de 36%. Avec un usinage correct des disques, et avec quelques efforts d'équilibrage, la machine pourra sans aucun doute très bien fonctionner à de hautes pressions.

4.5. Conclusion

De ce point de vue, et grâce à notre expérience simple, nous pouvons dire que l'expérience a été raisonnablement réussie, compte tenu des résultats et des analyses que nous avons atteints, ce qui nous permettra de travailler sur l'amélioration de la conception de la turbine afin d'atteindre de meilleurs résultats.

Conclusion générale

Naturellement, les performances des turbines Tesla ont déjà été caractérisées par un certain nombre de chercheurs. L'analyse de Rice a été parmi les premières, et affirme que les turbines peuvent être rendues efficaces à 90%. Les designs de Ho-Yan revendiquent plus de 70% d'efficacité, ce qui lui donne l'opportunité de se substituer aux turbines traditionnelles, car la perte d'énergie en circulation peut être inférieure à celle des turbines traditionnelles. Ainsi, les inconvénients des turbines traditionnelles de type à aubes peuvent être surmontés dans une certaine mesure et ce type de turbines sans aubes présente les avantages d'une durée de vie relativement plus longue, de bonnes performances hors conception, d'un fonctionnement, d'un nettoyage et d'un entretien faciles, d'une structure simple, pas de corrosion des aubes. et de faibles coûts de fabrication.

De plus, des turbines sans pales peuvent être mises en service dans des applications telles que les systèmes de production d'électricité à base de biocarburant, les systèmes de récupération de chaleur, les systèmes de cogénération, les systèmes d'énergie solaire et les systèmes de récupération de la chaleur résiduelle.

L'efficacité de notre turbine Tesla peut être estimée à partir de 36%. Par calcul, il a été constaté que le rendement d'une turbine Tesla à 8975.9 tr / min aurait un rendement de 36% la turbine Tesla peut être trouvée, et à partir du compte, la perte de charge causée par la turbine Tesla. Le couple du 30.24 Nm en plus aura une efficacité de 3.6%, ce qui est plutôt faible par rapport aux résultats d'autres revues et recherches. Cela peut être dû à la limitation du faible débit d'entrée. En outre, une turbine Tesla entraînera une perte de charge qui reste dans la plage acceptable, dans le prochain plan, le processus d'amélioration se poursuivra. Le paramètre sera tel que la taille du disque, l'espace disque et le numéro de disque.

Ainsi, en tirant parti de ce phénomène, davantage d'ajustements à l'avenir pourraient sortir ce monde de la crise énergétique mondiale et permettre aux scientifiques de développer des systèmes plus efficaces. Il peut remplacer la turbine à vapeur car il a plus d'efficacité et peut jouer un rôle important dans le contrôle de la pollution du monde car il est l'une des principales sources propres d'énergie verte.

L'idée de remettre en pratique les turbines qui ont été retirées du marché sera donc une étape importante sur la voie de l'énergie verte. Afin de relancer les turbines Tesla, il était nécessaire de retirer leurs chaînes. La nouvelle conception de la turbine Tesla qui utilise à la fois la traction et l'effet de couche limite s'est avérée être une conception très économique et efficace et pourrait être utilisée à l'avenir pour éliminer la production d'électricité polluante.

