



## Projet APP hydraulique

*G2B2, G2B3, UPS*

*TRAN Ugo, [REDACTED] Nathan, [REDACTED] Emilie, [REDACTED] Titouan,  
[REDACTED] Clément, [REDACTED] Aurèle, [REDACTED] Philemon,  
[REDACTED] Edgar*

26 Mai 2024

MFEE - Promo 2026

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>4</b>
1.1	Contexte . . . . .	4
1.2	Objectifs et plan de l'étude . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Qualification du matériel</b>	<b>5</b>
2.1	Matériel à disposition . . . . .	5
2.2	Débit de la pompe utilisée . . . . .	5
2.2.1	Dispositif expérimental . . . . .	5
2.2.2	Détermination du débit . . . . .	6
2.3	Détermination de la rugosité absolue des tuyaux . . . . .	6
2.3.1	Dispositif expérimental . . . . .	6
2.3.2	Méthode pour déterminer la rugosité des tuyaux . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Hydraulique en charge</b>	<b>9</b>
3.1	Contexte de l'étude . . . . .	9
3.2	Calcul des pertes de charges . . . . .	9
3.2.1	Pertes de charges régulières . . . . .	9
3.2.2	Pertes de charges singulières . . . . .	10
3.2.3	Pertes de charges totales . . . . .	11
3.3	Calcul de la puissance nécessaire de la pompe . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Hydraulique à surface libre</b>	<b>12</b>
4.1	Séance de TP expérimentale . . . . .	12
4.2	Calculs sur notre toboggan . . . . .	13
4.2.1	Hauteur d'eau . . . . .	13
4.2.2	Hauteur critique . . . . .	14
4.2.3	Calcul de vitesse . . . . .	15
4.2.4	Calcul du Reynolds . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Machines hydrauliques</b>	<b>15</b>
5.1	Contexte et objectifs : . . . . .	15
5.2	Turbine Pelton . . . . .	16

5.2.1	Théorie autour de la turbine Pelton . . . . .	17
5.2.2	Calcul expérimentaux : . . . . .	17
5.2.3	Simulation numérique . . . . .	19
5.2.4	Adimensionnement et similitudes . . . . .	20
5.3	Turbine Francis . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>22</b>

# 1 Introduction générale

## 1.1 Contexte

Dans le cadre de notre formation en hydraulique, nous avons eu l'opportunité de participer à un projet d'apprentissage par projet (APP), une approche pédagogique visant à combiner théorie et pratique de manière immersive et concrète. L'hydraulique, une discipline clé de l'ingénierie, se prête particulièrement bien à cette méthode en raison de son application directe dans des systèmes réels tels que les réseaux de distribution d'eau, les systèmes de drainage et les machines hydrauliques.

L'APP hydraulique nous a permis de sortir des salles de cours pour concevoir et réaliser nos propres dispositifs expérimentaux. En recréant des situations concrètes et en résolvant des problèmes inspirés des défis quotidiens rencontrés par les ingénieurs, nous avons pu approfondir notre compréhension des concepts théoriques et développer des compétences pratiques essentielles.

## 1.2 Objectifs et plan de l'étude

L'objectif principal de cette étude est de mettre en application les connaissances théoriques acquises en cours d'hydraulique à travers des projets concrets et pratiques. En concevant et réalisant des dispositifs expérimentaux, nous visons à comprendre et maîtriser les principes fondamentaux de l'hydraulique en charge, de l'hydraulique à surface libre et des machines hydrauliques. Afin de diriger notre étude, nous avons pensé à un système d'écoulement d'eau dans un canal, qui se verse ensuite dans un bassin en faisant tourner une turbine. Cette turbine permettrait d'alimenter partiellement une pompe qui remonterait finalement l'eau à l'amont du canal. Ce système pourrait connaître des applications comme par exemple dans une installation de toboggan dans un parc aquatique. L'avantage de ce système est qu'il regroupe les trois axes d'étude que nous allons développer.

Notre rapport détaillera d'abord les modalités expérimentales de notre projet. Nous aborderons ensuite trois domaines : le premier portera sur l'hydraulique en charge, le second sur l'hydraulique à surface libre et le troisième sur les machines hydrauliques.

## 2 Qualification du matériel

Tout d'abord, afin de réaliser nos différentes expériences, nous avons dû caractériser les différents éléments de matériel à notre disposition.

### 2.1 Matériel à disposition

Afin de mener notre étude sur les 3 domaines cités précédemment, nous avons à notre disposition :

- plusieurs tuyaux en PVC, de dimensions différentes
- une pompe
- une turbine Francis
- une turbine Pelton
- un canal réduit pour l'étude en surface libre

### 2.2 Débit de la pompe utilisée

#### 2.2.1 Dispositif expérimental

La première étude a donc porté sur la détermination du débit de la pompe. Pour cela, nous avons rempli un contenant d'eau (le bac situé en haut de la figure 1) à l'aide de la pompe jusqu'au dépassement d'un tuyau permettant de vider le trop plein de ce contenant. Le dispositif expérimental était le suivant :

