

TP MF1 : Panorama de mécanique des fluides

Ce TP se fera exclusivement sur ordinateur. Pour autant, il ne s'agira pas seulement de modèles théoriques et/ou de simulations d'écoulements. Les documents illustratifs seront le plus souvent des films d'écoulements réels. Ils sont le plus souvent présentés en parallèle d'équations de modélisation dont il est important d'identifier les termes, leur signification et leur importance relative (dans des sommes !) en fonction des situations. Les modèles semi-empiriques de pertes de charge (régulières et singulières) dans les circuits hydrauliques ou aérauliques ont pour but de dimensionner les installations et d'en calculer le coût énergétique et/ou économique lors du transport dans les conduites (l'application à des exemples industriels est prévue dans le TP MF2 de la série tournante à suivre).

Cette étude de documents numériques a également le mérite de consolider votre compréhension de textes scientifiques (courts) en anglais et doit donner lieu à un compte-rendu ...en français.

1. « Navigation » dans le dossier « Mécanique des fluides Multimedia 2 »

(Université de Stanford+ONERA publié par Cambridge University Press et Elsevier en France)

Vous trouverez l'exécutable MFM2.exe dans le dossier **Program files(x86)/Mecaflex/MFM2/windows**

La fenêtre ci-dessous apparaît au démarrage proposant les rubriques du contenu :



Vous naviguez dans l'ordre dans les sections **Kinematics** (**Cinématique**), **Dynamics** (**Dynamique**) puis **Boundary Layer** (**Couche limite**) en vous intéressant **en priorité** aux onglets/items suivants et dans l'ordre indiqué.

Vous répondrez spécifiquement aux questions posées dans cet énoncé.

Rq: Vous pouvez revenir en arrière dans l'historique de votre navigation personnelle (à l'intérieur d'un thème seulement) (icône de flèche retour en haut à gauche)

DOSSIER (ONGLET) : CINÉMATIQUE

- **VISUALISATION DES ÉCOULEMENTS** (items 59 à 90)
 - ➔ Rappeler les définitions des 4 types de lignes de fluide (reconnaitre les notations du document)
 - ➔ Quel type d'écoulement cherche-t-on à « simuler » dans les cellules de Hele-Shaw ? Principe ?
- **LIGNES DE COURANT (ET FONCTION COURANT)** (items 119 à 129)
 - ➔ Comment relie-t-on (écoulement 2D de hauteur h) le débit volumique à la fonction courant ?
- **ROTATIONNEL (VORTICITY)** (items 130 à 139)
 - ➔ Relation entre le rotationnel du champ des vitesses et le vecteur rotation instantané local ?
 - ➔ Pourquoi un écoulement rotationnel est aussi nommé écoulement « potentiel » ?
 - ➔ Relation entre le rotationnel et la fonction courant ?
- **ÉCOULEMENT COMPRESSIBLE OU INCOMPRESSIBLE** (items 50 à 58)
 - ➔ Ecrire et interpréter l'équation d'Euler
 - ➔ Ecrire l'équation de continuité d'un fluide (+ cas particulier d'un écoulement incompressible)

DOSSIER (ONGLET) : DYNAMIQUE

- **ÉQUATION DE NAVIER-STOKES** (items 149 à 167)
 - ➔ Écrire les deux équations gouvernant l'évolution d'un champ eulérien des vitesses (2D)
 - ➔ Quelle force semble manquer ? Pourquoi ?
 - ➔ Quelle(s) équation(s) (conditions supplémentaires) manque-il pour obtenir le champ des vitesses ?
- **NOMBRE DE REYNOLDS** (items 191 à 229)
 - ➔ Définition du Re et séparation des régimes d'écoulement
 - ➔ Quand (dans quels domaines de Re) considère-t-on qu'un écoulement est « dominé » plutôt par la viscosité ou par l'inertie ? Termes prépondérants dans Navier-Stokes ?
- **TRAINEE (ET PORTANCE)** (items 252 à 266)
 - ➔ Définition du coefficient de traînée (C_D ou C_x)
 - ➔ Allure des courbes $C_D(Re)$ pour des obstacles « immergés » (ordre de grandeur des Re limites de zones(linéaire(rampant), laminaire, transition, turbulent, crise de résistance...))
- **VIRTUAL LAB**
 - ➔ Simulation cinématique d'écoulements laminaires autour d'obstacle (par superposition d'écoulements : uniforme, puits ou source de masse, doublet (dipôle) puits-source, vortex...)
 - ➔ Chercher à simuler :
 - ✓ L'écoulement autour d'un cylindre immobile placé dans un écoulement uniforme
 - ✓ L'écoulement autour d'un cylindre en rotation uniforme dans cet écoulement

DOSSIER (ONGLET) : COUCHE LIMITE

- **VISCOSITÉ = DIFFUSION DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT** (items 612 à 621)
 - ➔ Épaisseur d'une couche limite laminaire sur plaque
 - ➔ Réaliser les mesures sur vidéo (621)
 - ➔ Traduire les viscosités en Poiseuille (et confirmer les valeurs)
- **INSTABILITÉS, TRANSITION, TURBULENCE** (items 676 à 680 puis 694-695)
 - ➔ Transition de la couche limite
 - ➔ Qu'est-ce qu'un point de séparation ? Rôle du régime dans la couche sur la position de ce point et conséquences ?

