

EFFICACITE

ENERGETIQUE

DOCUMENT PEDAGOGIQUE

# TP Rendement d'une turbine Pelton

PLATEFORME D'INGENIERIE EXPERIMENTALE  
CAMPUS DE ST CYR L'ECOLE – BATIMENT 4

## Table des matières

A.	Description .....	2
B.	Théorie simplifiée .....	2
C.	Pertes.....	4
D.	Travail demandé.....	4
1.	Mesure du débit volumique .....	5
2.	Mesure du couple.....	5
3.	Mesure de la vitesse de rotation .....	5



## A. Description

Un jet dont on peut faire varier le débit par l'intermédiaire d'un pointeau est reçu par des augets de forme convenable disposés autour d'une roue mobile d'axe perpendiculaire au jet. Le jet est dévié par les augets et s'échappe latéralement après avoir cédé une partie de sa quantité de mouvement à l'auget. Dans la rotation de la turbine, le remplacement d'un auget par le suivant ne se fait pas sans choc, la forme à donner à l'auget pour le meilleur rendement est établie expérimentalement (figure 1 et figure 2).

2

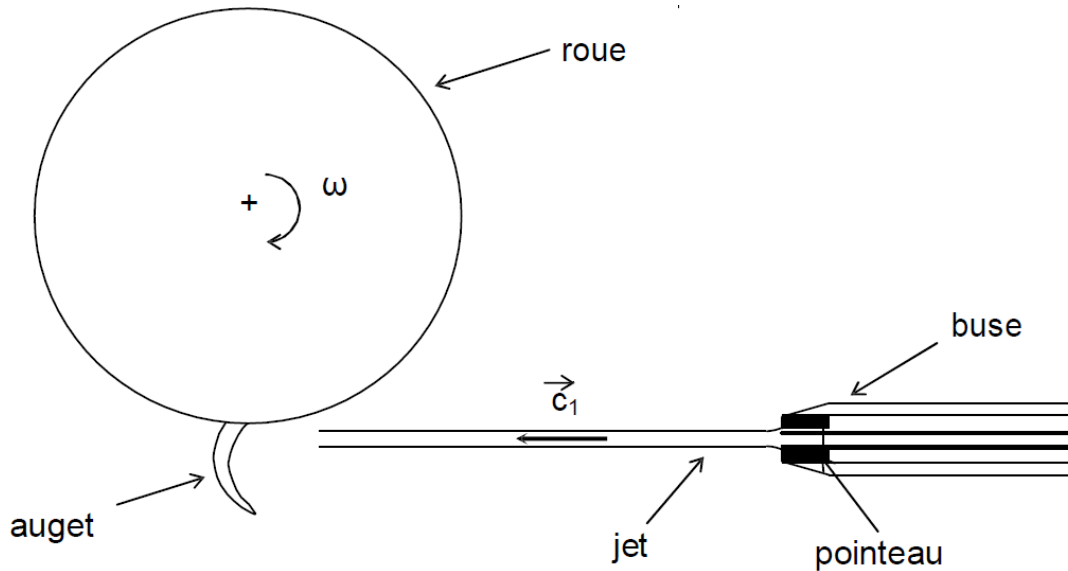


Figure 1 : Principe de la turbine Pelton

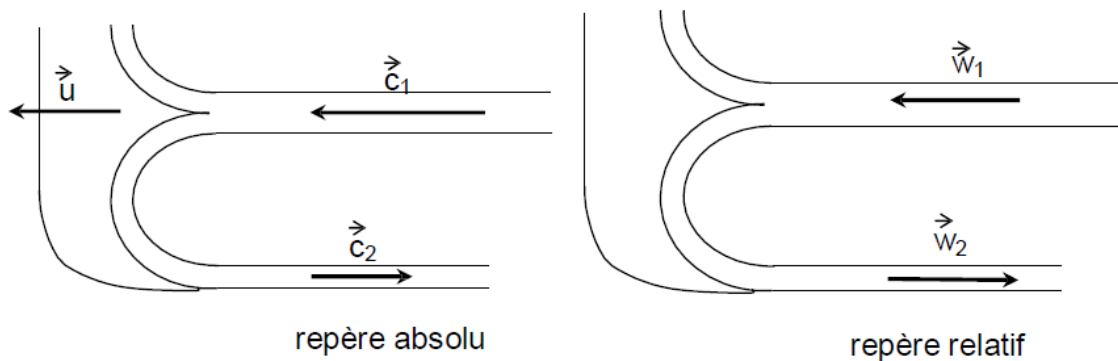


Figure 2 : Déviation du jet

## B. Théorie simplifiée

La vitesse du jet avant déviation est  $c_1$  et après déviation  $c_2$ , dans un repère fixe (figure 2). Dans un repère mobile lié à l'auget, de vitesse  $u = \omega