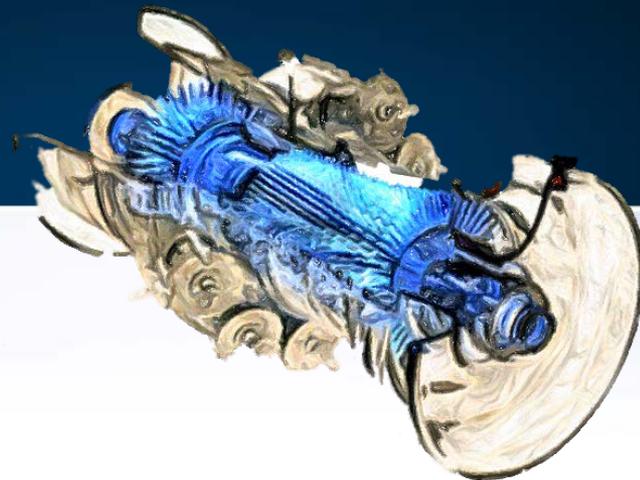
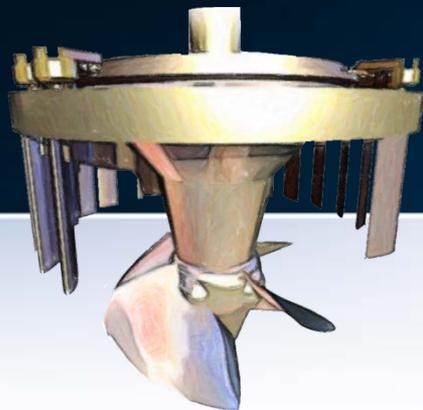


Turbomachines



NRJ EN ROTATION

Turbomachines axiales



OBJECTIFS

- Présenter la simplification 3D vers 2D → 1D
- Rappeler des éléments manquants dans le modèle simplifié
- Présenter le triangle de vitesses
- Décrire le triangle normal et les triangles spéciaux
- Présenter les coefficients de charge, de débit et le degré de réaction

Contexte

Dans les machines axiales, le fluide entre et sort avec une vitesse principalement axiale

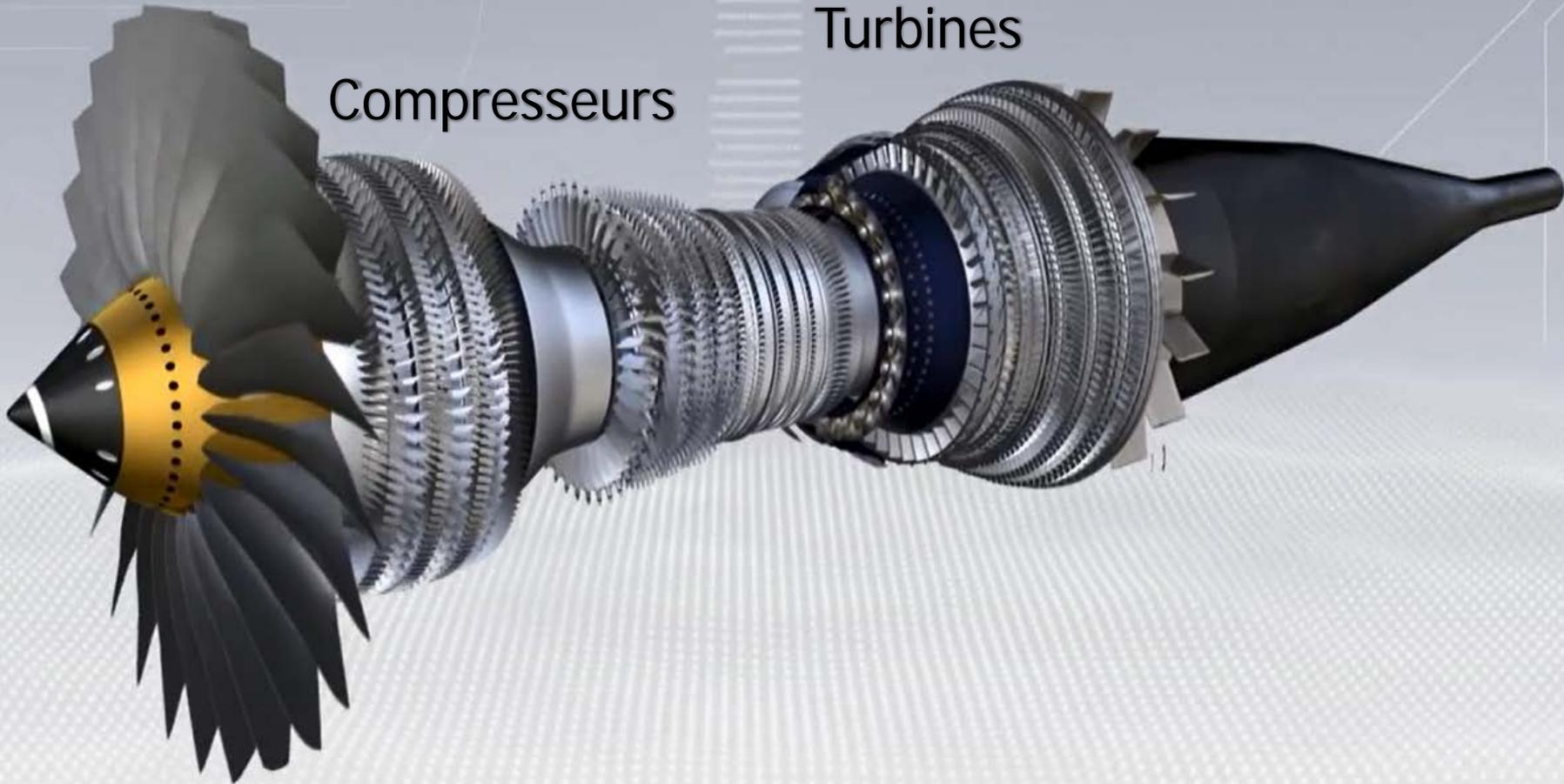
Dans ces dispositifs **le débit est important**, mais le gain (ou l'inverse) en pression est faible. Pour cette raison, on utilise plusieurs étages pour traiter le gain (ou chute) en pression

Turbines à gaz

Les turbines à gaz sont sans aucun doute les plus représentatives des machines axiales. Dans cette configuration, on y trouve des turbines et des compresseurs

