

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département : Électromécanique

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Électromécanique

Spécialité : Électromécanique

Par

➤ **Mehdi Mohamed**

Intitulé

***Acquisition et supervision des grandeurs caractéristiques d'une turbine
Pelton de travaux pratiques***

Soutenu le : 25/06/2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>SAKHARA Saadi</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>MEGHLOUI Issam</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>LAYADI Toufik Madani</i>	<i>MCA</i>	<i>Co- encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>KHENFER Riad</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>BENNIA Abderazak</i>	<i>MCA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي جَعَلَ الْمَوْتَ
وَالْحَيَاةَ وَالَّذِي
يُعِيدُ النَّاسَ
وَالَّذِي يُعَلِّمُ
بِالْقَلَمِ وَالَّذِي
جَعَلَ اللَّيْلَ وَالنَّجْمَ
وَالَّذِي جَعَلَ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي جَعَلَ الْمَوْتَ
وَالْحَيَاةَ وَالَّذِي
يُعِيدُ النَّاسَ
وَالَّذِي يُعَلِّمُ
بِالْقَلَمِ وَالَّذِي
جَعَلَ اللَّيْلَ وَالنَّجْمَ
وَالَّذِي جَعَلَ

Dédicace

Pour ma mère, à mon père.

Pour tous mes frères.

***Pour tous ceux qui étaient prêts À Nous
enseigner.***

***Pour tous les amis. Je dédie
ce travail.***

Remerciements

***En premier lieu, je tiens à remercier
"ALLAH", notre créateur pour m'avoir
donné la force pour accomplir ce travail.***

***Je tiens à exprimer mes vifs
remerciements à tous les professeurs qui
m'ont aidé tout au long de mon cursus
universitaire***

***Mes remerciements, vont à tous ceux qui
ont contribué de près ou de loin pour
l'aboutissement de
ce travail.***

Résumé

Les turbines Pelton font partie des turbines à action. Elles sont entraînées par des buses à jet libre. L'eau est fortement accélérée dans les buses. C'est la pression atmosphérique qui règne à la sortie des buses. Il permet de réaliser des essais de base permettant d'étudier le comportement en service et de déterminer les grandeurs caractéristiques principales des turbines Pelton. Le jet d'eau est accéléré dans une buse et atteint tangentiellement la roue Pelton.

Le banc d'essai est composé d'une roue Pelton et d'une tuyère à aiguille, intégrées dans un boîtier transparent. L'ajustage de la tuyère à aiguille peut être modifié en service.

Un dispositif de charge se trouve en dehors du boîtier. Le frein à courants de Foucault finement ajustable et sans usure assure une charge bien définie. Le couple fourni par la turbine est déterminé par un capteur de charge électronique. La vitesse de rotation est mesurée par un capteur de vitesse de rotation optique.

L'appareil d'essai est équipé de capteurs de pression et de débit. La technique de mesure basée sur un microprocesseur est bien protégée à l'intérieur du boîtier. Les valeurs mesurées sont transmises vers un PC afin d'y être évaluées à l'aide du logiciel développé. La transmission des données au PC se fait par une interface USB.

L'association du logiciel et du microprocesseur présente tous les avantages offerts par la réalisation avec la commande et l'évaluation d'essais assistées par ordinateur.

Abstare

Pelton turbines are part of the action turbines. They are driven by free-jet nozzles. The water is strongly accelerated in the nozzles. It is the atmospheric pressure that reigns at the outlet of the nozzles. It makes it possible to carry out basic tests to study the behavior in service and to determine the main characteristic quantities of Pelton turbines. The water jet is accelerated in a nozzle and tangentially reaches the Pelton wheel.

The test bench consists of a Pelton wheel and a needle nozzle, integrated in a transparent housing. The adjustment of the needle nozzle can be modified in service.

A charging device is located outside the housing. The finely adjustable and wear-free eddy current brake ensures a well-defined load. The torque supplied by the turbine is determined by an electronic load sensor. The rotation speed is measured by an optical rotation speed sensor.

The test device is equipped with pressure and flow sensors. The microprocessor-based measurement technique is well protected inside the housing. The measured values are

transmitted to a PC in order to be evaluated there using the developed software. The data transmission to the PC is via a USB interface.

The combination of the software and the microprocessor has all the advantages offered by the realization with the control and evaluation of computer-assisted tests.

ملخص

توربينات بيلتون هي جزء من توربينات العمل. يتم تشغيلها بواسطة فوهات نفثة حرة. يتم تسريع الماء بقوة في الفتحات. إنه الضغط الجوي الذي يسود عند مخرج الفوهات. يجعل من الممكن إجراء اختبارات أساسية لدراسة السلوك في الخدمة وتحديد الكميات المميزة الرئيسية لتوربينات بيلتون. يتم تسريع النفثة المائية في فوهة وتصل بشكل عرضي إلى عجلة بيلتون.

يتكون مقعد الاختبار من عجلة بيلتون وفوهة إبرة ، مدمجة في غلاف شفاف. يمكن تعديل فوهة الإبرة في الخدمة يوجد جهاز شحن خارج السكن. تضمن فرامل الدوامية الحالية القابلة للتعديل بدقة وخالية من التآكل حملا محددًا جيدًا. يتم تحديد عزم الدوران الذي يوفره التوربين بواسطة مستشعر تحميل إلكتروني. يتم قياس سرعة الدوران بواسطة مستشعر سرعة الدوران البصري.

تم تجهيز جهاز الاختبار بأجهزة استشعار الضغط والتدفق. تقنية القياس القائمة على المعالجات الدقيقة محمية بشكل جيد داخل السكن. يتم نقل القيم المقاسة إلى جهاز كمبيوتر ليتم تقييمها هناك باستخدام البرنامج المطور. نقل البيانات إلى جهاز الكمبيوتر عن طريق واجهة أوسب.

يحتوي الجمع بين البرنامج والمعالج الدقيق على جميع المزايا التي يوفرها الإدراك مع التحكم في الاختبارات بمساعدة الكمبيوتر وتقييمها.

Liste des symboles et abréviations

GND: Ground (mass).

LCD: Liquid Crystal Display.

SCL: Serial Clock Line.

SDA: Serial Data Line.

VIN: Volt In.

VCC: Voltage.

SPI: Serial Peripheral Interface.

η : rendement [%].

Ω : vitesse de rotation [**tr/min**].

P : pression en [**Pa**].

PH : puissance hydraulique [**W**].

PM : puissance mécanique [**W**].

PE : puissance électrique [**W**].

QV : débit volumique [**L/H**]

Cr : couple résistant [**N.m**].

Liste des Tableaux

Tableau 3. 1. Résultats de la mesure de vitesse pour $Q_v = 500$ [L/H].....	25
Tableau 3. 2. Résultats de la mesure de rendement pour $Q_v=500$	26
Tableau 3. 3. Résultats de la mesure de vitesse pour $Q_v=500$	27
Tableau 3. 4. Résultats de la mesure de rendement pour $Q_v=400$	28
Tableau 3. 5. Résultats de la mesure de vitesse pour $Q_v=300$ (L/H).....	29
Tableau 3. 6. Résultats de la mesure de rendement pour $Q_v=300$ [L/H]	30

Liste des figures

Figure 1. 1. Dessin d'une turbine à vapeur inventée par Charles Algernon Parsons en 1887.....	3
Figure 1. 2. Éoliennes à axe horizontal	3
Figure 1. 3. Éoliennes à axe vertical	4
Figure 1. 4. Turbine à gaz.....	5
Figure 1. 5. Turbine Francis	5
Figure 1. 6. Turbine Kaplan.....	6
Figure 1. 7. Turbine Pelton.....	7
Figure 1. 8. Constitution de la turbine Pelton	8
Figure 1. 9. Roue à augets de turbine Pelton	9
Figure 1. 10. Injecteur	9
Figure 1. 11. Type de déflecteurs les plus communs	10
Figure 1. 12. Bâche de la turbine	11
Figure 1. 13. Jet d'eau sur la turbine Pelton.....	12
Figure 1. 14. Triangles des vitesses dans une roue d'une turbine Pelton.....	12
Figure 1. 15. Rendement total d'une turbine Pelton	13
Figure 2. 1. Banc d'essai réalisé avant modification.....	15
Figure 2. 2. Frein à poudre magnétique.....	16
Figure 2. 3. Commande de frein	17
Figure 2. 4. Support de frein.....	18
Figure 2. 5. Joint torique	18
Figure 2. 6. Conception générale du banc d'essai.....	19
Figure 2. 7. Partie mécanique réalisée.....	20
Figure 2. 8. Carte Arduino Uno	21
Figure 2. 9. Captures utilisées.....	21
Figure 2. 10. Ecran LCD 20x4.....	22
Figure 2. 11. Câblage général de la partie acquisition et affichage	23
Figure 3. 1. Courbe caractéristique $\Omega = f (Cr)$ pour $Q_v=500l/h$	25
Figure 3. 2. Courbe caractéristique $\eta = f (Cr)$ pour $Q_v=500l/h$	26
Figure 3. 3. Courbe caractéristique $\Omega = f (Cr)$ pour $Q_v=400l/h$	27
Figure 3. 4. Courbe caractéristique $\eta = f (Cr)$ pour $Q_v=400l/h$	28
Figure 3. 5. Courbe caractéristique $\Omega = f (Cr)$ pour $Q_v=300l/h$	29
Figure 3. 6. Courbe caractéristique $\eta = f (Cr)$ pour $Q_v =300l/h$	30
Figure 3. 7. Courbe caractéristique $\Omega = f (Cr)$	31
Figure 3. 8. Courbe caractéristique $\eta = f (Cr)$	31

Sommaire

Chapiter 1	2
<i>Généralité sur la turbine Pelton</i>	2
1.1 Introduction	2
1.2 Les turbines	2
1.2.1 Turbine à vapeur	2
1.3 Turbine à vent	3
1.3.1 Éoliennes à axe horizontal	3
1.3.2 Éoliennes à axe vertical	3
1.4 Turbine à gaz	4
1.4.1 Turbine hydraulique	5
1.4.2 La turbine Francis	5
1.4.3 La turbine Kaplan	6
1.4.4 La turbine Pelton	6
1.5 Principe et composition de la turbine Pelton	7
1.5.1 Principe	7
1.5.2 Constitution	7
1.5.3 Roue à augets	8
1.5.4 Injecteur	9
1.5.5 Déflecteur	9
1.5.6 Bâche	10
1.5.7 Régulation	11
1.6 Calcul	12
1.6.1 Triangle de vitesse	12
1.6.2 Rendement	12
1.6.3 Rendement de la turbine	13
1.6.4 Rendement du générateur	13
1.6.5 Rendement total	13
1.7 Conclusion	14
Chapiter 2	15
Modifications apportées sur le banc d'essais	15
2.1 Introduction	15
2.2 Description générale	15
2.3 Modifications réalisées sur le banc d'essai	16

2.4	Partie mécanique.....	16
2.4.1	Freins électromagnétiques.....	16
2.4.2	Commande de frein.....	16
2.4.3	Support de frein	17
2.4.4	Joint torique.....	18
2.4.5	Conception mécanique du banc d'essai	19
2.5	Partie acquisition et affichage	20
2.5.1	Carte Arduino Uno	20
2.5.2	Capteurs utilisés.....	21
2.5.3	Écran LCD.....	22
2.5.4	Câblage général de la partie acquisition et affichage	22
2.6	Partie programmation.....	23
2.6.1	Programme Arduino	23
2.7	Conclusion.....	24
Chapiter 3		26
Expérimentations sur le banc d'essai		26
3.1	Introduction	24
3.2	Point de fonctionnement d'une turbomachine.....	24
3.3	Caractéristique de la turbine Pelton	24
3.3.1	Caractéristique de la vitesse en fonction de couple lorsque le débit $Q_v=500$ [L/H]	24
3.3.2	Caractéristique de la vitesse en fonction de couple lorsque le débit $Q_v=400$ (L/H)	27
3.3.3	Caractéristique de la vitesse en fonction de débit $Q_v=300$ (L/H)	29
3.4	Conclusion.....	32
<i>Conclusion générale</i>		33
Références bibliographiques		35
Annexe		36

Introduction générale

Introduction générale

Dans un monde où les ressources énergétiques vont en se raréfiant et où le changement climatique est une fatalité, il convient de trouver des solutions pour changer nos habitudes de production au départ d'énergies fossiles.

