

## 15. L'énergie hydraulique

### 15.6 – Les bases de l'ingénierie hydraulique

Michel Sabourin, ing.

*Département de génie mécanique*

Patrick Turcotte, ing.

*Département de génie mécanique*

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

*Département de génie mécanique*

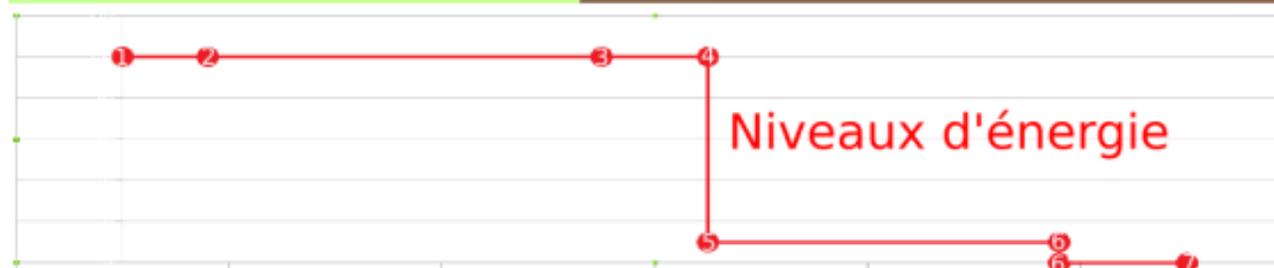
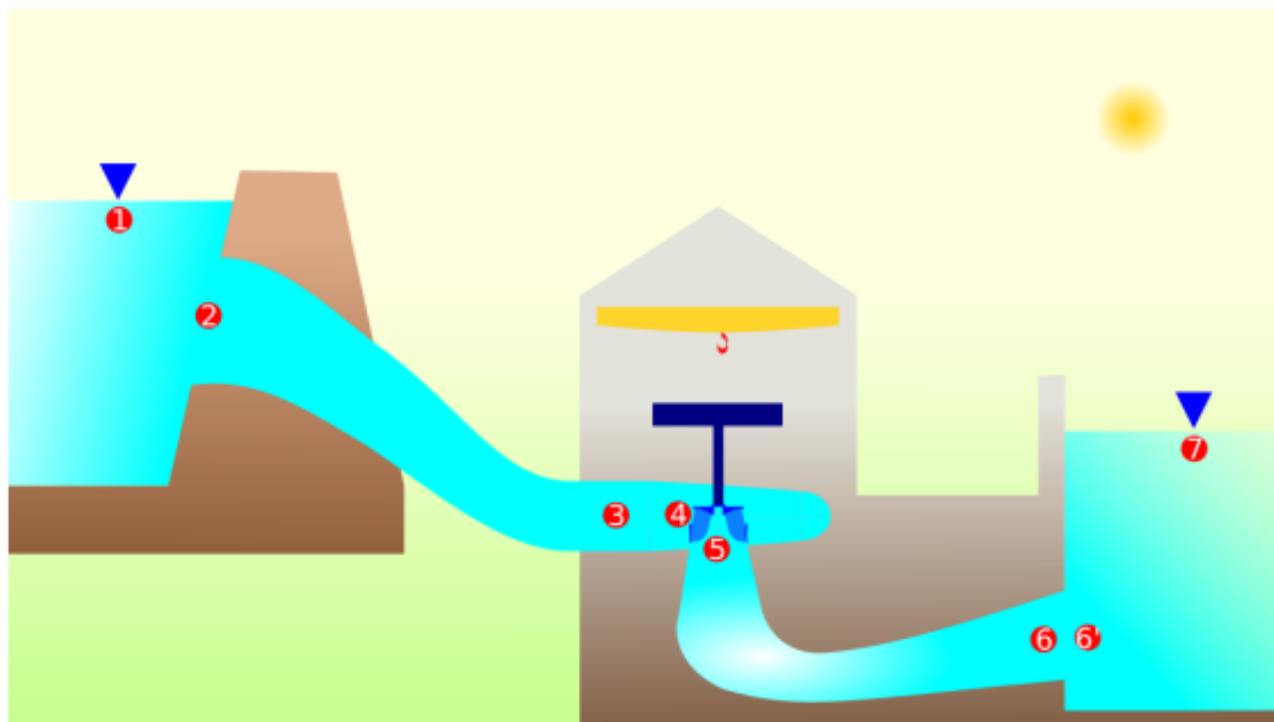
# Introduction et objectifs

- Trouver des solutions aux enjeux liés à l'exploitation de l'énergie hydraulique, particulièrement:
  - Optimisation de la performance énergétique (puissance disponible et l'énergie générée)
  - Gestion de la cavitation
  - Mitigation (atténuation des conséquences) des enjeux environnementaux

