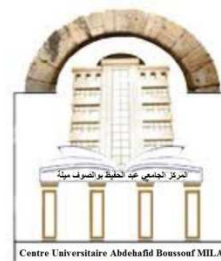




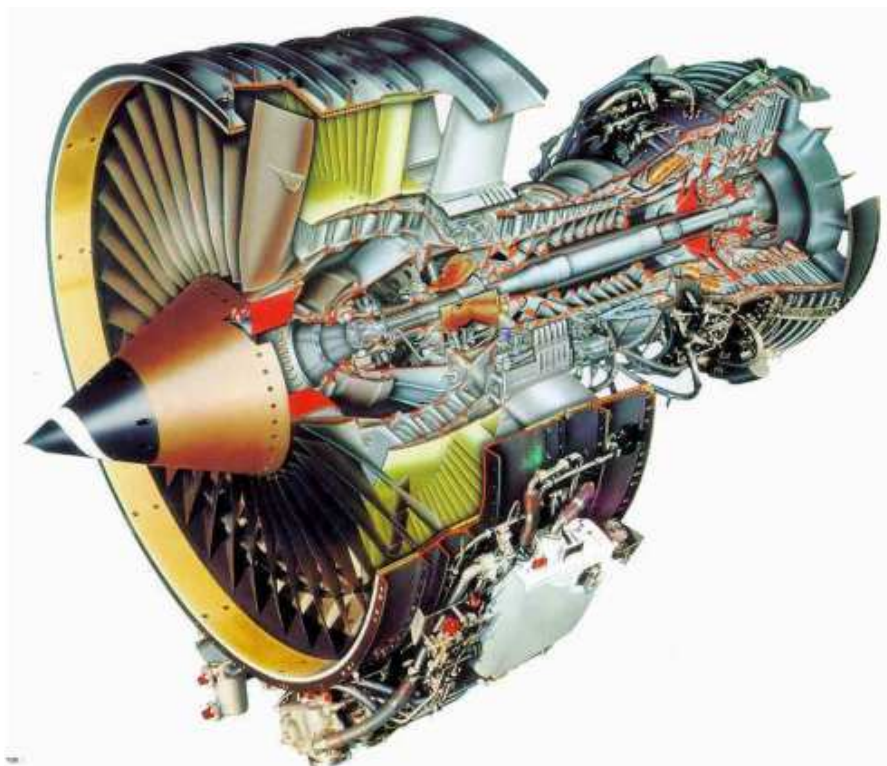
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Centre Universitaire Abdel Hafid Boussouf
Mila



Cours de Turbomachines

Chapitre IV : Turbomachines à Fluides Compressibles

Présenté par : Dr. ZEGHBID Ilhem



Année universitaire 2019-2020

Introduction :

L'écoulement dans une turbomachine est caractérisé par quatre aspects essentiels qui sont : la tridimensionnalité, la viscosité, l'instationnarité et les transferts thermiques.

Si les deux premiers apparaissent naturellement, le troisième est à prendre en compte dès que l'on s'intéresse au défilement d'une ou de plusieurs roues mobiles par rapport à une ou plusieurs roues fixes.

La prise en compte des transferts thermiques est indispensable pour déterminer les caractéristiques mécaniques des divers éléments fixes ou mobiles, compresseurs, turbines. Deux domaines particuliers d'application sont spécifiques aux turbomachines. Tout d'abord, il s'agit de l'écoulement dit interne à l'intérieur des aubages fixes et mobiles.

Enfin, le calcul de l'écoulement dit externe autour des aubages doit prendre en compte la présence des débits de refroidissement qui sortent de l'aubage

1- Aspect tridimensionnel de l'écoulement

Si l'écoulement est considéré comme stationnaire ; cela ne veut pas dire que les effets instationnaires sont négligés ou qu'ils ne sont pas étudiés, mais cela signifie que la définition des composants d'une turbomachine sont faites à l'aide de calculs stationnaire.

Le calcul de l'écoulement dans un ou plusieurs étages ne peut être abordé que par l'intermédiaire du concept d'écoulement moyen. Rappelons que ce schéma d'écoulement moyen (figure2), à l'origine du développement de nombreuses méthodes de calcul, consiste à admettre que, si le nombre d'aubes est suffisamment élevé, l'écoulement demeure en moyenne axisymétrique à la traversée des diverses roues dont l'action peut être simulée par un champ de forces volumiques. Le calcul de cet écoulement moyen, dit également méridien, qui est mathématiquement bidimensionnel, permet de déterminer, d'une part, la géométrie des nappes de courant de révolution à travers toute la machine considérée et, d'autre part, les évolutions radiales des caractéristiques moyennes du fluide de part et d'autre des roues. Les diverses coupes résultant de l'intersection de ces nappes avec les roues conduisent alors au concept de grilles d'aubes et rendent possible le calcul aube à aube, à caractère bidimensionnel sur une nappe de courant donnée (figure2).

