

## Étude de cas : Sélection de turbines hydrauliques dans le cadre d'avant-projets –Module G3EI44

**Problème : Etude d'une Microcentrale hydroélectrique au fil de l'eau avec une chute moyenne.**

Une petite centrale est projetée dans les Préalpes d'un pays d'outremer. Le régime hydrologique est caractérisé par les conditions suivantes :

3 à 4 mois de grands débits dus à la fonte des neiges ;

8 à 9 mois de régime d'étiage, entrecoupé par de courtes périodes de hautes eaux dues à des orages, avec des variations rapides du débit.

Le site est éloigné des centres, et le maître de l'ouvrage ne désire qu'un groupe de machine pour des raisons de simplicité.

### Données :

Chute brute :  $H_b = 55$  m.

Puissance maximum aux bornes du générateur limité à  $P_{el} = 200$  kW tenant compte de la capacité des lignes électriques existantes et disponibles pour évacuer l'électricité produite.

Le rendement du générateur électrique est  $\eta_g = 90$  %

Le rendement de la turbine est de 80%

Débit net à disposition dans le cours d'eau :

– supérieur à  $1.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  durant 100 jours / année ;

– compris entre 80 et 120 l / s durant 200 jours / année ;

– compris entre 200 et 300 l / s durant 60 jours / année.

Pour tenir compte des fluctuations du plan d'eau aval en cas de crue, la turbine sera placée à 3.0 m au-dessus du niveau d'étiage. La microcentrale est présentée schématiquement à la figure 1 :

Longueur de la conduite forcée :  $L = 200$  m

Diamètre nominale de la conduite :  $D = 500$  mm

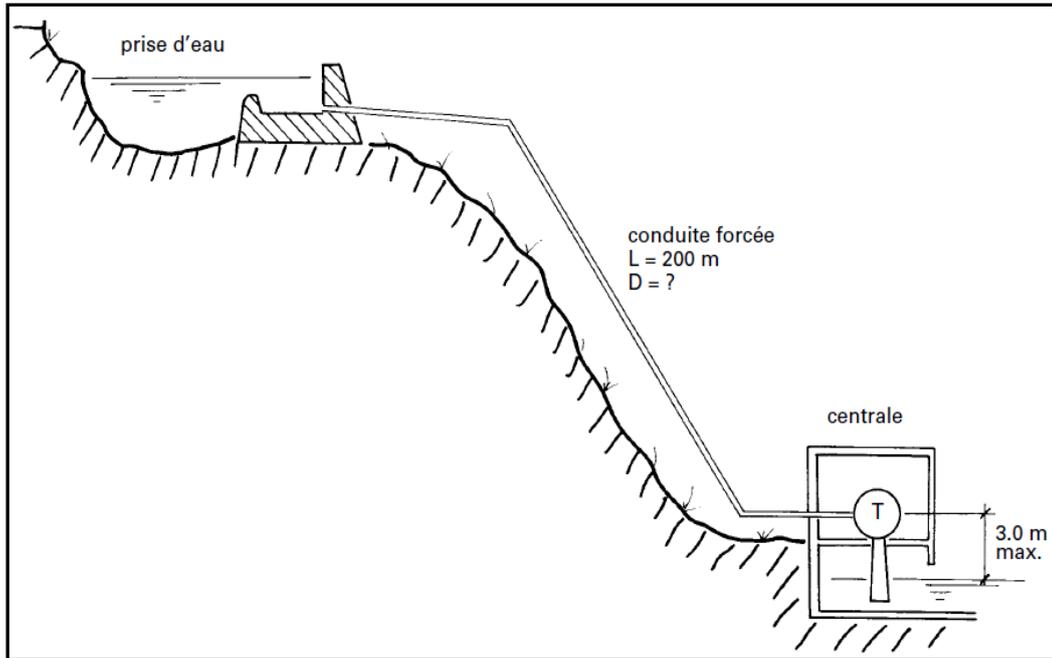
Matériau de la conduite : acier non traité, rugosité selon Strickler  $K = 75$

Altitude du site : 1000 m (hauteur équivalent de 9 mCE)

Température de l'eau : max.  $8^\circ\text{C}$  (hauteur équivalent de 0,1 mCE)

La vitesse spécifique d'une turbine est donnée par :  $n_q = n \cdot \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{H^{\frac{5}{4}}}$

Les figures 4 et 5 représentent respectivement la forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables ainsi que l'évolution du coefficient de cavitation en fonction de la vitesse spécifique.