À ce propos, Le monde actuel vit une évolution de la production d'énergie, qui se dirige vers les énergies propres et renouvelables (hydraulique, nucléaire, solaire, thermique). Parmi les machines ayant un rôle primordial dans le domaine énergétique, on peut citer les turbines.

Dans ce travail on s'intéresse particulièrement à la turbine Pelton. De l'étude théorique à la réalisation pratique de cette dernière, le principe de fonctionnement ainsi que les différentes courbes caractéristiques de cette dernière telles que la vitesse de rotation, et le rendement en fonction de couple résistant seront relevés expérimentalement sur le banc d'essai développé.

L'idée de ce projet de fin d'étude répond au besoin du laboratoire de département électromécanique de notre université pour la réalisation des travaux pratiques pour le niveau Master.

Ce mémoire comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre, on a présenté une généralité sur la turbine Pelton, la composition et le principe de fonctionnement de cette dernière ont été discutés en détail.

Dans le second chapitre on va présenter la modification sur le banc d'essai de la turbine Pelton que nous avons apporté, les différents constituants hardwares et softwares ainsi que la conception mécanique du banc d'essai développée sera discutée en détail dans ce même chapitre.

Le troisième et dernier chapitre portera sur l'acquisition et la supervision des mesures en temps réel. A la fin de ce chapitre les courbes caractéristiques de la turbine Pelton, la vitesse de rotation et le rendement en fonction de couple résistant seront relevés expérimentalement, une analyse et discussion des résultats clôtureront ce chapitre.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale et deux annexes.

Chapiter 1

Généralité sur la turbine Pelton

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter quelques notions de base sur la turbine Pelton. Qui constitue un type très important des turbines hydrauliques utilisés principalement pour la génération de l'énergie électrique dans les barrages. Nous allons commencer par présenter les types de toutes les turbines existantes. Et aussi le principe de fonctionnement de la turbine Pelton. Et enfin les équations de base pour les calculs des différents paramètres de cette turbine seront présentées.

1.2 Les turbines

Une turbine est un dispositif rotatif destiné à utiliser la force d'un fluide (eau, vapeur, air, gaz de combustion), dont le couple est transmis au moyen d'un arbre.

L'énergie du fluide, caractérisée par sa vitesse et son enthalpie, est partiellement convertie en énergie mécanique pour entraîner un alternateur, une pompe ou tout autre récepteur mécanique rotatif, il existe quatre types de turbines :

La turbine à vapeur, turbine à vent, turbine à gaz et turbine hydraulique.

1.2.1 Turbine à vapeur

La turbine à vapeur est un moteur à combustion externe, fonctionnant selon le cycle thermodynamique. Ce cycle se distingue par le changement d'état affectant le fluide moteur qui est en général de la vapeur d'eau voir la figure (1. 1).

Ce cycle comprend au moins les étapes suivantes :

- L'eau est mise en pression par une pompe pour être envoyée vers la chaudière.
- L'eau est chauffée, vaporisée et surchauffée.

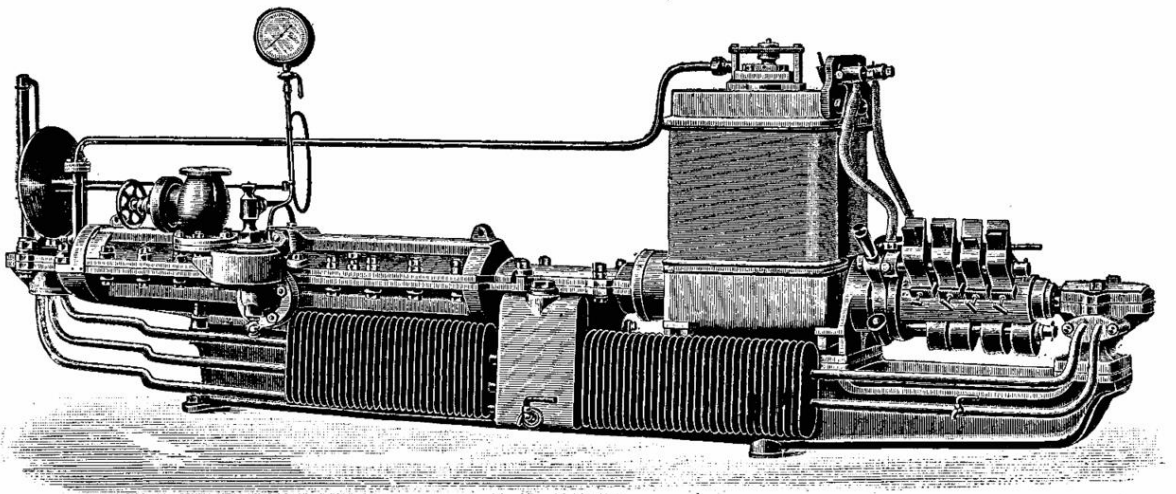


Figure 1. 1. Dessin d'une turbine à vapeur inventée par Charles Algernon Parsons en 1887 [1]

1.3 Turbine à vent

1.3.1 Éoliennes à axe horizontal

Ils ont le rotor principal et le générateur au sommet de la tour et doivent toujours être orientés dans le sens du vent. Le mouvement de rotation est multiplié et transmis au générateur de courant.

Les éoliennes à axe horizontal doivent être positionnées à une hauteur suffisamment élevée afin de ne pas être influencé par les turbulences et avoir l'inconvénient de monter le générateur sur le dessus de la tour qui les rend difficiles à entretenir.



Figure 1. 2. Éoliennes à axe horizontal [2].

1.3.2 Éoliennes à axe vertical

Ils ont l'avantage de ne pas avoir à être positionnés dans la direction du vent et le générateur peut être placé au sol pour faciliter l'entretien. Ils sont idéaux pour les zones où la

direction du vent change, également là où les turbines ne peuvent pas être montées à haute altitude.

L'inconvénient est que les vitesses au sol sont faibles, comparer à une éolienne à axe horizontal, pour une même puissance la taille de l'éolienne sera très importante.



Figure 1. 3. Éoliennes à axe vertical [2].

1.4 Turbine à gaz

La turbine à gaz avec le compresseur et la chambre de combustion qui sont des éléments constitutifs des turbines à gaz conventionnels, la puissance fournie par la turbine sert à entraîner le qui permet d'entraîner le générateur électrique.

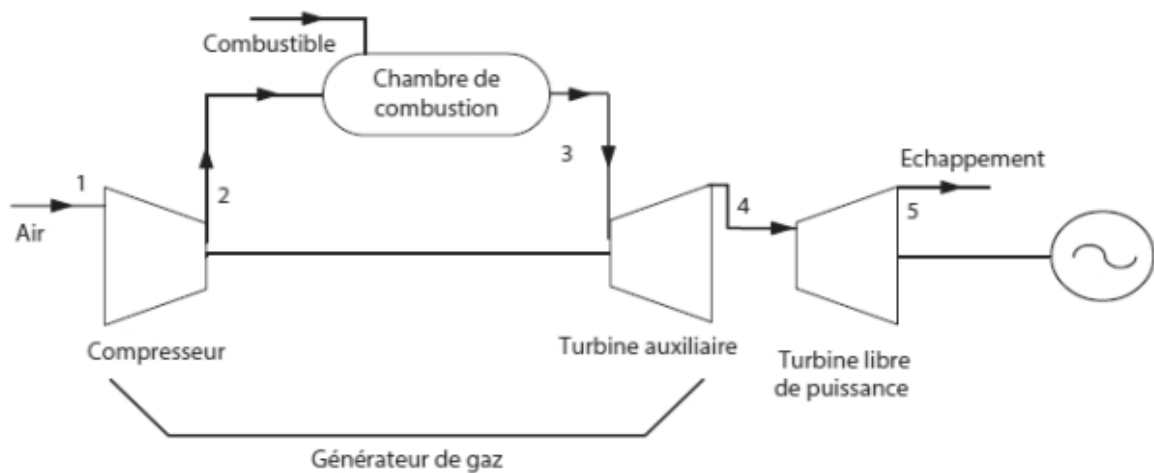


Figure 1. 4. Turbine à gaz [3]

1.4.1 Turbine hydraulique

Située à la base d'un barrage hydroélectrique, cette turbine est actionnée par l'écoulement de l'eau qui à son tour actionne un alternateur qui produit de l'électricité. Elle peut utiliser principalement la pression de l'eau (type Francis), la vitesse de l'eau (type Pelton), ou encore un gros débit (type Kaplan).

1.4.2 La turbine Francis

Turbine où la roue intérieure est mobile. Ce système proposé par le Français Jean Poncelet fin des années 1820, fut breveté par le Nord-américain en 1838 et popularisé par James B. Francis. Dans les années 1860, cette turbine commença à supplanter la roue hydraulique.

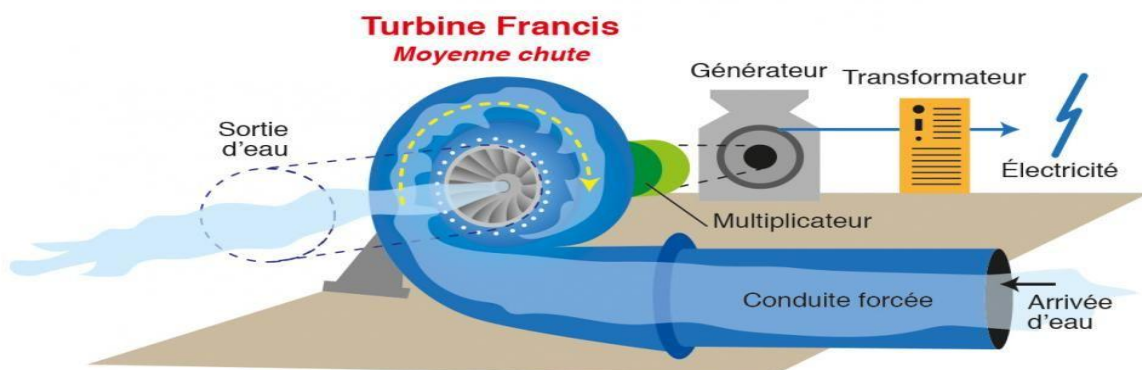


Figure 1. 5. Turbine Francis [4]

1.4.3 La turbine Kaplan

En 1910, l'Autrichien Victor Kaplan propose une turbine répondant au rendement médiocre de la turbine Francis dans le cas de faibles charges. Cette turbine à axe vertical et à rotor en hélice avait des aubes à pas variable. La première turbine Kaplan fut installée, en 1919, Sa puissance était de 25,8 ch. pour une hauteur de chute de 2,3 m. Jusque 1926, le développement des turbines Kaplan fut arrêté par un phénomène de cavitation. En 1926, une société suédoise résout le problème en créant une servo-direction à commande hydraulique pour la rotation des aubes du rotor. Cette même année fut installée, une turbine au rotor de 5,8 m de diamètre et dont la puissance atteignait 10 000 ch. pour une hauteur de chute de 6,5 m. Les turbines Kaplan conviennent particulièrement aux faibles hauteurs de chute et forts débit [5].

