

Leçon 4 : Modèle d'un écoulement parfait

Niveau :

- CPGE

Pré-requis :

- hydrostatique
- Mécanique

Bibliographie :

- Hydrodynamique
- Dunod PC

Introduction

On cherche dans cette leçon à relier le mouvement d'un fluide à ses causes. Dans un fluide en mouvement les actions de contact ne se réduisent pas qu'aux forces de pression comme en statique des fluides. On va s'intéresser ici à décrire un modèle d'écoulement décrivant un fluide qui s'écoule sans viscosité, sans frottement.

1. Modèle de l'écoulement Parfait

1.1. Qu'est-ce qu'un écoulement parfait

Il s'agit d'un fluide de viscosité nulle. C'est le cas de l'Hélium 4 lorsqu'il est refroidit à $T = 2.17$ K. C'est surtout une approximation dans le cas où les perturbations de vitesse dues à la viscosité n'ont pas le temps de diffuser par viscosité dans le temps de passage du fluide (temps courts) = processus adiabatique.

1.2. Équation d'Euler

On considère une particule fluide dans un référentiel R supposé galiléen. Cette particule fluide est soumise aux forces de pression, ainsi qu'à d'autres forces d'interaction. On supposera la viscosité négligeable. On écrit le bilan de quantité de mouvement :

$$\delta m \vec{a} = -\nabla p d\tau + d\vec{F} \quad (1)$$

On développe le terme de variation de la vitesse et on parvient à l'équation d'Euler. On peut détailler le cas où la particule est soumise uniquement au champ de pesanteur. Remarque : On a pas eu besoin d'écrire l'hypothèse d'incompressibilité de l'écoulement. On a une équation à 4 inconnues v_x, v_y, v_z et p . Il faut ajouter les conditions aux limites ainsi que l'équation de conservation de la masse pour pouvoir résoudre le problème.

1.3. Conditions aux limites

Dans tout écoulement le fluide ne pénètre pas les parois imperméables.

$$\vec{v} \cdot d\vec{S} = 0, \vec{v} \cdot d\vec{S} = \vec{v}_e \cdot d\vec{S} \quad (2)$$

Comme l'écoulement est parfait pas de frottement entre le fluide et la paroi. Si on a un écoulement visqueux $\vec{v}_{||} = \vec{v}_p$.

Transition : Ce modèle peut-il décrire de vrais écoulements ?

1.4. Conséquences

On peut montrer des illustrations présentes dans l'hydrodynamique Physique.

On peut montrer la vidéo https://www.youtube.com/watch?v=2Z6UJbwxBZI&ab_channel=ryanhaart et commenter.

2. Le théorème de Bernoulli

1. Énoncé

On se place dans le cas d'une particule fluide soumise à la pesanteur. Écoulement stationnaire, irrotationnel, incompressible et homogène. On parvient à l'équation de Bernoulli.

2.1. Application

2.2. Effet Venturi

Notamment utilisé pour la voile par les skippers. On peut montrer une expérience qualitative pour introduire le tube de Pitot ensuite.

2.3. Mise en pratique avec le tube de Pitot.

On décrit le système et les équations. On décrit bien les lignes de courant appliquées. Conservation du débit.

On réalise l'étalonnage d'un appareil de mesure utilisé sur les avions : le tube de Pitot. Décrire l'appareil et le principe. Bien savoir expliquer la mesure de la vitesse par l'anémomètre à fil chaud. Expliquer le principe. Faire quelques mesures devant le jury en montrant la variation du niveau de liquide dans le tuyau et le relier à la vitesse sur regressi. Concernant les incertitudes. On prendra les incertitudes constructeur pour les valeurs de vitesses données par l'anémomètre et pour le relevé de la pression sur la lecture de la différence de niveau à la règle et sur l'inclinaison du niveau.

3. Limite du modèle : écoulement réel

Notion de couche limite. En pratique il existe une couche limite dans laquelle la viscosité a un effet :

$$\delta = \frac{L}{Re} \quad (3)$$

Lorsque Re est grand δ devient petit mais non nul. On peut parler des ailes d'avion, on préfère éviter le décollement des couches limites, turbulences ...

3.1. Conclusion

Conclure sur le modèle présenté et les applications qui en découlent puis énoncé les limites. Modèle efficace pour traiter des écoulements loin des parois ou d'obstacles. En revanche l'analyse des fluides au voisinage d'un obstacle doit être traitée avec Navier Stokes ou du moins en s'intéressant aux comportements au voisinage des parois.