Compresseurs

Turbines

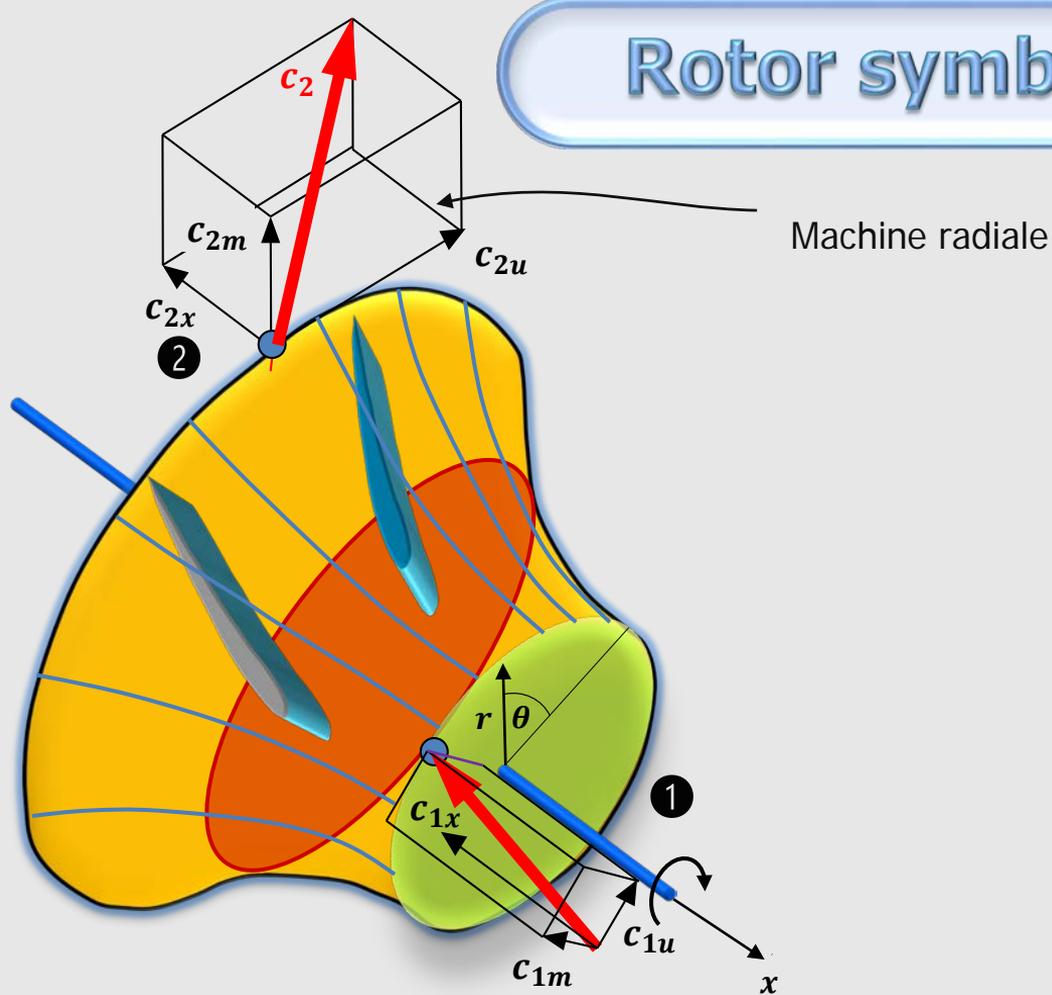


Rotor symbolique

L'analyse traditionnelle simplifiée regarde l'écoulement dans un rotor symbolique

La vitesse de l'écoulement à l'entrée et à la sortie, est divisée en trois composantes, selon les directions r, θ, x

Rotor symbolique

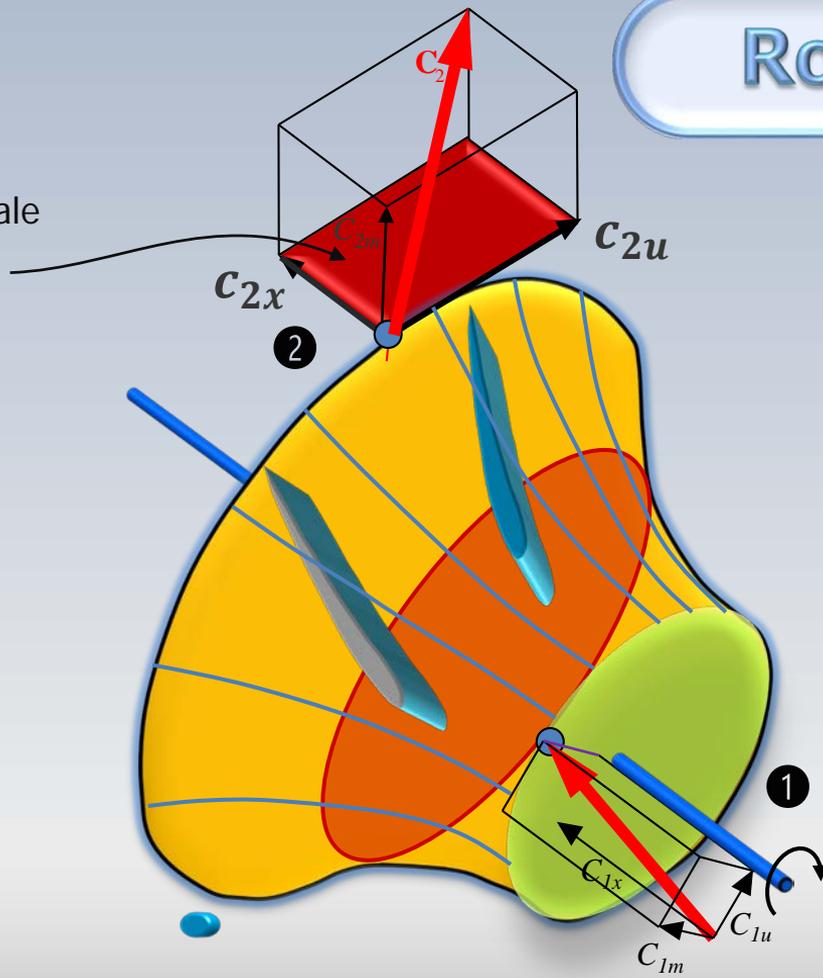


Rotor symbolique

Pour les machines axiales, on s'intéresse au plan formé par les composantes c_u, c_x

Rotor symbolique

Machine axiale

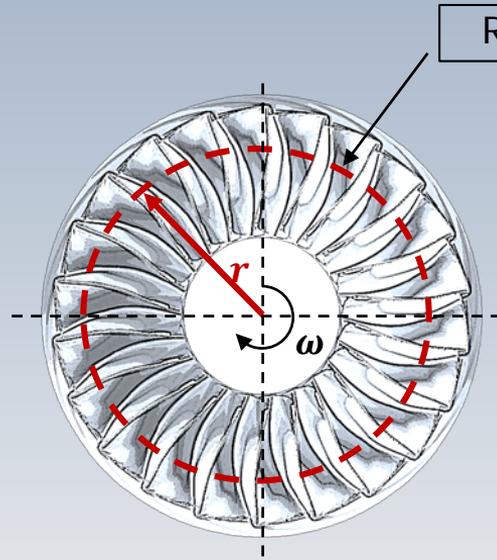


Rayon moyen

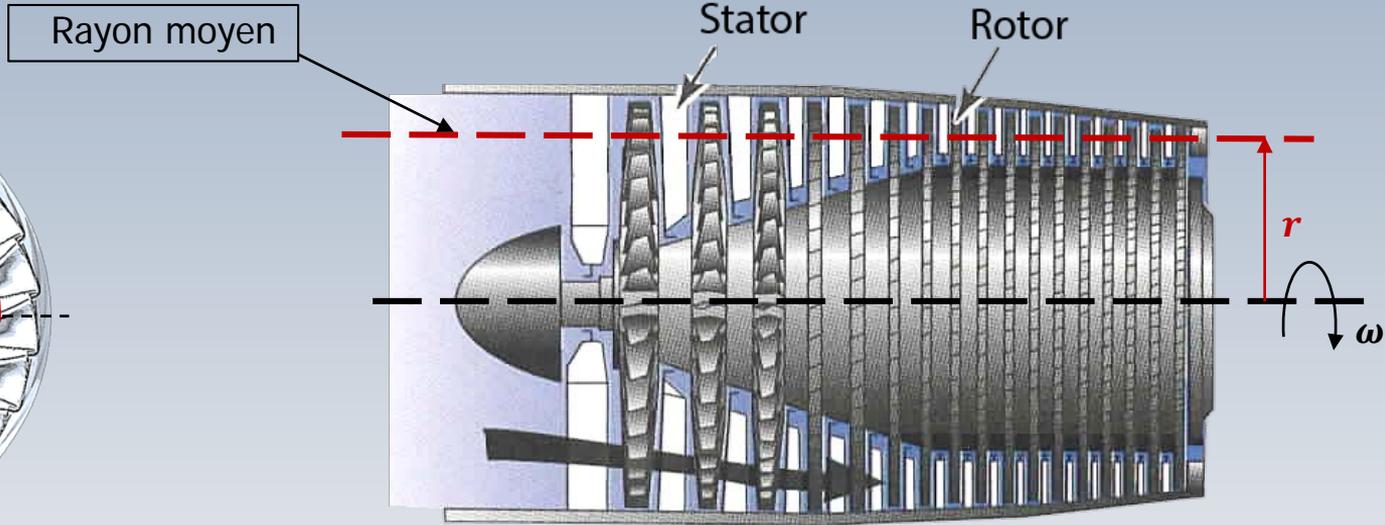
Dans ces machines, les calculs sont rapportés sur le **rayon moyen**. Celui-ci est défini comme la limite qui **divise en deux le débit massique** traversant la surface débitante donnée par l'aubage

