

## Cas d'étude : mini-turbine entraînée par un aspirateur

### Pré-dimensionnement d'une mini-turbine : géométrie des aubages

On propose ici de déterminer les éléments principaux d'une mini-turbine axiale qui sera alimentée par un aspirateur. Vous vous référerez notamment à vos cours d'ENGA consacrés à l'étude des turbomachines en régime incompressible et compressible (ENGA).

Vous devrez mettre en place un algorithme qui calculera en particulier les angles d'aubages au bord d'attaque et au bord de fuite. Cet algorithme sera programmé en python. Si vous ne connaissez pas ce langage de programmation, vous pouvez vous référer à de nombreuses sources disponibles sur internet avec par exemple : [https://perso.limsi.fr/poinal/\\_media/python:cours:courspython3.pdf](https://perso.limsi.fr/poinal/_media/python:cours:courspython3.pdf)

### Principe de dimensionnement :

La turbine considérée étant alimentée par un aspirateur, certaines de ses caractéristiques en sont complètement dépendantes : dimensions, débit de fonctionnement et chute de pression à travers la turbine.

Par conséquent on supposera connus les éléments suivants :

$R_i$  : rayon intérieur de la turbine (en pied de pale)

$R_e$  : rayon extérieur de la turbine (en bout de pale)

$Q_v$  : débit volume fourni par l'aspirateur

$\Delta P$  : chute de pression à travers la turbine

On choisira un degré de réaction  $\mathcal{R} = 1 - \frac{c_u}{2U}$  (voir les triangles des vitesses) en remarquant la valeur particulière  $\mathcal{R} = 0$ , qui permet de ne pas observer d'efforts axiaux sur la partie mobile de la turbine. Le nombre d'étages  $n_{et}$  de la turbine à concevoir est également à choisir. On visera une vitesse de rotation de l'ordre de 40 000 tr/min.

### Hypothèses, modèles, équations :

Les vitesses observées dans la turbine considérées seront relativement faibles par rapport à la vitesse du son, on fera l'hypothèse d'un écoulement quasiment incompressible. On pourra vérifier cette hypothèse par la suite.

A l'aide du 1<sup>er</sup> principe de la thermodynamique en système ouvert en mouvement permanent et de l'équation d'Euler des turbomachines, montrez que l'on peut écrire :

$$\Delta h_s = - \int \frac{dp}{\rho} = -\Delta(UC_u)$$

avec les notations utilisées en cours.

Donnez l'expression de cette relation lorsqu'on peut faire l'hypothèse d'un écoulement incompressible.

Déduisez-en l'expression de  $U$  et de  $C_u$  en fonction des données du problème ou du cahier des charges. Donnez également l'expression de  $C_a$ .

### Géométrie globale d'un étage de turbine :

On s'intéresse ici essentiellement aux angles d'entrée et de sortie des aubages de la turbine à concevoir. Cette géométrie sera ensuite à affiner afin d'en déduire la forme détaillée des aubages.

On trace ci-dessous les triangles des vitesses associés à un étage de turbine dans un cas quelconque. Les aubages du rotor et du distributeur n'ont pas été représentés, tracez sur cette figure des aubages adaptés.

