

III. Chapitre 3 : Turbines hydrauliques

3. TURBINES HYDRAULIQUES

3.1. Définition

Les turbines hydrauliques sont à l'inverse des pompes des machines à fluides capables d'en extraire de l'énergie. Le fluide cède donc de l'énergie dont une partie sera récupérée sur l'arbre de la turbine sous forme d'énergie mécanique : $P=C\omega$. Du point de vue du fluide, la puissance mécanique \mathbf{P}_m est négative. En changeant le signe de \mathbf{P}_m , on obtient une quantité positive \mathbf{P}_i appelée puissance interne ou puissance indiquée :

$$P_i = \rho Q_v (U_1 C_1 - U_1 C_1)$$

En général, on classe les turbines en deux catégories ; turbines à action et turbines à réaction.

3.2. Turbine à action et à réaction

3.1.1. Les turbines à action

La diminution de la charge est due exclusivement à la perte d'énergie cinétique :

$$\Delta H = \Delta \left(\frac{V^2}{2g} \right), \text{ or } H \approx \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \Rightarrow \Delta p = 0$$

On définit alors le degré de réaction par :

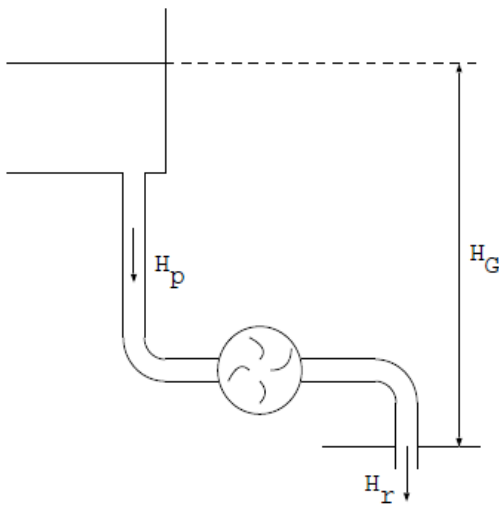
$$r = \frac{p_2 - p_1}{\rho g H} \quad \text{ou} \quad \frac{p_2 - p_1}{\rho N^2 D^2}$$

Ici $r = 0$. Toute l'énergie cinétique du fluide est disponible dans un ou plusieurs jets et le passage est tangentiel.

5.1.2. Les turbines à réaction

Dans ce cas, $r \neq 0$, l'énergie hydraulique transmise se présente sous forme d'énergie cinétique et d'énergie de pression. Le transfert d'énergie de pression nécessite une grande surface de contact entre le fluide et la roue. C'est pourquoi le rotor et les aubes sont noyés dans le fluide [3].

3.3. Bilan d'énergie



- H_G : hauteur de génératrice.
- H_p : hauteur de perte (perte de charge régulière et singulière).
- H_r : hauteur résiduelle à la sortie de la turbine, le fluide dispose d'une énergie $\rho g q_v H_r$ qui n'est pas récupérée sur l'arbre de la turbine.

On appelle hauteur nette :

$$H_n = H_G - H_p - H_r$$

Toute cette énergie (H_n) ne sera pas intégralement transférée au rotor. En effet, en traversant les organes fixes et mobiles, le fluide perd de l'énergie par frottement et par choc. On désigne ces pertes par perte de charge interne ΔH_i . Seule l'énergie restante (hauteur interne) est transférée au rotor :

$$H_i = H_n - \Delta H_i$$

L'énergie disponible au rotor est :

$$C_i \omega = \rho g Q_v H_i$$

Où C_i désigne le couple interne. Sa puissance mécanique disponible en bout d'arbre est :

$$C \omega = C_i \omega - P_f$$

Où P_f est la puissance dissipée par frottement au niveau des paliers.