**Figure 1** : Microcentrale hydroélectrique au fil de l'eau avec une chute moyenne

Pour le calcul des pertes de charge, vous utilisez la formule de **Strickler** :

$$H_L = v^2 \cdot L / (K^2 \cdot Rh^{4/3}) \text{ (m)}$$

Avec :  $v$  = vitesse d'écoulement (m / s)

$L$  = longueur conduite (m)

$K$  = coefficient de rugosité =  $75 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$

$Rh = D / 4$  = rayon hydraulique

- 1) Calculer la puissance mécanique sur l'arbre de l'alternateur. En déduire la puissance hydraulique de la turbine.
- 2) Déterminer la hauteur de chute nette sachant que les pertes de charges sont de l'ordre de 5mCE dans la conduite forcée.
- 3) Calculer le débit maximal dans la conduite forcée.
- 4) Déterminer les caractéristiques de la turbine (chute nette, débits minimum et maximum).
- 5) Déterminer le type de la turbine en indiquant sa vitesse spécifique. Vérifier les conditions d'implantation de la turbine.
- 6) Déterminer le nombre de paires de pôle du générateur électrique sachant que la fréquence du réseau est de 50Hz.
- 7) Remplir le tableau suivant :

Jours	$H_b$ (m)	$H_L$ (m)	$H_n$ (m)	$Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q/Q_{\max}$	$\eta/\eta_{\max}$	$\eta_t$	$\eta_g$	$\eta$	$P_{\text{él}}$ (KW)
100										
60										
200										

8) Estimer la production annuelle d'électricité

9) Le maître d'ouvrage aimerait installer les mêmes machines de ce site sur un autre site hydraulique ayant la caractéristique suivante :  $H_n = 30 \text{ m}$ . Quelle sont les nouvelles caractéristiques de l'aménagement (débit- puissance nette - vitesse de rotation) ?

10) L'ancienne génératrice pourra être utilisée pour ce nouveau site ? Expliquer

## Projet 2 : Turbinage de l'eau potable entre deux réservoirs

Deux réservoirs d'eau potable distants de 5 km sont reliés par une conduite d'adduction (figure 2). L'énergie hydraulique est détruite à l'entrée du réservoir inférieur à l'aide d'une vanne de régulation qui maintient une pression amont minimale afin que la conduite reste en permanence en charge.

Le débit de l'adduction varie en fonction de la consommation d'eau prélevée dans le réservoir inférieur pour la distribution dans un réseau en aval.

Le réservoir supérieur est alimenté par pompage dans une nappe phréatique.

Le maître de l'ouvrage se propose de remplacer la vanne de régulation par une turbine et transformer l'énergie actuellement dissipée en électricité.

