

Travaux pratiques turbine Pelton

Dahia Chibouti

dahia.chibouti@univ-eiffel.fr

2022-2023

Table des matières

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Introduction | 1 |
| 1.1 | Description du dispositif expérimental | 2 |
| 2 | Analyse théorique simplifiée du dispositif expérimental | 4 |
| 2.1 | Puissance fournie par le jet d'eau à la turbine | 4 |
| 2.2 | Puissance mécanique développée par la turbine Pelton | 5 |
| 2.3 | Rendement de la turbine Pelton | 6 |
| 3 | Travail à mener | 6 |
| 3.1 | Quelques précautions à prendre | 6 |
| 3.2 | Construction des courbes de performances de la turbine Pelton | 7 |
| 3.2.1 | Procédure à suivre | 7 |
| 3.2.2 | Analyse des résultats | 8 |
| A | Montage du dispositif expérimental | 9 |

1 Introduction

On définit l'hydroélectricité ou l'énergie hydroélectrique comme étant l'énergie issue de la conversion de l'énergie potentielle des flux d'eau (fleuves, chutes d'eau, rivières, courants marins, ...) en énergie cinétique, puis en énergie mécanique par une turbine hydraulique et enfin en électricité par un alternateur couplé à ladite turbine.

La turbine hydraulique se trouve être l'élément principal d'une centrale hydroélectrique. Elle a été inventée en 1832 par le Français Benoît Fourneyron. Depuis lors, sa conception a évolué avec un même objectif : augmenter son rendement dans des conditions d'utilisation particulières. On les classe aujourd'hui en deux grandes familles ; les turbines hydrauliques à action (ou impulsion) et les turbines hydrauliques à réaction.

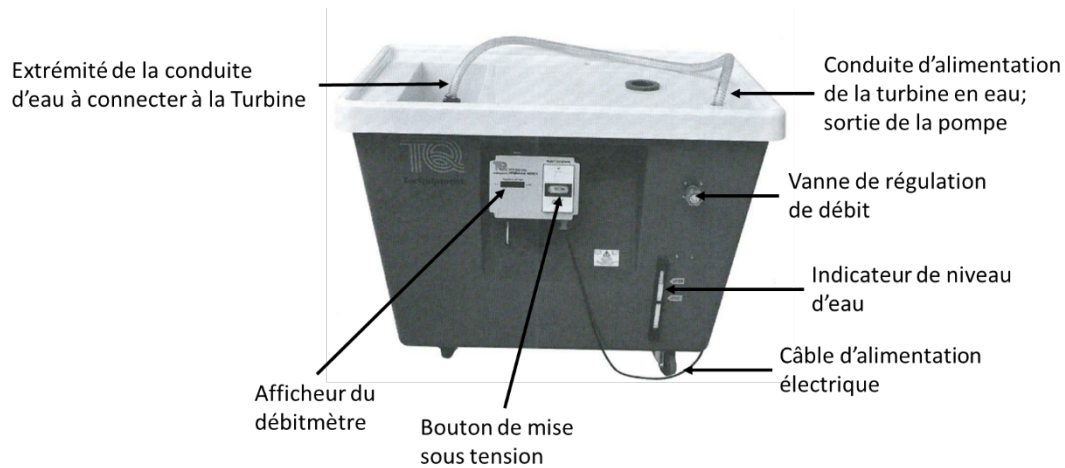


FIGURE 1 – Cuve d'eau d'alimentation de la turbine Pelton

Les turbines hydrauliques à action transforment la pression hydraulique en énergie cinétique par un dispositif statique : l'injecteur. Ce jet d'eau sortant de l'injecteur, va heurter les augets solidaires d'une roue mobile, entraînant cette dernière dans un mouvement de rotation continu. Cette conception de la turbine à action fait que la pression de l'eau à l'entrée de la roue est égale à la pression de sortie. **Les turbines à réaction** tirent profit aussi bien de l'énergie cinétique de l'eau, mais aussi de la dépression (pression de l'eau à l'entrée de la roue supérieure à la pression de sortie) pour entraîner la roue dans son mouvement de rotation. Ce sont des turbines entièrement immergées qui conviennent pour des chutes de faible hauteur (moins de 700 mètres). En effet, la dépression observée au niveau de la roue d'une turbine à réaction augmente avec la hauteur de chute, provoquant une érosion de celle-ci.