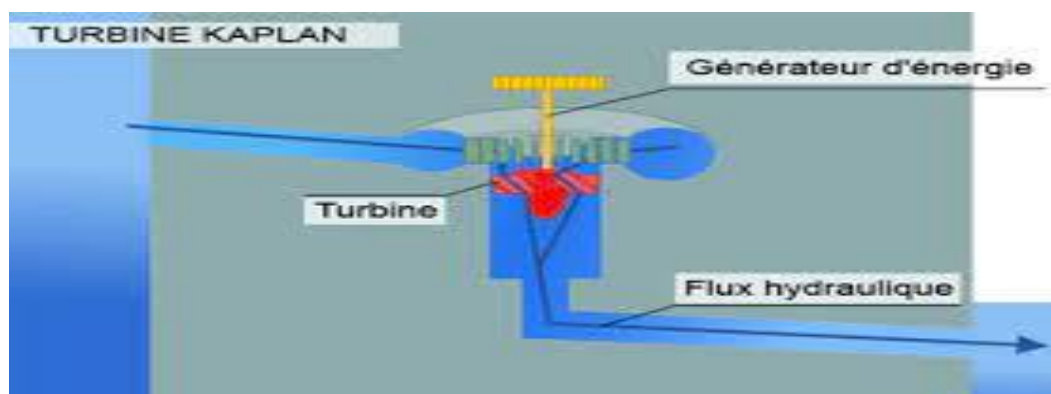


Figure 1. 6. Turbine Kaplan [5].

1.4.4 La turbine Pelton

Conçue par l'ingénieur des mines en Californie, Lester A. Pelton, dans les années 1870. Celui-ci avait observé l'accélération, jusqu'à l'éclatement, d'une roue hydraulique à aubes incurvées frappée, accidentellement, par un jet d'eau. Pelton vint à la conclusion qu'on pouvait mieux exploiter la puissance d'un jet en inversant la direction avec l'aube. Il redessina l'aube en y créant deux poches accolées formant une arête médiane dans l'aube divisant ainsi le jet en deux et le déviant complètement. Cette turbine convient particulièrement aux hautes chutes à débit modéré ou faible. Sa fabrication industrielle commença dans les années 1880, la figure (1. 7) ci-dessous illustre cela.

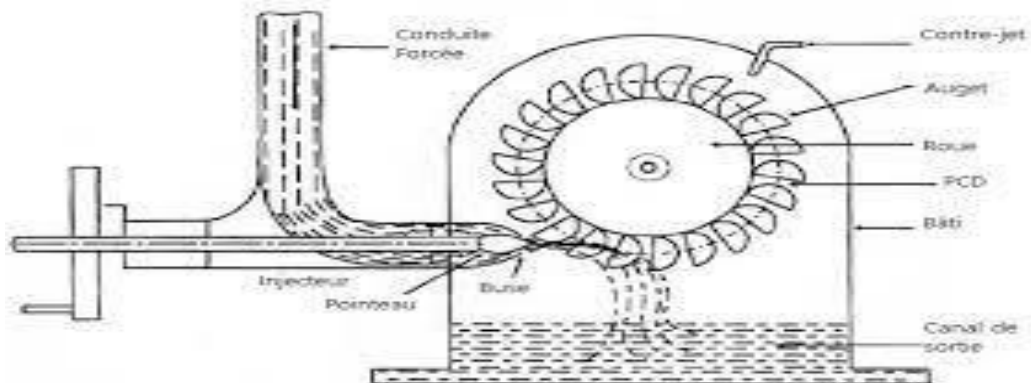


Figure 1. 7. Turbine Pelton [6]

1.5 Principe et composition de la turbine Pelton

1.5.1 Principe

Cette turbine est du type « à action » car l'énergie potentielle de l'eau s'écoulant dans une conduite forcée est transformée en énergie cinétique par l'intermédiaire d'un jet d'eau qui agit directement sur les augets de la roue. Ce type de turbine ne dispose pas de diffuseur (ou aspirateur) en sortie d'eau, car celle-ci s'écoule librement à la pression atmosphérique dès l'instant où elle quitte l'injecteur sous forme de jet. Plus précisément, le jet se partage en deux au moment où il atteint l'auget, chaque demi-jet est ensuite dévié par la forme concave de l'auget dans lequel il s'écrase (transmettant ici son énergie cinétique au mouvement de la roue), puis l'eau s'échappe latéralement de la roue avec une vitesse résiduelle faible. Elle est finalement récupérée par la bêche - une coque enfermant la turbine - le long de laquelle elle s'écoule par gravité.

D'après le calcul de la vitesse spécifique, ces turbines sont adaptées à des chutes dites « hautes chutes » (> 400 m) avec un faible débit d'eau (< 15 m³/s) [7].

1.5.2 Constitution

Une turbine Pelton comporte une roue mobile, munie d'aubes appelées « augets » sur sa périphérie, et un ou plusieurs injecteurs fixes qui envoient, à très grande vitesse, l'eau sur les augets. Le tout est entouré d'une bêche en tôle d'acier destinée à protéger la roue et à évacuer l'eau.

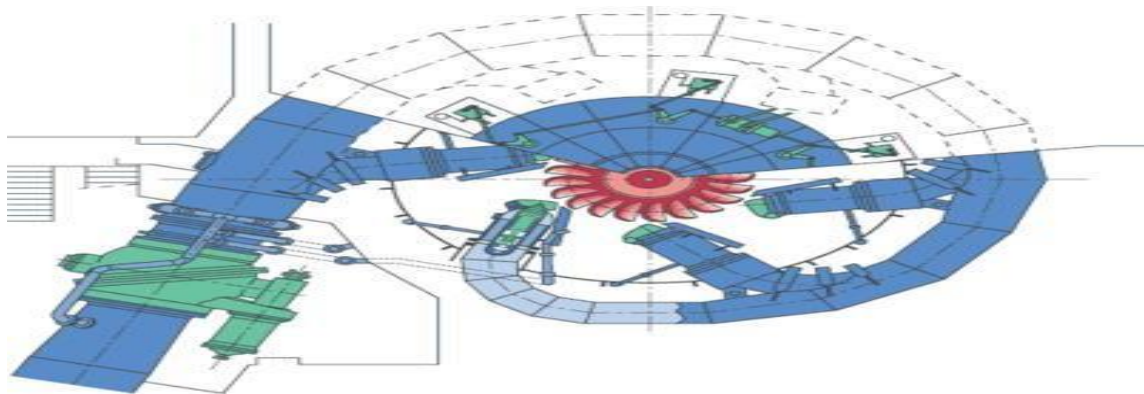


Figure 1. 8. Constitution de la turbine Pelton [7].

1.5.3 Roue à augets

Les turbines Pelton utilisent la roue dite « à augets ». Cette roue ressemble à un disque équipé d'augets ressemblant à des demi-coquilles de noix, placés en circonférence. La forme de ces augets est très évoluée et permet au jet d'eau qui les frappe de se séparer en 2 jets déviés sur les côtés de la roue. Le nombre d'augets répond à une formule issue de l'expérience des constructeurs, soit $Z=15+D/2d$, avec Z = nombre d'augets, $D = \varnothing$ primitif, $d = \varnothing$ du jet d'eau. Leur nombre varie de 15 à 25 en pratique. Le diamètre du centre des augets est appelé le \varnothing Pelton, Diamètre qui sert à positionner l'axe du jet d'eau, axe qui doit être tangent à ce \varnothing Pelton.

Construite le plus souvent d'une seule pièce, les roues Pelton sont moulées par coulage, avec des matériaux ferreux fortement alliés en chrome et nickel. Le moulage de ces roues est une opération complexe et délicate, nécessitant des contrôles métallurgiques nombreux et coûteux. Les roues d'un diamètre important ($> 1\ 500$ mm) sont constituées d'une couronne moulée d'augets, couronne fixée entre deux disques servant de moyeu.

La surface intérieure des augets, appelée « intrados », doit avoir un état de surface poli pour optimiser l'écoulement de l'eau. La partie extérieure (extrados) des augets est parfois nervurée pour augmenter la tenue mécanique de l'auget.

L'axe de la roue est habituellement horizontal. L'alternateur peut être commandé par une ou deux roues, avec les dispositions suivantes : Une roue : l'alternateur et la roue sont placés côte à côte.

Deux roues : l'alternateur est placé entre les deux roues [7].

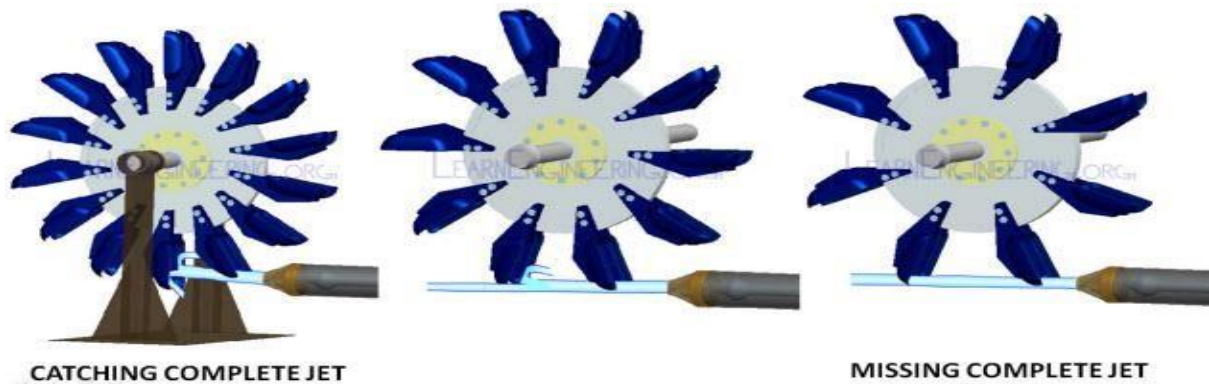


Figure 1. 9. Roue à augets de turbine Pelton [7].

1.5.4 Injecteur

L'injecteur a pour rôle d'alimenter la roue en eau et de permettre le réglage du débit. L'eau pénètre dans l'injecteur à faible vitesse et en sort à grande vitesse. Il y a donc dans l'injecteur transformation de l'énergie de pression en énergie cinétique, l'eau agissant essentiellement sur la roue par son énergie cinétique. La vitesse de l'eau à la sortie de l'injecteur ne dépend que de la hauteur de chute.

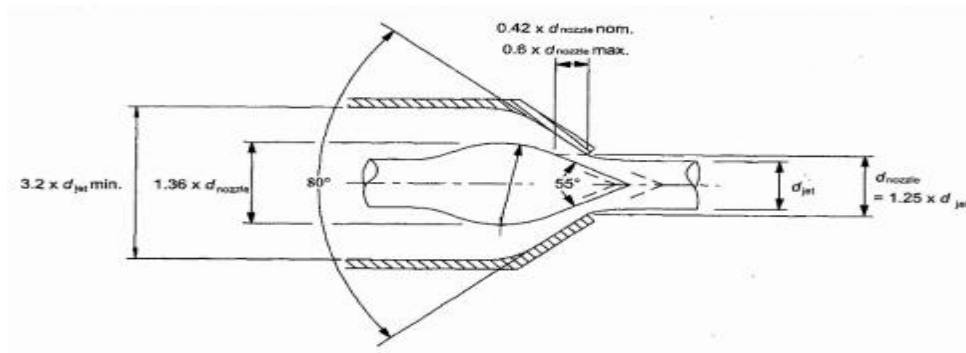


Figure 1. 10. Injecteur [8].

1.5.5 Déflecteur

Le déflecteur a pour rôle de dévier le jet d'eau, en cas d'incident grave sur la turbine ou sur l'alternateur, sans arrêter l'écoulement de l'eau et d'éviter ainsi les coups de bélier dans la conduite amont ou l'emballement du turbin. Après une manœuvre du déflecteur, la roue

n'est plus entraînée par le jet, et ce dernier peut être diminué lentement par l'injecteur sans risque.