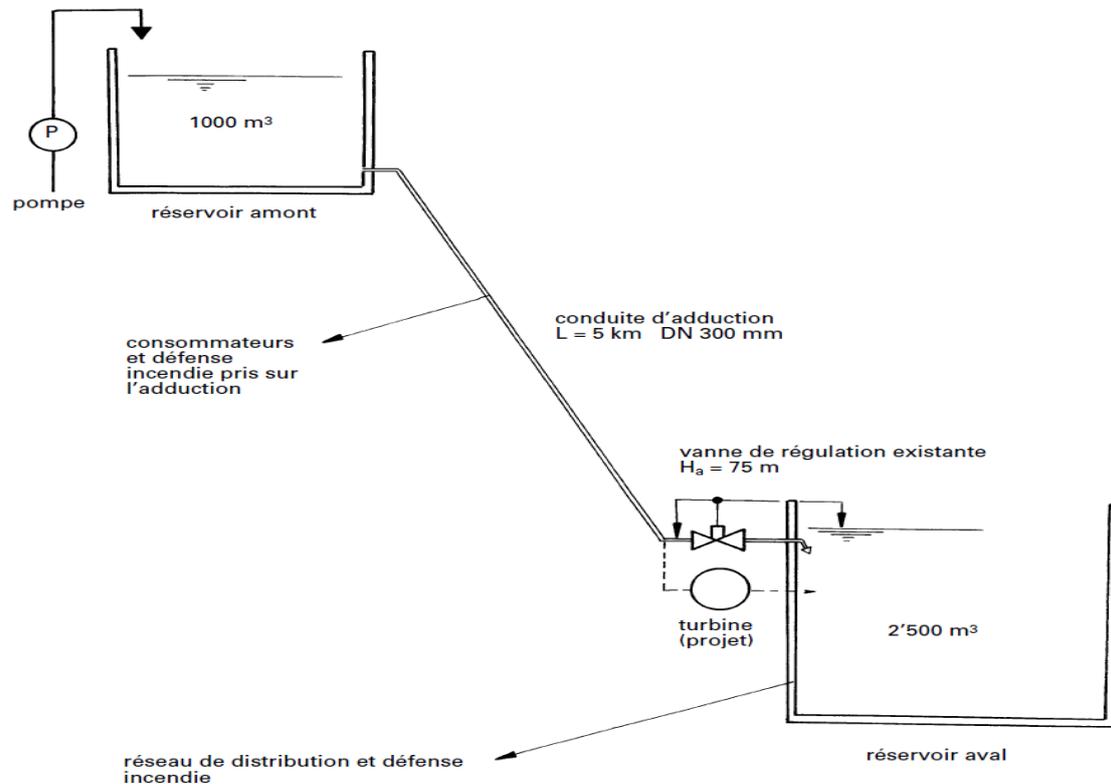


Figure 2

### Données du projet

Volume du réservoir supérieur : 1000 m<sup>3</sup>

Volume du réservoir inférieur : 2500 m<sup>3</sup>

Distance entre les réservoirs : 5000 m

Dénivellation (chute brute) : H<sub>b</sub> = 100 m

Diamètre de la conduite : DN 300 mm

Matériau de la conduite : fonte, rugosité admise selon Strickler k = 90

Pression minimale maintenue en amont de la vanne de régulation pour garantir la pression aux consommateurs connectés à la conduite d'adduction : H<sub>a</sub> = 75 m

Consommation du réseau en aval du réservoir inférieur :

**Été** : moyenne 5000 m<sup>3</sup>/ jour (6 mois)

**Hiver** : moyenne 4000 m<sup>3</sup>/ jour (6 mois)

Le schéma de l'adduction est présenté à la figure ci-dessus

### But de l'étude de cas

Déterminer le type et les caractéristiques de la turbine la mieux adaptée à ce site du point de vue technique et économique.

Indiquer également ses conditions d'exploitation et quelle sera approximativement la production annuelle d'électricité (rendement de la génératrice  $\eta_g = 90\%$ ).

## Projet 3 : Turbinage du débit d'attrait d'une passe à poissons

Une centrale hydraulique de grande puissance doit être dotée d'une passe à poissons. Celle-ci est conçue comme suit :

- Une échelle à poissons par laquelle s'écoule un débit d'environ 700 l / s.
- Tenant compte du débit du cours d'eau, le débit de l'échelle au point de rejet aval ne provoque pas un remous suffisant pour attirer les poissons dans la passe. Il est donc nécessaire d'augmenter le débit à cet endroit par injection d'un débit complémentaire transitant parallèlement à l'échelle à poissons, d'environ 2000 l / s, dans la dernière chambre. L'énergie hydraulique de ce débit supplémentaire, dit **débit d'attrait**, sera récupérée par une petite centrale hydraulique. Le système proposé est représenté schématiquement à la figure