La figure suivante illustre le rayon moyen dans les plans $r - \theta$ et $r - x$

Rayon moyen

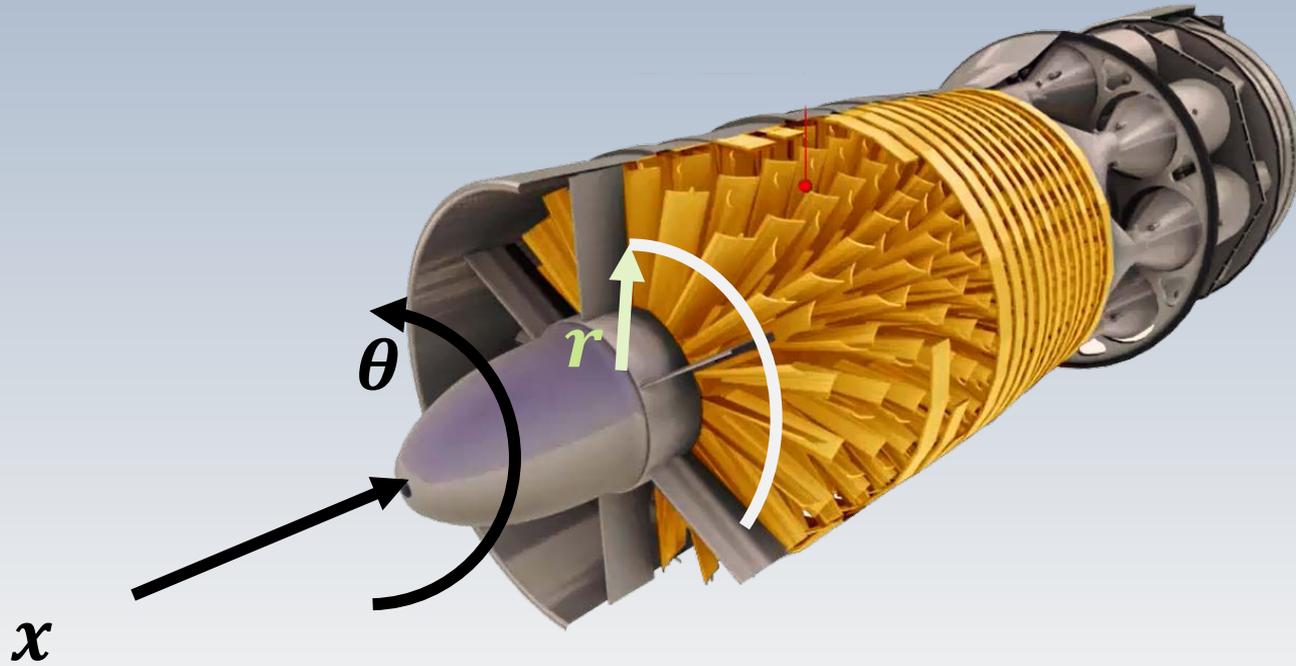


Plan $r - \theta$
 $x = \text{cnste}$



Plan $r - x$
 $\theta = \text{cnste}$

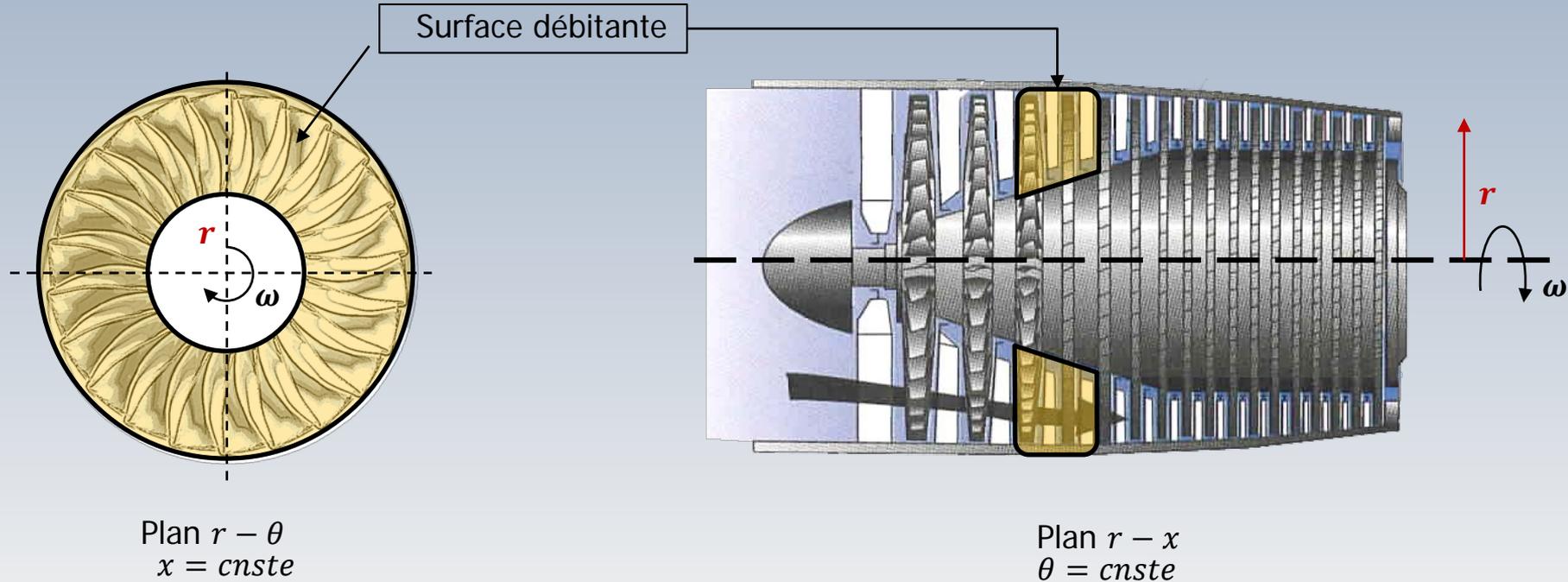
Rayon moyen



Surface débitante

La surface débitante est une portion de disque (couronne), associée au rayon moyen. On peut l'interpréter comme une surface moyenne entre celle de l'entrée et celle de la sortie