L'efficacité du déflecteur est assurée par sa position tangente au jet d'eau en position normale. Le déflecteur est une pièce le plus souvent forgée, à cause des contraintes importantes qu'il subit.

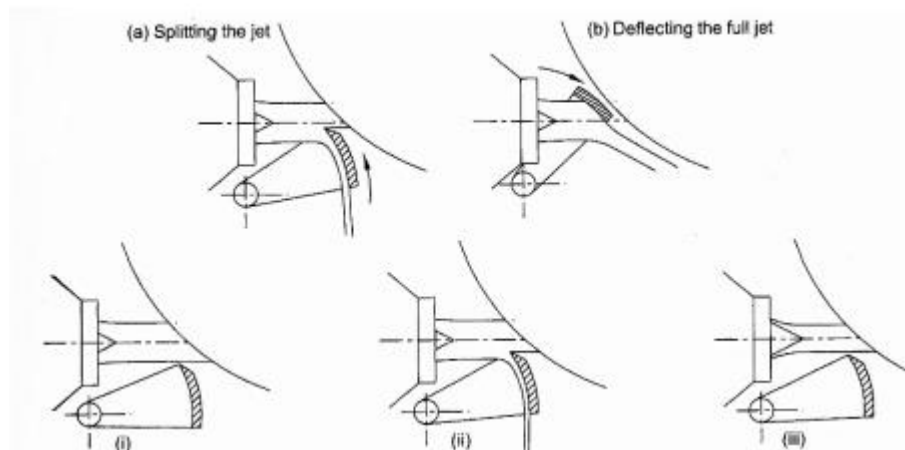


Figure 1. 11. Type de déflecteurs les plus communs [8].

1.5.6 Bâche

La bâche est la partie enveloppant la roue, contenant ainsi la terre d'eau (valable uniquement pour les turbines à axe horizontal).

Cette bâche est composée :

D'un bâti fixe en partie basse, ancré dans le béton.

D'une capote démontable, permettant l'accès à la roue pour les contrôles et réparations.

Le plan de joint entre le bâti et la capote est donc horizontal et passe par l'axe de rotation de la roue. Après chaque démontage, l'étanchéité de ce plan de joint est refaite, par application de pâte d'étanchéité ou par remplacement du joint torique placé dans une gorge du bâti.

D'autre part, des boucliers métalliques appelés « renvois d'eau » sont fixés dans la partie inférieure du bâti. Ces pièces permettent de récolter l'eau projetée et de la guider vers la fosse d'évacuation.



Figure 1. 12. Bâche de la turbine [7].

1.5.7 Régulation

La turbine Pelton est particulièrement bien adaptée pour fournir rapidement de la puissance de réglage grâce à la dynamique de sa réponse à une sollicitation. Une usine arrêtée (démarrage à froid) peut injecter sur le réseau électrique la totalité de sa puissance en quelques minutes, et ceci même pour des aménagements importants.

Une intervention rapide dans le cadre des réglages primaire et secondaire est une garantie pour un bon fonctionnement du réseau en cas d'incident majeur [7].

1.6 Calcul

1.6.1 Triangle de vitesse

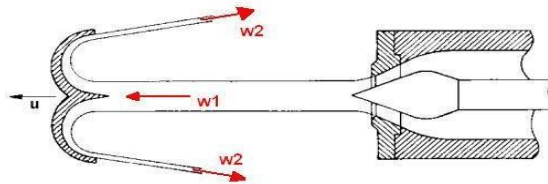


Figure 1. 13. Jet d'eau sur la turbine Pelton [10].

Pour un angle de 180° entre la sortie de l'auget et le jet d'eau incident que la transformation de l'énergie cinétique est la plus grande.

Soient W_1 et W_2 les vitesses relatives de l'eau par rapport à l'auget, à l'entrée (1) et à la sortie (2) de l'auget. Soit U la vitesse d'entraînement de l'auget.

D'après la loi de composition des vitesses comme illustrée graphiquement à la figure les vitesses absolues de l'eau sont alors :

$$(U \text{ et } V = W + U)$$

Il s'agit de sommes vectorielles représentées à la figure (1. 13).

L'énergie cinétique incidente (1) est complètement transformée, si elle est nulle à la sortie de l'auget. Il faut donc que la vitesse absolue V_2 à la sortie de l'auget soit nulle.

1.6.2 Rendement



Figure 1. 14. Triangles des vitesses dans une roue d'une turbine Pelton [10]

Toute transformation d'énergie dans une machine donne lieu à des pertes. Il s'ensuit que la puissance obtenue à l'arbre de la turbine, et qui sert à entraîner la génératrice, est inférieure à la puissance hydraulique.

1.6.3 Rendement de la turbine

Toute transformation d'énergie dans la machine donne lieu à des pertes. Il s'ensuit que la puissance obtenue à l'arbre de la turbine, et qui sert à entrainer la génératrice, est inférieure à la puissance hydraulique. Le rapport entre ces deux puissances est le rendement qui est un paramètre définissant la qualité de la turbine :

$$N_t = \frac{P_{mec}}{P_{hyd}} \tag{1}$$

1.6.4 Rendement du générateur

La transformation de la puissance mécanique P_{mec} en puissance électrique entraine des pertes. Comme pour les turbines une partie de la puissance est dissipée sous forme de bruit et de chaleur. Le rendement d'un générateur est défini comme suit:

$$N_g = \frac{P_{elec}}{P_{mec}} \tag{2}$$

1.6.5 Rendement total

C'est la somme du rendement de la turbine et celui du générateur :

$$\eta_T = \eta_{turbine} + \eta_{générateur}$$

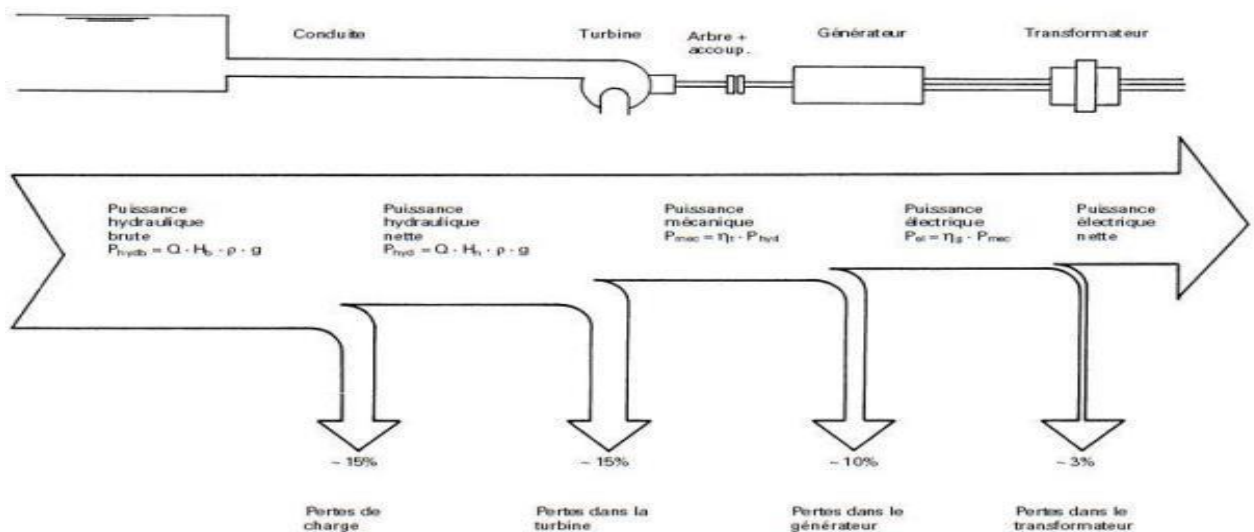


Figure 1. 15. Rendement total d'une turbine Pelton [9]

1.7 Conclusion

Une présentation détaillée de toutes les turbines permettant la génération de l'énergie électrique dans le monde a fait l'objet de ce chapitre, in intérêt particulier est porter à l'étude et la composition ainsi que le principe de fonctionnement de la turbine Pelton.

Dans le chapitre suivant on discutera la description générale et la modification du banc d'essai dans le cadre de ce projet de fin d'étude.

Chapiter 2

Modifications apportées sur le banc d'essais

2.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter l'amélioration qu'on a apportée sur le banc d'essai de la turbine Pelton, ainsi que les différents constituants hardware et softwares utilisés. Nous allons commencer par une description générale du banc d'essai existant, puis on va citer en détail les différentes modifications apportées dans le cadre de ce projet de fin d'études.

2.2 Description générale

Notre travail consiste à apporter une amélioration sur la version du banc d'essai existante réalisée par des étudiants de la promotion Master 2 spécialité électromécanique de l'année 2021. Nous nous sommes inspirés du modèle allemand et on a réussi à l'améliorer avec l'ajout d'un frein électromagnétique permettant de simuler la charge pour la turbine hydraulique. Permettent de déterminer les caractéristiques mécaniques de la turbine expérimentalement.



Figure 2. 1. Banc d'essai réalisé avant modification

2.3 Modifications réalisées sur le banc d'essai

Des modifications très importantes ont été apportées au banc d'essai, afin de permettre de relever toutes les caractéristiques mécaniques et énergétiques de la turbine Pelton. Pour cela, un frein à poudre magnétique a été inséré sur l'arbre de la turbine.

2.4 Partie mécanique

2.4.1 Freins électromagnétiques

Les freins électromagnétiques sont présents dans une large gamme d'application industrielles qui utilisent une vitesse et un taux de cycle élevés, y compris sur les véhicules et les machines. Les freins électromagnétiques sont généralement composés d'une série de composants, dont un disque de friction, une bobine de champ, une armature et un moyeu qui peuvent être fixés à un arbre. Ces freins magnétiques à charge électrique sont disponibles dans une grande variété de tailles et de types, par exemple à assistance électrique et à ressort.

Dans ce cas, l'utilisation du frein a pour but de connaître la résistance et la charge de la turbine. Le frein à poudre magnétique utilisé dans le cadre de ce travail est représenté par la figure (2. 2).



Figure 2. 2. Frein à poudre magnétique

2.4.2 Commande de frein

Les freins de service fonctionnent grâce à une alimentation électrique pour freiner ou bloquer une rotation. Lorsqu'une alimentation électrique est appliquée à une bobine d'électroaimant, un champ magnétique est créé. La force magnétique est suffisamment

puissante pour dévier le ressort plat et tirer l'armature à travers un petit entrefer dans la face de l'aimant. La connexion par friction entre l'aimant et l'armature provoque le ralentissement et l'arrêt de l'arbre en rotation.



Figure 2. 3. Commande de frein

2.4.3 Support de frein

Le frein à poudre est supporté par une pièce mécanique en forme L spécialement conçu en polyamide permet une très bonne fixation du frein.

