

## **Solution Projet 1 :**

### **1) Détermination de la chute nette de la turbine**

- Puissance électrique :  $P_{el} = 200 \text{ kW}$
- Puissance mécanique :  $P_{mec} = 200 / 0.9 = 222 \text{ kW}$  ( $\eta_g = 90\%$ )
- Puissance hydraulique :  $P_{hyd} = 222 / 0.8 = 278 \text{ kW}$  ( $\eta_t$  admis 80 %)

#### **Calcul du débit :**

$$Q = P_{hyd} / \rho g H = 278000 / (1000 \cdot 9.81 \cdot 50) = 0.567 \text{ m}^3 / \text{s}.$$

« En première approximation en admettant 10 % de perte de charge ( $H = 55 - 5 = 50 \text{ m}$ ) »

**La conduite choisie devrait donner des pertes de charge du même ordre de grandeur.**

Pertes de charge selon Strickler :

$$H_L / L = v^2 / (K^2 \cdot R_h^{4/3}) \text{ avec } K = 75 \text{ pour l'acier non traité}$$

#### **Conduite DN 400 mm**

$$Q = 0.567 \text{ m}^3 / \text{s} \text{ et } Q = S \cdot v$$

On calcul la vitesse d'écoulement :  $v = 4.5 \text{ m} / \text{s}$

Le rayon hydraulique :  $R_h = 0.1 \text{ m}$

Les pertes de charge sont :  $H_L / L = 0.077 = 77 / 1000$ . Elles sont trop élevées.

#### **Conduite DN 500 mm**

On calcul la vitesse d'écoulement :  $v = 2.89 \text{ m} / \text{s}$

Le rayon hydraulique :  $R_h = 0.125 \text{ m}$

Les pertes de charge sont :  $H_L / L = 0.024 = 24 / 1000$ .

La perte de charge sera donc  $H_L = 4.8 \text{ m}$

La chute nette est donnée par  $H = 55 - 4.8 = 50.2 \text{ m}$ .

#### **Sélection et caractéristiques de la turbine : Débit de la turbine**

$H = 50 \text{ m}$

$$Q = 200 / (0.8 \cdot 0.9 \cdot 9.81 \cdot 50) = 0.565 \text{ m}^3 / \text{s}$$

#### **Sélection du type de turbine :**

- **Débit variable** : pompe inversée exclue
- **Moyen chute** : turbine Francis ou Crossflow
- **Voir le cours** : débits très variables, courbe 1 **turbine Crossflow**

**Site éloigné** : problèmes de maintenance, on utilise simplement la turbine Crossflow.

#### **La vitesse de rotation de la turbine :**

Si on choisit 3000rpm alors la vitesse d'emballement est de 6000rpm, on aura donc une influence sur la génératrice (alternateur avec une seule paire de pôle).

Si on choisit 1500rpm alors la vitesse d'emballement est de 3000rpm, c'est une solution adéquate si on utilise un alternateur avec deux paires de pôles.

**La vitesse spécifique est donnée par :**

$$n_q = n \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}}$$

D'où  $n_q = 1500 \cdot (0,55)^{0,5} / 50^{0,75} = 1500 \cdot 0,74 \cdot 18,8 = 59,04$

**La hauteur d'aspiration :**  $H_s = h_{atm} - h_{pvs} - \sigma \cdot H_n = 9 - 0,1 - 0,13 \cdot 50 = 2,4m$

D'après l'énoncé, le maître d'ouvrage aurait installé la turbine avec une hauteur d'aspiration maximum :  $H_{smax} = 3.0m$ . Dans ce cas, il n'y a pas de problème de cavitation. Turbine Crossflow admise.

**Note :** La turbine Francis peut être considérée, mais elle sera arrêtée **200 jours / année (débits d'étiage)** :  $(80 - 120 \text{ l/s} = 15 - 22\% \text{ de } Q_{max})$ .

**Estimation de la puissance électrique de la turbine Crossflow :**

La puissance hydraulique est exprimée par :  $P_{hyd} = \rho g Q H = 9,81 Q H \text{ (KW)}$

La puissance électrique est exprimée par :  $P_{el} = P_{hy} \cdot \eta$  (rendement global =  $\eta = \eta_t \cdot \eta_g$ )

Jours	H <sub>b</sub> (m)	H <sub>L</sub> (m)	H <sub>n</sub> (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q/Q <sub>max</sub>	$\eta/\eta_{max}$	$\eta_t$	$\eta_g$	$\eta$	P <sub>él</sub> (KW)
100	55	4.8	50.2	0.55	100	100	0.8	0.9	0.72	201
60	55	1	54	0.25	45	98	0.78	0.9	0.7	92.5
200	55	0.1	54.9	0.1	18	88	0.7	0.85	0.62	32

**Estimation de la production électrique :**

Jours	heures	Puissance (kW)	Production (kWh)
<b>100</b>	2400	201	48200
<b>60</b>	1440	92.5	133000
<b>200</b>	4800	32	154000
TOTAL			769000 kWh