### Données du projet

Chute brute :  $H_b = 21.0$  m (maximum, temps sec)

20.0 m (moyen)

18.0 m (minimum, hautes eaux)

Le niveau amont est **constant** (régulé par le barrage)

Le niveau aval **varie** en fonction du débit du cours d'eau

Débit d'attrait turbiné :  $Q = 2.0$  m<sup>3</sup>/ s pour  $H_b$  moyen

Conduite forcée : Longueur :  $L = 200$  m

Diamètre :  $D = 1000$  mm

Calcul des pertes de charge

Formule de Strickler :  $HL = v^2 \cdot L / (K^2 \cdot Rh^{4/3})$  (m)

Avec :  $v =$  vitesse d'écoulement (m / s)

$L =$  longueur conduite (m)

$K =$  coefficient de rugosité = 75 m<sup>1/3</sup>/ s

$Rh = D/ 4 =$  rayon hydraulique

Implantation de la turbine : 0.5 m **au-dessus** du niveau d'eau aval **maximum**

Température de l'eau : maximum 20°C

Altitude du site : 500 m

### But de l'étude de cas

Déterminer le type et les caractéristiques principales de la turbine la mieux adaptée à ce site.

Quelle sera approximativement la production annuelle d'électricité (rendement de la génératrice  $\eta_g = 95\%$ ).