La Turbine Pelton appartient à la famille des turbines hydrauliques à action. Elle doit son nom à son inventeur, Lester Allan Pelton. La turbine Pelton est une turbine hydraulique à augets solidaires d'une roue entraînée par la force exercée par le jet d'eau sur ces augets (conversion de la pression du jet en couple et énergie cinétique).

Le but de ce TP est d'évaluer expérimentalement l'évolution des performances de la Turbine Pelton en fonction des conditions d'utilisation.

1.1 Description du dispositif expérimental

Deux éléments principaux constituent le dispositif expérimental : une cuve d'eau et la turbine Pelton. Le barrage nécessaire pour produire l'énergie potentielle du flux d'eau est difficile à réaliser à l'échelle du laboratoire ; son rôle est ici simulé par une pompe immergée dans la cuve d'eau (Fig. 1). Ladite cuve d'eau est dotée d'un bouton de mise sous tension gérant l'alimentation électrique de la pompe, d'un indicateur de niveau d'eau, d'un débitmètre à affichage numérique et d'une vanne de régulation de débit. Une conduite partant de la cuve et connectée à l'entrée de la turbine permet d'alimenter cette dernière en eaux motrices.

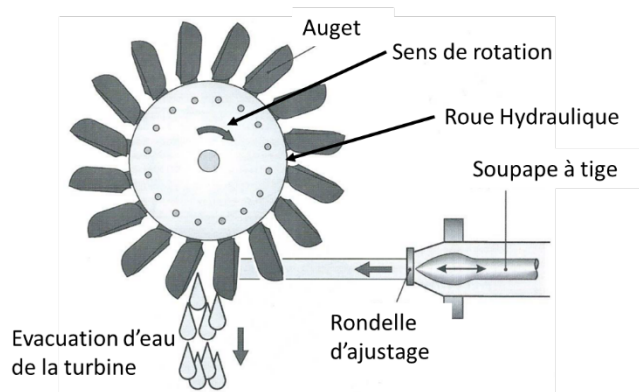


FIGURE 2 – Injecteur et roue hydraulique d’une turbine Pelton

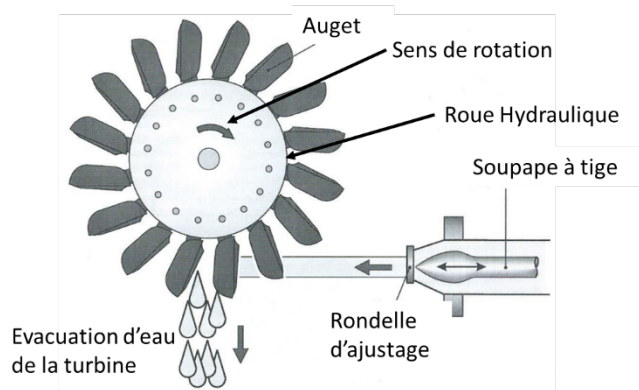


FIGURE 3 – Injecteur et roue hydraulique d’une turbine Pelton

L’eau passe par un injecteur doté d’une soupape à tige dont le pourcentage d’ouverture permet de modifier le diamètre du jet avant son impact sur les augets de la roue de Pelton (Fig. 3).

Une partie de la quantité de mouvement du jet est ainsi cédée à l’auget, entraînant la roue dans une rotation continue ; l’eau s’échappe latéralement pour se déverser dans la cuve en contre bas de la turbine.

Un manomètre connecté à l’injecteur permet de mesurer la pression de l’eau d’alimentation. La face avant de la turbine est recouverte d’une plaque transparente qui permet d’observer l’écoulement de l’eau à travers les augets de la roue de Pelton (Fig. 4). La face arrière de la turbine, également recouverte d’une plaque transparente, est dotée d’un tambour de frein fonctionnant avec une corde reliée à deux dynamomètres qui permettent d’évaluer le couple de la roue de Pelton. Ce système simule la charge du générateur d’une centrale hydroélectrique. Le Tambour est également doté d’un réflecteur qui permet de mesurer la vitesse de rotation de la turbine à l’aide d’un tachymètre optique à viseur laser qui vous sera fourni.