r$ , la vitesse relative du jet est  $w_1 = c_1 - u$  avant déviation et  $w_2 = c_2 + u$  après déviation. Si  $q$  est le débit massique du jet, le couple  $C$  exercé par le jet sur l'auget et la puissance  $P$  récupérée par la turbine sont :

$$C = q(c_1 + c_2)r$$

$$P = C\omega = q(c_1 + c_2)u$$

Si le fluide n'est pas ralenti dans la déviation de 180° qu'il subit, on a  $w_1 = w_2$  par application du théorème de Bernoulli à pression constante, donc :

$$C = 2qr(c_1 - u)$$

$$P = 2qu(c_1 - u)$$

3

La vitesse  $c_1$  et le débit  $q$  ne dépendent que des conditions de la source :

$$c_1 = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{2 \frac{\Delta p}{\rho}}$$

où  $\Delta p$  et  $\Delta h$  sont respectivement la pression d'alimentation et la hauteur d'eau équivalente. La puissance hydraulique admise est :

$$P_e = q_v \Delta p = \frac{1}{2} q_v \rho c_1^2 = \frac{1}{2} q c_1^2$$

et le rendement :

$$\eta = \frac{P}{P_e} = \frac{2qw_1\omega r}{\frac{1}{2}qc_1^2} = 4 \frac{N}{N_{max}} \left[ 1 - \frac{N}{N_{max}} \right]$$

Les caractéristiques théoriques sont :

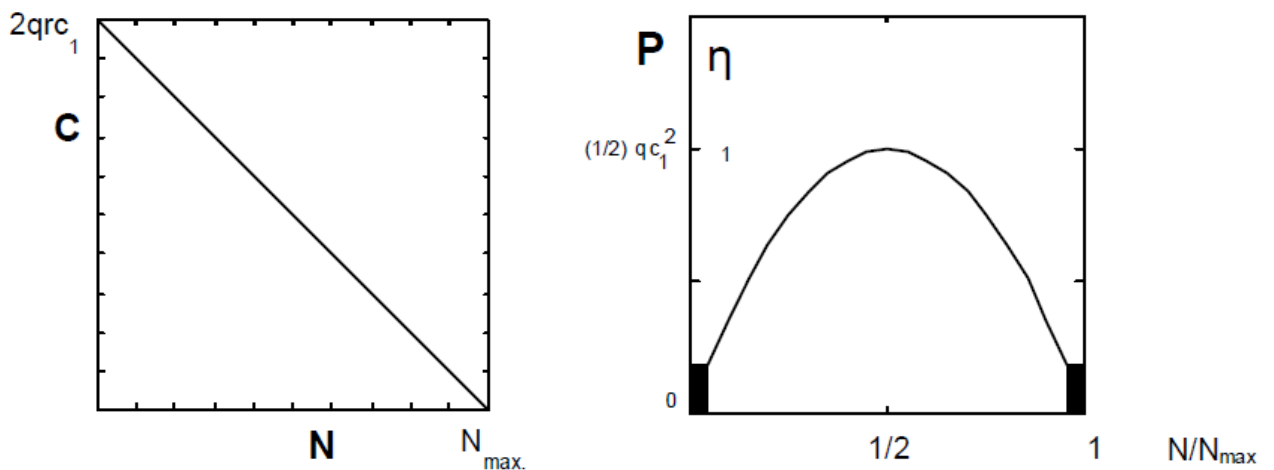


Figure 3 : Courbes caractéristiques

Le couple de la turbine est maximal à l'arrêt, et nul quand la turbine tourne à vide à sa vitesse maximale :