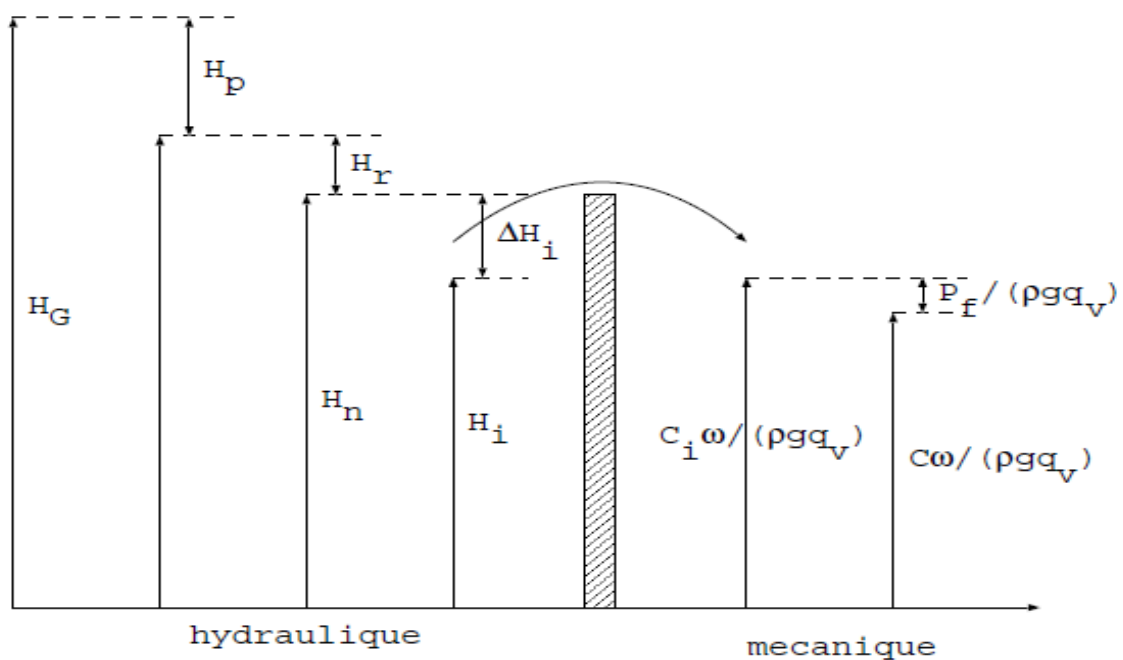


Figure 3.1 : Diagramme de transfert d'énergie pour une turbine [3]

3.4. Turbine Pelton

Cette turbine doit son nom à Lester Allan Pelton (1829-1908) qui en cherchant de l'or en Californie, a conçu une roue avec des cuillères périphériques, que l'on appelle augets, pour utiliser l'énergie cinétique provenant d'un jet d'eau sortant d'un tuyau.

Elle travaille à débit relativement faible sous une hauteur de chute élevée (300 m à 1200 m, voire davantage) avec une grande vitesse de rotation.