Liste bibliographique

- [1] MICHEL Pluviose, Christelle Périllon, Turbomachines - Description et principes de base, consulté le 15/01/2020, URL : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/machines-hydrauliques-et-thermiques-fondamentaux-et-concepts-innovants-42171210/turbomachines-bm4280/>.
- [2] Centrale Hydroelectrique , Moulin-Ferme, Les turbines hydrauliques, consulté le 26/12/2019, URL : <http://moulindewanlin.be/la-centrale/les-turbines-hydrauliques/>.
- [3] METALLAOUI NASSIM, 2016/2017, Étude thermodynamique de la turbine à gazMS7001EA au niveau du complexe GNL1K de Skikda, mémoire pour l'obtention du master, université badji mokhtar annaba .
- [4] HOUNKONNOU SESSINOU M. William, 2010/2011, Modélisation et optimisation des systèmes énergétiques à l'aide d'algorithmes évolutifs, mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées (génie énergétique), école polytechnique de Montréal .
- [5] PAUL CHambadal, TURBINE A VAPEUR , Encyclopaedia universalis, consulté le 16/02/2020, URL: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/turbines-a-vapeur/>.
- [6] Académique appliqué énergie ingénierie industrie objet physique produit technologique, TURBINE TESLA, consulté le 09/11/2019, URL : <https://www.hisour.com/fr/tesla-turbine-40843/> .
- [7] JEROME DANGMANN, Turbomachine de Tesla , NEXUS 81, juillet-août 2012 .
- [8] DAVID BLAISE TSUANYO, 2010/2011 , Modélisation et caractérisation d'une turbine de tesla ,mémoire pour l'obtention du master, Institut international d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, France.
- [9] ERIC SERGE KENDA NITEDEM, 2012/2013 , Conception et dimensionnement d'une turbine de tesla de 250 w fonctionnant dans un cycle organique de rankine pour une centrale solaire a concentration , memoire pour l'obtention du master ,Institut international d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, France.
- [10] DENG et al, Amélioration d'une méthode d'analyse théorique des turbines tesla, Actes de l'ASME Turbo Expo ,Conférence et exposition GT2013, 3-7 juin 2013, San Antonio, Texas, USA.

- [11] QI et al, Influence de la distance d'espacement des disques sur les performances aérodynamiques et le champ d'écoulement de la turbine Tesla, Actes de l'ASME Turbo Expo 2016: Conférence technique et exposition sur les turbomachines GT2016, 13-17 juin 2016, Séoul, Corée du Sud.
- [12] RICE, 1965 , En investigation analytique et expérimentale de multiples turbines à disques, Journal de Engineering for Power ,Téléchargé depuis: <http://gasturbinespower.asmedigitalcollection.asme.org/> le 09/07/2013.
- [13] CHOON et al, 2011, Optimisation de la turbine Tesla à l'aide de l'approche numérique de la dynamique des fluides, Symposium IEEE sur l'électronique industrielle et les applications (ISIEA), 25 - 28 septembre 2011, Langkawi, Malaisie.
- [14] SIDDIQUI et al, Simulation numérique d'une turbine tesla à air comprimé, Actes de l'asme 2014 power conference , 28-31 juillet 2014, baltimore, maryland, USA.
- [15] HO-YAN,2011, Turbine Tesla pour les applications Pico Hydro, Journal d'ingénierie de Guelph (4), 1 - 8. ISSN: 1916-1107, Université de Guelph, Guelph, Ontario, Canada.
- [16] KHAN et al, 2013, Conception moderne améliorée et efficace de la turbine à couche limite pour un contrôle robuste et une production efficace d'énergie verte, 6ème Conférence sur les sciences du vide et des surfaces Asie et Australie (VASSCAA-6), Journal de physique: Série de conférences 439 (2013) 012043.
- [17] PALOUSEK et al, 2007, Conception de la turbine tesla, Conférence de thèse de diplôme, Département de design, Département de mécanique des solides, mécatronique et biomécanique, Brno, République tchèque.
- [18] HARIKISHAN GUPTA, 2013, Conception et fonctionnement de la machine Tesla Turbo - Un examen de l'état de l'art, Journal international des phénomènes de transport avancés Vol. 02, n ° 01, décembre/ janvier 2013.
- [19] ZAHID et al, 2016, Conception et analyse d'une turbine prototype Tesla pour les applications de production d'énergie , Journal technique, Université d'ingénierie et de technologie (UET) Taxila, Pakistan Vol. 21 n ° 2 -2016 .
- [20] RUDOLF PODGORNIK, 2011, The Tesla Turbine, Seminar, Faculté de mathématiques et de physique de l'Université de Ljubljana .
- [21]Mécanique des fluides, la force des écoulements, <http://cours.polymtl.ca/MReggio/mec4270/MECAFLU/Flip8aMF/MecaFlu2014-8a.pdf> consulté le 2/06/2020