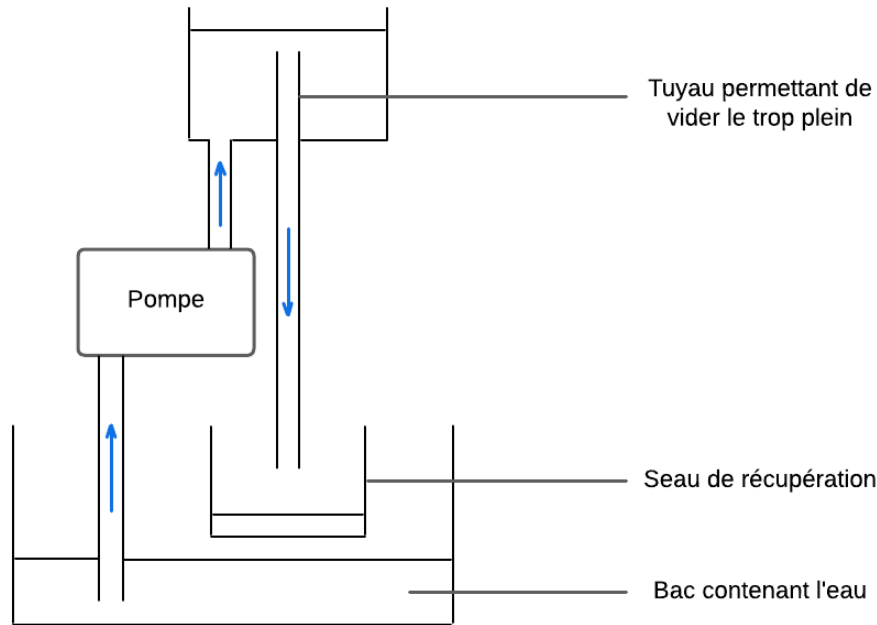


FIGURE 1 – schéma du dispositif

### 2.2.2 Détermination du débit

La conservation de la masse nous impose que  $Q_{pompe} = Q_{tropplein}$  (en notant  $Q$  le débit), il suffit donc de mesurer le débit du tuyau qui sert à vider le trop plein. Pour cela, nous avons utilisé un seau de récupération permettant de mesurer la masse d'eau déversée par le tuyau durant un certain laps de temps, et donc d'en déduire le débit. Afin de prendre en compte les incertitudes liées à l'aspect pratique de la manipulation, nous avons effectué plusieurs mesures afin d'obtenir une plage pour la valeur du débit de la pompe. Les 3 manipulations ont donné  $Q_1 = 1.23$  L/s,  $Q_2 = 1.31$  L/s et  $Q_3 = 1.26$  L/s. On en déduit une valeur moyenne pour le débit de la pompe :  $Q_{pompe} = 1.27$  L/s.

## 2.3 Détermination de la rugosité absolue des tuyaux

### 2.3.1 Dispositif expérimental

La deuxième partie de cette étude avait pour but d'évaluer la rugosité absolue des tuyaux utilisés au cours de nos manipulations. Pour cela, nous avons étudié le dispositif suivant :

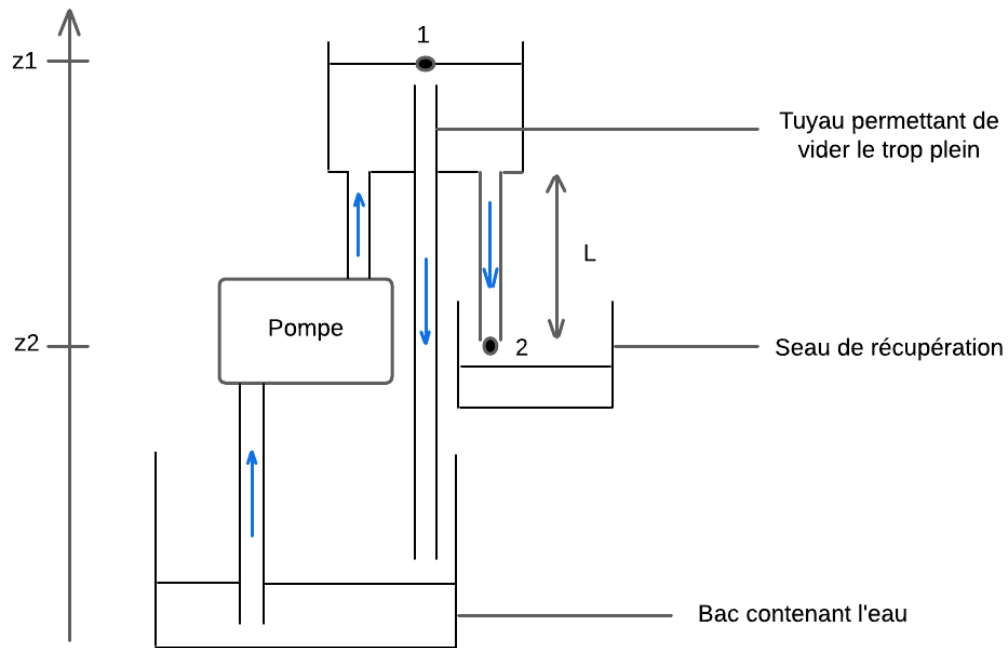


FIGURE 2 – schéma du dispositif

### 2.3.2 Méthode pour déterminer la rugosité des tuyaux

On étudie ainsi la rugosité du tuyau de longueur  $L$  et de diamètre  $D$ . Pour cela nous allons effectuer un bilan de charge entre les points 1 et 2 du schéma de la figure 1. On note  $z_i$  l'altitude du point  $i$ ,  $P_i$  la pression du point  $i$  et  $U_i$  la vitesse du point  $i$ .