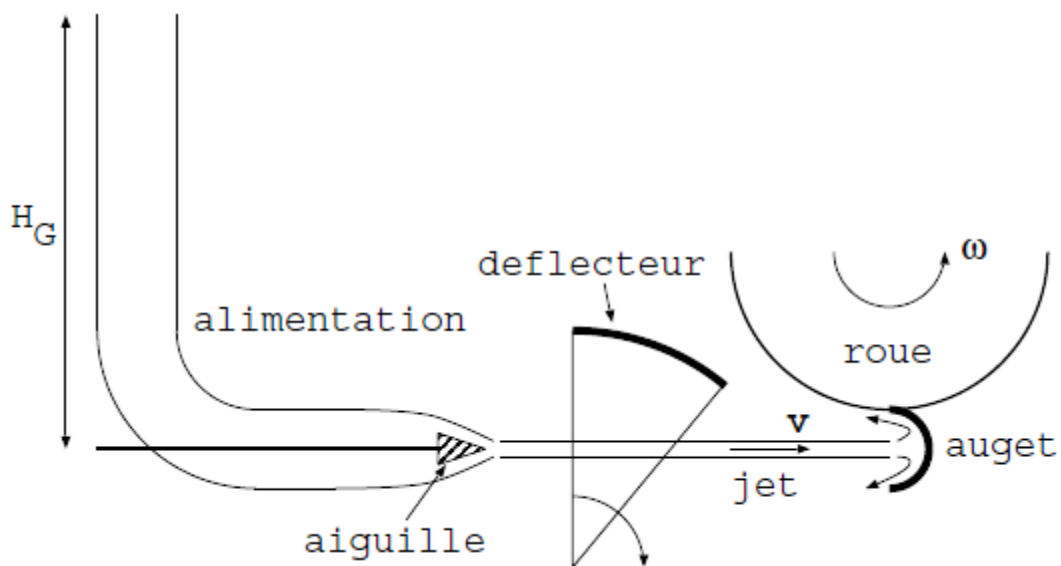
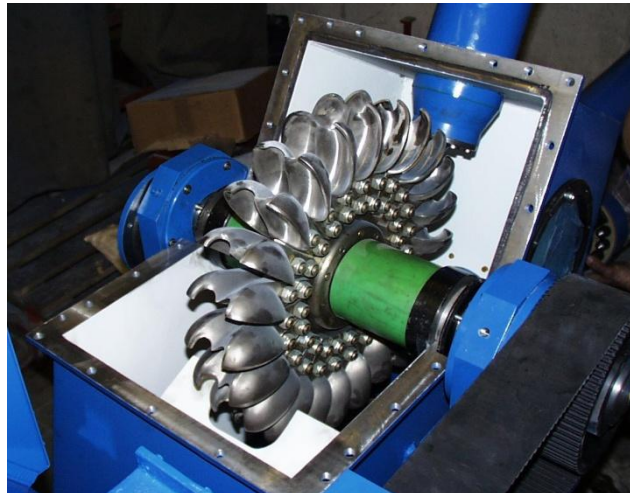


Figure 3.2 : Schéma de principe d'une turbine Pelton

Le jet exerce une force F sur l'auget qui conduit à un couple moteur qui fait tourner la roue de la turbine. L'injecteur est relié au réservoir (H_G) amont par une conduite forcée.

L'aiguille coulisse dans la partie convergente de l'injecteur soit par une commande manuelle soit par un servo-moteur. Le déplacement de l'aiguille fait varier la section de sortie et par conséquent le débit. En effet, on a :

$$\frac{V^2}{2g} = H_G - \Delta H_{\text{tuyaux}} - \Delta H_{\text{injecteur}}$$

Comme H_G est très grand et que le tuyau est long,

$$V = \sqrt{2g(H_G - \Delta H_{\text{tuyaux}})}.$$

Quand on veut arrêter rapidement la turbine Pelton, on ne ferme jamais brusquement la vanne amont ou l'injecteur en raison des coups de bélier qui pourraient endommager la conduite d'amenée, mais, on dévie le jet grâce à un déflecteur. Ensuite, on ferme lentement l'injecteur. Le déflecteur doit être fixé solidement pour résister aux efforts souvent énormes exercés par le jet.