$$\omega_{max} = \frac{c_1}{r} = \frac{1}{r} \sqrt{2gh_0}$$

La puissance de sortie et le rendement sont maximaux pour la vitesse de rotation moitié  $\omega_{max}/2$ , et valent :

$$P_{max} = \frac{qc_1^2}{2} = qgh_0 \quad \text{et} \quad \eta = 1$$

Rq : La conversion en  $\text{tr.min}^{-1}$  est donnée par la formule :

$$N_{max} = \frac{60\omega_{max}}{2\pi}$$

Pour cette valeur particulière de  $N$ , la vitesse absolue est  $c_2 = 0$  à la sortie de l'auget. Toute l'énergie incidente du jet a été transférée à la roue mobile. Pour qu'il n'y ait pas accumulation d'eau dans l'auget, on fait sortir l'écoulement de l'auget avec un petit angle par rapport au plan de la roue ; dans le repère fixe du jet s'échappe alors latéralement :

- vers l'arrière si  $0 < N < \frac{1}{2}N_{max}$ ,

- vers l'avant si  $\frac{1}{2}N_{max} < N < N_{max}$ ,

- perpendiculairement si  $N = \frac{1}{2}N_{max}$ ,

### C. Pertes

L'existence de pertes par friction dans la buse de distribution et lors de la déviation par l'auget conduit bien sûr à un rendement inférieur à 1. Lors du remplacement d'un auget par le suivant il se produit un choc entre le jet et la lèvre inférieure causant une perte d'énergie cinétique du jet. Si l'auget est trop rapproché de l'axe de rotation, il devient impossible de réaliser la condition  $c_2 = 0$  pour toutes les particules incidentes. Par contre si à fréquence de rotation  $N$  donnée, on éloigne l'auget de l'axe, la vitesse de rotation augmente et il faut augmenter celle du jet, d'où une réalisation délicate et onéreuse. Pour les grosses turbines (10 000 kW ou davantage) on atteint des rendements de 0,8 à 0,9.

### D. Travail demandé

Le montage expérimental est un modèle réduit d'une centrale hydroélectrique. L'énergie mécanique (énergie potentielle puis cinétique de l'eau) est transformée en énergie électrique dans la génératrice. Pour une hauteur de chute et un débit donné, la puissance hydraulique  $P_e$  est fixée. C'est la puissance fournie à la turbine Pelton.

A l'aide de rhéostats, il est possible de faire varier la résistance du circuit électrique branché aux bornes du rotor de la génératrice ce qui se traduit par une variation de la vitesse de rotation et du couple mécanique résistif de la génératrice et en conséquence de la puissance récupérée  $P_{me}$  en sortie de la turbine Pelton. On tracera pour deux régimes différents (faire varier débit et/ou hauteur de chute

au choix) les courbes  $C(N)$  et  $P_{me}(N/N_{max})$  (ou  $\eta_{me}(N/N_{max})$ ) permettant de caractériser la turbine Pelton. On tracera d'abord les courbes théoriques et on viendra placer les points expérimentaux par la suite.

Le montage expérimental permet aussi de mesurer tension  $U(N)$  et intensité  $I(N)$  en sortie de génératrice, et donc de calculer la puissance électrique Pel générée par la centrale. Tracer sur le même graphe que  $P_{me}$  (ou  $\eta_{me}$ ) la courbe  $P_{el}$  (ou  $\eta_{el}$ ) toujours en fonction de  $N/N_{max}$ .



## 1. Mesure du débit volumique

La mesure du débit volumique  $q_v$  s'effectue à l'aide d'un déversoir à paroi mince en forme de V et de la réglette graduée qui est vissée directement sur le bac. Cette réglette a été préalablement étalonnée. Le niveau dans le déversoir est lié au débit volumique. Il suffit donc de lire directement sur la réglette le débit volumique. Attention : le débit est gradué en  $m^3/min$ . Il y a un point devant les chiffres : ainsi .12 se lit  $q_v = 0.12 m^3/min$ .