Le bilan de charge (notée  $H$ ) entre les points 1 et 2 nous donne :

$$H_1 = H_2 + H_L$$

avec  $H_L$  la perte de charge linéique entre les points 1 et 2.

De plus, on a pour tout point  $i$  :  $H_i = z_i + \frac{P_i}{\rho g} + \frac{U_i^2}{2g}$ . Or on prend le point 1 sur une surface libre, donc on considère  $P_1 = P_{atm}$  et  $U_1 = 0$  et le point 2 est à la sortie d'un tuyau donc on a également  $P_2 = P_{atm}$ . Les pressions vont donc s'annuler dans le bilan. On note également  $z_1 - z_2 = h$ .

L'expression de  $H_L = f(r, Re) \frac{L}{D} \frac{U_2^2}{2g}$  fait apparaître le coefficient de frottement  $f$  qui permet à l'aide du nombre de Reynolds( $Re$ ) et du diagramme de Moody de remonter à la rugosité relative  $r$  et donc à la rugosité absolue  $\epsilon = rD$ .

Ces simplifications permettent d'isoler le coefficient de frottement dans le bilan et d'ainsi obtenir cette expression :

$$f(r, Re) = \frac{D}{L} \frac{2g}{U_2^2} \left( h - \frac{U_2^2}{2g} \right)$$

Afin de pouvoir déterminer le coefficient de frottement, il faut ainsi connaître la vitesse  $U_2$  au point 2. Pour cela, il suffit de mesurer le débit comme lors de la première étape de l'étude avec un seau de récupération en mesurant la masse d'eau déversée au cours d'une certaine durée. Les mesures nous donnent  $L=6$  m,  $D=1.2$  cm,  $h=2.25$  m et  $U_2 = \frac{Q}{\pi(\frac{D}{2})^2} = 1.6$  m/s.

Nous trouvons ainsi  $f = 0.03$  et la mesure de  $U_2$  nous permet ainsi de déterminer le nombre de Reynolds  $Re = 2.10^4$ . Nous pouvons alors lire la rugosité relative sur le diagramme de Moody  $r = 0.002$  et donc en déduire la rugosité absolue  $\epsilon = 0.024$  mm.

Nous pouvons à présent comparer ce résultat avec les tables.

<b>Material</b>	<b><math>\epsilon</math> (mm)</b>
Concrete, coarse	0.25
Concrete, new smooth	0.025
Drawn tubing	0.0025
Glass, Plastic, Perspex	0.0025
Iron, cast	0.15
Sewers, old	3.0
Steel, mortar lined	0.1
Steel, rusted	0.5
Steel, structural or forged	0.025
Water mains, old	1.0

FIGURE 3 – Schéma du montage lors des TP APP - surface libre

Nous remarquons une certaine incohérence de notre valeur, on trouve un rapport de 10 entre la valeur mesurée et la valeur de la table. Cet écart est explicable par les nombreuses imprécisions de nos mesures : on ne considère que la perte de charge linéique, les tuyaux sont usés, ...



## 3 Hydraulique en charge

### 3.1 Contexte de l'étude

Dans cette seconde partie de l'étude, nous avons souhaité utiliser l'hydraulique en charge afin d'évaluer les pertes de charges sur un système d'acheminement d'eau vers un point situé en hauteur (par exemple pour acheminer l'eau dans un toboggan de parc aquatique). Le dispositif expérimental est le suivant :

### 3.2 Calcul des pertes de charges

#### 3.2.1 Pertes de charges régulières

Commençons par calculer les pertes de charges régulières. Les pertes linéaires sont données par la formule de Darcy-Weisbach :

$$H_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

A l'aide d'un montage constitué d'une conduite mère en amont et de deux nouvelles conduites de même section mais de longueurs différentes (cf Figure 2), du théorème de Bernoulli, et de formule théorique nous avons put calculer les pertes de charges régulières et singulières dans les conduites. Pour ce faire nous avons d'abord mesuré le débit (en mesurant des volumes d'eau pour des temps donnés) en sortie de la conduite mère puis les débits des deux conduites de même section.

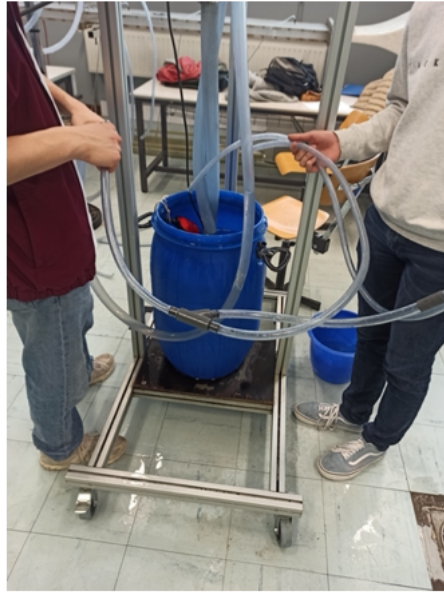


FIGURE 4 – Dispositif expérimental

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \Delta H_2 \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + \Delta H_3 \quad (3)$$

En combinant les deux équations avec  $z_2 = z_3$  on obtient :  $\Delta H_3 - \Delta H_2 = \frac{V_2^2 - V_3^2}{2g}$  Or  $\Delta H_3 - \Delta H_2 = \Delta H_{reg.exp}$  correspond à la perte de charge au sein de notre système. On obtient  $\Delta H_{reg.exp} = 0,55m$ . Avec la formule théorique (eq.1) on peut trouver  $\Delta H_{reg.theo} = 0.33m$

Cette perte de charge est uniquement due à la friction linéaire à l'intérieur du tuyau.