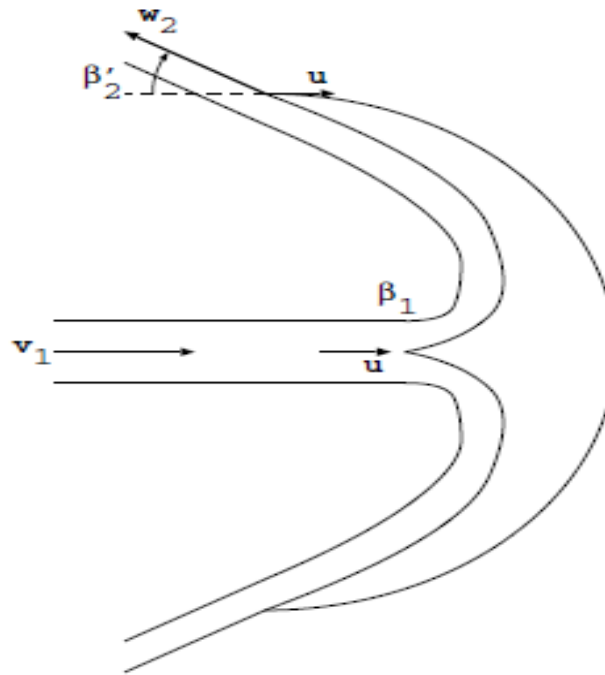


Figure 3.3 : Coupe de l'auget d'une turbine Pelton

3.5. Turbine Francis

La turbine Francis est une turbine à réaction.

Pour ce type de turbines, on utilise à la fois l'énergie cinétique et l'énergie de pression. Cette dernière nécessite pour le transfert une grande surface de contact entre le fluide et la roue. C'est pourquoi les aubes sont noyées.

Deux principes sont à la base de leur fonctionnement.

- La création d'un tourbillon à l'aide d'une bêche spirale d'aubages directeurs (directrices) ou des deux à la fois.
- La récupération du mouvement tourbillonnaire par les aubes d'une roue mobile en rotation qui épousent les filets d'eau afin de leur donner une direction parallèle à l'axe de rotation.

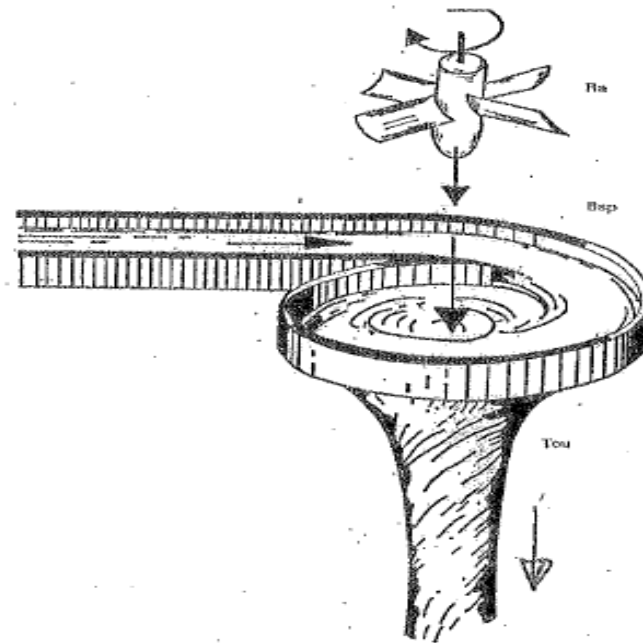


Figure 3.4 : Principe de fonctionnement d'une turbine Francis (à réaction)

Les aubages se comportent comme une aile d'avion. La portance qui en résulte induit un couple sur l'arbre de la turbine et fait avancer l'aube à une vitesse d'entraînement.