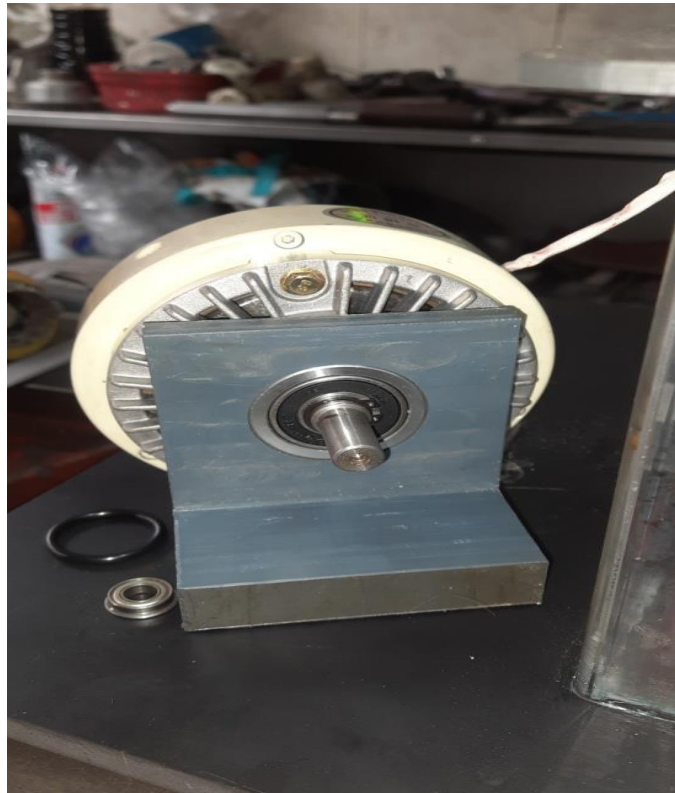


Figure 2. 4. Support de frein

2.4.4 Joint torique

Un joint torique est utilisé afin d'assurer l'étanchéité, empêchant le liquide contenu dans le réservoir de s'échapper lors du fonctionnement de la turbine.



Figure. 2.5. Joint torique

2.4.5 Conception mécanique du banc d'essai

Une conception mécanique des différentes parties constituant le banc d'essai sur la turbine Pelton a été faite à l'aide du Logiciel SolidWorks, qui utilise le principe de conception paramétrique et génère trois types de fichiers qui sont liés : la pièce, l'assemblage, et la mise en plan. Ainsi toute modification sur un de ces trois fichiers sera répercutée sur les deux autres.

Notre projet se compose d'un réservoir d'eau, d'une pompe, de quelques capteurs et d'une turbine, sans oublier l'élément principal qui est le frein électromagnétique et sa boîte de commande.

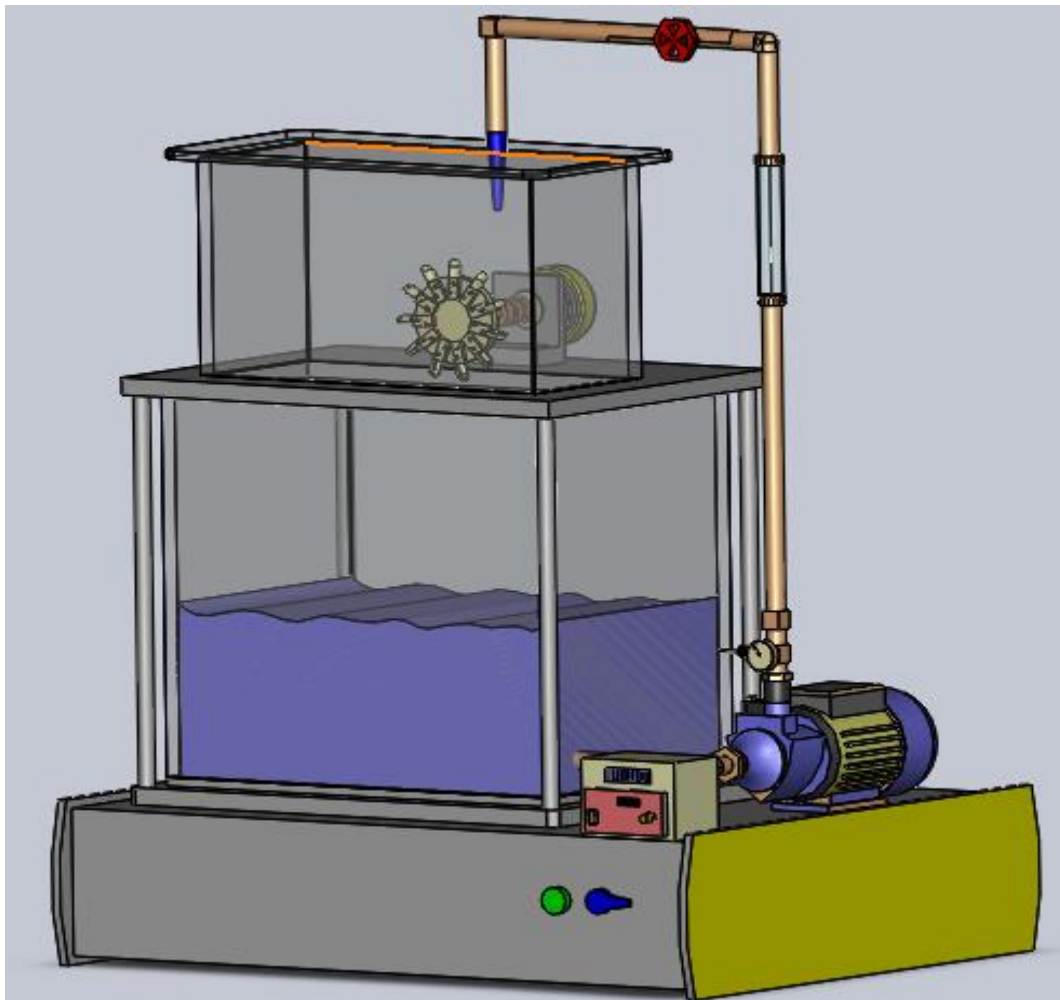


Figure 2. 6. Conception générale du banc d'essai.

La partie mécanique réalisée dans ce travail de fin d'études est représenté par la figure (2. 7), Nous avons fabriqué un support pour le frein en matériau polyamide en forme de L

pour fixer le frein avec des vis, et le mettre sur une ligne droite au moyen d'un accouplement élastique pour faciliter le processus de rotation et augmenter la vitesse de rotation.

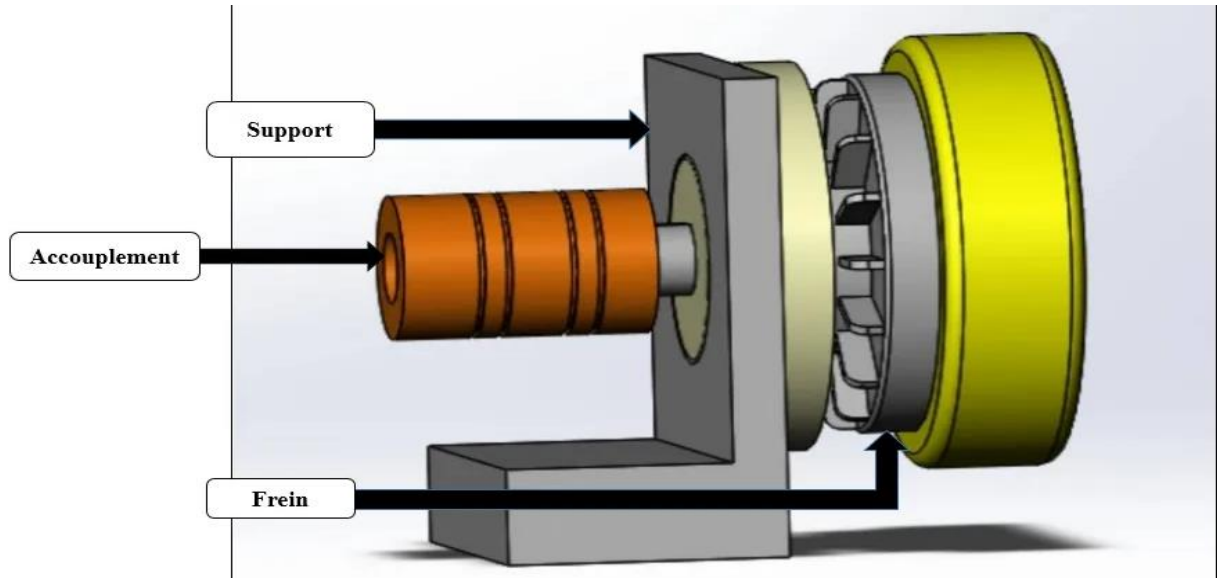


Figure 2. 7. Partie mécanique réalisée

2.5 Partie acquisition et affichage

Notre système est composé des éléments suivants :

2.5.1 Carte Arduino Uno

La carte Arduino Uno est une carte à microcontrôleur construite autour de l'ATmega 328. Elle possède 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent servir de sorties PWM), 6 entrées analogiques, un oscillateur à quartz de 16 MHz, un connecteur USB, un jack d'alimentation, une embase ICSP, et un bouton d'initialisation (reset). La carte Uno contient tout ce qui est nécessaire au fonctionnement du microcontrôleur. Pour l'utiliser, il suffit de la relier à un ordinateur avec un câble USB, ou encore de l'alimenter à l'aide d'un bloc secteur externe ou de piles.

Le but de l'utilisation de cette carte pour acquisition et supervision des données représenté par le débit, la pression et la vitesse de rotation de la turbine.



Figure 2. 8. Carte Arduino Uno

2.5.2 Capteurs utilisés

Le capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible par un système d'information.

Dans mon projet de fin d'étude j'ai utilisé trois types de capture.

- Capture de pression hydraulique pour la mesure de la pression de l'eau alimentant la turbine.
- Capture de vitesse de rotation de la turbine hydraulique.
- Capture de débit de l'eau alimentant la turbine.



Capteur de vitesse



Capteur de pression



Capteur de débit

Figure 2. 9. Captures utilisées

2.5.3 Écran LCD

L'écran à cristaux liquides, en anglais : LCD pour liquide Crystal display permet la création d'écran plat à faible consommation d'électricité. Aujourd'hui ces écrans sont utilisés presque tous les affichages électroniques. Les écrans à cristaux liquides utilisent la polarisation de la lumière par des filtres polarisants et la biréfringence de certains cristaux liquides en phase nématique, dont on peut faire varier l'orientation en fonction du champ électrique. Du point de vu optique, l'écran à cristaux liquides est un dispositif passif : il n'émet pas de lumière, seul sa transparence varie, et il doit donc disposer d'un éclairage.

Dans notre projet de fin d'étude, nous avons changé LCD (16X2) par LCD (20X4) pour nous aider afficher plusieurs caractéristiques tel que le couple le rendement et la puissance hydraulique.

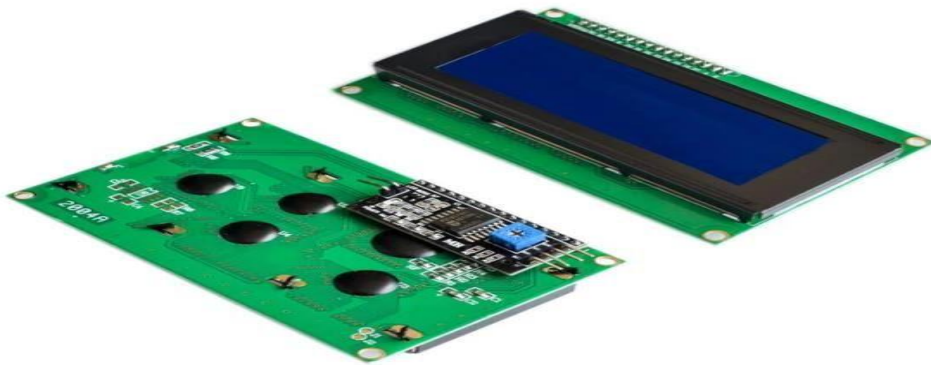


Figure 2. 10. Ecran LCD 20x4

2.5.4 Câblage général de la partie acquisition et affichage

Le branchement des différents capteurs et l'afficheur LCD est fait selon le câblage représenté sur la figure (2. 11)

- **Le capteur de débit :**

Vcc : Connecter avec 5 V.

GND : Connecter avec GND.

Signal : Connecter avec pin 2 (Arduino).

- **Le capteur de pression :**

Vcc : Connecter avec 5 V.

GND : Connecter avec GND.

Signal : connecter avec A2 (Arduino).