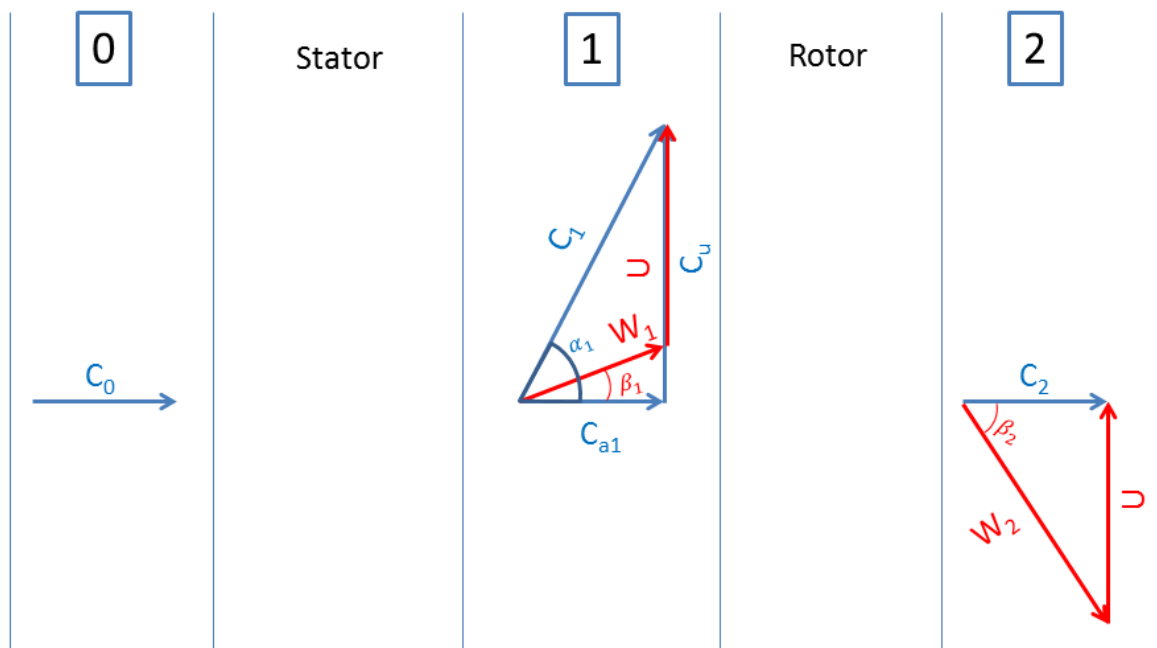


Figure 1 Triangles des vitesses dans un étage de turbine

Les relations trigonométriques usuelles sur la tangente d'un angle permettent d'évaluer facilement les angles  $\alpha_1, \beta_1$  et  $\beta_2$  en fonction des vitesses représentées ci-dessus.

Etablissez les expressions qui permettent de calculer les 3 angles représentés ci-dessus.

### Algorithme de calcul d'un étage :

Etant donnés les résultats ci-dessus et les triangles des vitesses représentés, on se propose de programmer un code en python permettant de calculer l'allure générale de la turbine.

Données d'entrées :  $R_i, R_e, Q_v, \Delta P, \mathcal{R}, n_{et}$

Éléments à calculer : la vitesse de rotation  $N$ , les angles  $\alpha_1, \beta_1$  et  $\beta_2$ , le coefficient de débit  $\varphi = \frac{C_a}{U}$ , les déflexions que doivent assurer les grilles d'aubes rotorique  $\Delta\beta$  et statorique  $\Delta\alpha$ , le nombre de Mach en 1 afin de vérifier l'hypothèse d'incompressibilité.

Cette étude permet de dimensionner votre turbine au rayon moyen  $R_m$  des aubages. Il vous faudra également proposer une géométrie au rayon intérieur et au rayon extérieur de l'aubage en conservant par exemple la vitesse axiale.

### Travail à réaliser :

#### 1) Géométrie globale des aubages :

- Ecrivez un algorithme décrivant les étapes nécessaires au calcul de la géométrie préliminaire des aubages
- Programmez cet algorithme Python
- Utilisez votre code afin de trouver aubages d'avant-projet adaptés (nombre d'étages, géométrie des grilles d'aubes, degré de réaction...)

En sortie de votre algorithme vous devez fournir :

- Les trois rayons  $R_i, R_m, R_e$
- Pour chacun de ces rayons les angles  $\alpha_1, \beta_1$  et  $\beta_2$

#### 2) Préparation d'un fichier « Catia »

Ces éléments seront introduits dans un code en python (*python\_fait\_aubage.py*) qui va générer la géométrie d'un aubage que vous pourrez ensuite intégrer dans votre conception Catia globale. Ce code calcule et génère un fichier *EssaiAubageDistributeur.csv* à renommer en fichier *.xls*. Vous devez générer un fichier par type d'aubage.

Voici par exemple les données à fournir au code qui calcule la géométrie des aubages du rotor :

```
r=np.array([10,14,18])          >> les trois rayons  $R_i, R_m, R_e$ 
beta1=np.array([0.,0.,0.])      >>  $\beta_1$  pour chaque rayon
beta2=np.array([-75.,-75.,-75.]) >>  $\beta_2$  pour chaque rayon
l=np.array([10,15,20])          >> Corde du profil pour chaque rayon
e=np.array([0.05,0.1,0.15])     >> Epaisseur du profil pour chaque rayon
```

Adaptez ce code à vos besoins et générez tous les fichiers *EssaiAubageDistributeur.csv* nécessaires à la conception de votre turbine.