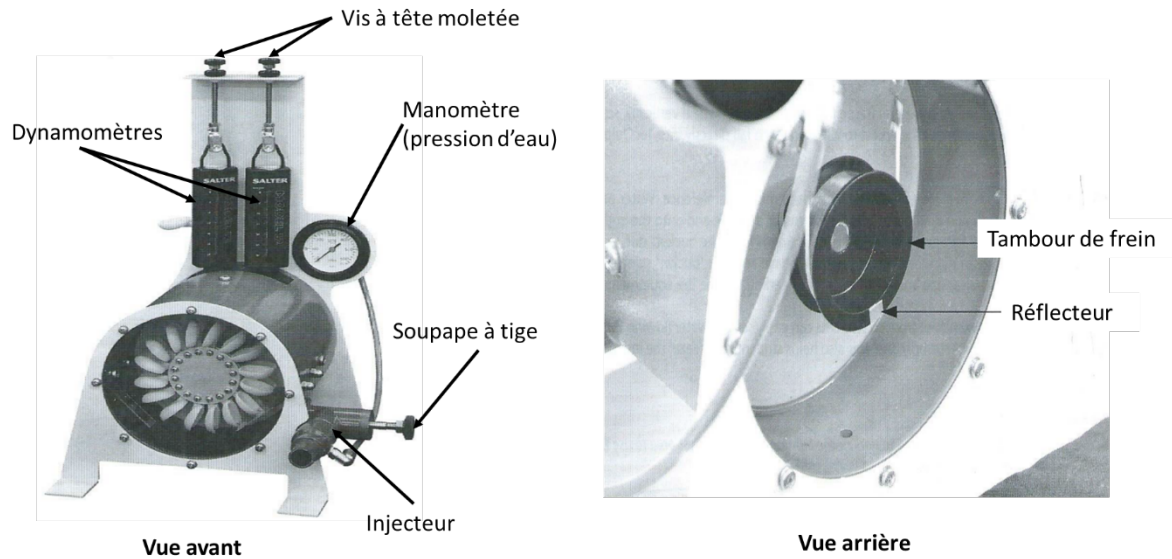


FIGURE 4 – Turbine Pelton

2 Analyse théorique simplifiée du dispositif expérimental

2.1 Puissance fournie par le jet d'eau à la turbine

L'énergie est transmise par le jet d'eau à la turbine sous la forme d'énergie cinétique. Cette puissance est donnée par la relation :

$$\mathcal{P}_e = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 \quad (1)$$

où

- \dot{m} est le débit massique du jet d'eau en kg/s
- v est la vitesse moyenne du jet d'eau en m/s

Le calcul de la vitesse du jet nécessite de connaître précisément le diamètre du jet d'eau à la sortie de l'injecteur, ce qui, malheureusement, est difficile à évaluer. En l'absence de cette donnée, la pression du jet d'eau à l'injecteur et le débit volumique donné par le débitmètre de la cuve permettent d'avoir une bonne approximation de la puissance du jet d'eau :

$$\mathcal{P}_e = Q_v P \quad (2)$$

où

- Q_v est le débit volumique du jet en m³/s.
- P est la pression du jet d'eau en Pa

Remarque : Le débitmètre de la cuve d'eau, affiche le débit d'eau en ℓ/min qu'il conviendra de convertir en m³/s. Le manomètre de l'injecteur mesure la pression du jet d'eau en bar

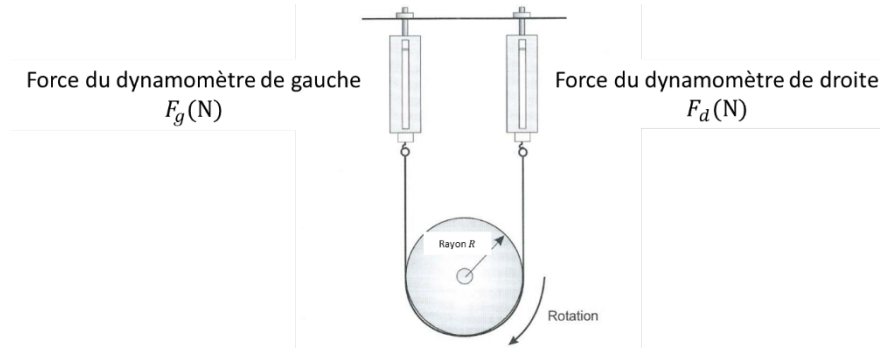


FIGURE 5 – Système dynamomètre et tambour de frein

qu'il convient de convertir en Pa. Rappelons également que la turbine Pelton est le plus souvent choisie comme turbine hydraulique lorsque la pression du jet est importante et son débit relativement faible.