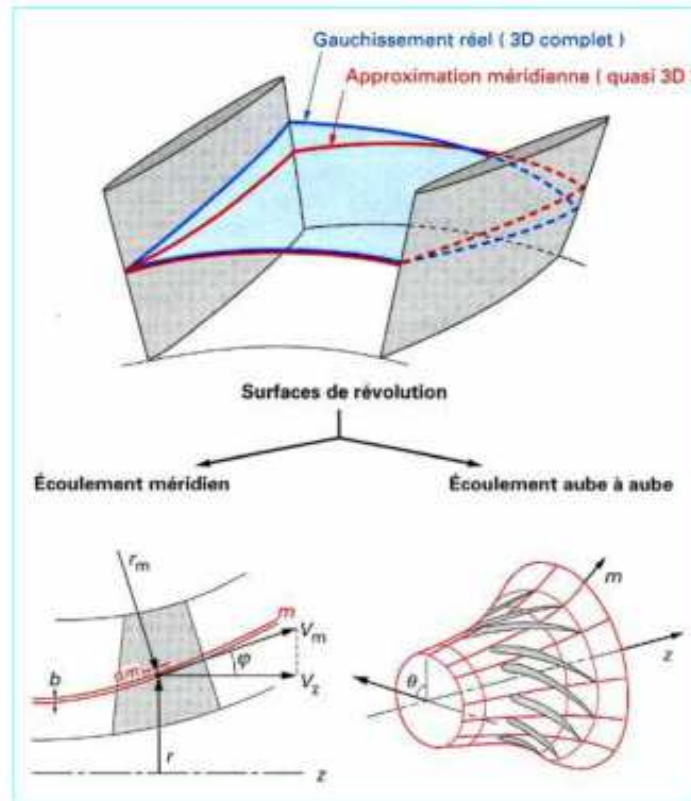


Figure 2: Schématisation de l'écoulement selon les deux concepts; écoulement méridien et écoulement aube à aube

1.1 Écoulement méridien

L'écoulement méridien est toujours subsonique ($M < 1$), mais la vitesse relative peut dans certains cas être légèrement supersonique ($M > 1$). L'écoulement à l'amont de la roue est indépendant de l'aval si, d'une part, les aubes sont suffisamment rapprochées pour que les surfaces caractéristiques montantes sur lesquelles se propagent les perturbations ne traversent pas la roue et si, d'autre part, l'écoulement dans un canal interaube est amorcé. Pour une vitesse de rotation donnée, l'incidence de l'écoulement amont pour un nombre de Mach donné et son débit ne dépendent que de la géométrie de la roue et non plus d'une condition imposée à l'aval.

1.2. Écoulement aube à aube

D'une façon générale, les méthodes de calcul sont appliquées à un écoulement permanent (m, θ) dans un repère relatif à une roue isolée définie entre deux surfaces de révolution infiniment voisines, de rayon et d'épaisseur variables, dont la géométrie est connue pour un écoulement méridien (figure2).

On peut signaler le cas particulier d'une configuration 2D du type grille d'aubes, l'écoulement étant plan avec deux coordonnées spatiales x et y ou strictement radiale avec des coordonnées polaires r et θ . Une telle approche est évidemment très facile et fréquemment utilisée mais elle est peu réaliste et ne doit être appliquée qu'à des cas très limités. La description des méthodes de calcul est subordonnée à la détermination de la géométrie des

nappes de courant, c'est-à-dire leur position radiale (r, z) et leur épaisseur b le long de la méridienne, qui servira de base aux calculs de l'écoulement aube à aube (m, θ).

Mais la forme de ces nappes dépend étroitement de l'état du fluide et par conséquent des pertes qui apparaissent à la traversée des roues successives. Une utilisation correcte du calcul de l'écoulement méridien nécessite impérativement une prise en compte de ces pertes, qui est obtenue en général par l'emploi de lois empiriques.

2. Aspect visqueux de l'écoulement compressible dans un Turbomachine :

La viscosité joue naturellement un rôle primordial dans une turbomachine puisqu'elle est la source principale de pertes. Ces pertes sont usuellement classées en trois catégories :

- Les pertes de profil, liées au développement des couches visqueuses sur les aubes et les sillages qu'elles créent.
- Les pertes secondaires, qui apparaissent aux confins des aubes et qui donnent naissance à d'importants tourbillons, par suite de la déviation de l'écoulement visqueux.
- Les pertes liées à la présence inévitable du jeu qui existe entre l'extrémité des roues, surtout mobiles, et le carter.

Ces comportements tourbillonnaires, qui contaminent très vite l'ensemble de l'écoulement, renforcent évidemment son caractère tridimensionnel. La figure3, représente les effets visqueux. La prise en compte de la viscosité est évidemment souhaitable et même indispensable si l'on considère l'écoulement issu d'une roue et entrant dans la roue suivante car le changement de référentiel amplifie considérablement son action.