Surface débitante

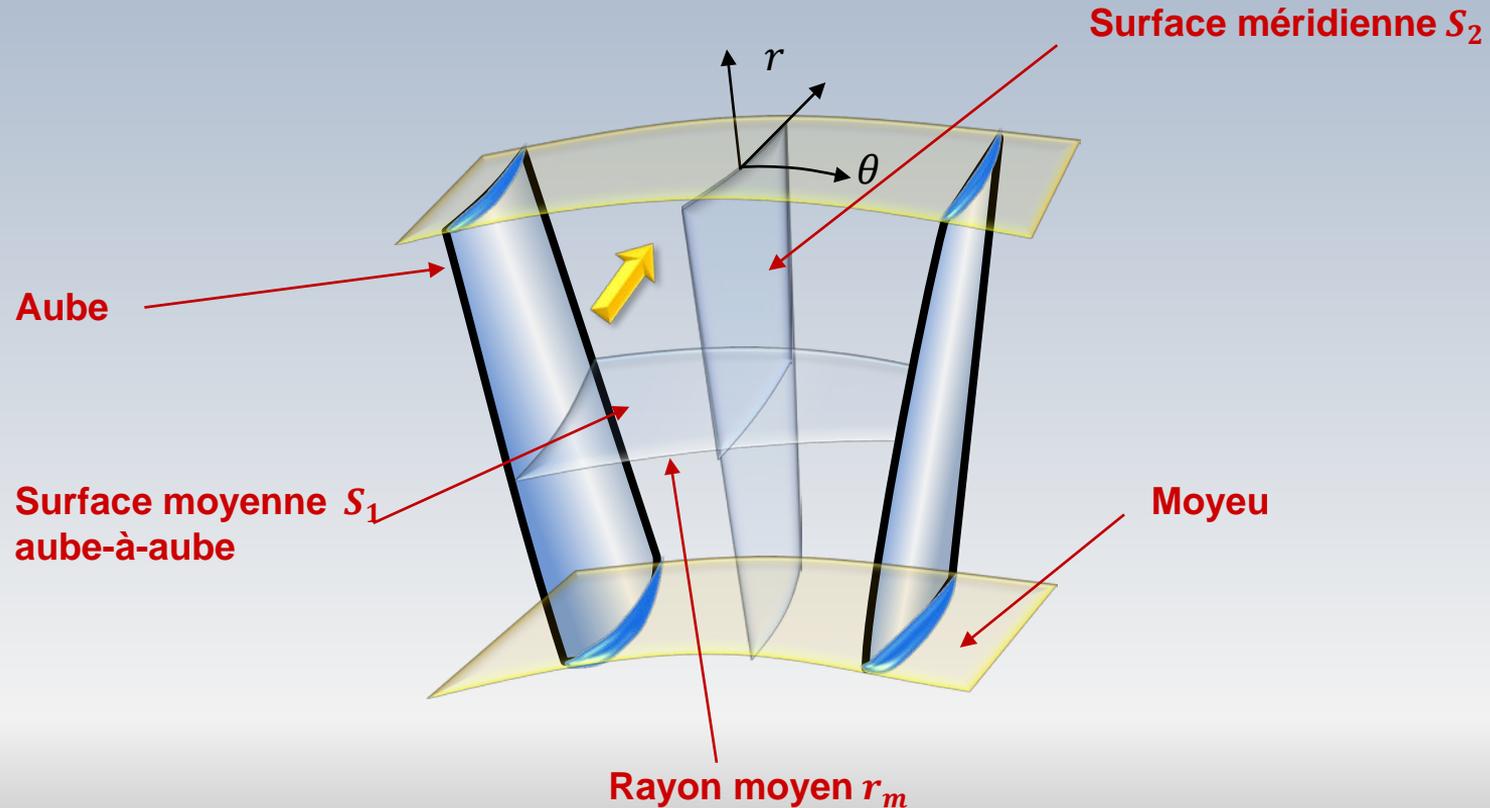


Description

Avant de présenter des équations, nous allons décrire l'approximation utilisée pour l'analyse des machines axiales

Dans ce domaine, **la décomposition proposée par Wu**, en 1952, imagine un canal interaube formé par deux types de surfaces, une aube-à-aube, et une méridienne, notées par S_1 et S_2 , respectivement. Le but étant celui de traiter l'écoulement 3D comme la superposition d'un certain nombre d'écoulements bidimensionnels

Écoulement moyen



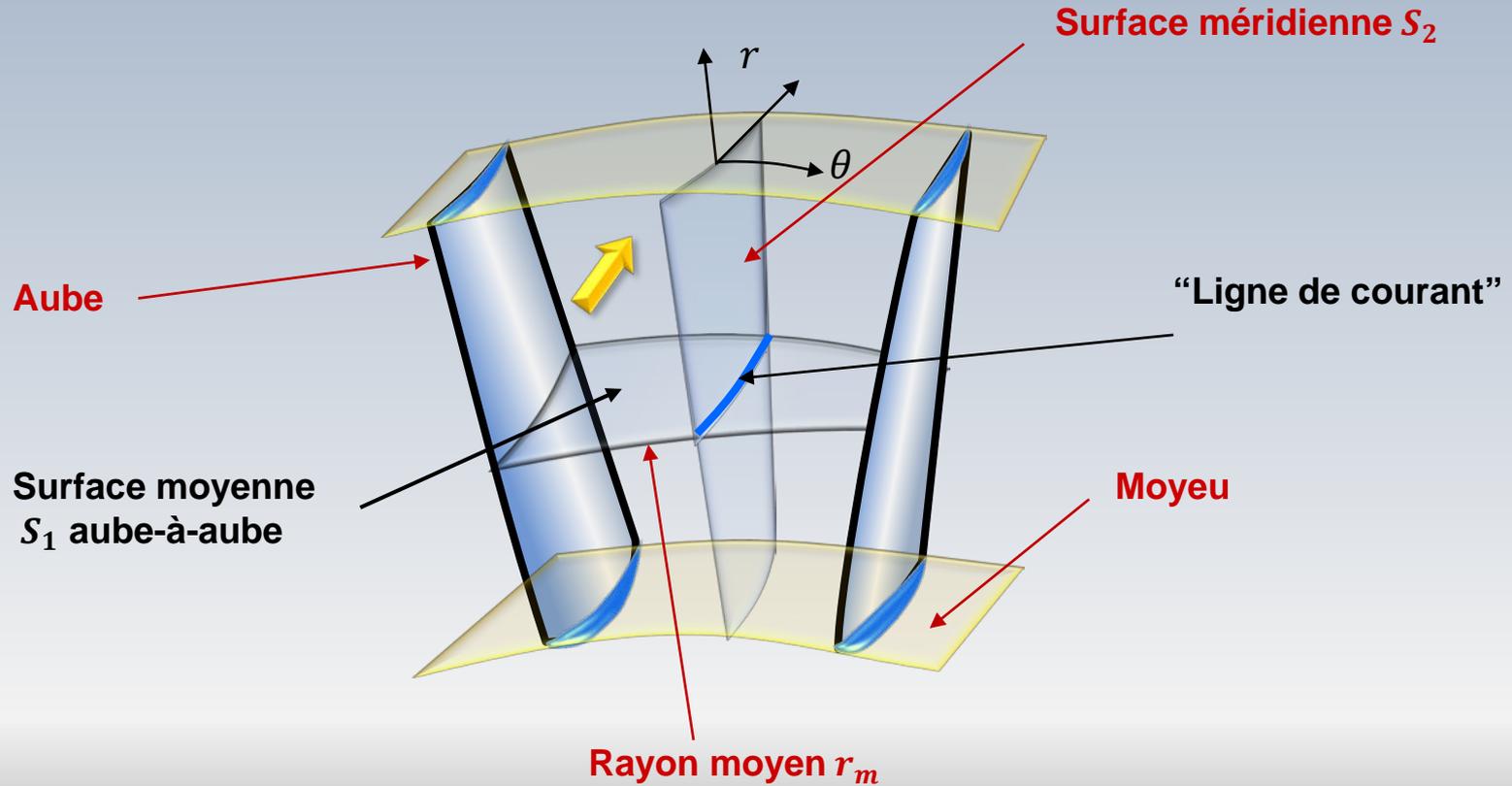
Description

La segmentation de Wu conduit à deux types d'écoulements : l'écoulement "méridien" et l'écoulement "aube-à- aube "