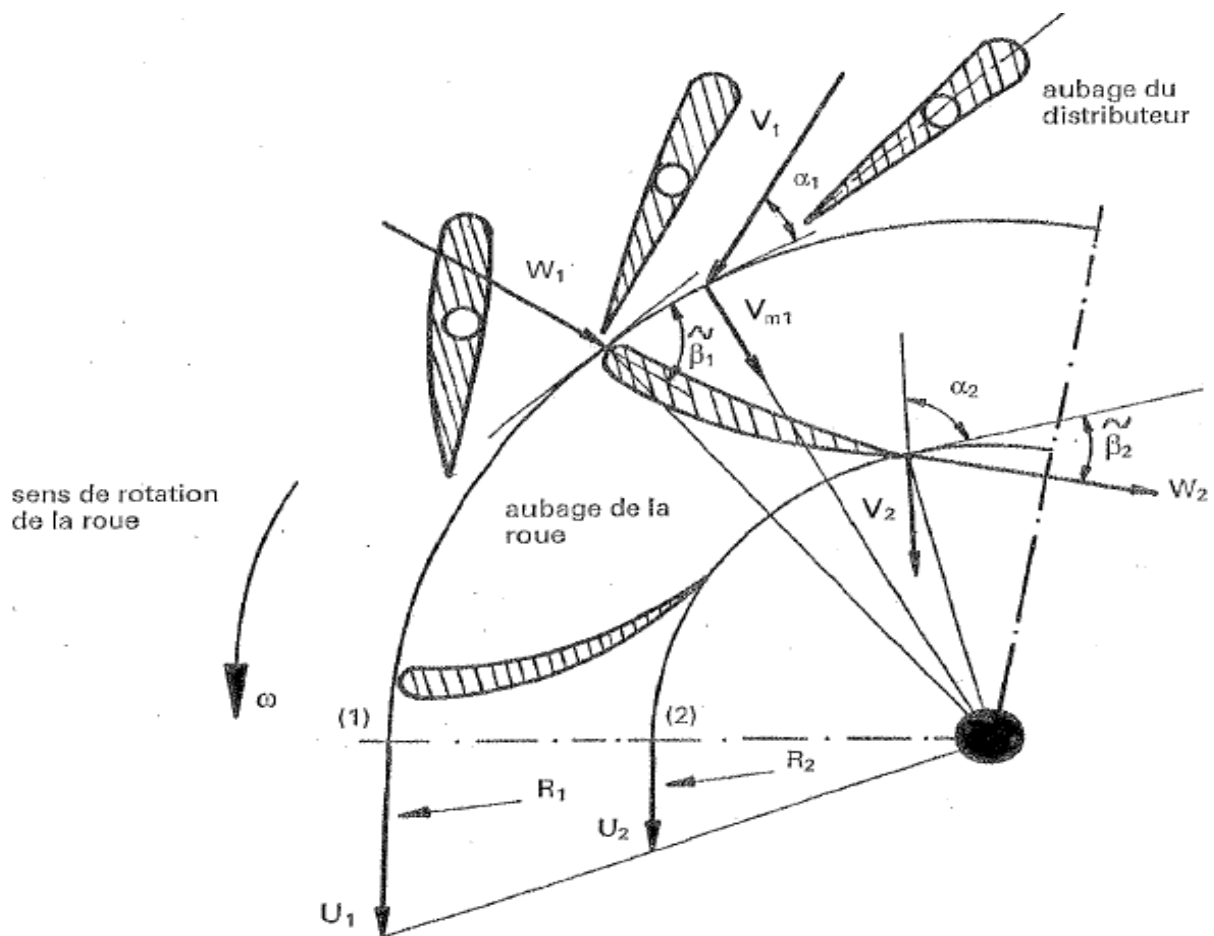


Figure 3.5 : Triangle des vitesses d'une turbine Francis .

Les caractéristiques générales d'une turbine Francis sont les mêmes que celles d'une pompe :

$$H_n = H_{th} + \Delta H_{choc} + \Delta H_f$$

et

$$\eta = \frac{H_{th}}{H_n}$$

3.6. Turbine Kaplan

La turbine Kaplan est une machine à réaction du type axial qui doit son nom à l'ingénieur autrichien Victor Kaplan (1876-1934) qui a enseigné à l'université Technique de Brno en République Tchèque. Les éléments principaux d'une turbine Kaplan sont semblables à ceux d'une turbine Francis, soit, une bêche spirale, un distributeur avec des aubes directrices, un rotor et finalement un diffuseur .