### 3.2.2 Pertes de charges singulières

Les pertes de charges singulières sont dues aux composants tels que les coudes, les vannes et les rétrécissements dans le tuyau. Elles peuvent être calculées en utilisant le coefficient de perte de charge singulière  $K$ , qui dépend de la géométrie du composant. La formule pour ces pertes est :

$$H_s = K \cdot \frac{U^2}{2g} \quad (4)$$

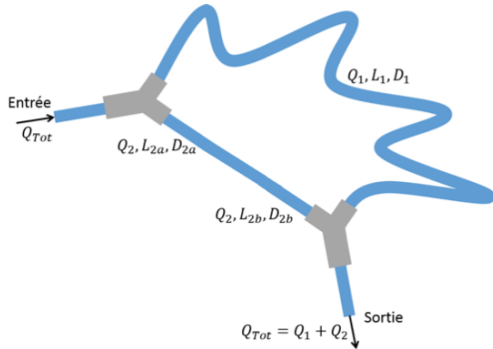


FIGURE 5 – Schéma du dispositif expérimental



FIGURE 6 – Dispositif expérimental réel

Ensuite en appliquant deux fois le théorème de Bernoulli entre la sortie de la conduite en amont (point 1) et respectivement la sorti des deux conduites distinctes (point 2 et 3) :

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \Delta H_2 \quad (5)$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + \Delta H_3 \quad (6)$$

En combinant les deux équations avec  $z_2 = z_3$  on obtient :  $\Delta H_3 - \Delta H_2 = \frac{V_2^2 - V_3^2}{2g}$  Or  $\Delta H_3 - \Delta H_2 = \Delta H_{sing.exp}$  correspond à la perte de charge au sein de notre système. On obtient  $\Delta H_{sing.exp} = 0,53m$ .

En comparant avec la formule théorique (eq.4), on trouve  $\Delta H_{sing,theo} = 0.22m$

### 3.2.3 Pertes de charges totales

La perte de charge totale est la somme des pertes linéiques et singulières :

$$H_{tot} = H_L + H_s = 1.08m$$

Cette valeur de perte de charge totale permet de dimensionner correctement la pompe pour assurer l'acheminement de l'eau dans le système.

### 3.3 Calcul de la puissance nécessaire de la pompe

En appliquant le théorème de Bernoulli entre le point A à la surface du bassin et B le point au sommet du toboggan, on obtient l'équation suivante :

$$\rho g z_a = \rho g z_b + \frac{g U^2}{2} + \rho g H_{tot} + \frac{P_{pompe}}{Q}$$

Soit en isolant  $P_{pompe}$  :

$$P_{pompe} = Q \cdot \left( \rho g z_a - \rho g z_b - \frac{g U^2}{2} - \rho g H_{tot} \right)$$

$$P_{pompe} = 77 \text{ kW}$$

Ainsi, on finit par trouver qu'on doit avoir une pompe possédant une puissance d'au moins 79 kW pour faire fonctionner le système correctement.

## 4 Hydraulique à surface libre

### 4.1 Séance de TP expérimentale

Durant nos séances de TP d'APP hydraulique en surface libre, nous nous sommes concentrés sur l'étude du coefficient de Manning et en particulier l'influence de différents paramètres comme la pente ou le débit.

Nous avons réalisés 3 expériences avec 3 débits différents pour une pente à 0% et pour une pente à 20% dont nous nous servirons des résultats dans la deuxième partie. (voir Figure 9)

L'expérience se représente schématiquement comme sur le Figure 7, et c'est en variant la hauteur  $H$  du montage qu'on faisait varier l'angle de la pente.

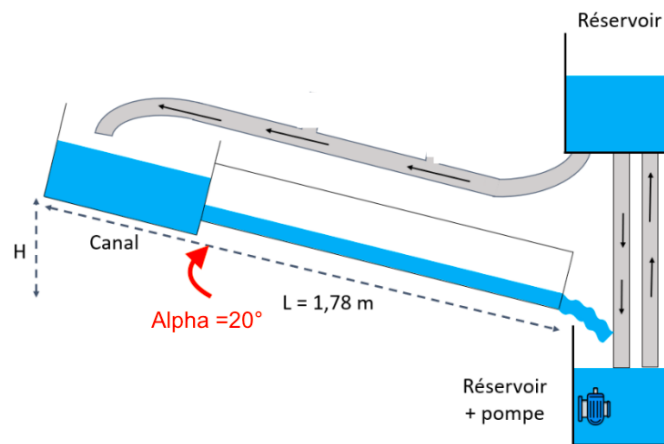


FIGURE 7 – Schéma du montage lors des TP APP - surface libre

La deuxième partie de l'étude était consacrée à l'étude du coefficient de Manning avec perte de charge singulière. Pour cela, nous avons ajouté un obstacle sur le trajet de l'écoulement (un pavé a été placé sur l'écoulement pour bloquer l'eau, et fixé aux parois avec du scotch pour le maintenir en place). Cela a créé une perte de charge singulière, l'eau étant bloquée contre le pavé et devant passer par-dessus. Nous avons effectué cette expérience à 3 débits différents, et voici les résultats obtenus :

Débit (en $L/Sec$ )	$\Delta H_{sing}$ (en m)
0,1	$1.4 \times 10^{-4}$
0,85	$2,1 \times 10^{-2}$
1,16	$1,6 \times 10^{-1}$

FIGURE 8 – Perte de charge enregistrée en fonction du débit

Les pertes de charges sont donc croissantes avec le débit qui a une forte incidence sur celles-ci.