DOSSIER (ONGLET) : SIMILITUDE (PARAMETRES ADIMENSIONNÉS)

- **FACULTATIF : RECHERCHE DE PARAMÈTRES ADIMENSIONNÉS CARACTÉRISTIQUES :**
(items 547 à 550)
EXPÉRIENCES TUBE EN U AVEC DES NOMBRES DE REYNOLDS DIFFÉRENTS
- **MESURE DE VISCOSITÉ PAR ÉCOULEMENT DE RÉSERVOIR** (items 555 à 558)

DOSSIER (ONGLET) : VOLUMES DE CONTROLE

- **FACULTATIF : PIPE FLOW VIRTUAL LAB : ESTIMATION DE PERTES DE CHARGE DANS UN CIRCUIT HYDRAULIQUE POUR DES DÉBITS ENVISAGÉS**

2. Analyse du document papier « Reynolds et mesures vélocimétriques »

2.1. Régimes d'écoulements : Reynolds et couche limite

- a. Quelles sont les valeurs du nombre de Reynolds bornant la transition laminaire-turbulent :
 - a.1. Pour les obstacles « baignés » dans un écoulement fluide ?
 - a.2. Pour les écoulements dans les conduites cylindriques
- b. On vous propose une interprétation du nombre de Reynolds comme un **temps de diffusion** de quantité de mouvement (transport microscopique lié à la viscosité et au gradient de vitesse) sur une longueur L divisé par un **temps de convection** (la particule mésoscopique se déplace avec sa quantité de mouvement) sur la même longueur L . Rappeler une équation de diffusion du cours pour confirmer la proposition :

$$\tau_{diffusion} \# \frac{L^2}{D}$$

- c. Pour quels nombres de Reynolds dit-on que le transfert de quantité de mouvement est plus efficace par diffusion que par convection ? Quelle appellation réserve-t-on pour ces écoulements.
- d. Quelle relation entre C_x et Re observez-vous (figure 6) :
 - d.1. Pour des $Re < 10$?
 - d.2. Pour des $1000 < Re < 100000$?
- e. L'écoulement autour d'un parachutiste et de son parachute ouvert est-il laminaire ou turbulent ? Justifier par un calcul utilisant des ordres de grandeur convenables.
- f. Décrire ce qu'est une couche limite. Qu'est-ce que la recirculation ? Quelles sont ses conséquences ?
- g. Une couche limite peut-elle être irrationnelle, laminaire, turbulente ?
- h. La portée d'une balle de golf est nettement supérieure à la portée d'une balle lisse de même diamètre et de même masse. Expliquez qualitativement pourquoi et à quel ordre de grandeur de nombre de Reynolds cela correspond.

2.2. Anémométrie Doppler LASER

- i. Décrire en une phrase l'effet Doppler.
- j. En vérité, un signal de fréquence ν_1 arrivant d'un émetteur fixe dans le sens et la direction du vecteur unitaire \mathbf{e}_1 puis réémis par diffusion par une cible (en mouvement relatif à la vitesse \mathbf{V} non-relativiste) dans la direction \mathbf{e} vers un récepteur (immobile dans le référentiel de l'émetteur primaire) subit une variation relative de fréquence (entre l'émission et la réception) :

$$\frac{\nu''_1}{\nu_1} = \left(1 - \frac{\vec{V} \cdot \vec{e}_1}{c} \right) \cdot \left(1 + \frac{\vec{V} \cdot \vec{e}}{c} \right)$$

A quelle(s) conditions obtient-on l'expression trouvée dans l'énoncé, soit :

$$\delta v_{D1} \approx \frac{\vec{V} \cdot (\vec{e} - \vec{e}_1)}{\lambda} ?$$

- k. Quelles fréquences temporelles contiennent les signaux revenant vers le récepteur ? Quelles fréquences contient le signal « d'interférence » correspondant aux variations de l'**intensité lumineuse** reçue ? Pourquoi ces variations peuvent-elles être suivies temporellement ?
- l. La démodulation consiste à multiplier un signal image de l'intensité du faisceau par un signal de fréquence $\nu_{b1} - \nu_{b2}$. Quelle(s) fréquence(s) subsiste(nt) dans le signal « produit » ?

m. Justifier l'expression :
$$\delta v_D = \frac{2.V \cdot \cos(\phi) \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\lambda}$$

2.3. **PIV**

- n. Décrire le principe de la vélocimétrie par intercorrélation. (trois phrases)
- o. Mesure-t-on la vitesse d'une particule d'ensemencement ou bien une vitesse moyennée spatialement (si oui sur quelle zone ?)
- p. Pourquoi le LASER doit-il être pulsé à haute fréquence ?