# Optimisation de la performance énergétique

- Utilisation de l'équation de Bernoulli à différents points du circuit pour déterminer l'énergie disponible, et l'énergie extraite
- Besoin de mesurer la pression statique à différents points
- Énergie brute: énergie disponible au site, liée aux niveaux amont et aval et à la quantité d'eau
- Énergie nette: énergie aux bornes de la turbine
- Énergie interne: énergie aux bornes de la roue, transformée directement en énergie mécanique à l'arbre

# Optimisation de la performance énergétique



*Cheminement de l'énergie dans une installation hydroélectrique*

# Optimisation de la performance énergétique

- L'énergie totale (en J/kg) est l'énergie massique calculée à l'aide de l'équation de Bernoulli sur une section  $i$  du circuit hydraulique
- La perte de charge est la différence d'énergie massique perdue dans une composante

# Optimisation de la performance énergétique

- Rappel de l'équation de Bernoulli:

$$E_{t_i} = \frac{p_i}{\rho} + gz_i + \frac{v_i^2}{2}$$

- $p$  est la pression du fluide (Pa ou N/m<sup>2</sup>)
- $\rho$  est la densité ou masse volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  est l'accélération gravitationnelle (m/s<sup>2</sup>)
- $z$  est la hauteur (m)
- $v$  est la vitesse du fluide, soit le débit volumique divisé par l'aire de la section (m/s)

# Optimisation de la performance énergétique

- Puissance mécanique: puissance générée par la turbine (donc, à l'arbre), elle est le produit du débit massique et de l'énergie hydraulique massique interne

$$P_m = \rho Q E_i$$

- $\rho$  est la densité ou masse volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>)
- Q est le débit volumique du fluide (m<sup>3</sup>/s)
- $E_i$  est l'énergie hydraulique massique interne (J/kg)

# Optimisation de la performance énergétique

- Puissance hydraulique: puissance disponible à la turbine, excluant les pertes à l'amont et à l'aval des limites de la turbine

$$P_h = \rho Q E$$

- $\rho$  est la densité ou masse volumique du fluide ( $\text{kg/m}^3$ )
- $Q$  est le débit volumique du fluide ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $E$  est l'énergie hydraulique massique ( $\text{J/kg}$ )

# Optimisation de la performance énergétique

- Rendement hydraulique: rapport entre puissance mécanique et puissance hydraulique ( $P_m / P_h$ )
- Rendement électrique: rapport entre la puissance électrique produite par l'alternateur et la puissance mécanique
- Rendement du groupe turbine-alternateur: rapport entre la puissance électrique produite par l'alternateur et la puissance hydraulique

# Gestion de la cavitation

- La cavitation est un phénomène important en mécanique des fluides
- Définition: “La rupture du milieu continu de liquide sous l’effet de contraintes excessives”
- Il limite la puissance produite, crée des vibrations et de l’érosion qui endommagent les équipements et génèrent du bruit



# Gestion de la cavitation

- À température constante, un liquide sous tension suffisante se rompt; la zone à basse pression ainsi créée se remplit de phase gazeuse (de la vapeur, dans le cas de l'eau)
- La tension à laquelle ce phénomène se produit s'appelle la **tension de vapeur**
- C'est un phénomène thermodynamique qui se produit en trois étapes:
  - Initiation
  - Croissance
  - Résorption

# Mitigation des enjeux environnementaux

- Amélioration des performances
  - Réduction des besoins de nouvelles installations
- Réduction des lubrifiants
  - Utilisation d'auto-lubrifiants (matériaux polymères, graphite, bronze)
- Augmentation de l'oxygène dissous
  - Admission d'air dans la roue et dans son voisinage
  - Utilisation de l'effet Venturi pour éviter les compresseurs
  - Légère perte d'efficacité

# Mitigation des enjeux environnementaux

- Passages hydrauliques ichtyophiles
  - Les installations peuvent nuire aux migrations (saumons)
  - Des passes de contournement peuvent être mises en place
  - Les équipements peuvent blesser ou tuer la faune
    - Chocs
    - Abrasion
    - Pincement
    - Variations de pression
    - Turbulence
  - Des ajustements à la conception des turbines peuvent réduire le nombre et la gravité des incidents

# Conclusion

- La conception et la mise en place des installation hydro-électriques font l'objet de constantes recherches afin de:
  - Optimiser la performance énergétique
  - Réduire la cavitation
  - Mitiger les enjeux environnementaux



**Merci de votre attention !**

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

# Période de questions