## 4.2 Calculs sur notre toboggan

### 4.2.1 Hauteur d'eau

On veut calculer la hauteur d'eau dans le toboggan. On considère ici  $S_0 = 0,02$

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} R_H^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0} \quad (7)$$

Le rayon hydraulique est définie comme étant le rapport de l'aire mouillée sur le périmètre mouillée donc  $R_h = \frac{hl}{2h+l}$

$$\frac{Q}{hl} = \frac{1}{n} \left( \frac{hl}{2h+l} \right)^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0} \quad (8)$$

On fait l'hypothèse  $h \ll l$ , on obtient alors :

$$h^{\frac{5}{3}} = \frac{Q}{l} \frac{n}{\sqrt{S_0}} \quad (9)$$

Nous avons calculé le coefficient de Manning en TP, en faisant 3 expériences différentes en faisant varier le débit à chaque fois afin d'avoir une valeur de  $n$  la plus précise possible, on obtient :

Pente	Expérience 1	Expérience 2	Expérience 3
0%	n = 0,0147	n = 0,0144	n = 0,0147
20%	n = 0,0224	n = 0,0221	n = 0,0219

FIGURE 9 – Coefficient de Manning en fonction de la pente du toboggan

On considère alors  $n = 0,022$ , par application numérique on obtient

$$h = 5,6cm \quad (10)$$

#### 4.2.2 Hauteur critique

On a  $h_c = \frac{U^2}{g} = 90cm$  donc  $h < h_c$  on a donc un nombre de Froude  $F_r > 1$  donc un régime torrentiel.

Or, lorsqu'on calcule  $h_c$  en utilisant l'énergie spécifique, on obtient :

$$E_s = h + \frac{q^2}{2gh^2} = 0,056 + \frac{0,5^2}{2 * 9,8 * 0,056^2} = 0,507m \quad (11)$$

#### 4.2.3 Calcul de vitesse

La vitesse de l'écoulement est donnée par

$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0} \quad (12)$$

On obtient, par application numérique

$$V = 2,9ms^{-1}$$

#### 4.2.4 Calcul du Reynolds

Afin de déterminer au mieux le régime de l'écoulement, on calcule le nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (13)$$

Avec  $\rho = 1000kgm^{-3}$   $V = 2,9ms^{-1}$   $L$  la largeur du toboggan  $L = 3m$  et  $\mu = 10^{-3}$

On obtient  $Re = 2,7.10^6$  on est donc en régime turbulent rugueux.

## 5 Machines hydrauliques

### 5.1 Contexte et objectifs :

Dans le cas de notre étude il est important de trouver les bonnes caractéristiques d'une turbine pour aider à subvenir aux besoins en électricité du parc. C'est pourquoi nous allons comparer 2 types de turbines ainsi que leurs caractéristiques et conclure sur la meilleur pour l'installation.

A l'aide d'une simulation numérique d'une pompe sur Epanet et l'obtention de certaines caractéristiques nous pourrions comparer les turbines sur le critère de la puissance produite pour alimenter la pompe.

## 5.2 Turbine Pelton

Dans un premier temps nous allons étudier la turbine Pelton. La turbine Pelton est une turbine à action dans laquelle un ou plusieurs jets heurtent les pâles (buckets en anglais), qui sont des aubes creusées et montées sur une roue et permettent de capter un maximum de fluide. Le jet impactant les buckets produit une force qui crée immédiatement un couple autour de l'axe central de la turbine. Ce couple permet la rotation de la roue, créant ainsi une puissance. Cette roue étant couplé avec un alternateur créer ensuite une puissance électrique c'est cette puissance qui par la suite peut être exploité pour des besoins quotidien.

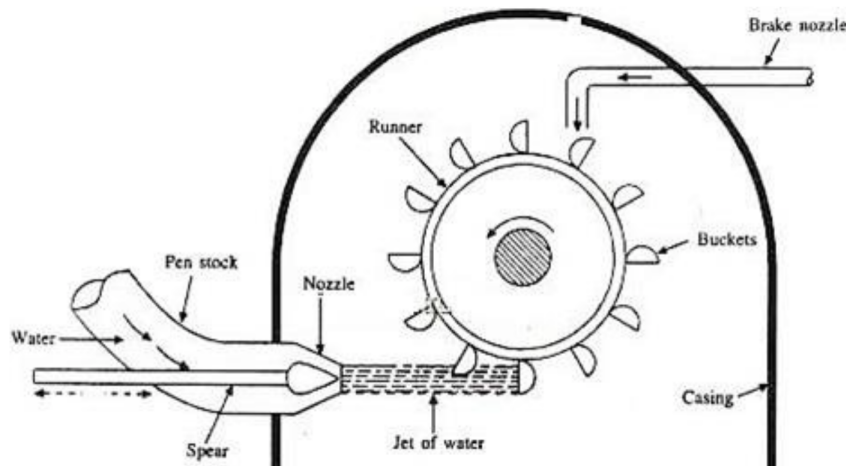


FIGURE 10 – Turbine Pelton



### 5.2.1 Théorie autour de la turbine Pelton

Pour la suite de l'étude on fera l'hypothèse d'écoulement incompressible.