- **Le capteur de vitesse :**

Vcc : Connecter avec 5 V.

GND : Connecter avec GND.

A0 : Connecter avec A0 (Arduino).

- **L'afficheur LCD 20X4 I2C (liquide Crystal display) :**

VCC : Connecter avec 5V.

GND : Connecter avec GND.

SDA : Connecter avec A4 (Arduino).

SCL : Connecter avec A5 (Arduino).

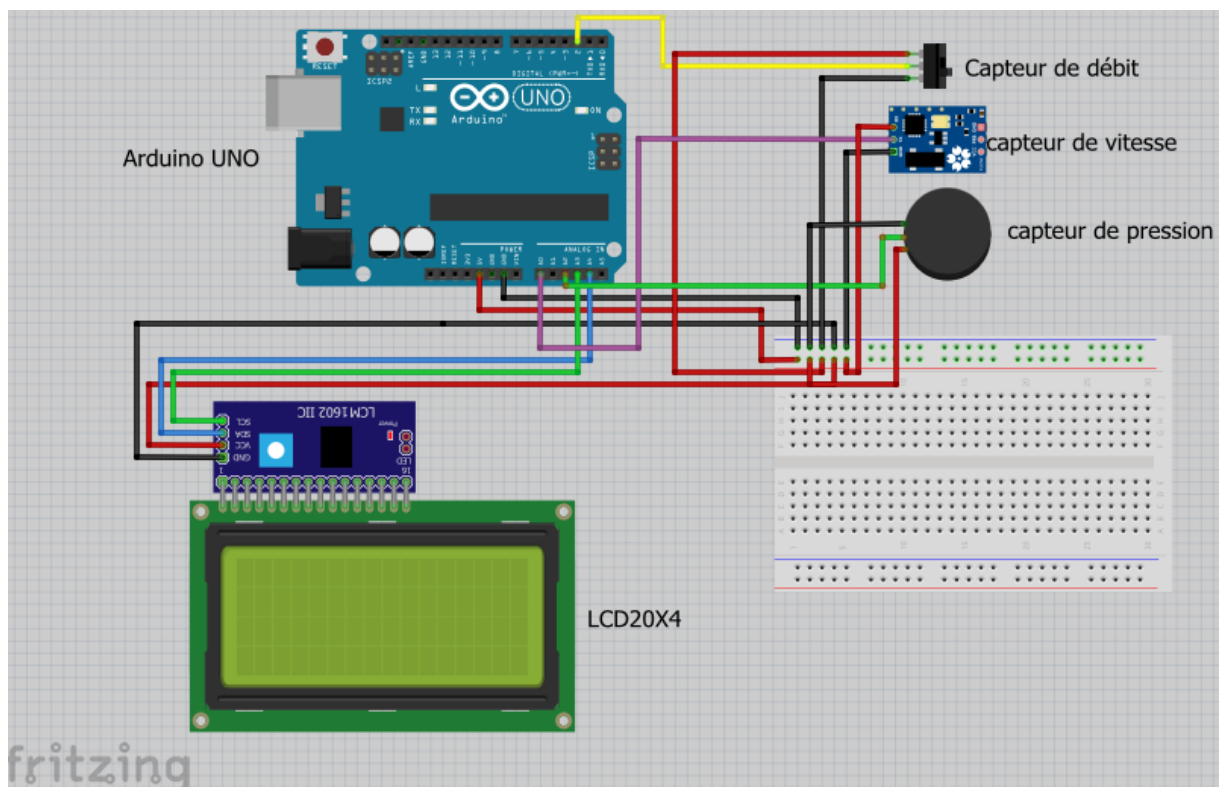


Figure 2. 11. Câblage général de la partie acquisition et affichage

2.6 Partie programmation

2.6.1 Programme Arduino

Le microcontrôleur Arduino Uno représente la première étape de la chaîne d'acquisition des données et de commande. Il est piloté par un programme qui assure les fonctions

suivantes :

- Réception des commandes de mise en marche ou d'arrêt.
- Acquisition des données des capteurs (analogique ou bien numérique).
- Mise en échelle des données.
- Envois des données.
- Synchronisation des différentes fonctions.

Des modifications très importantes ont été apportées sur le programme Arduino commençant par l'inclusion de la bibliothèque de l'afficheur LCD (LiquidCrystal_I2C) puis le changement de nombre de lignes et le nombre de colonnes de LCD (20 caractères et 4 lignes), ainsi que l'affichage des caractéristiques de la turbine tel que la vitesse de rotation, le débit, et la pression (le nom de ces caractères et l'emplacement de chaque une).

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre des modifications très importantes ont été faites sur les différentes parties du banc de teste visant à la fois le coté design et conception mécanique, électrique, affichage et acquisition des données.

Dans le prochain chapitre, nous allons mener des essais sur la turbine afin d'extraire les grandeurs caractéristiques de cette dernière.

Chapiter 3

Expérimentations sur le banc d'essai

3.1 Introduction

Les turbines Pelton font partie des turbines à action. Elles sont entraînées par des buses à jet libre. L'eau est fortement accélérée dans les buses. C'est la pression atmosphérique qui règne à la sortie des buses.

Afin de réaliser des essais de base permettant d'étudier le comportement en service et de déterminer les grandeurs caractéristiques principales des turbines Pelton. Nous allons mener une série de mesures sur l'appareil d'essai développé.

3.2 Point de fonctionnement d'une turbomachine

Le régime de fonctionnement d'une turbomachine est le point d'intersection des deux caractéristiques celle de la turbomachine donnée par le constructeur et celle du réseau extérieur.

Dans la plupart des cas on procède à ramener l'installation à travailler au voisinage du point de fonctionnement optimal par la variation de la vitesse de rotation de la turbomachine ou par changement de l'ouverture d'une vanne sur le réseau de l'installation.

L'objectif principal de ce chapitre est de déterminer expérimentalement et tracer les courbes caractéristiques de la turbine Pelton.

L'insertion d'un frein électromagnétique dans l'installation de la turbine permet de simuler la charge en imposant un couple résistant sur l'arbre de la turbine.

3.3 Caractéristique de la turbine Pelton

Une série de mesure a été menée au laboratoire sur le banc d'essai qu'on a modifié afin de permettre d'extraire les caractéristiques mécaniques de notre turbine Pelton ainsi que les courbes de rendement pour différents débits volumiques, les résultats des mesures sont présentés ci-dessous :

3.3.1 Caractéristique de la vitesse en fonction de couple lorsque le débit $Q_v=500$ [L/H]

Lors de ce test le débitmètre affiche 500 [L/h], tandis que le manomètre mesure une pression constante de $P=1.99$ [bar]. Les résultats de toutes les mesures effectuées sont reportés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 3. 1. Résultats de la mesure de vitesse pour $Q_v = 500$ [L/H].

Cr(N.m)	00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Ω (tr/min)	1190	1184	1179	1177	1176	1174	1173	1171	1169	1166	1162
Cr(N.m)	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21
Ω (tr/min)	1158	1125	923	768	704	620	530	340	105	00	00

Le tableau (3. 1) représente les valeurs de la vitesse de rotation de la turbine en fonction du couple résistant (Cr) lorsque le débit $Q_v=500$ (L/H) que nous avons mesurées à partir de données acquises lors d'expérimentations en laboratoire sur le banc d'essai.

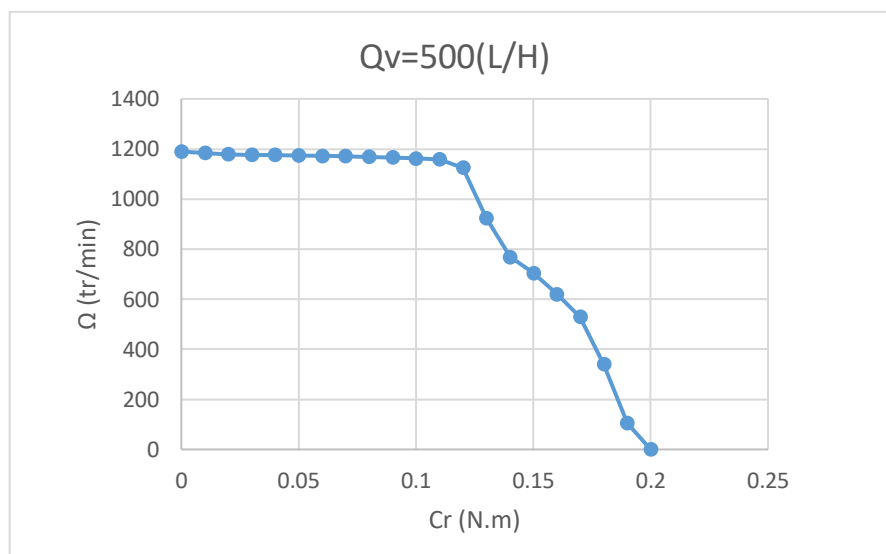


Figure 3. 1. Courbe caractéristique $\Omega = f(Cr)$ pour $Q_v=500$ l/h

La figure (3. 1) représente la variabilité de la vitesse de rotation de la turbine en fonction du couple (Cr) à pression et débit volumique constant.

En revenant à la courbe, nous constatons que la vitesse de rotation de la turbine est liée au couple, cette dernière est maximale $n=1200$ (tr/min) dans l'intervalle $[0 - 0.22]$ puis elle diminue pour atteindre zéro où la turbine s'arrête de tourner à la valeur 0,2 N.m.

3.3.1.1 Le rendement

Tableau 3. 2. Résultats de la mesure de rendement pour $Q_v=500$ [L/H].

C(N.m)	00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
η %	00	4.46	8.89	13.32	17.74	22.14	26.54	30.91	35.27	39.75	43.82
C(N.m)	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21
η %	48.03	50.91	45.25	40.55	39.82	37.41	33.98	23.08	7.52	00	00

Le tableau (3. 2) résume le rendement calculé à partir des données acquises lors des expériences dans le laboratoire sur le banc d'essai, il représente le rendement η de la turbine en fonction du couple lorsque le débit $Q_v=500$ [L/H].

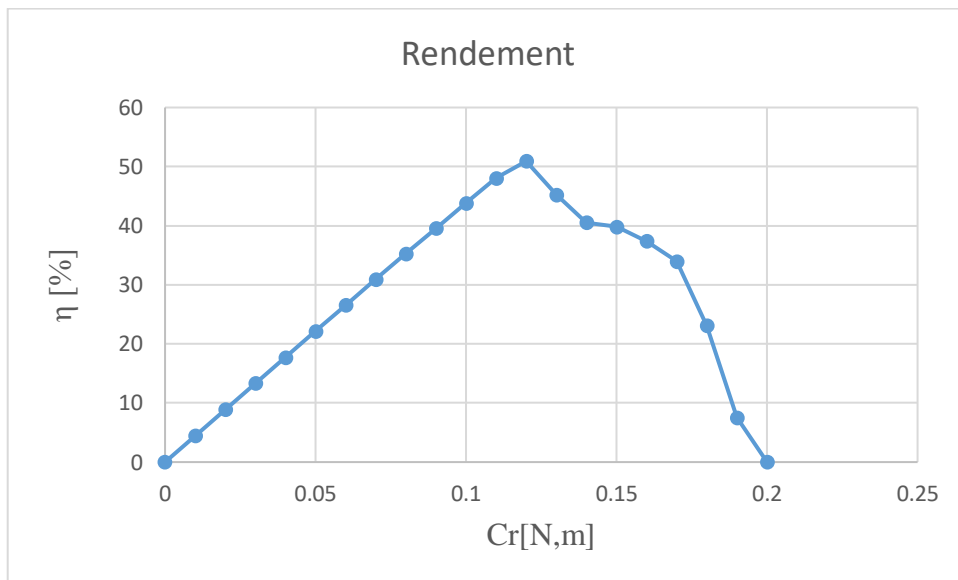


Figure 3. 2. Courbe caractéristique $\eta = f(Cr)$ pour $Q_v=500$ l/h

La figure (3. 2) représente la variation du rendement η de la turbine Pelton en fonction de couple pour un débit volumique $Q_v=500$ [L/H], d'après la courbe, on remarque que la courbe de rendement est sous forme de cloche avec un rendement max qui s'élève à 50% pour un couple résistant optimale de $Cr=0.12$ N.m

Pour cette valeur de débit le rendement maximum atteint les 50%.