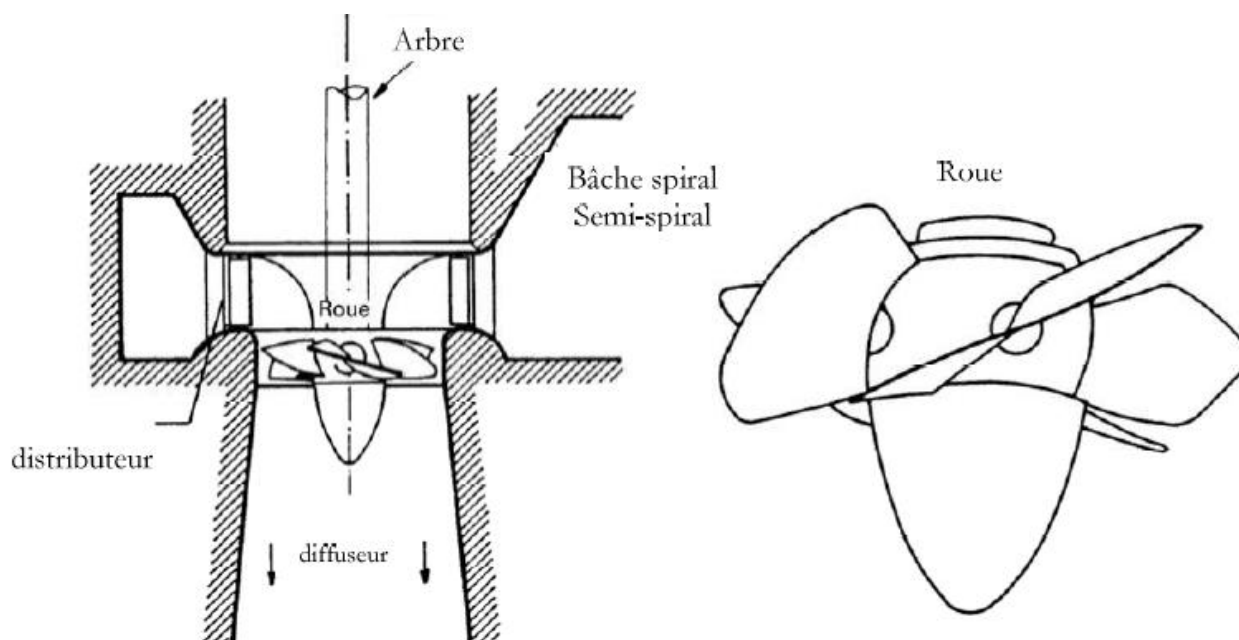


Figure 3.6 : Schéma représentatif de la turbine Kaplan ou à hélices

L'écoulement dans ce type de turbine est axial de sorte que la vitesse périphérique à l'entrée et à la sortie du rotor est essentiellement la même ($U_1 = U_2$).

3.7. Choix d'une turbine pour une application :

Les turbines utilisées dans les installations à hauteur de chute élevée sont généralement appelées **turbines à impulsion**. La famille des turbines à impulsion comprend : les turbines Pelton, Turgo, Banki-michell et les turbines à impulsion radiale. Les pales de ces turbines à impulsion recueillent l'énergie d'un jet d'eau à haute vitesse puis finissent leur course dans l'air.

Les petites turbines hydrauliques peuvent atteindre des rendements d'environ 90 % .

On veillera à choisir la meilleure turbine pour chaque application, étant donné que certaines donnent un bon rendement que dans une plage limitée de débits (ex. : les turbines à hélice à pales fixes).

Pour la plupart des petites centrales au fil de l'eau où le débit varie considérablement, il est préférable de faire appel à des turbines qui donnent un bon rendement dans une vaste gamme de débits (ex. : Kaplan, Turgo et à écoulement transversal). On peut également utiliser plusieurs turbines qui fonctionnent dans une plage limitée de débits et à vitesse variable pour s'adapter aux variations du débit.

