

MÉCANIQUE DES FLUIDES (Cours et exercices)

MF0 : RÉVISIONS DE STATIQUE DES FLUIDES

Équilibre d'une particule fluide dans un référentiel quelconque, relation fondamentale de l'hydrostatique, évolution de la pression dans un atmosphère isotherme (facteur de Boltzmann) et dans une atmosphère polytropique, invariant hydrostatique dans une phase condensée ($P + \rho gz = Cste$), poussée d'Archimède, Calculs de poussées.

MF1 : ÉTUDE PHÉNOMÉNOLOGIQUE DES FLUIDES

1. Modèle du fluide : État fluide, approximation des milieux continus,
2. Fluide en écoulement : Approche Lagrangienne, approche Eulérienne, Représentation et visualisation des écoulements (lignes de courant, trajectoires, lignes d'émission, cas des régimes stationnaires)
3. Dérivée particulière : dérivée locale, dérivée particulière d'un champ scalaire, dérivée particulière d'un champ de vecteur (vecteur accélération).
4. Conservation de la masse :
 - ✓ Débit massique, vecteur densité de courant massique.
 - ✓ Équation de conservation de la masse.
 - ✓ Cas des régimes stationnaires.
 - ✓ Cas où il existe des termes de source.
5. Forces spécifiques aux fluides.
 - ✓ Force de pression : Définition, résultante des forces de pression exercée sur une particule fluide, équilibre d'une particule fluide.
 - ✓ Forces de viscosité : Loi de Newton, résultante des forces tangentielles s'exerçant sur une particule fluide : force de viscosité.

MF2 : CINÉMATIQUE DES FLUIDES

1. Caractéristiques du champ des vitesses d'un fluide :
 - ✓ Exemples d'évolution de la particule fluide dans différents écoulements (dilatation, rotation, déformation).
 - ✓ Relation entre les phénomènes de dilatation et rotation de la particule fluide et le champ des vitesses (divergence et rotationnel)
2. Caractéristiques des écoulements : stationnaire ; incompressible, tourbillonnaire, potentiel (non tourbillonnaire).
3. Condition limites : conditions limites à l'infini, condition limite sur un obstacle fixe ou en mouvement.
4. Exemple d'écoulement tourbillonnaire (La tornade) :
 - ✓ Etude du champ des vitesses, détermination du champ des vitesses connaissant les paramètres ($a, \vec{\Omega}$) de la tornade.
 - ✓ Cas particulier du Vortex.
5. Exemple d'écoulement potentiel incompressible (écoulement bidimensionnel) :
 - ✓ Écoulement potentiel incompressible : Équation de Laplace pour le potentiel des vitesses.
 - ✓ Description d'un écoulement bidimensionnel (conduite percée de trous répartis uniformément) : Étude du champ des vitesses, calcul du champ des vitesses connaissant le débit volumique linéaire.

MF3 : DYNAMIQUE DES FLUIDES PARFAITS

1. Equation d'Euler :
 - √ Équation d'Euler.
 - √ Équation locale de la statique des fluides.
 - √ Recherche d'un système complet d'équations.
 - √ Évolution de la pression dans un plan perpendiculaire à un écoulement 1D.
 - √ Influence de la courbure sur les lignes de courant - Effet Coanda
2. Théorèmes de Bernoulli :
 - √ Projection de l'équation d'Euler sur une ligne de courant.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible stationnaire.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible stationnaire non tourbillonnaire.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible non tourbillonnaire (avec ϕ).
3. Applications :
 - √ Jet homocinétique dans l'air.
 - √ Vidange d'un réservoir – Formule de Torricelli.
 - √ Effet Venturi : Exemples simples (Voir site de la classe), trompe à eau, débitmètre à effet Venturi.
 - √ Effet Magnus (approche qualitative) - Théorème de Kutta (HP), application à différents sports de balle, aile d'avion.