3.3.2 Caractéristique de la vitesse en fonction de couple lorsque le débit $Q_v=400$ (L/H)

Lors de ce test le débitmètre affiche 400 [L/h], tandis que le manomètre mesure une pression constante de $P=2.14$ [bar]. Les résultats de toutes les mesures effectuées sont reportés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 3. 3. Résultats de la mesure de vitesse pour $Q_v=500$ [L/H].

Cr(N.m)	00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Ω (tr/min)	825	816	813	810	808	805	799	796	790	763	702
Cr(N.m)	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21
Ω (tr/min)	598	535	513	469	383	242	120	00	00	00	00

Le tableau (3. 3) représente les valeurs de vitesse de rotation de la turbine en fonction de couple (Cr) lorsque le débit $Q_v=400$ (L/H) que nous avons mesurées à partir de données acquises lors d'expérimentations en laboratoire sur banc d'essai.

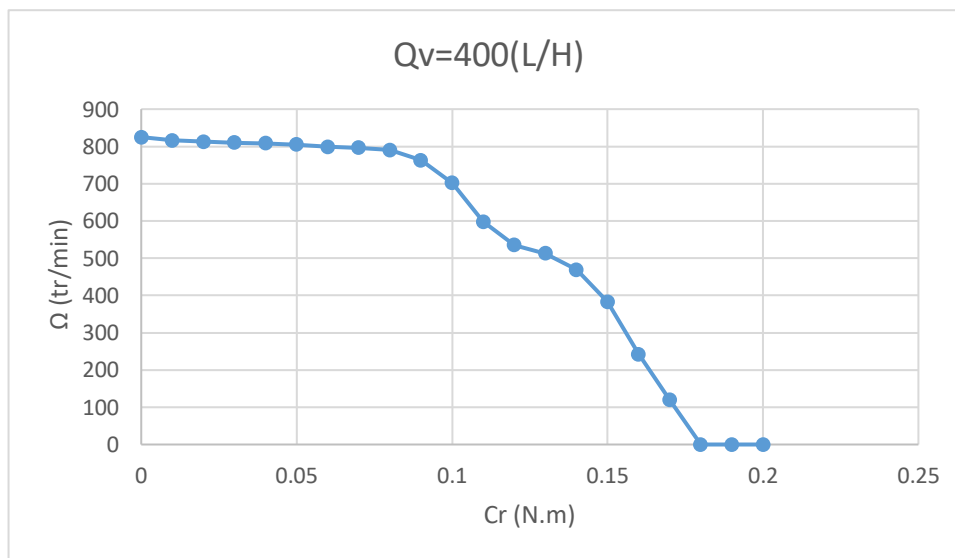


Figure 3. 3. Courbe caractéristique $\Omega = f(Cr)$ pour $Q_v=400$ l/h

La figure (3. 3) représente la variabilité de la vitesse de rotation de la turbine en fonction du couple (Cr) à débit volumique constant.

En revenant à la courbe, nous constatons que la vitesse de rotation de la turbine est liée au couple, La vitesse de rotation au début est élevée, elle peut atteindre environ $n=800$ (tr/min). Elle commence à décroître dès qu'on lui applique un couple plus fort jusqu'à s'arrêter cette fois à une valeur inférieure 0.18 N.m.

3.3.2.1 Le Rendement

Tableau 3. 4. Résultats de la mesure de rendement pour $Q_v=400$ [L/H].

C(N.m)	00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
η %	00	3.59	7.16	10.71	14.24	17.73	21.12	24.55	27.84	30.25	30.93
C(N.m)	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21
η %	28.98	28.28	29.38	28.93	25.31	17.06	8.99	00	00	00	00

Le tableau (3. 4) résume le rendement calculé à partir des données acquises lors des expériences dans le laboratoire sur le banc d'essai, il représente le rendement η de la turbine en fonction du couple lorsque le débit $Q_v=400$ [L/H].

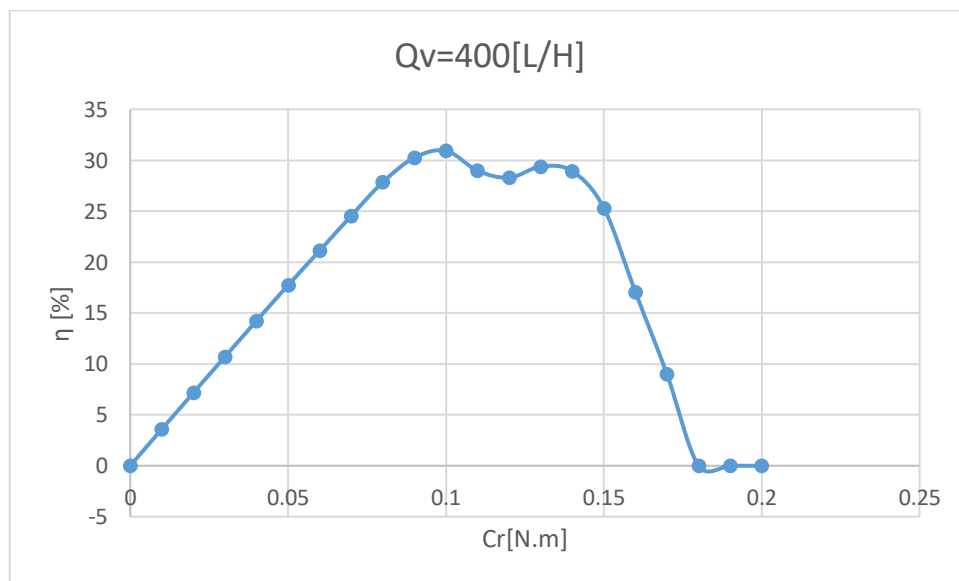


Figure 3. 4. Courbe caractéristique $\eta = f(Cr)$ pour $Q_v=400$ l/h

La figure (3. 4) représente la variation du rendement η de la turbine Pelton en fonction de couple lorsque le débit volumique $Q_v=400$ [L/H], d'après la courbe, on remarque que le rendement est directement proportionnel au couple.

Pour cette valeur de débit le rendement maximum atteint les 32%.

3.3.3 Caractéristique de la vitesse en fonction de débit $Q_v=300$ (L/H)

Lors de ce test le débitmètre affiche 300 [L/h], tandis que le manomètre mesure une pression constante de $P=2.24$ [bar]. Les résultats de toutes les mesures effectuées sont reportés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 3. 5. Résultats de la mesure de vitesse pour $Q_v=300$ (L/H)

Cr(N.m)	00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
Ω (tr/min)	408	398	397	388	371	350	340	326	316	311	267
Cr(N.m)	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21
Ω (tr/min)	264	204	143	121	53	00	00	00	00	00	00

Le tableau (3. 5) représente les valeurs de vitesse de rotation de la turbine en fonction de couple (Cr) lorsque le débit $Q_v=300$ (L/H) que nous avons mesurées à partir de données acquises lors d'expérimentations en laboratoire sur banc d'essai.

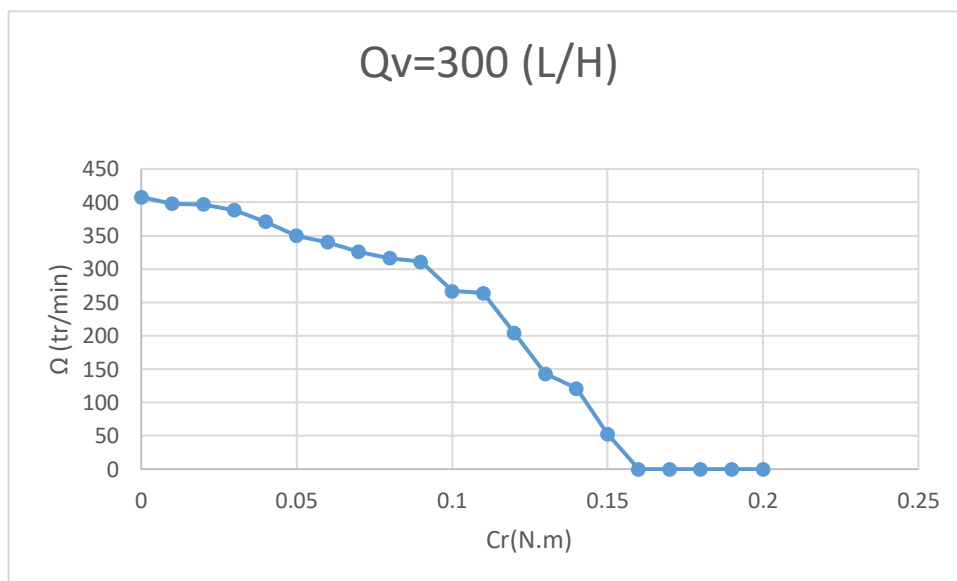


Figure 3. 5. Courbe caractéristique $\Omega = f (Cr)$ pour $Q_v=300$ l/h

La figure (3. 5) représente la variabilité de la vitesse de rotation de la turbine en fonction du couple (Cr) à débit volumique constant.

En revenant à la courbe, nous constatons que la vitesse de rotation de la turbine est liée au couple Dans cette partie, nous remarquons que la vitesse de rotation est réduite pour

atteindre 400 comme vitesse maximale, pour commencer à diminuer chaque fois que nous lui appliquons plus de couple, de sorte que sa vitesse sera perdue à 0,16 [N.m].

3.3.3.1 Le rendement

Tableau 3. 6. Résultats de la mesure de rendement pour $Q_v=300[L/H]$

C(N.m)	00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
η %	00	2.23	4.46	6.53	8.33	9.82	11.45	12.81	14.19	15.71	14.98
C(N.m)	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.2	0.21
η %	16.30	13.714	10.43	9.51	4.46	00	00	00	00	00	00

Le tableau (3. 6) résume le rendement calculé à partir des données acquises lors des expériences dans le laboratoire sur le banc d'essai, il représente le rendement η de la turbine en fonction du couple lorsque le débit $Q_v=300 [L/H]$.

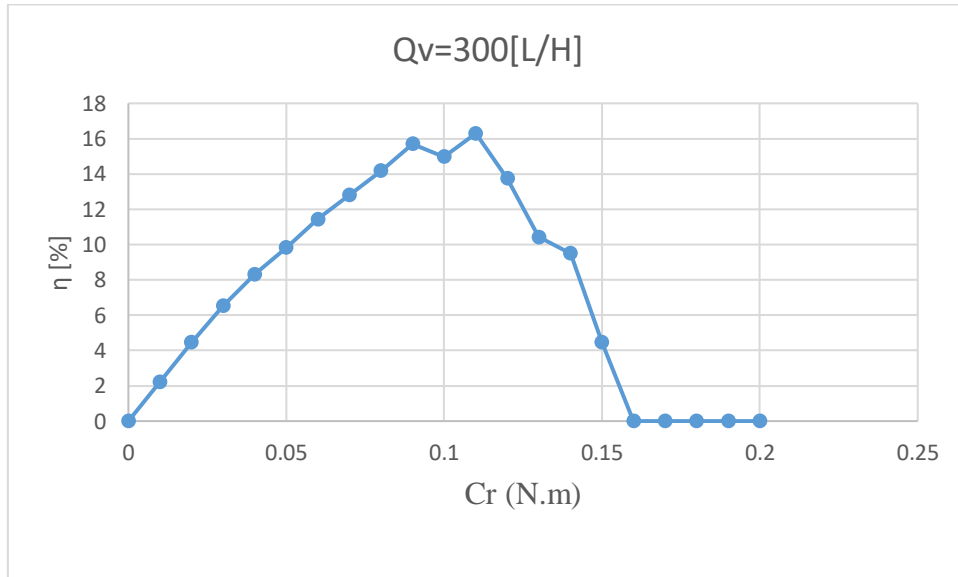


Figure 3. 6. Courbe caractéristique $\eta = f(Cr)$ pour $Q_v = 300 [L/h]$

La figure (3. 6) représente la variation du rendement η de la turbine Pelton en fonction de couple lorsque le débit volumique $Q_v=300$, d'après la courbe, on remarque que le rendement est directement proportionnel au couple.