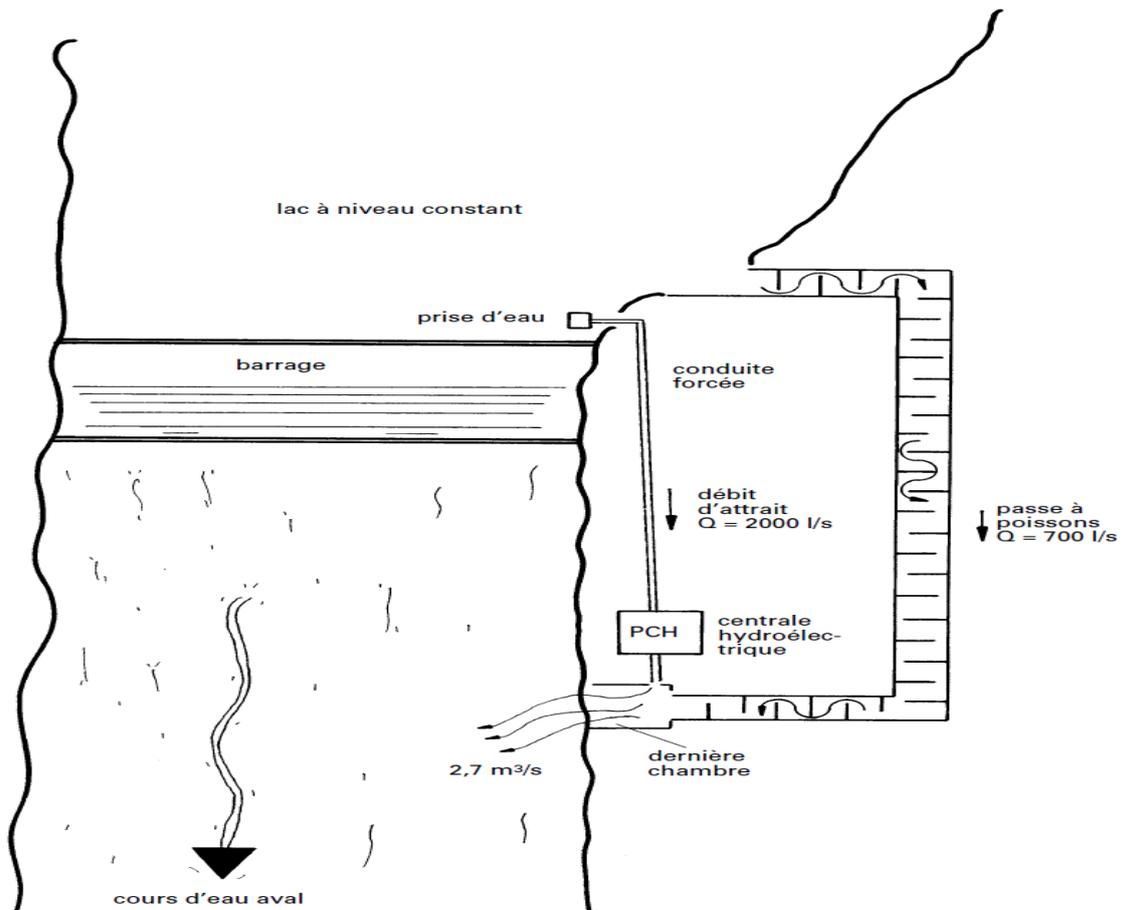


Figure 3

**Légende (figure 4) : Forme des courbes de rendement de différentes turbines pour des débits variables**

Courbe 1 : Turbine Pelton + turbine Crossflow à 2 cellule  $\eta_{\max} = 84 - 90\%$

Courbe 2 : Turbine Kaplan  $\eta_{\max} = 84 - 90\%$

Courbe 3 : Turbine Francis + turbine Crossflow à 1 cellule  $\eta_{\max} = 84 - 90\%$