**Puissance hydraulique :**  $P_{hydrau} = \rho g Q H$ , Avec  $\rho$  la masse volumique de l'eau,  $Q$  le débit disponible dans le cours d'eau,  $g$  la constante gravitationnelle et  $H$  la hauteur d'eau.

**Puissance de l'arbre :**  $P_{arbre} = \rho g Q (H_e - H_s - \Delta H_e^s)$ , Avec  $\Delta H_e^s$  les pertes de charge internes/à l'intérieur de la machine (par choc, par frottement visqueux, singulières),  $H_e = z_e + \frac{P_e}{\rho g} + \frac{V_e^2}{2g}$  la hauteur de charge en entrée de la turbine (en sortie pour  $H_s$ ).

**Couple :**  $C = R \cdot F$ , Avec  $R$  le rayon de la turbine,  $F$  la force de pesanteur à l'équilibre exercé sur la turbine.

**Rendement hydraulique :**  $\eta_{hydraulique} = \frac{P_{arbre}}{\rho g Q (H_e - H_s)}$

**Rendement mécanique :**  $\eta_{mecanique} = \frac{P_{arbre} - \Delta P_{meca}}{P_{arbre}}$

### 5.2.2 Calcul expérimentaux :

Les calculs expérimentaux effectués en TP ne représente pas la réalité car la turbine et les pompes utilisés sont plus petites, ainsi nous effectuerons tout les calculs expérimentaux à partir de nos données puis à l'aide de l'adimensionnement et des similitudes, nous transposerons ces calculs aux valeurs réels de notre turbine.

1) Dans le cas de notre étude réel du parc aquatique il nous faut vérifier si un dispositif de turbine Pelton peut effectivement être mis en place. On prend comme paramètre une hauteur de chute de 15 m, un débit de 0.525 m<sup>3</sup>/s et une vitesse de rotation de l'alternateur de  $N = 250$  tr/min.

$$N_s = N \frac{P_{hydrau}^{1/2}}{H^{5/4}} = 74 \quad (14)$$

Ainsi on trouve une vitesse spécifique de 74 ce qui correspond quasiment à la plage d'utilisation d'une turbine Pelton (entre 6 et 60).

2) Lors de notre dernière séance de TP nous avons pu tracer la courbe du rendement de la turbine Pelton mise à disposition avec des caractéristiques bien précises. Certains de ces paramètres sont donnés sur la figure suivante : On calcule la puissance de la turbine

Item	Details
Dimensions	470 mm high x 300 mm wide x 330 mm front to back
Nett Weight	5.5 kg (including a length of pipe)
Turbine Type	Pelton
Brake (drum) radius	25 mm (0.025 m)
Effective turbine radius	46 mm (0.046 m)
Nominal power output	3.5 Watts at 500 rev.min <sup>-1</sup> (when supplied by a Hydraulic bench)
Maximum speed	Approximately 1000 rev.min <sup>-1</sup> (when supplied by a Hydraulic bench)
Nominal Spear Travel range	6 to 7 mm*
Spear Outlet Nozzle Diameter	10 mm

FIGURE 11 – Documentation technique de la Pelton expérimentale

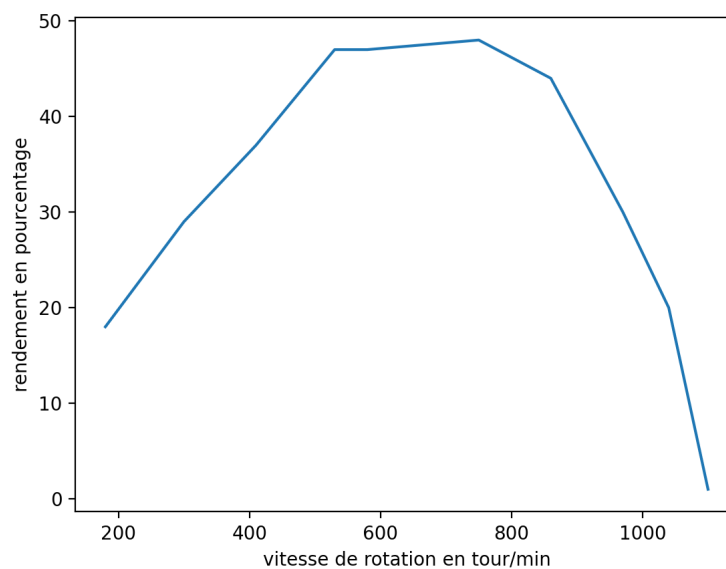


FIGURE 12 – Rendement de la turbine Pelton en fonction de la vitesse de rotation

par la formule  $P = w \cdot C$ , avec  $w$  la vitesse de rotation (rad/s) et  $C$  le couple (N/m) de la turbine. Pour faire simple on mesure sur la tambour arrière de la turbine la force exercé à l'équilibre. Puis en mutlipliant cette force par le rayon de la turbine on trouve le couple exercé par une vitesse de rotation donné. On calcul expérimentalement la puissance hydraulique par la formule  $P_{hydrau} = Q \cdot P$ , avec  $Q$  le débit( $m^3/s$ ) et  $P$  la pression(Pa). Malheureusement lors de nos prisent de mesures nous n'avons pas du être assez précis car nos valeurs ne sont pas cohérentes, effectivement nous avons eu des rendements supérieur à 1. C'est pourquoi pour la suite de l'étude nous nous sommes basé sur un jeu de données mit a disposition pour cette turbine Pelton.