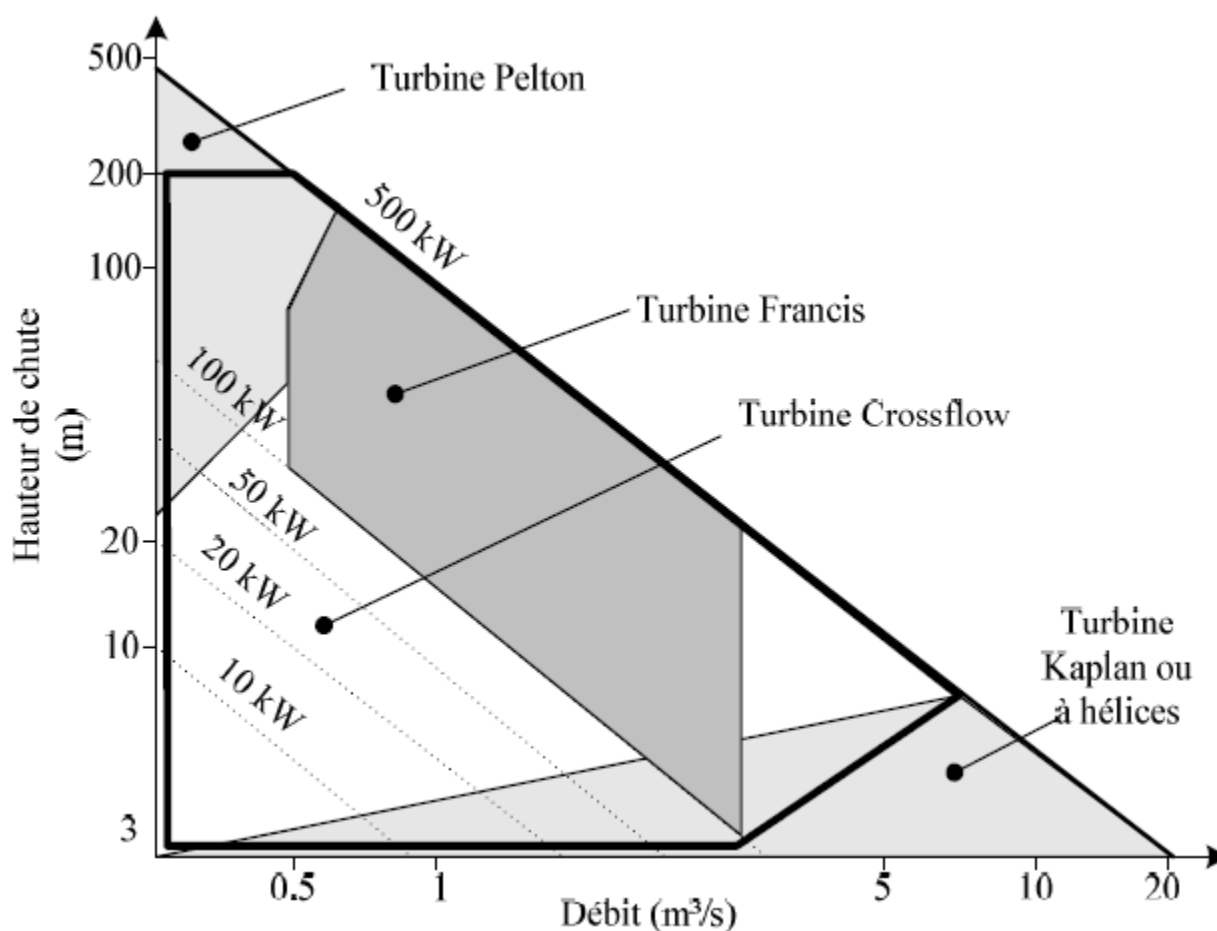


Figure 3.7: Choix des turbines hydrauliques pour les microcentrales hydroélectriques.