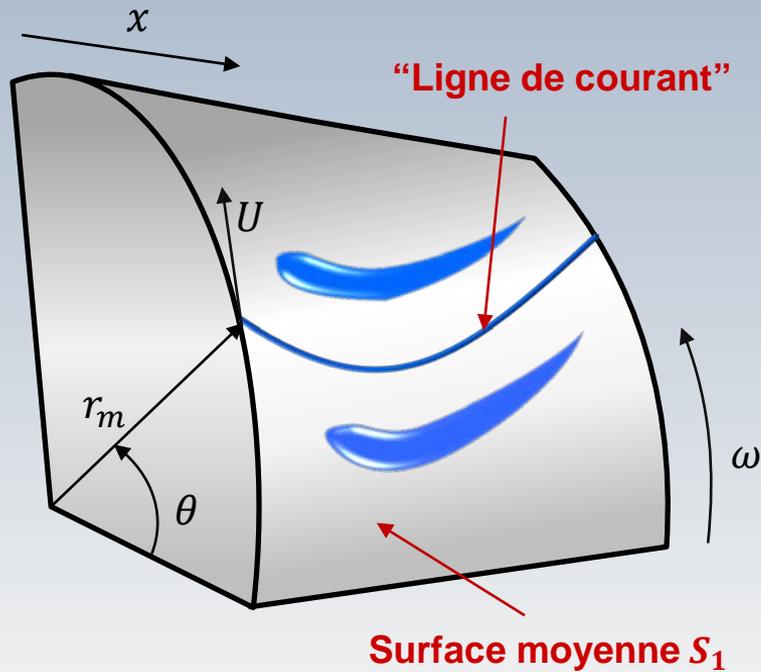
L'approche que nous suivrons ne considère que **l'écoulement aube-à-aube**. Bien que nous pourrions définir un nombre arbitraire de surfaces, l'étude portera seulement sur **la surface associé au rayon moyen**

Plus encore, l'analyse sera ramenée à regarder l'écoulement sur la "ligne de courant" générée par l'intersection de cette surface avec la surface méridienne moyenne

Écoulement moyen



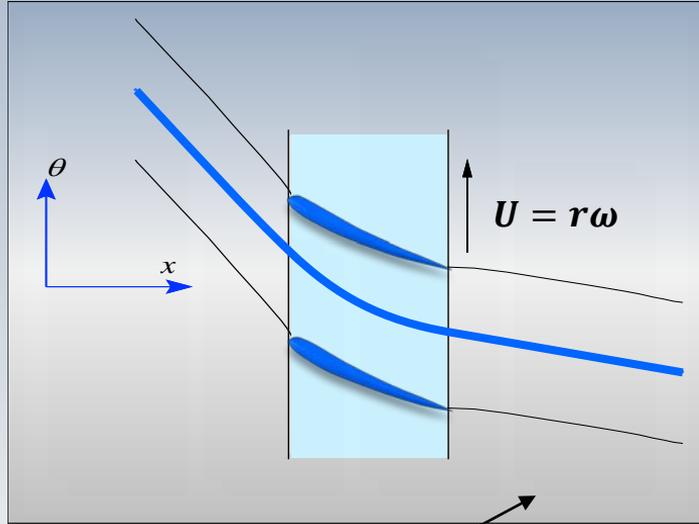
Description



La figure illustre la surface circonférentielle aube-à-aube au rayon moyen. Sur celle-ci on distingue les profils des aubes, et la ligne de courant

On note la vitesse de rotation ω et la vitesse tangentielle U , qui s'appliquent pour les aubes en mouvement

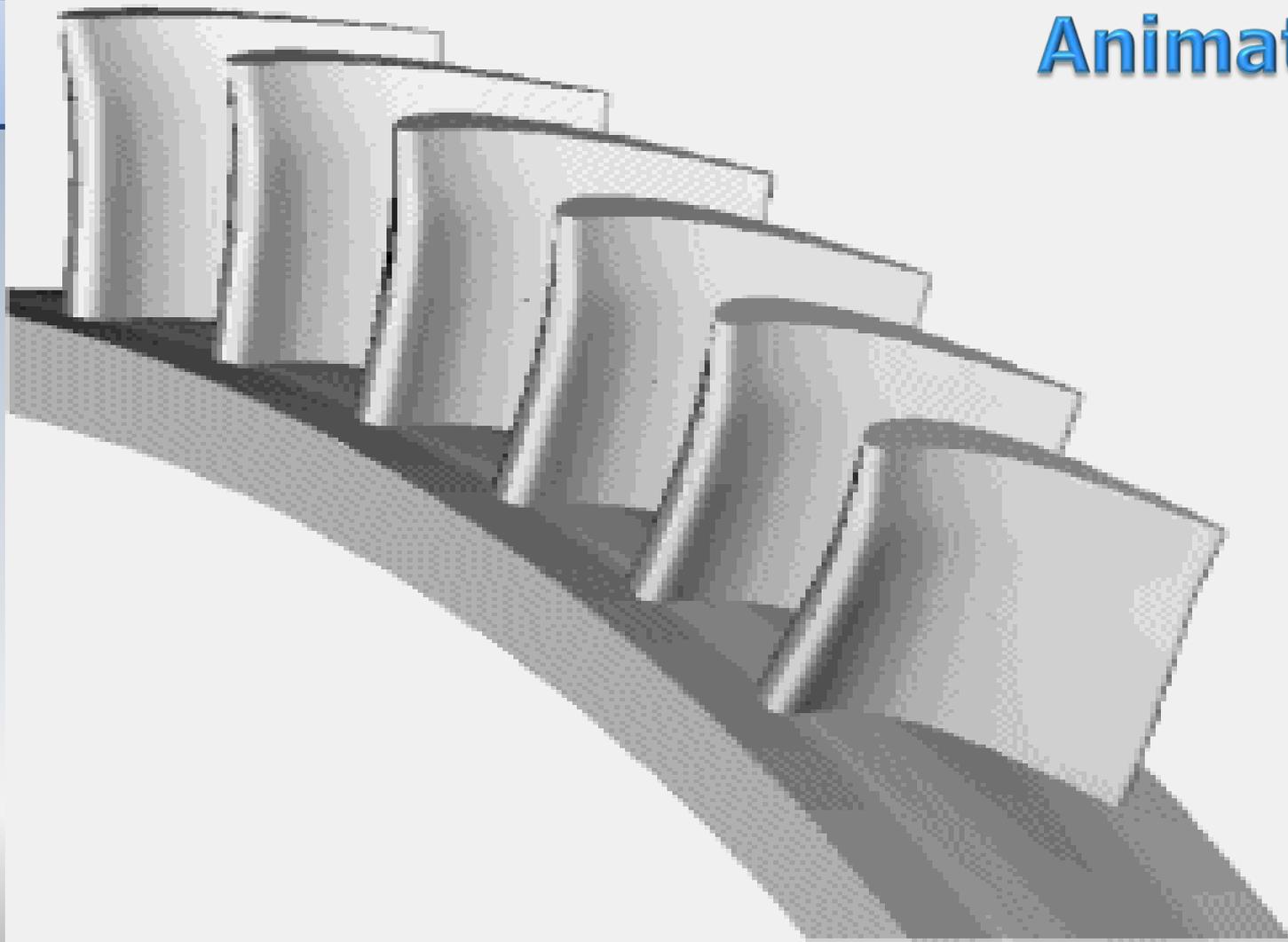
Description

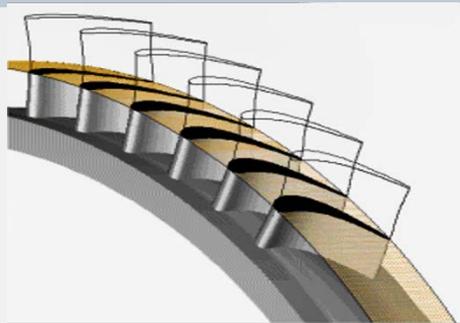
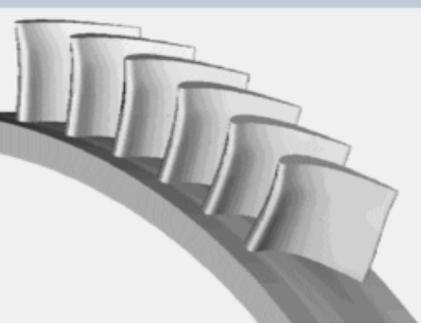


