Chapitre 2 : Similitude dans les turbomachines

2.1 Relation générales, invariants de Rateau et autres coefficients

On va établir la théorie générale de similitude des turbomachines en fluide incompressible sachant qu'elle reste valable pour les turbomachines à fluide compressible.

Pour l'utilisateur des turbomachines toutes les caractéristiques sont intéressantes à connaître, on peut citer par exemple: le travail W_{12}, la hauteur de charge H, la puissance P mise en jeu dans l'opération, le couple mécanique C exercé sur l'arbre de la roue ou le rendement η de la machine. La manière la plus simple de représenter les caractéristiques de la machine consiste à établir, à vitesse de rotation constante, les courbes représentant, en fonction du débit q_v, les variations de l'une ou de l'autre de ces caractéristiques.

Considérons une famille de turbomachines géométriquement semblables: chaque représentant de la famille peut être caractérisé par une dimension linéaire quelconque, le rayon R de la roue mobile par exemple.

En fonctionnement constant, les caractéristiques des machines de cette famille seront parfaitement déterminées si on se donne les cinq variables indépendantes suivantes :

- le rayon R (variable géométrique).
- le débit q_v de fluide et la vitesse de rotation ω de la roue (variables cinématiques)
- la masse volumique ρ du fluide et sa viscosité dynamique μ (variables physiques).

Pour exprimer les variations de W_{12}, on aura par exemple une relation de la forme:

$$W_{12} = f_1(R, q_v, w, \rho, \mu)$$

D'après les règles de l'analyse dimensionnelle, cette relation peut s'écrire sous une forme non dimensionnelle telle que:

$$\pi_1 = \varphi_1(\pi_2, \pi_3)$$

Où π_1, π_2, π_3 sont trois groupements de paramètres sans dimensions, combinaisons indépendantes des 6 variables figurant dans l'équation.

Pour cela on utilise les lois de l'analyse dimensionnelle à travers son principe fondamental et le théorème de Vachy Buckingham.

Analyse dimensionnelle

<<L'analyse dimensionnelle est une méthode physique qui permet de représenter l'une des caractéristiques d'une turbomachine. On utilise des groupements sans dimensions

déterminés on utilisant les unités fondamentales en mécanique M (masse), L (longueur), T (temps), en cinétique nombre de l'unités fondamentales m = 2(L, T). En dynamique nombre de l'unité fondamentale m= 3(M, L, T)>>

Théorème π (Vachy Buckingham) :

<<Si les caractéristiques sont représentés par des fonction de n variables indépendantes et qu'il existe m unité fondamentale on peut obtenir n-m groupements sans dimensions qui représentent alors le même système>>.

Exemple :

Trouver les groupements sans dimensions représentant la caractéristique d'une turbo machine.

$$W_{12} = f_1(R, q_v, w, \rho, \mu)$$

n = 6 variables indépendantes
m = 3 unités fondamentales
Il a n-m, soit 6-3 =3 groupements sans dimensions

$$\pi_1, \pi_2, \pi_3$$

$$\pi_1 = \varphi_1(\pi_2, \pi_3)$$

Pour détermine π_1, π_2, π_3 on choisit trois variables pour représenté les 3 unités fondamentales, le choix n'est pas définit à priori cas il existe une infinité de solution pour notre cas on choisit : Les grandeurs fondamentales suivantes : R, ω, ρ (paramètres de travail).

La constitution des termes π n'est pas définie à priori, car il existe une infinité de séries de trois termes π. Mais ces séries ne sont pas indépendantes, la connaissance de l'une d'elles permet d'en déduire toutes les autres.

La série qu'on retient généralement est la suivante:

$$\pi_1 = \frac{W_{12}}{w^2 R^2}$$

$$\pi_2 = \frac{q_v}{wR^3}$$

$$\pi_3 = \rho\frac{wR^2}{\mu} = \frac{wR^2}{\nu}$$

$$\pi_4 = \frac{P}{\rho w^3 R^5}, \pi_5 = \frac{\Gamma}{\rho w^2 R^5}, \pi_6 = \eta$$

Invariants de Râteau et autres coefficients:

Les thermes $\pi_1, \pi_2 et \pi_4$ représentent des Coefficient appelés coefficients de Râteau :

- Le coefficient nanométrique $\mu_R = \pi_1 = \dfrac{W_{12}}{R^2 w^2}$
- Le coefficient de débit : $\delta_R = \pi_2 = \dfrac{q_v}{wR^3}$
- Le coefficient de puissance : $\tau_R = \pi_4 = \dfrac{P}{\rho w^3 R^5}$

A cela il peut y avoir les deux autres coefficients représentant le couple et la rendement :

2.2 Turbomachines en fonctionnement semblable :

Considérons deux machines telles que π_1 et π_2 soient respectivement égaux deux à deux (il peut s'agir de deux machines différentes de la même famille, ou de la même machine dans des conditions d'emploi différentes); d'après ce qui précède tous les autres termes π sont égaux deux à deux en particulier ces deux machines ont le même rendement. Les deux machines sont donc en fonctionnement semblable.

On peut comparer deux turbomachines en fonctionnement semblable selon les cas suivants:

- ***Cas de la même turbomachine :***

Dans ce cas deux turbomachine de même dimension R mais au tourne à des vitesses de rotation différentes.

- ***Cas de deux turbomachines géométriquement semblables :***

On suppose que les deux turbo machines tourne a la même vitesse de rotation mais de dimensions R_1 et R_2, on pose k=$\dfrac{R_2}{R_1}$, les sections seront proportionnelles à k^2 et les vitesses proportionnelles à k.

- ***Généralisation***

Dans ce cas les deux machine sont déférente et tourne de vitesse de rotation déférente, on combiné les résultat précédent

- ***Vitesse spécifique (w_s) :***

La vitesse spécifique (w_s) est une quantité dimensionnel (rad/s) mais assez puissante pour être un paramètre pour comparaison entre les turbomachines semblables.

Définition :

<< On peut définir w_s comme étant la vitesse en radian par seconde d'une turbomachine semblable représentant la famille considéré qui soit capable de fournir une hauteur de 1m et un débit volumique $Q'_v = 1m^3/s$ dans des condition semblable à celle qui représente la famille de turbomachine >>.

C'est le cas de la machine fictive

On utilisant μ_R, δ_R on trouve

$$w_s = \frac{w\sqrt{Q_v}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Enfin chaque famille de turbomachine à la même valeur de la vitesse spécifique.

On choisi une turbo machine en fonction de valeur de vitesse spécifique, on utilisant le graphe ci dessous.

ω_s

0.05 0.10 0.20 0.5 1 2 5 10 20

Turbine Pelton
Simple jet

turbine francise Kaplan
Lents rapides

Turbine Pelton
Multi jets

Pompes
Centrifuges mixtes axiales

Ventileuses et compresseur
Radiaux

Ventilateur et compresseur
Axiaux

Turbine à action turbine à réaction
A vapeur et à gaz