## 2. Mesure du couple

La génératrice est fixée sur le bâti à l'aide de paliers lui permettant de tourner librement autour de son axe de rotation. La rotation est cependant limitée par deux butées. Le couple moteur appliqué par la turbine Pelton est équilibré soit par les butées, soit par le moment de la force due à une masse (de 1,8 kg) que l'on peut faire coulisser sur une tige graduée en centimètres.

Le tarage s'effectue à l'aide d'un contrepoids (masse de 1 kg) fixé sur l'autre tige. Avant de mettre la turbine Pelton en marche, (c'est-à-dire pour  $N = 0$ ), on place la masse de 1,8 kg sur 0 cm et on cherche l'équilibre à l'aide du contrepoids.

Pour chaque point de mesure, on déplace uniquement la masse de 1,8 kg de la distance  $d$  pour retrouver l'équilibre.

## 3. Mesure de la vitesse de rotation

La vitesse de rotation est mesurée à l'aide d'un tachymètre qui affiche la vitesse en tours par minute (RPM en anglais). Une pastille réfléchissante est collée sur l'arbre. Pour faire une mesure, viser avec le faisceau du tachymètre la pastille et lire la vitesse de rotation.

Note : La génératrice utilisée est une génératrice à courant continu à excitation séparée. L'intensité du courant électrique pris sur le secteur (boîtier fixé au mur) circulant dans le rotor est très faible devant celle qui circule dans le rotor. Il serait envisageable de récupérer une partie du courant du rotor pour alimenter le stator. Cela rendrait les mesures de couple un peu moins faciles notamment pour couvrir les larges plages considérées dans ce TP. En revanche, pour un point de fonctionnement précis, cela ne poserait pas de problème particulier.

Date :

Noms :

Données : rayon de la turbine Pelton  $r = 50 \text{ mm}$       masse : 1.8 kg

- $h =$  \_\_\_\_\_
- $c_1 =$  \_\_\_\_\_
- $q_v =$  \_\_\_\_\_

$N_{max,theo} =$  \_\_\_\_\_  
 $q =$  \_\_\_\_\_

$N_{max,expe} =$  \_\_\_\_\_  
 $P_{max,theo} =$  \_\_\_\_\_



$N \text{ (tr/min)}$	$N/N_{max,expe}$	$d \text{ (cm)}$	$C \text{ (N.m)}$	$P_{me} \text{ (W)}$	$\eta_{me} = P_{me}/P_{max}$	$U \text{ (V)}$	$I \text{ (A)}$	$P_{el} \text{ (W)}$	$\eta_{el} = P_{el}/P_{max}$

Date :

Noms :

Données : rayon de la turbine Pelton  $r = 50$  mm

masse : 1.8 kg



- $h =$  \_\_\_\_\_
- $c_1 =$  \_\_\_\_\_
- $q_v =$  \_\_\_\_\_

$N_{max,theo} =$  \_\_\_\_\_  
 $q =$  \_\_\_\_\_

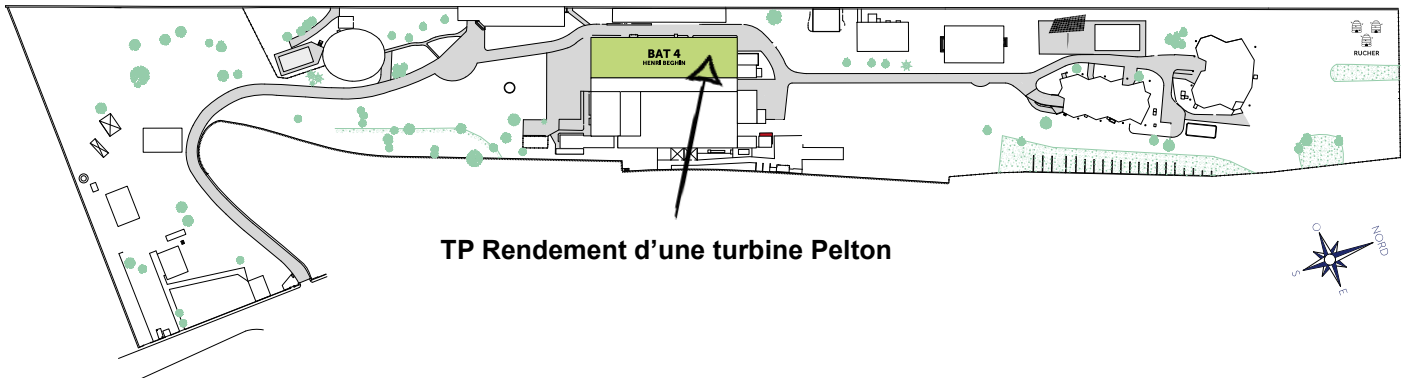
$N_{max,expe} =$  \_\_\_\_\_  
 $P_{max,theo} =$  \_\_\_\_\_