2.2 Puissance mécanique développée par la turbine Pelton

La puissance développée par la turbine est déterminée par le couple s'exerçant sur le bras de la turbine. Ce couple est obtenu à l'aide des deux dynamomètres du tambour de la face arrière de la turbine Pelton.

La force résultante F_R est la différence des forces mesurées par les deux dynamomètres. Si l'on s'en tient au sens de rotation de la Fig. 5, la force mesurée par le dynamomètre de droite sera supérieure à celle mesurée par celui de gauche. On a donc :

$$F_R = F_d - F_g \quad (3)$$

Le couple disponible sur le bras de la turbine Pelton est donné par :

$$T = R \times F_R \quad (4)$$

Connaissant le couple du bras de la turbine, la puissance mécanique développée est donnée par :

$$\mathcal{P}_t = \frac{2\pi NT}{60} \quad (5)$$

où

- N (en tours/min) est la vitesse de rotation de l'arbre moteur de la turbine mesurée sur le tambour de frein (voir Fig. 4).
- T est le couple du bras de la turbine en $\text{N} \cdot \text{m}$
- \mathcal{P}_t (en W)

Remarque : Il faut s'assurer que les dynamomètres affichent bien 0 lorsque qu'aucune force ne s'exerce sur l'axe de la turbine.

2.3 Rendement de la turbine Pelton

Le rendement de la turbine Pelton se définit comme le rapport entre la puissance développée par la turbine Pelton et la puissance fournie par le jet d'eau.

$$\eta_t = \frac{\mathcal{P}_t}{\mathcal{P}_e} \quad (6)$$

3 Travail à mener

La manipulation du dispositif expérimental est décrite en Annexe [A](#).

3.1 Quelques précautions à prendre

- La modification de la charge appliquée sur le tambour de frein peut se faire en agissant uniquement sur une seule des vis à tête moletées. Cependant, pour un meilleur contrôle de la charge, il est conseillé d'ajuster simultanément les deux vis à tête moletées.
- La turbine utilise plusieurs joints d'étanchéité pour la protection de ses roulements. Par conséquent, laissez fonctionner la turbine pendant une dizaine de minutes avant les tests. Ceci pour limiter les frottements dus aux joints.
- Le niveau d'eau de la cuve d'alimentation devrait être suffisant pour une bonne précision des résultats.
- Les données techniques les plus importantes du dispositif expérimental sont regroupées dans le tableau [1](#).

| Éléments | Détails |
|---|-----------------------|
| Capacité minimale de la cuve | 100 ℓ |
| Capacité maximale de la cuve | 160 ℓ |
| Débit maximal de la pompe immergée | 24 ℓ/min |
| Pression maximale du jet d'eau | 450 mbar |
| Rayon du tambour de frein (R) | 25 mm |
| Puissance nominale de turbine ($\mathcal{P}_{t,nom}$) | 3,5 W à 500 tours/min |
| Vitesse de rotation maximale (N_{max}) | 1000 tours/min |
| Ouverture nominale de soupape à tige | 6 à 7 mm |

TABLEAU 1 – Données techniques du dispositif expérimental

- Le diamètre du jet d'eau est ajusté à l'aide de la soupape à tige de l'injecteur. En effet, la taille du jet est augmentée (resp. diminuée) en tournant sur la tête de la soupape

dans le sens direct (resp. indirect). Le tableau 2 précise la relation entre la rotation et le déplacement horizontal de la soupape à tige.

| Rotation de soupape à tige | Déplacement (mm) |
|----------------------------|------------------|
| Entièrement fermée | 0 |
| 1/2 tour direct | 0,75 |
| 1 tour direct | 1,50 |
| 1 tour 1/2 direct | 2,25 |
| 2 tours direct | 3,00 |
| 2 tours 1/2 direct | 3,75 |
| 3 tours direct | 4,50 |
| 3 tours 1/2 direct | 5,25 |
| 4 tours direct | 6,00 |
| 4 tours 1/2 direct | 6,75 |

TABLEAU 2 – Lien entre la rotation et le déplacement de la soupape à tige lors de l’ajustage de la taille du jet d’eau

3.2 Construction des courbes de performances de la turbine Pelton

L’objectif est d’étudier l’influence de la taille du jet sur les performances de la turbine.