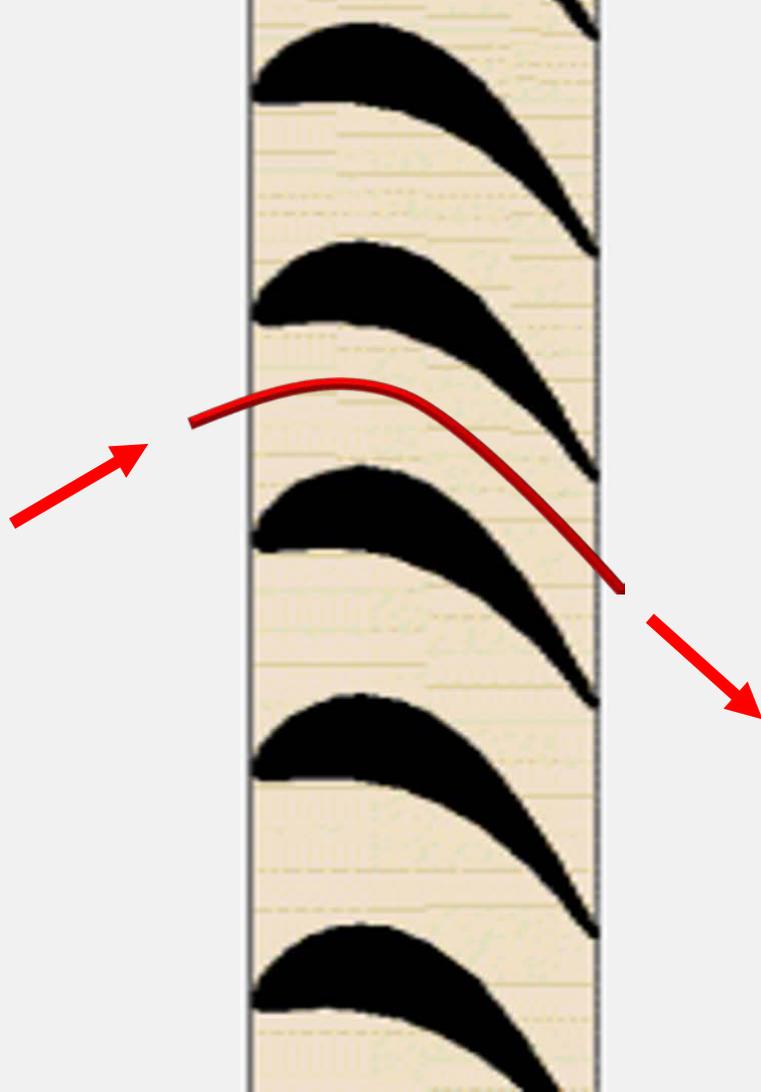
Surface moyenne S_1

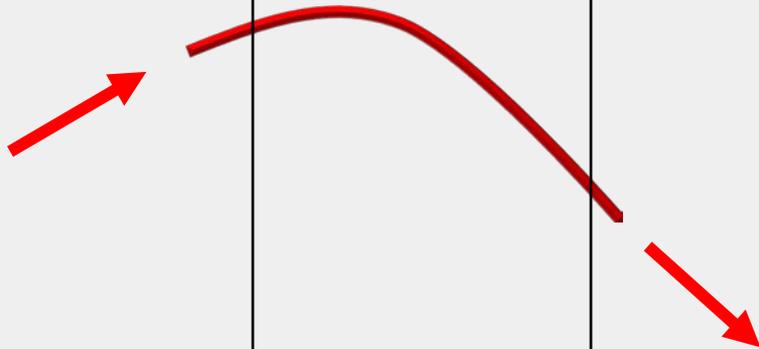
Cette figure montre la surface circonférentielle S_1 “déroulée” dans le plan $x - \theta$, sur lequel les calculs seront effectués

Animation



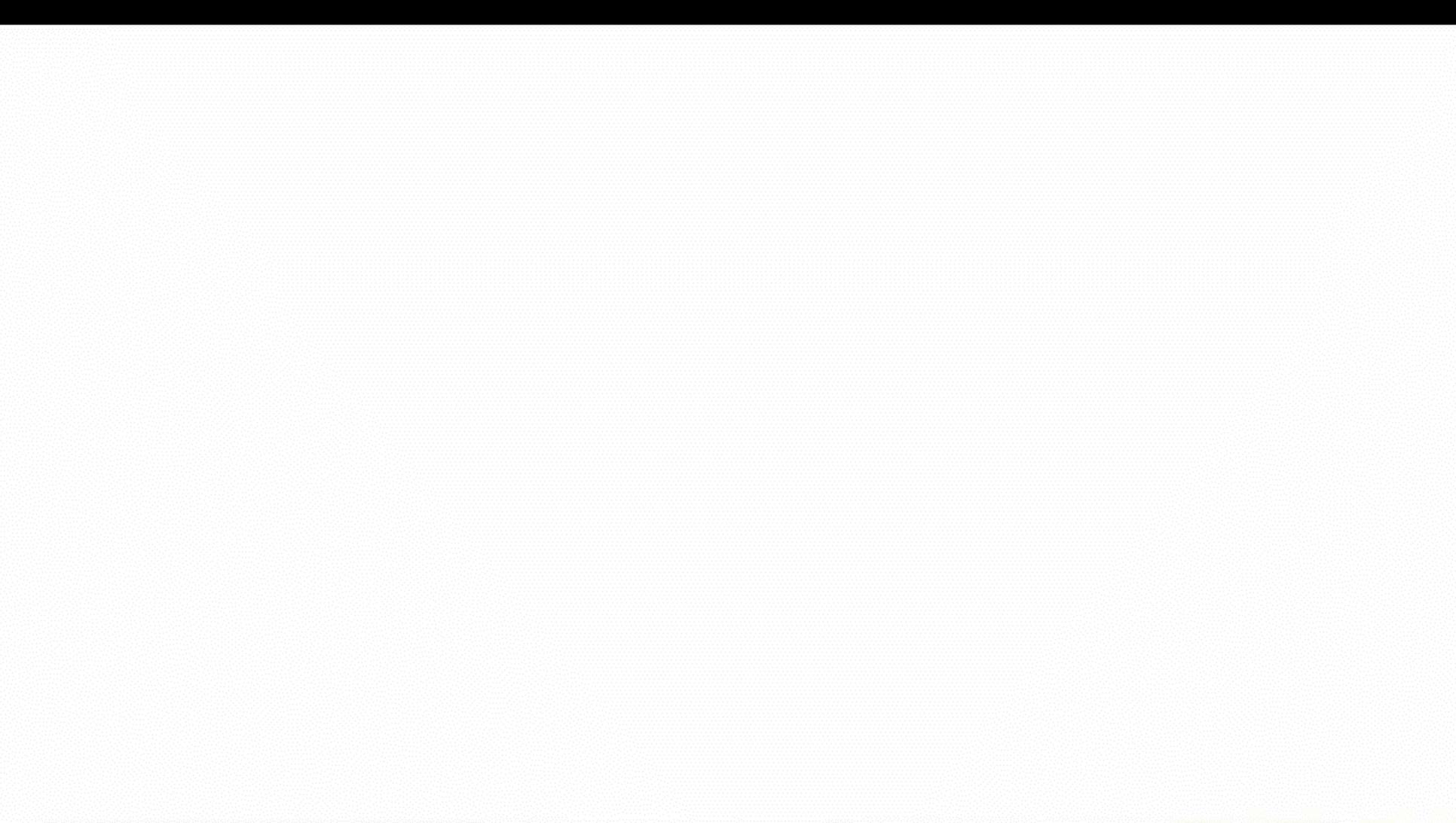






On analyse la variation de
quantités cinématiques et
thermodynamiques





L'étage

La structure de base pour l'analyse des machines axiales c'est l'étage

Un étage comprend un rotor (mobile) et un stator (fixe). Le rôle de ces composantes dépend s'il s'agit d'une turbine ou bien d'un compresseur

Dans un **compresseur**, le fluide est d'abord accéléré dans **le rotor** où il y a **un échange d'énergie** avec le fluide

Dans **le stator** on modifie la forme d'énergie: l'énergie cinétique résiduelle du fluide est transformée en pression