On observe un rendement maximale de environ 50% pour une vitesse de rotation de

770 tr/min.

### 5.2.3 Simulation numérique

A l'aide du logiciel Epanet nous avons pu reproduire notre circuit d'eau et regarder notamment les spécificités de certains instruments.

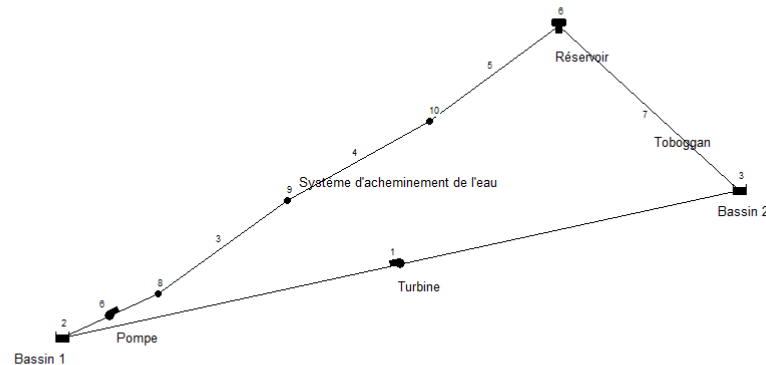


FIGURE 13 – Schéma du dispositif sur Epanet

Pour la pompe nous avons fixé la puissance tel que le rendement de la pompe soit de 70% comme une pompe dans le commerce, connaissant la puissance hydraulique de notre système nous avons déduit que la puissance de la pompe été de :  $P_{pompe} = 77000W$ . Nous avons pu tracer la courbe de fonctionnement de la pompe pour nos paramètres.

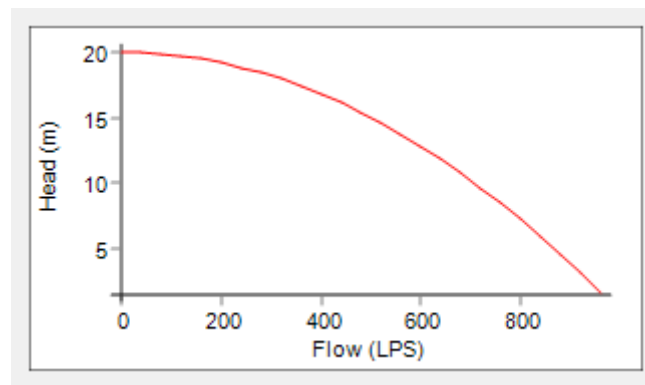


FIGURE 14 – Courbe de fonctionnement de la pompe pour nos paramètres

Nous avons effectué une simulation sur 72h pour voir la variation de certains paramètres au sein du système. Nous avons pu observer une évolution périodique de la

hauteur d'eau au sein du réservoir, effectivement car celui-ci se remplit et se vide au cours du temps.

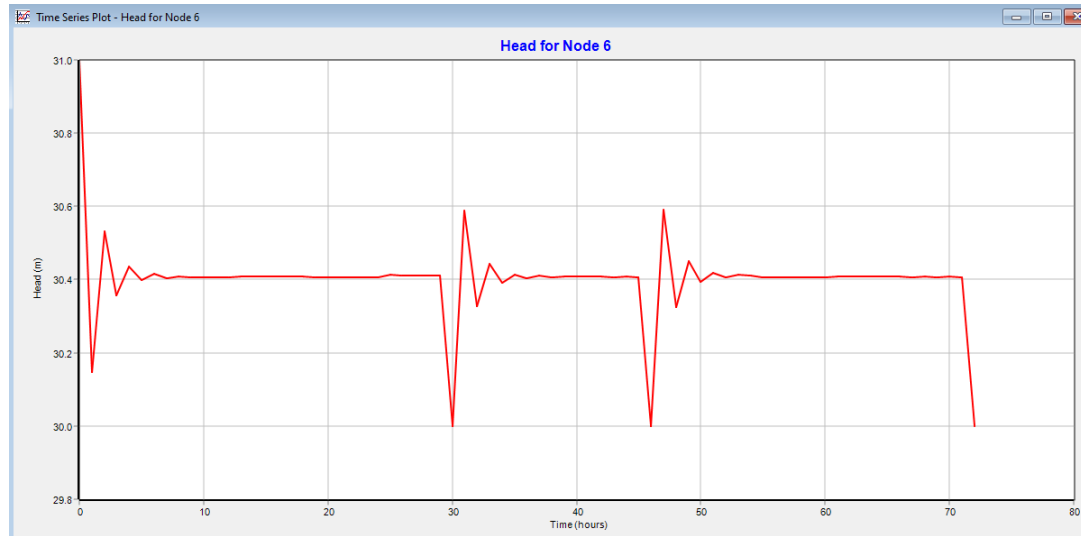


FIGURE 15 – Variation de la hauteur d'eau dans le réservoir

Puis par la suite nous avons pu relever certaines valeurs au niveau des outils de notre schéma. Au temps  $t=12h$  :