MF3 : DYNAMIQUE DES FLUIDES PARFAITS

1. Equation d'Euler :
 - √ Équation d'Euler.
 - √ Équation locale de la statique des fluides.
 - √ Recherche d'un système complet d'équations.
 - √ Évolution de la pression dans un plan perpendiculaire à un écoulement 1D.
 - √ Influence de la courbure sur les lignes de courant - Effet Coanda
2. Théorèmes de Bernoulli :
 - √ Projection de l'équation d'Euler sur une ligne de courant.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible stationnaire.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible stationnaire non tourbillonnaire.
 - √ Cas d'un écoulement parfait incompressible non tourbillonnaire (avec ϕ).
3. Applications :
 - √ Jet homocinétique dans l'air.
 - √ Vidange d'un réservoir – Formule de Torricelli.
 - √ Effet Venturi : Exemples simples (Voir site de la classe), trompe à eau, débitmètre à effet Venturi.
 - √ Effet Magnus (approche qualitative) - Théorème de Kutta (HP), application à différents sports de balle, aile d'avion.

MF4 : FLUIDES RÉELS EN ÉCOULEMENT

Équation de Navier-Stokes :

1. Équation de Navier – Stokes.
2. Conditions limites.
3. Écoulement de Couette.
4. Écoulement de Poiseuille.

Interprétation physique de la viscosité :

1. Transport convectif/diffusif de la quantité de mouvement : vecteurs densité de courant associés.
2. Comparaison des deux types de transfert avec le nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{\|\vec{a}_{convective}\|}{\|\vec{f}_{viscosite,m}\|} = \frac{\|\vec{j}_{convectif}\|}{\|\vec{j}_{diffusif}\|}$$

3. Écoulement laminaire/écoulement turbulent, exemples d'écoulements laminaires (écoulements rampants et écoulements potentiels incompressibles), écoulement parfait.
4. Notion de couche limite

Écoulement autour d'un obstacle :

1. Description de l'écoulement autour d'un objet : écoulement autour d'un cylindre en fonction de Re (écoulement laminaire, zone de recirculation, allée de Von Karman, écoulement turbulent...), écoulement autour d'une sphère en fonction de Re .
2. Interprétation : évolution du profil des vitesses dans la couche limite, caractère laminaire ou turbulent de la couche limite, décollement de la couche limite.

Forces de traînée/Portance :

1. Définition ; traînée en régime laminaire (formule de Stokes) ; traînée en régime turbulent (C_x et maitre couple) ; cas général
2. Nouvelle expression du nombre de Reynolds : $Re = \frac{\text{rapport traînée à grande vitesse}}{\text{traînée à faible vitesse}}$
3. Étude expérimentale de $C_x(Re)$ pour le cylindre et la sphère.

MF5 : Bilans mécaniques et thermodynamiques

1. Principe (Révision) : système fermé, système ouvert coïncidant, bilan d'une grandeur extensive, énoncés des théorèmes de mécanique et de thermodynamique en termes de bilan.
2. Exemples traités en cours : force exercée par un fluide sur une conduite dont la section varie et force exercée par un opérateur pour maintenir la conduite fixe ; force exercée par un jet d'eau sur une plaque ; force exercée sur un chariot mobile ; fusée (condition de décollage, vitesse en fonction du temps) ; démonstration du théorème de Bernoulli par un bilan d'énergie cinétique, choix de la puissance d'une pompe, modèle de Betz (Ventilateur, bateau, éolienne, limite de Betz), ressaut hydraulique.

Électronique (Cours et exercices)

EL5 : Modulation d'amplitude - Détection synchrone

1. Multiplication d'un signal sinusoïdal par lui-même, principe de la détection quadratique.
2. Multiplication de deux signaux sinusoïdaux, principe de la détection synchrone.
3. Modulation d'amplitude :
 - ✓ Principe, signal modulant, signal porteur.
 - ✓ Obtention d'un signal modulé à l'aide d'un multiplieur, nécessité d'ajouter un signal continu au signal modulant.
 - ✓ Taux de modulation. Cas de la surmodulation.
 - ✓ Mesure du taux de modulation.
 - ✓ Détection d'un signal modulé par détection synchrone ou à l'aide d'un détecteur de crête.
4. Mesure d'impédance par détection synchrone