L'étage

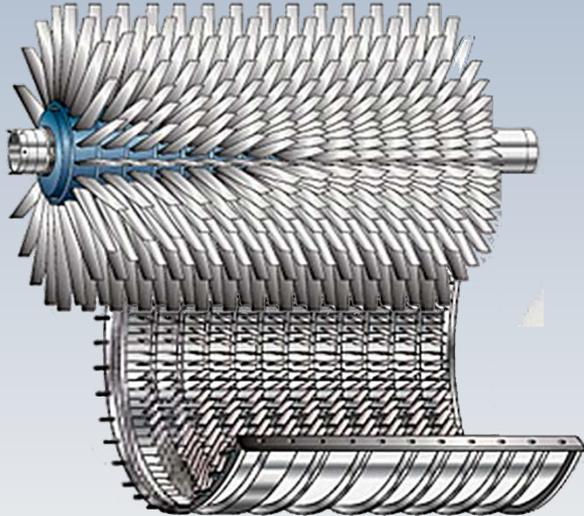
Dans une **turbine**, le fluide à haute énergie est d'abord et accéléré et guidé dans le stator pour l'ajuster aux exigences géométriques est cinématiques du rotor

Par la suite, l'énergie cinétique de l'écoulement est transmise au rotor en même temps qu'un changement de direction a lieu

Ces processus sont répétés pour des étages consécutifs

Agencement Rotor-Stator

Rotor



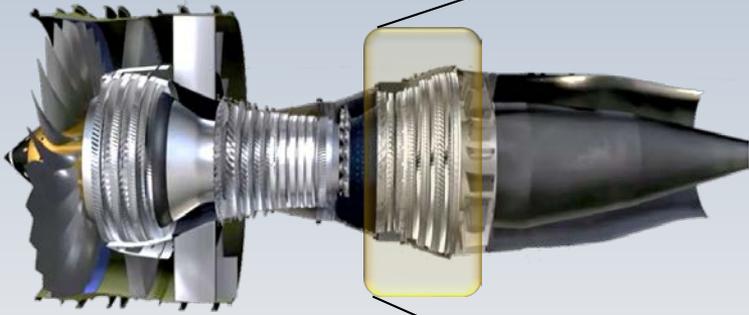
Stator

Les étages, ou agencements rotor stator, se répètent plusieurs fois dans une machine axiale

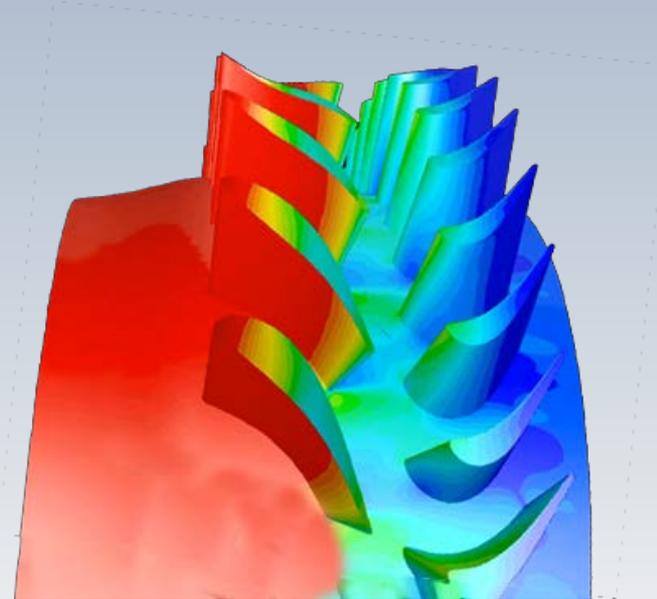
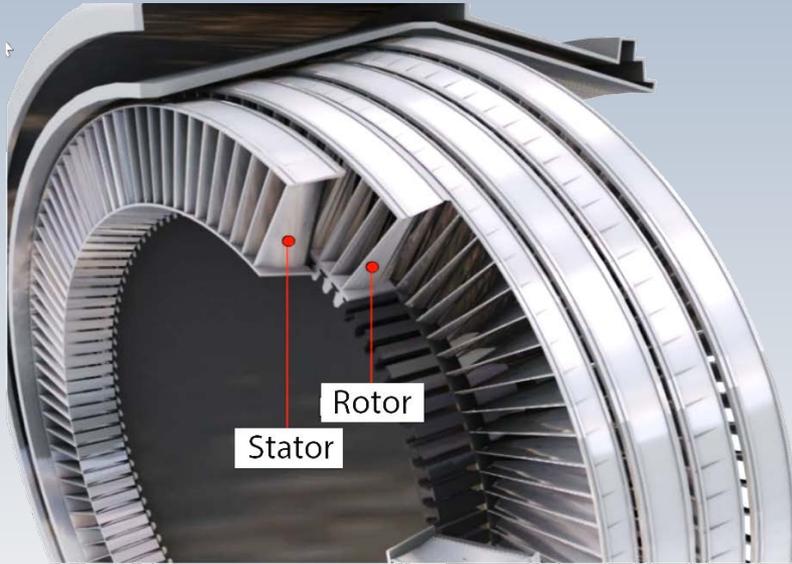
La turbine

Maintenant nous commençons à regarder l'étage d'une turbine
La figure suivante illustre diverses composantes d'une turbine à gaz, accompagnée d'un agrandissement de la turbine

La turbine

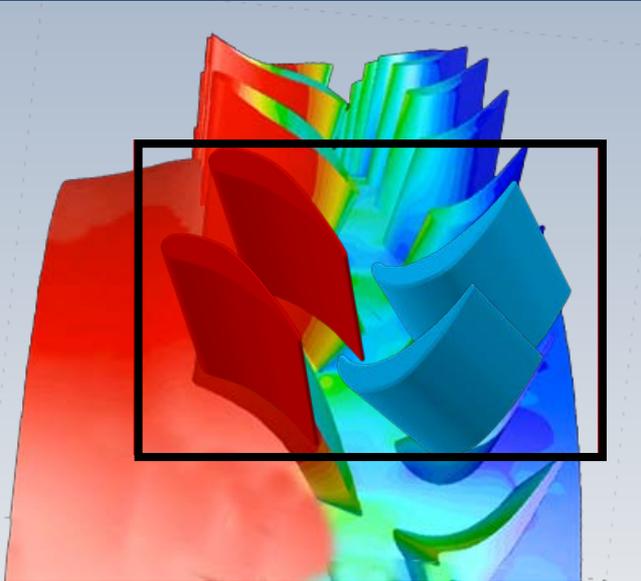


L'étage d'une turbine



Séquence rotor stator et profils des aubes

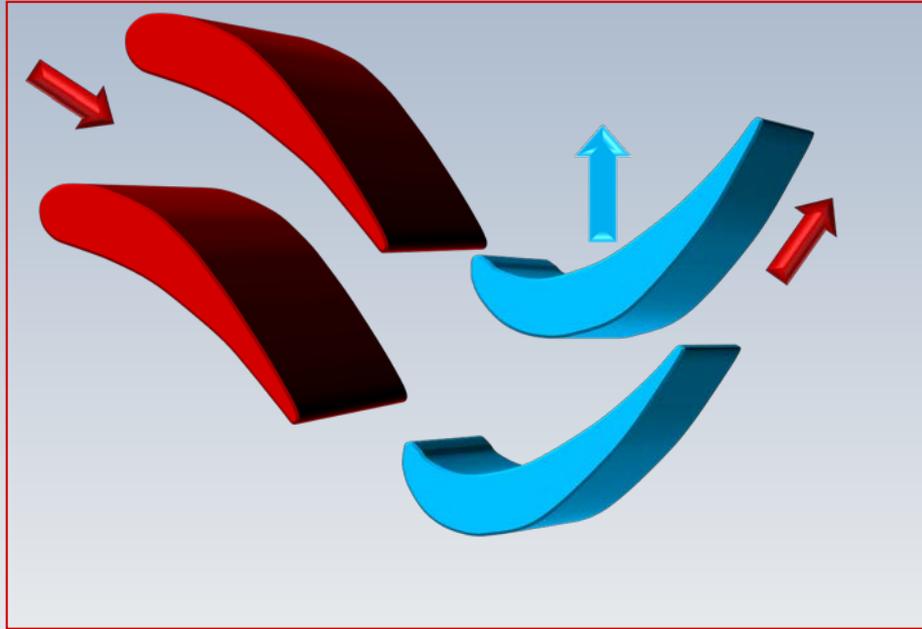
Étage



Une paire d'aubes de chaque couronne de l'agencement stator-rotor est isolée, pour donner lieu à la notion d'étage