Courbe 4 : Pompe inversée  $\eta_{\max} = 75 - 90\%$

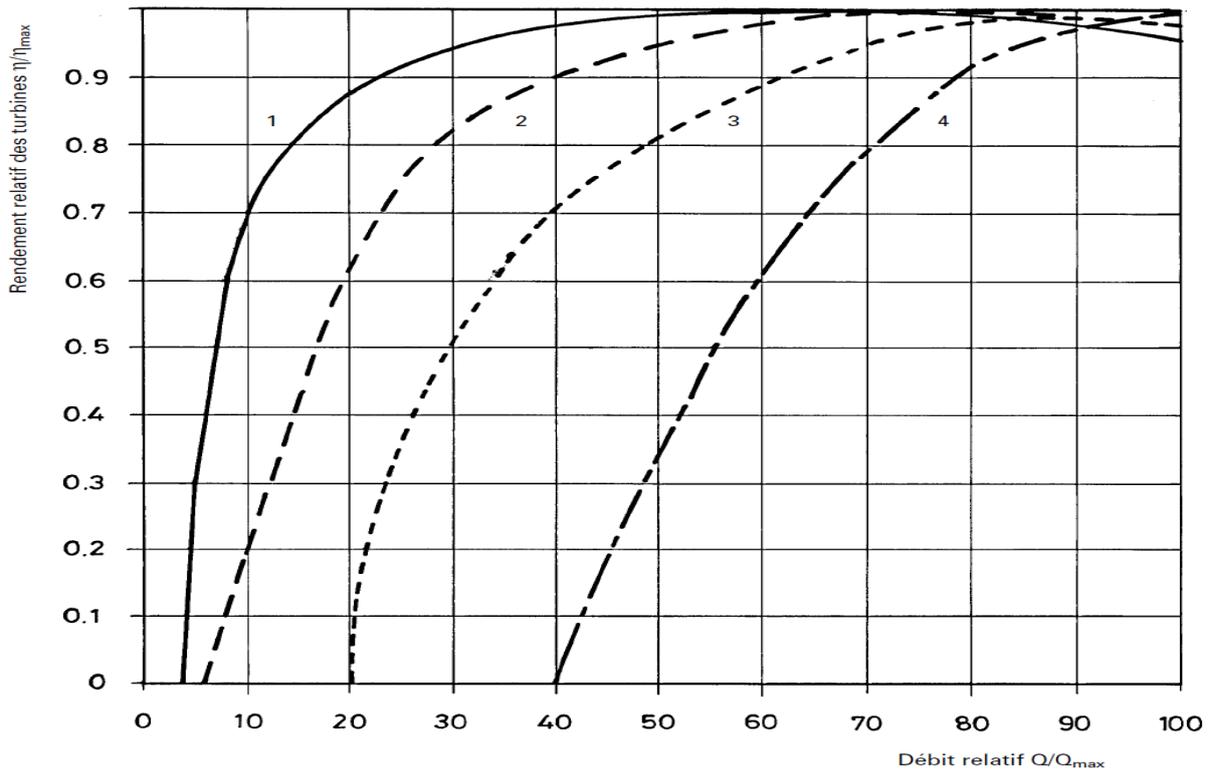


Figure 4

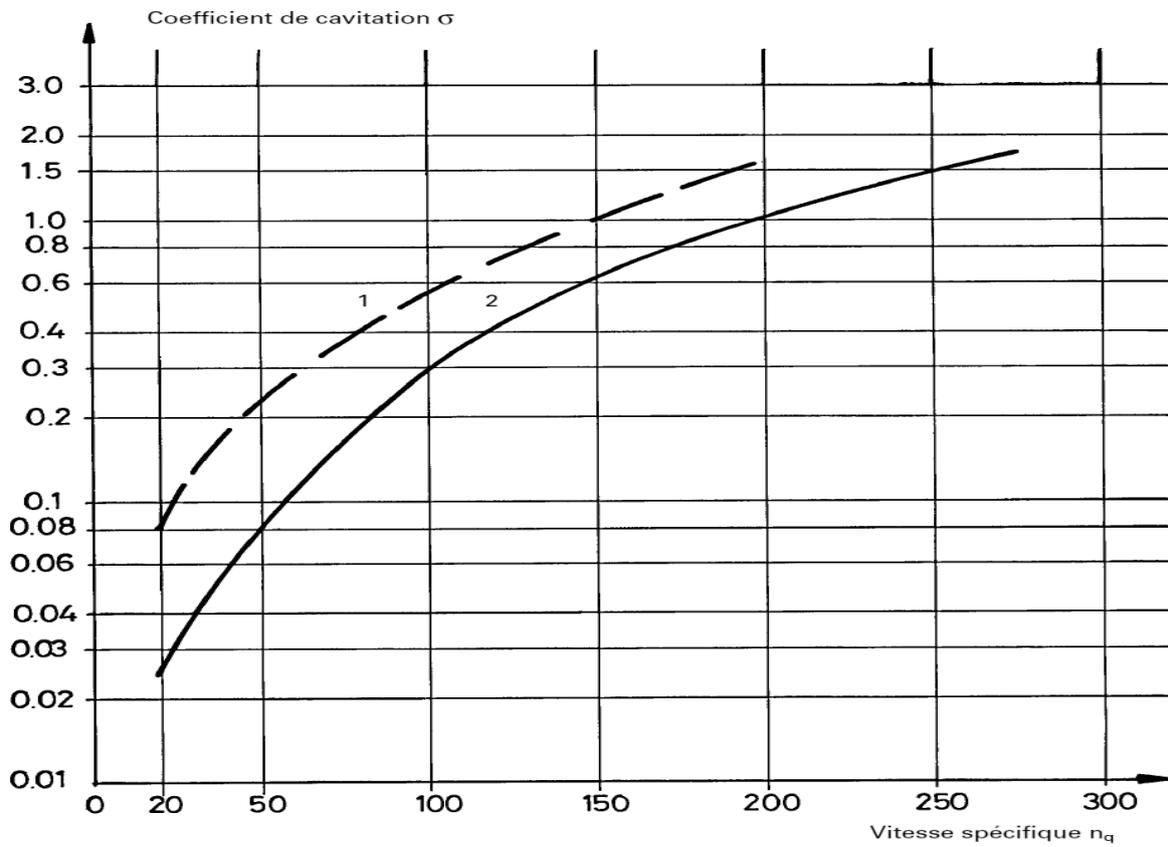


Figure 5 : Coefficient de cavitation des turbines en fonction de  $n_q$   
 (Courbe 1 : pompes inversées      Courbe 2 : turbines Francis et Kaplan)