Node ID	Elevation m	Base Demand LPS	Initial Quality	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
Junc 8	20	0	0	0.00	40.81	20.81	0.00
Junc 9	25	10	0	10.00	37.21	12.21	0.00
Junc 10	25	0	0	0.00	33.81	8.81	0.00
Resvr 2	10	#N/A	0	-331.17	10.00	0.00	0.00
Resvr 3	0	#N/A	0	1033.90	0.00	0.00	0.00
Tank 5	0	#N/A	0	0.00	10.00	10.00	0.00
Tank 6	30	#N/A	0	-712.73	30.41	0.41	0.00

FIGURE 16 – Paramètres du modèle numérique au bout de 72h

#### 5.2.4 Adimensionnement et similitudes

Dans cette partie à l'aide des parties précédentes nous allons conclure sur les paramètres de la turbine à utiliser pour avoir un rendement maximale. L'installation impose  $Q = 0.5m^3/s$  et  $H=15m$ . On en déduit  $N$  la vitesse de rotation de la turbine à l'aide de la figure 2 et des données connues :

$$N = N_m \frac{Q_m^{1/2} H^{3/4}}{Q^{1/2} H_m^{3/4}} = 101tr/min \quad (15)$$

On trouve D également :

$$D = D_m \frac{H_m^{1/4}}{H^{1/4}} \frac{Q^{1/2}}{Q_m^{1/2}} = 2m \quad (16)$$

$$P = P_m D^2 H^{3/2} = 813W \quad (17)$$

Ainsi avec une telle turbine on ne pourrait alimenter que 1% d'une pompe qui à besoin de 77 kW comme défini précédemment il faudrait ajouter plusieurs turbines pour qu'elles soient vraiment utiles.

### 5.3 Turbine Francis

En reproduisant la même étude que précédemment nous pouvons obtenir les résultats suivant avec la Francis. La turbine Francis est une turbine à réaction, i.e. un dispositif qui capte l'énergie cinétique du fluide.

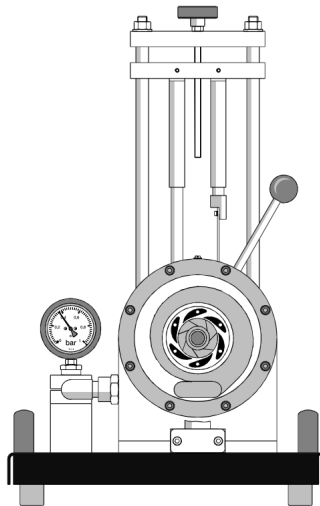


FIGURE 17 – Schéma turbine Francis

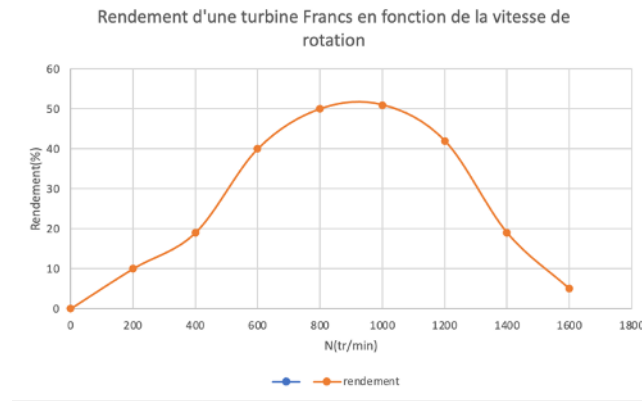


FIGURE 18 – Courbe du rendement de la Francis à partir de la vitesse de rotation d'un jeu de donné

**Vitesse de rotation spécifique :**  $N_s = 74 \in [50 - 350]tr/min$

**Diamètre de la turbine réel :**  $D = 0.89m$

**Vitesse de rotation de la turbine :**  $N = 1000tr/min$

**Puissance de la turbine :**  $P = 92W$

Avec une tel puissance nous ne pourrons pas alimenter une pompe car seulement 0.2% de la pompe serait alimenter. Donc en conclusion même si la vitesse spécifique pour le parc aquatique tend plus vers une turbine Francis, une turbine Pelton sera le mieux pour notre système réel.

## 6 Conclusion

En conclusion, notre parcours au sein de l'Apprentissage de l'Hydraulique Par Projet (APP) a été à la fois enrichissant et gratifiant. À travers l'étude approfondie de l'hydraulique en charge, de l'hydraulique à surface libre et des machines hydrauliques, nous avons pu mettre en pratique les connaissances théoriques acquises en cours dans un environnement expérimental concret.

En somme, ce projet d'APP hydraulique nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie des principes et des applications de l'hydraulique dans divers contextes. En combinant théorie et pratique, nous avons développé des compétences essentielles en résolution de problèmes et en manipulation d'équipements, qui nous seront précieuses dans notre future carrière d'ingénieurs.