## Solution du Projet 2 :

### Sélection et caractéristiques de la turbine :

Pression à l'amont de la turbine = constante = 75 m donc :  $H_n = 75$  m

Perte de charge de la conduite :  $H_L = H_b - H_n = 100 - 75 = 25$  m

Longueur de la conduite :  $L = 5000$  m

Perte par 1000 m de la conduite : 5 m

Diamètre : DN 300

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

$H_L/L = 5 / 1000$

$K = 90$  et  $R_h = D / 4 = 0.075$  m

$K^2 \cdot R_h^{4/3} = 256$

$v = (0.005 \cdot 256)^{1/2} = 1.13$  m/s

$Q = v \cdot \Pi \cdot D^2 / 4 = 1.13 \cdot \Pi \cdot (0.3)^2 / 4 = 0.080$  m<sup>3</sup>/s = 80 l/s = 288 m<sup>3</sup>/h = 0,08 m<sup>3</sup>/s

### Type de turbine :

Pelton, Francis

Pompe inversée mono- ou multiétages

### Types possibles de fonctionnement :

a) **Turbine Pelton ou Francis** réglées pour maintenir la pression amont constante en variant le débit par un régulateur (solution la plus coûteuse).

b) **Pompe inversée travaillant à débit fixe par intermittence** en utilisant le volume tampon des réservoirs, étant donné que ces derniers sont très grands (solution la plus économique).

Production énergétique de la pompe inversée :

	Volume utile(m <sup>3</sup> )	Débit(m <sup>3</sup> /h)	Temps de fonctionnement (heures)
<b>Eté</b>	5000	288	180j × 17.4h/j = 3125
<b>Hiver</b>	4000	288	180j × 13.9h/j = 2500
<b>Total</b>			5625 heures

**Rendement de la pompe inversée** (page 93) :  $\eta_t = 0.80 = 80\%$

$P_{mec} = 9.81 \times 75 \times 0.080 \times 0.8 = 47$  kW

$P_{el} = \eta_g \cdot P_{mec} = 0.9 \times 47 = 42.4$  kW

### Production annuelle d'énergie :

$42.4 \times 5625 = 239\ 000$  kWh/année

### Solution du Projet 3 :

#### Sélection et caractéristiques de la turbine :

- Calcul de la chute nette H :

$$\text{Débit } Q = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Vitesse d'écoulement : } v = Q \cdot 4 / \pi D^2 = 2.55 \text{ m/s}$$

$$\text{Pertes de charge calculées : } H_L = 1.47 \text{ m}$$

#### Charge dans la centrale versus niveau de l'eau aval

	<b>min</b>	<b>moyen</b>	<b>max</b>
La hauteur de chute brute (m)	18	20	21
Perte de charge (m)	1.47	1.47	1.47
Hauteur de Chute nette (m)	16.53	18.53	19.53

#### Puissance hydraulique :

$$P_{\text{hyd}} = \rho g Q H_n = 9.81 \cdot 2 \cdot 18.53 = 364 \text{ kW}$$

#### Type de turbine :

**Francis** ou **Crossflow** ou le débit étant constant, **Pompe inversée**

#### Rendement probable (page 93) :

Francis :  $\eta = 90\%$

Crossflow :  $\eta = 84\%$

Pompe inversée :  $\eta = 90\%$

#### Turbine recommandée :

Francis à aubes directrices fixes ou pompe inversée à double flux

#### Vitesse de rotation de la turbine Francis :

##### Hauteur d'aspiration

Pour  $H_{b\text{min}}$  :  $H_s = 0.5 \text{ m}$  (données)

Pour  $H_s = 0.5 \text{ m} + H_b - H_{b\text{min}}$

	<b>min</b>	<b>moyen</b>	<b>max</b>
La hauteur de chute brute (m)	18	20	21
Hauteur d'aspiration $H_s$ (m)	0.5	2.5	3.5

$$\text{Coefficient de cavitation} = (H_a - H_v - H_s) / H$$

$$H_a = 9.50 \text{ m (altitudes 500 m)}$$

$$H_v = 0.24 \text{ m (températures } 20^\circ)$$

$$\text{Pour } H_{\text{max}} \text{ et } H_{s\text{max}} : \sigma = (9.5 - 0.24 - 3.5) / 19.53 = 0.30$$

D'après le diagramme, on a pour  $\sigma = 0.3$  la vitesse spécifique est de  $n_q = 100$

Pour  $H = 18.53 \text{ m}$  et  $Q = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$  on obtient :

$$\text{Vitesse de rotation : } n = n_q \cdot H^{3/4} / Q^{1/2} = 631 \text{ t/min}$$

Une vitesse plus basse peut être adoptée ( $n_q$  devient plus petit, donc  $H_s$  admissible plus grand). La vitesse synchrone la plus proche qui permette l'entraînement direct du générateur par la turbine est :  **$n = 600 \text{ t / min}$** .

**Production d'énergie :**

Puissance à l'arbre :  $P_{\text{mec}} = 0.9 \times 364 \text{ kW} = 328 \text{ kW}$

Puissance électrique :  $P_{\text{él}} = \eta_g \cdot P_{\text{mec}} = 0.95 \cdot 328 = 311 \text{ kW}$

Production annuelle : 8760 heures / année donnent 2.725.000 kWh