$N$ (tr/min)	$N/N_{max,expe}$	$d$ (cm)	$C$ (N.m)	$P_{me}$ (W)	$\eta_{me} = P_{me}/P_{max}$	$U$ (V)	$I$ (A)	$P_{el}$ (W)	$\eta_{el} = P_{el}/P_{max}$



# SORBONNE UNIVERSITE

Faculté des Sciences et Ingénierie  
Plateforme d'Ingénierie Expérimentale  
Campus de Saint-Cyr-l'École  
2 Place de la Gare de Ceinture  
78210 SAINT CYR L'ECOLE



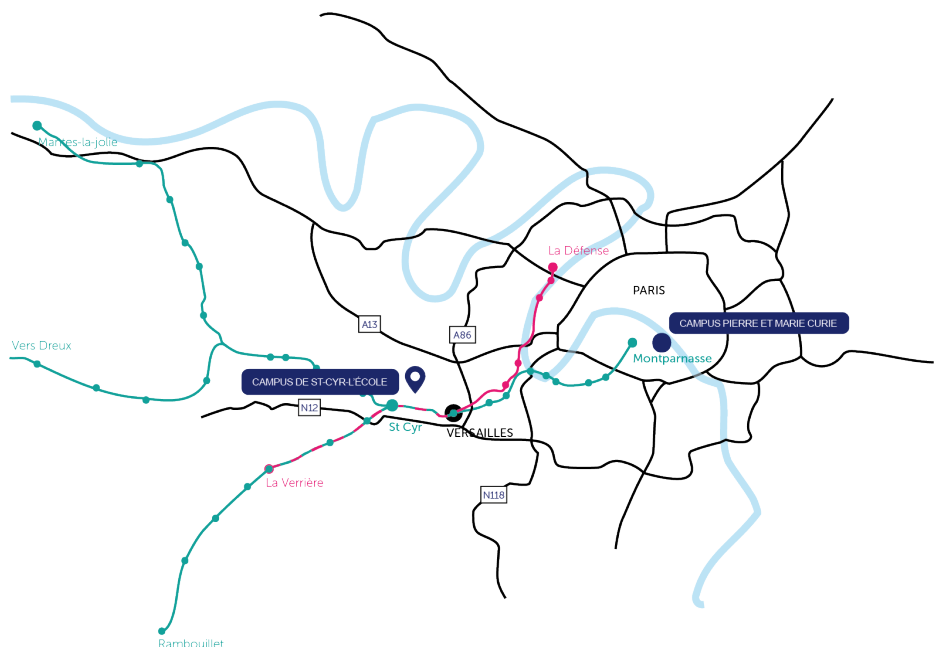
*Campus de St Cyr - Sorbonne Université*

## REJOINDRE LA PLATEFORME

Accès en train, arrêt Saint Cyr :  
Depuis Montparnasse, ligne N  
Depuis La Défense, ligne U  
Depuis Saint Michel ND, RER C  
Prévoir ensuite 10 mn de marche

Accès en voiture :  
Coordonnées GPS  
N 48.80217°  
E 2.07639

Accueil campus  
01.44.27.95.64  
Informations et réservations TP  
01.44.27.95.22



→ [www.sorbonne-plateforme-ingenierie-experimentale.fr](http://www.sorbonne-plateforme-ingenierie-experimentale.fr)