

Niveau L2.

Prérequis : mécanique du point, premier principe et identités thermodynamiques, chapitre « description d'un fluide en mouvement » du programme de PC (lignes de champ, dérivée particulaire, conservation de la masse, types d'écoulements)

I | DÉFINITION ET PROPRIÉTÉS DE L'ÉCOULEMENT PARFAIT {1}

I.A. Écoulement parfait

- définition du système
- DEF : densité volumique d'une force
- DEF : fluide parfait

[citer un fluide anisotrope. Fluide ferromagnétique → passer plus rapidement sur cette hypothèse, vérifiée dans la majorité des cas]

- DEF : écoulement parfait et hypothèses simplificatrices (pas de sources locales de chaleur)

I.B. Étude thermodynamique [calculatoire, on ne sent pas assez la physique : à enlever]

Premier principe en terme de puissance → (théorème de Reynolds) → écoulement parfait isentropique

II | ÉQUATION D'EULER (bref historique de la mécanique des fluides en effaçant le tableau)

II.A. Force volumique pressante [à passer en prérequis avec toute la statique des fluides]

Volume cubique élémentaire → $-\overrightarrow{\text{grad}} p$

II.B. Équation d'Euler {1}

PFD → Euler

[conditions d'applications du PFD ? Point matériel → il s'agit ici du thm de la résultante dynamique]

II.C. Application : la portance {2}

Euler projetée sur la normale à une ligne de courant : $\partial_r p = \rho v^2 / r > 0$ → profil d'aile d'avion : résultante verticale ascendante [démonstration possible avec Bernoulli : rétrécissement des tubes de courant]

Manip [effet Coandă] : lévitation d'une balle de ping-pong dans le jet d'un sèche-cheveux → transparent
Attention, en pratique, on observe une rotation, c'est l'effet Magnus ; l'approximation fluide parfait est très discutable.

III | THÉORÈME DE BERNOULLI

III.A. Hypothèses et énoncé {2,3}

Euler stationnaire et conservative → sur une ligne de courant, $v^2/2 + e_p + h = cste$

Rq. 1 : écoulement incompressible : $h = p/\rho + cste$

Rq. 2 : écoulement incompressible et irrotationnel : valable dans tout le fluide

Rq. 3 : écoulement incompressible et action du poids uniquement : $v^2/2 + gz + p/\rho = cste$

III.B. Application : effet Venturi {2}

Classique → transparent [pression minimale de validité ? Pression de vapeur saturante]

Application : la trompe à eau → transparent

III.C. Application : formule de Torricelli {2}

Manip : vidange d'une cuve → transparent

Conseil : utiliser le bidon "Poiseuille", il y a un robinet en bas (remplissage avant la leçon).

Astuce : lancer la vidange, présenter la manip, discuter la quasi-stationnarité et faire le calcul, en répétant un peu, la vidange sera terminée à la fin de la présentation.

CONCLUSION/OUVERTURE : retour sur Magnus, sur le fait que la vidange ne soit pas tout à fait terminée → viscosité, couche limite, à aborder dans une prochaine leçon

Bibliographie :

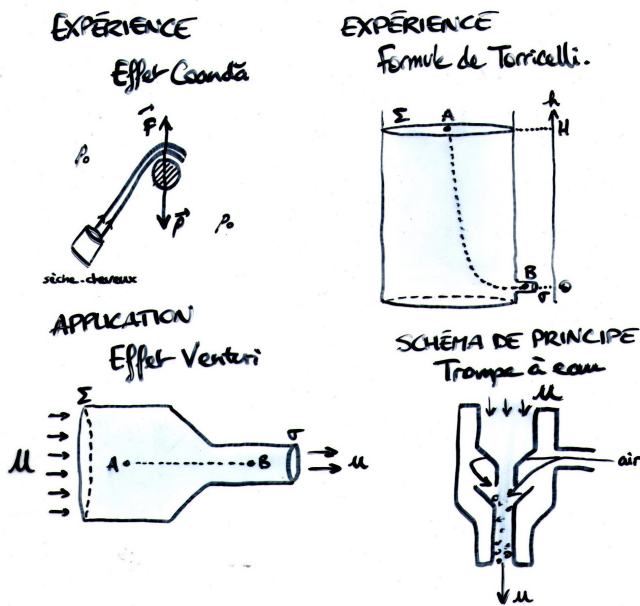
- {1} Rieutord M., *Une introduction à la dynamique des fluides*. De Boeck 2014 (532.2 RIE)
- {2} Sanz M.-N., *Physique tout en un PC PC**. Dunod 2014 (534 SAN)
- {3} Amiroudine S., Battaglia J.-L., *Mécanique des fluides*. Dunod 2011 (532.2 AMI)
- {4} Guyon, E., Hulin, J.-P., Petit L., *Hydrodynamique physique*. EDP sciences, DL 2001 (532.2 GUY)

Autres questions :

- ⊗ Conditions de validité : écoulement parfait ?
Loin des obstacles, des parois.
Construction d'une épaisseur de couche limite
- ⊗ Conditions de validité : fluide incompressible ?
Nombre de Mach faible
- ⊗ Discussion sur l'existence d'un théorème de Bernoulli non stationnaire : comme je ne savais pas, il m'a amené à parler de cavitation, de la propagation d'ondes acoustiques pour me faire dire que oui
Rq : le fluide doit être irrotationnel, on s'intéresse alors au potentiel vitesse

Autres remarques :

- ⊗ Il faut **ABSOLUMENT** traiter de la couche limite pendant la leçon, pas en ouverture ou en questions
- ⊗ C'est une leçon qui permet de montrer de la jolie physique, ne pas faire des maths appliquées : il faut supposer connues plus de notions pour arriver plus vite à l'équation d'Euler, puis en voir les applications et les limites



LPO9. MODÈLE DE L'ÉCOULEMENT PARFAIT D'UN FLUIDE

Remarques personnelles et nouvelle proposition de plan :

Admettre Navier-Stokes puis simplifier ne me semble pas très pertinent. Par contre, en mettant la viscosité en prérequis (comme indiqué dans tous les rapports depuis...), on peut obtenir directement Euler par l'application de la résultante dynamique. Voici un plan censé satisfaire les différentes remarques :

I | DYNAMIQUE DE L'ÉCOULEMENT PARFAIT

- I.A. Fluide et écoulement parfait : y rentrer l'isentropie, comme propriété, non démontrée
- I.B. Forces volumiques : rappel force pressante puis force de cisaillement $\eta \Delta \vec{v}$ "avec les mains"
- I.C. Équation d'Euler : application directe de la résultante dynamique, puis portance

II | THÉORÈME DE BERNOULLI

- II.A. Hypothèses et énoncé : dans le cas incompressible seulement
- II.B. Application : effet Venturi
- II.C. Application : formule de Torricelli

III | VALIDITÉ DU MODÈLE : COUCHE LIMITE

Rq. La référence {4} (ch.VI, en annexe) traite *the* exemple de fluide parfait : ^4He superfluide.

À part pour ça, j'ai préféré de loin les références {1} et {2}

N'hésitez pas à me demander plus de précisions : antoine.lucquiaud[AT]ens-cachan[.]fr