

Cas d'étude Turbine hydraulique

Florent Ravelet, Christophe Sarraf

LIFSE, Arts et Metiers Institute of Technology, CNAM, HESAM University

11 mars 2022

1 Contexte

1.1 Objectif

L'objectif est de vérifier par simulation numérique la conformité des performances d'une turbine hydraulique axiale par rapport à un cahier des charges. Vous pouvez vous référer à vos cours sur les turbomachines en écoulement incompressible (TMFI). Quelques notions complémentaires sur les turbines hydrauliques sont disponibles dans le document issu des techniques de l'ingénieur [1] déposé sur la plateforme SAVOIR.

1.2 Cahier des charges

On souhaite fonctionner en conduite normalisée de DN200, dont le diamètre intérieur est de 206.5 mm. On adoptera pour la turbine un rayon extérieur des pales $R_e = 102.5$ mm.

On souhaite une turbine tournant à $N = 1500$ rpm, avec une vitesse angulaire spécifique $\Omega = 3.778$ ¹.

On la construit en utilisant un diagramme de Cordier adapté à ce type de machine (voir Fig. 3 Ref. [1]). On choisit alors un rayon spécifique $\Lambda = 0.748$.

1.3 Méthode de dessin (la CAO finale vous est fournie)

On construit alors une grille d'aubages basée sur l'analyse des triangles de vitesse en entrée et sortie de roue et sur quelques hypothèses :

- L'écoulement est purement axial en entrée ;
- L'écoulement débitant est uniforme ;
- On prend un rayon au moyeu $R_i = 0.4R_e$;
- On utilise le théorème d'Euler des turbomachines.
- On suppose une répartition uniforme du travail massique échangé en fonction du rayon de la pale (*i.e.* $w_m = U_2 C_{\theta,2}$ indépendant de r).

La méthode de dessin de la pale est celle décrite dans la Ref. [2]. Elle repose sur la découpe de la pale en plusieurs sections entre le pied de pale et la périphérie. Pour chaque section (correspondant à une coupe de la machine par un cylindre de rayon r fixe) :

1. vitesse spécifique « nsq » = 200

- On dessine dans le plan aube-à-aube $m, r\theta$ une ligne tangente à la vitesse relative à l'entrée de la roue et tangente à la vitesse relative en sortie (calcul des angles $\beta_1(r)$ et $\beta_2(r)$ à partir des triangles de vitesse).
 - On « habille » cette ligne avec une loi d'épaisseur issue de celle du profil NACA0010.
 - On met à l'échelle le profil obtenu afin de lui donner une corde telle que le serrage de la grille d'aube soit égal à une certaine valeur.
 - On applique la transformation du plan aube-à-aube vers l'espace cartésien (on « plie » en quelque sorte le profil sur son cylindre).
- On commence par une version à $Z = 5$ pales, et avec un serrage $\sigma = 1$ uniforme.
On obtient un squelette de pale à 3D qu'on peut exporter vers un logiciel de CAO.

2 Travail à effectuer

2.1 Travail préliminaire

A partir des informations précédentes :

1. Calculer les paramètres manquants du cahier des charges au point de dimensionnement : débit volumique, hauteur manométrique totale et chute de pression totale (prendre $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$).
2. Avec un rendement estimé de 80%, quelle est la puissance utile attendue ?
3. Calculer la vitesse débitante et la vitesse giratoire en sortie de turbine $C_{\theta,2}$.
4. Tracer à l'échelle les triangles de vitesses en entrée/sortie pour le rayon intérieur, le rayon moyen et le rayon extérieur.
5. Calculer pour ces mêmes rayons les angles β_1, β_2 .
6. Calculer le jeu radial entre la turbine et le tube. A votre avis, quel(s) effet(s) cela peut-il avoir ?

2.2 Travail de simulation

A l'aide des vidéos disponibles sur la plateforme SAVOIR, mettez en place une simulation, avec 5 aubages, et un moyeu dont le dessin est quelque peu arbitraire².

1. Effectuer une étude de convergence en maillage sur ce cas.
2. Comparer la puissance, le rendement et la chute de pression aux paramètres de dimensionnement.
3. Analyser la cinématique des écoulements obtenus³.
4. Une fois satisfaites, varier le point de fonctionnement (débit ou pression) et tracer une courbe caractéristique⁴.
5. Vous pouvez recommencer en variant un paramètre géométrique : le jeu radial, ou le nombre de pales.

2. Attention, sur la première vidéo, le moyeu est dessiné avec un rayon un peu trop grand...

3. On peut vous y aider

4. Cibler 5 valeurs autour du nominal semble raisonnable

2.3 Rendu

Nous attendons de vous un compte rendu, rédigé, structuré, avec de vraies figures légendées. Il s'agit d'un mini-projet, pas d'un TP à suivre sans y penser.

Bon courage.

Références

- [1] L. Megnint, G. Verdurand and R. Rey, *Turbines hydrauliques. Description et fonctionnement*. Techniques de l'Ingénieur **BM-4405**.
- [2] M. Bourhis, M. Pereira, F. Ravelet and I. Dobrev. *Innovative design method and experimental investigation of a small-scale and very low tip-speed ratio wind turbine*. *Experimental Thermal and Fluid Science* **130**, 110504 (2022).