Extraction d'un étage

Étage

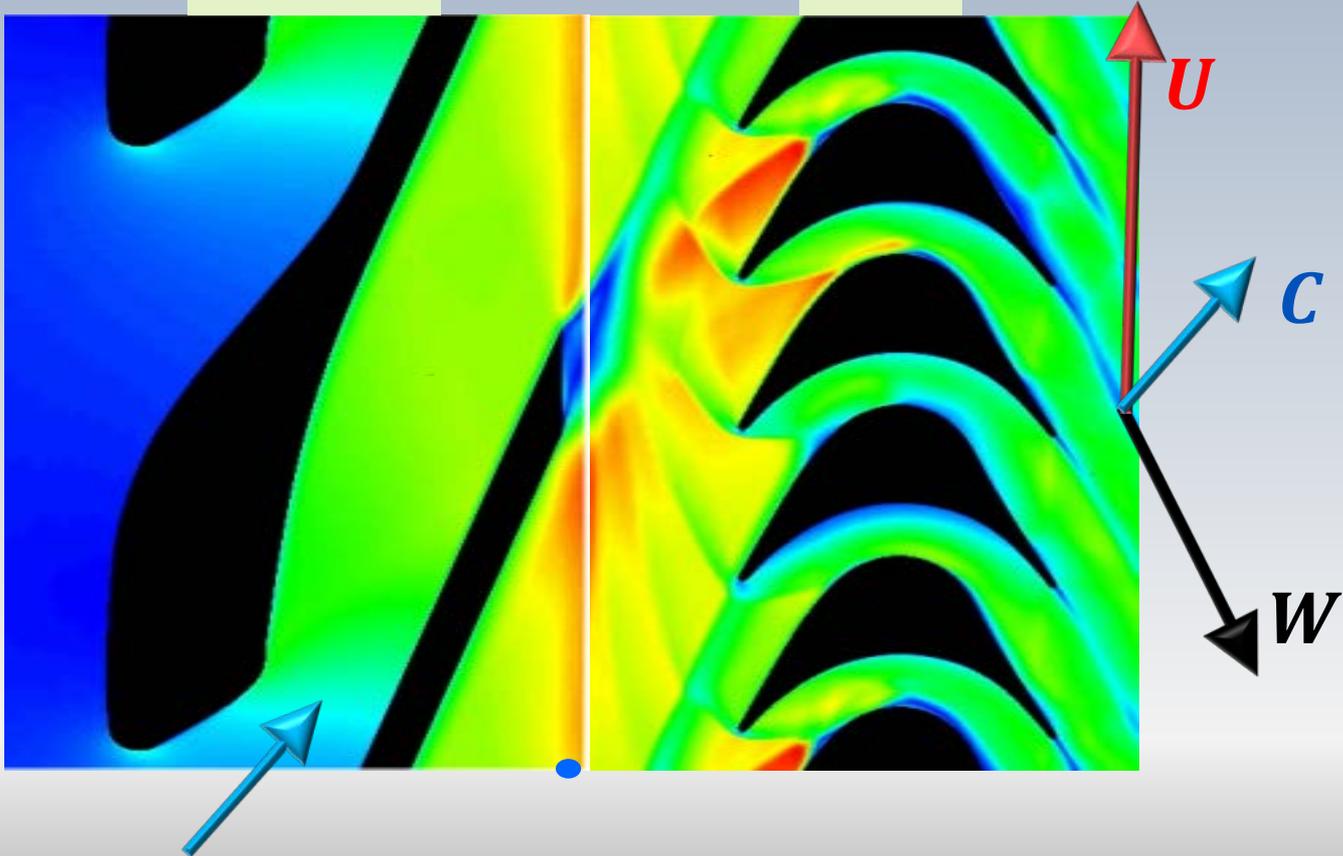


À cause du mouvement relatif du rotor par rapport au stator, deux types de **vitesse**s, **relatives et absolues**, seront présentes

Vitesses

Stator

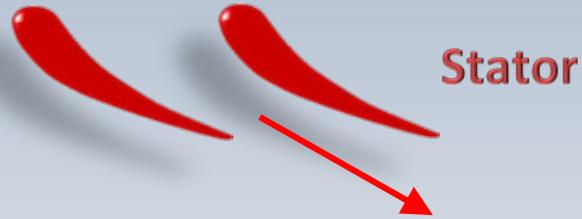
Rotor



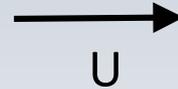
Turbine: stations



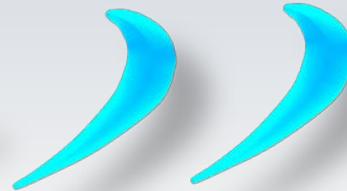
①



②



Rotor

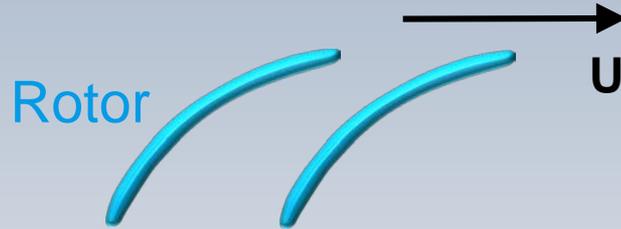


③

Compresseur: stations



①



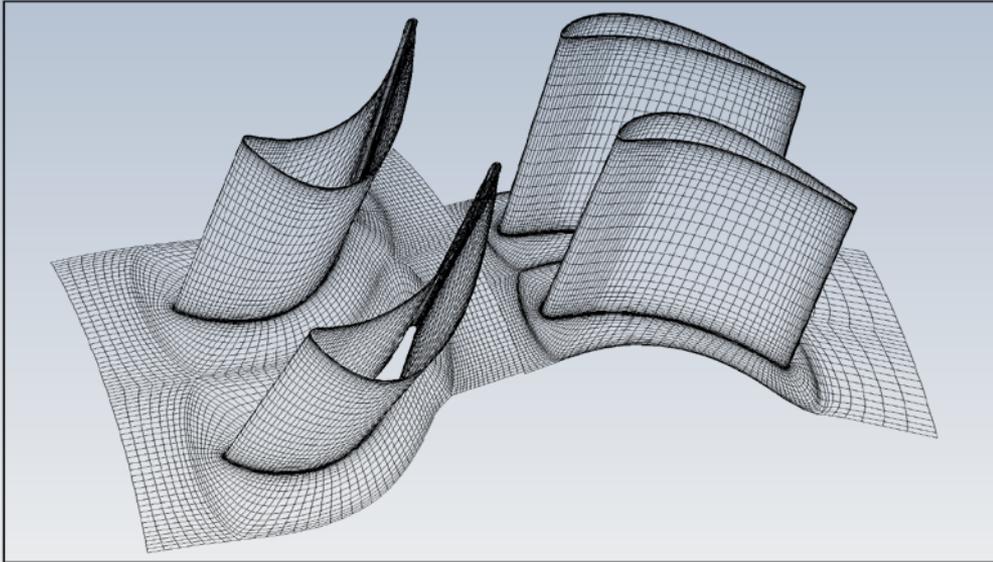
②



③

Ce que nous ne regardons pas!

Le canal interaube



Effets 3D

Effets visqueux

Distribution de pression

Traînée, Portance

Écoulement instationnaire

Interaction fluide structure

Turbulence