3.2.1 Procédure à suivre

1. Pour chaque débit/ouverture, créer un tableau de résultats identique au tableau 3.

| Vitesse de rotation (tours/min) | F_g (N) | F_d (N) | Couple T (N · m) | Puissance \mathcal{P}_t (W) | Rendement % |
|------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------------------|----------------|
| | | | | | |

TABLEAU 3 – Lien entre la rotation et le déplacement de la soupape à tige lors de l’ajustage de la taille du jet d’eau

2. Ajuster les vis à tête moletées des dynamomètres de manière à annuler la charge exercée par le système de freinage sur le bras de la turbine.
3. Fermer entièrement l’injecteur (tourner entièrement, dans le sens des aiguilles d’une montre, la tête de la soupape à tige)
4. Raccorder le câble d’alimentation électrique de la cuve d’eau au réseau électrique et mettre en marche la pompe en appuyant sur le bouton de mise sous tension (ON). Ouvrir progressivement la vanne de régulation du débit de la cuve tout en ouvrant la soupape de l’injecteur jusqu’à ce que le débit d’eau de la cuve soit maximal et que l’injecteur, soit entièrement ouvert.

5. Relever le débit d'eau et le noter comme débit initial. Relever également la pression d'alimentation.
6. Utiliser le tachymètre optique pour mesurer la vitesse de rotation maximale de la turbine (pas de charge). Pour ce faire, se placer à l'arrière de la turbine avec le tachymètre allumé et viser le réflecteur du tambour de frein avec le rayon du tachymètre; la vitesse de rotation de la turbine s'affiche à l'écran du tachymètre.
7. Augmenter progressivement la charge en agissant sur les vis à tête moletées des deux dynamomètres et compléter la table des résultats (vitesse de rotation, forces). Arrêter d'augmenter la charge dès lors que la vitesse de rotation n'est plus stable ou tout simplement lorsque la turbine cesse de tourner.
8. Répéter l'expérience pour les pourcentages d'ouverture de l'injecteur de 50% et de 25% approximativement en complétant chaque fois un nouveau tableau de résultats.

3.2.2 Analyse des résultats

Pour chaque cas,

1. Calculer la puissance du jet d'eau
2. Calculer le couple disponible sur le bras de la turbine
3. Calculer le rendement pour chaque valeur de la charge
4. Tracer sur la même figure, les courbes de variation de la puissance mécanique de la turbine ainsi que du couple en fonction de la vitesse de rotation.
5. Tracer la courbe de variation du rendement de la turbine en fonction de la vitesse de rotation.

Discussions :

- Comment le taux d'ouverture de l'injecteur influence-t-il les performances de la turbine Pelton ?
- Comment varie la puissance mécanique de la turbine avec la vitesse ?
- Quelle(s) condition(s) d'exploitation permet(tent) à la turbine Pelton
 - de développer une meilleure puissance ?
 - de tourner plus vite ?
 - de produire un meilleur rendement ?
- Quel(s) conseil(s) donneriez-vous à un opérateur de centrale hydroélectrique à la suite des observations faites à l'issue de ce TP ?

A Montage du dispositif expérimental

Pour monter le dispositif expérimental (cf. Fig. 1), il faut :

- Placer la turbine Pelton au-dessus de la cuve d'eau de manière à faciliter l'évacuation de l'eau par le canal de la cuve
- Connecter la conduite d'alimentation d'eau à la turbine Pelton
- Vérifier que le niveau d'eau de la cuve se situe entre la jauge min et max
- Raccorder le câble d'alimentation électrique au réseau électrique ; le banc est installé et prêt pour la séance de TP.