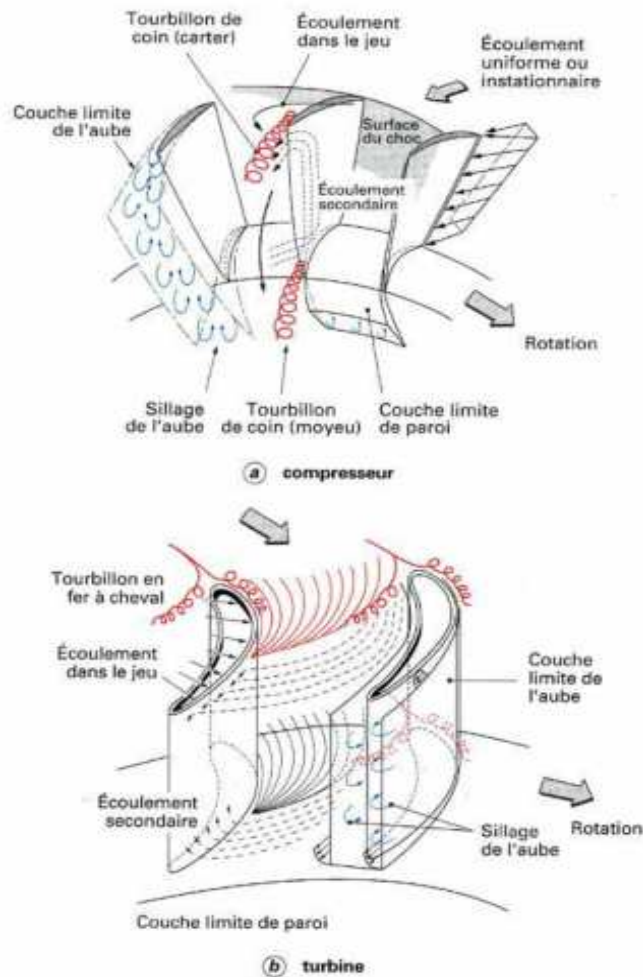


Figure3 : Schéma des phénomènes visqueux dans une roue de compresseur ou de turbine

En effet, à la sortie d'une roue, la différence entre un calcul en fluide parfait et un calcul en fluide visqueux a deux conséquences principales :

- La vitesse est plus élevée en fluide visqueux résultant des couches limites sur les aubes.
- La déviation de l'écoulement est plus faible en fluide visqueux.

Quand cette différence est combinée avec la vitesse de rotation, il apparaît un écart non négligeable sur l'incidence moyenne de l'écoulement à l'entrée de la roue suivante. La figure4 illustre cet effet dans le cas d'une roue mobile de compresseur suivie d'un redresseur fixe. Cet écart $\Delta\beta$, qui peut atteindre plusieurs degrés pour une configuration courante. Cela montre qu'il est impératif de prendre en considération les effets visqueux.

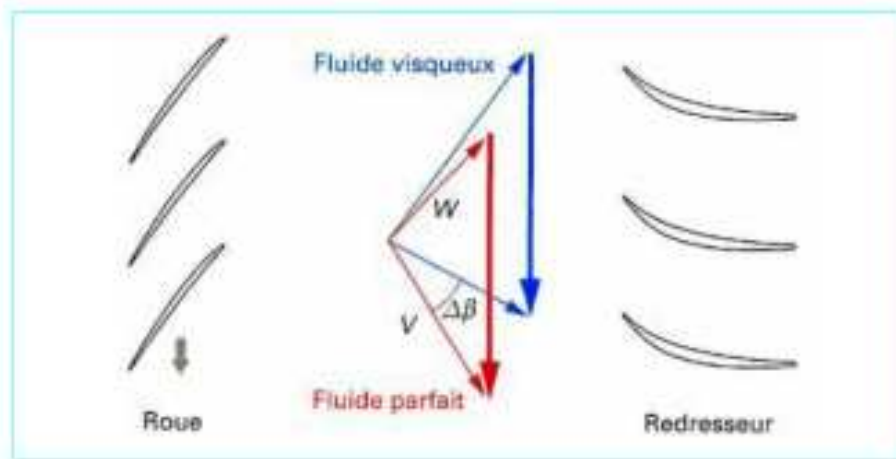


Figure 4: Effet de la viscosité sur le triangle de vitesses à la sortie d'une roue de compresseur suivie d'un redresseur.

3. Aspect instationnaire de l'écoulement compressible dans une Turbomachine

Cet aspect est primordial dans une turbomachine. Outre le cas d'un régime transitoire et celui d'une distorsion à l'entrée du moteur, le comportement vibratoire des aubes et l'interaction entre roues fixes et mobiles génèrent des phénomènes hautement instationnaires. Seule la soufflante

D'un réacteur à grand taux de dilution peut être considérée comme stationnaire. Si on veut prendre en compte cette interaction rotor-stator, on peut faire les remarques suivantes :

- Si une condition limite ou si la vitesse de rotation évolue, on est en présence d'un régime transitoire ; en revanche, si toutes ces conditions restent constantes, la solution est périodique.
- Le fait de considérer au moins deux roues a une autre conséquence très importante : alors que, dans le cas d'une roue isolée, on peut considérer que l'écoulement est périodique dans chaque canal et mettre à profit cette propriété pour n'effectuer le calcul que dans un seul canal