Pour cette valeur de débit le rendement maximum atteint les 16%

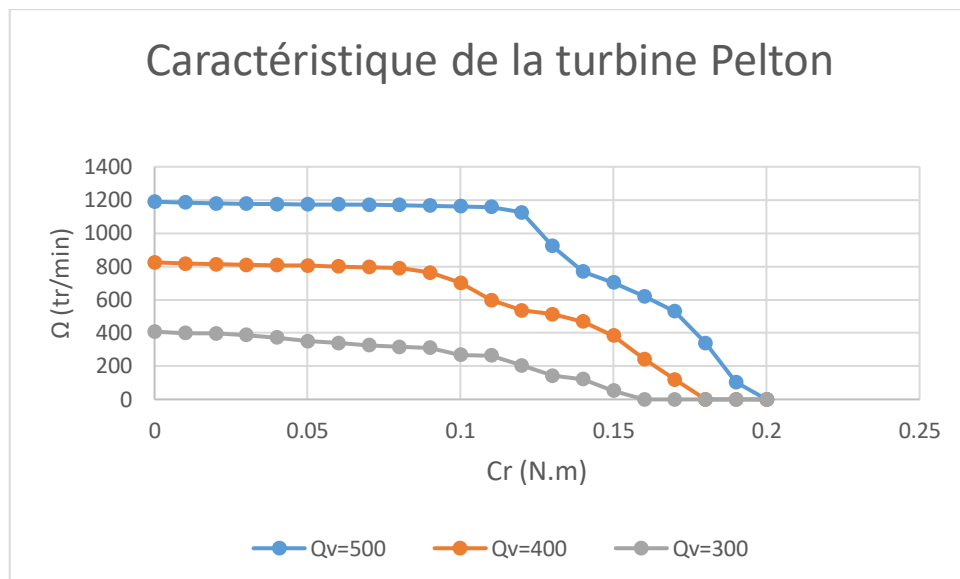


Figure 3. 7. Courbe caractéristique $\Omega = f(Cr)$

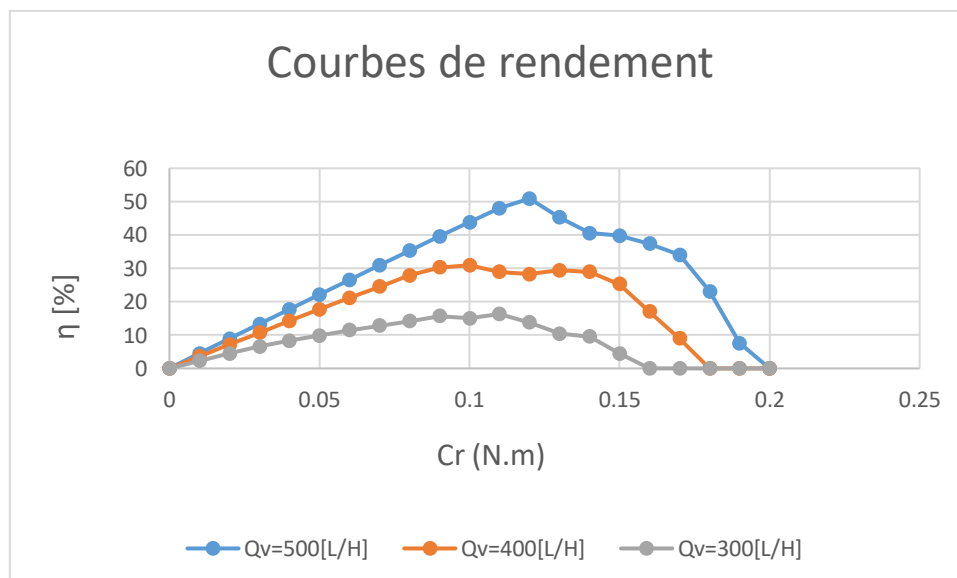


Figure 3. 8. Courbe caractéristique $\eta = f(Cr)$

La figure (3. 7) représente la variation de la vitesse de rotation de la turbine en fonction du couple résistant (C_r) pour différents débits volumiques, d'après la figure on voit clairement la relation proportionnelle de la quantité d'eau avec la vitesse de rotation de la turbine, la vitesse de rotation de la roue augmente à mesure que le débit d'eau augmente et cesse de tourner en l'absence d'un débit suffisant pour faire tourner la roue.

La figure (3. 8) représente la variation du rendement η de la turbine Pelton en fonction de couple pour des débits volumiques variables, on remarque que le rendement de la turbine Pelton augmente avec l'augmentation du débit d'eau et diminue avec la diminution du débit.

Donc, si nous voulons obtenir un rendement élevé, il suffit d'augmenter le débit d'eau.

3.4 Conclusion

Le banc d'essai réalisé est bien opérationnel, toutes les grandeurs physiques sont acquises en temps réels sur l'afficheur LCD de tous les appareils de mesure avec une très grande précision.

L'acquisition des courbes caractéristiques de la turbine Pelton, vitesse de rotation et rendement en fonction de couple résistant nous permis de conclure qu'on a atteint l'objectif visé dans ce projet de fin d'étude.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Les turbines Pelton font partie des turbines à action. Elles sont entraînées par des buses à jet libre. L'eau est fortement accélérée dans les buses. C'est la pression atmosphérique qui règne à la sortie des buses.

Le jet d'eau est accéléré dans une buse et atteint tangentiellement la roue Pelton. Le jet d'eau est dévié à pratiquement 180° dans les aubes situées à la périphérie de la roue Pelton. L'impulsion du jet d'eau est transmise à la roue Pelton.

L'appareil de test développé est composé d'une roue Pelton et d'une tuyère à aiguille, intégrées dans un boîtier transparent. L'ajustage de la tuyère à aiguille peut être modifié en service. Un dispositif de charge se trouve en dehors du boîtier. Spécialement développé dans le cadre de ce travail, le frein à courants de Foucault finement ajustable et sans usure assure une charge bien définie.

Le couple fourni par la turbine est déterminé par une lecture directe sur l'afficheur de l'unité de commande du frein. La vitesse de rotation est mesurée par un capteur de vitesse de rotation optique. Les valeurs de mesure sont transmises à la carte Arduino UNO

Un capteur de pression intégré au banc d'essai permet d'enregistrer des caractéristiques de hauteur de chute constante.

Le programme Arduino développée présente tous les avantages offerts par la réalisation et l'évaluation d'essais assistées par ordinateur.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] «Turbine - Définition et Explications,» [En ligne]. Available: <https://www.techno-science.net/definition/258.html>.
- [2] NASR SARAH et MOUBAYED NAZIHU, «université Libanaise Tripoli,» Liban., Faculté de Génie 1, 2007.
- [3] «Turbine,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine#Turbine_%C3%A0_vapeur. [Accès le mars 2012].
- [4] «Turbine Pelton,» [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/423565671/turbine-pelton-docx-docx>.
- [5] V. Kaplan, «Turbine Kaplan,» [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Kaplan. [Accès le 1912].
- [6] R. VERMEULEN, «Conception d'une turbine hydraulique de type Pelton à axe vertical, Mémoire de master,» Belgique : HELMo Gramme, juin 2017, pp. 8, 53..
- [7] «Turbine Pelton,» [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/423565671/turbine-pelton-docx-docx>.
- [8] J. THAKE, « The micro-hydro Pelton turbine manual – Design, Manufacture and Instalation for Small-scale Hydropower Warwickshire, Practical Acrion,» 2000, pp. 14, 29, 46, 78.
- [9] PACER, «Petites centrales hydrauliques Le choix, le dimensionnement et les essais deréception d'unmini turbine.».
- [10] B. AYOUB, « Réalisation d'un banc d'essai pour une turbine pelton,» université de bordj Bou Arrerid, Électromécanique, juin 2020, p. 30.

Annexe

Le programme:

```
// include the library code:
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
int sensor = A0; // broche pour détection du capteur
int etatSensor ; // état du capteur (haut ou bas)
unsigned long start_time=0; //temps de début d'un comptage
unsigned long end_time =0; //temps de fin d'un comptage
int nb_trous =1 ; // nombre de trous de la roue codeuse
bool etat_old= false ;//
bool etat_new = false; // les états vont changer à chaque chaque modification de la valeu lue par le
capteur (haut/5V ou bas/0V)
int compt=0; // comptage initialisé à 0
float rps=0; // vitesse intialisée à 0
long temps; //mesure du temps pour l'acquisition
int Qv;
int Qvv;
int T;
int hallsensor = 2;
volatile int NbTopsFan;
void rpm()
{
NbTopsFan++;
}
void setup() {
// set up the LCD's number of columns and rows:
lcd.init(); // initialize the lcd
pinMode(hallsensor, INPUT);
attachInterrupt(0, rpm, RISING);
//*****
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("*** STARTING ***");
delay(2000);
lcd.clear();
}

void loop() {
compt = 0;
start_time=millis(); //on mesure le temps
end_time=start_time+1000; // pour un comptage toutes les secondes
temps = millis(); //mesure du temps pour l'acquisition
```

Annexes

```
while(millis()<end_time){ // comptage sur une seconde
  if (analogRead(sensor)< 50){
    etat_new = true;
  }
  else {
    etat_new =false;
  }
  if (etat_old != etat_new) {
    etat_old = etat_new;
    compt = compt + 1;
  }
}
rps = float(compt)*60/(2*nb_trous) ; // il faut diviser par 2 car pour chaque trou , deux changements
d'état vont être détectés ;rps Tr/min
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("V=");
lcd.write("rps=");
lcd.print(rps);
//*****
NbTopsFan = 0;
sei();
delay(1000);
Qv = (NbTopsFan * (60 / 7.5));
Qvv= Qv+(Qv*0.2);
//Qvv = 0.0000000199 * pow(Qv, 4) - 0.000004 * pow(Qv, 3) + 0.0027 * pow(Qv, 2) + 0.4492 * Qv +
0.1246;
//y = 2E-09x4 - 4E-06x3 + 0,0027x2 + 0,4492x + 0,1246//Qv

int d1 = analogRead(A1);
int d2 = analogRead(A2);

float V1 = (d1 * 5) / 1024.0;
float V2 = (d2 * 5) / 1024.0;
float P2_p = (3.0 * ((float)V2 - 0.47)) * 1000000.0;
float P2_b = (P2_p / 10e5) - 0.0987890625;
float P2_c = (0.8006 * P2_b + 0.0028)+0.0089275388+0.07;

//y = 0,8006x + 0,0028 //P2
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("P=");
Serial.print (P2_c,2);
lcd.write("P2=");
lcd.print(P2_c);
//*****
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Qv=");
//Serial.println (Qvv,DEC);
lcd.write("Qvv=");
```

Annexes

```
lcd.print(Qvv);
if (Serial.available() > 0)
{
int c;
for (int k = 0; k < Serial.available(); k++)
{
c = Serial.read();
}
if (c == 1)
{
}
else
{
}
}
}
```