

PROJET CFD – Cours MGA803

Le projet final consiste à étudier la dynamique de l'écoulement autour d'un obstacle de section carrée à différents régimes : stationnaire et instationnaire.

I. Introduction

Les écoulements autour d'obstacles solides immobiles (ou de façon équivalente les mouvements stationnaires d'un solide au sein d'un fluide immobile à l'infini) constituent une famille d'écoulements dont les applications sont nombreuses en aérodynamique et en acoustique. On qualifie ces écoulements d'écoulements externes par opposition aux écoulements dans les domaines fermés appelés écoulements internes.

On s'intéresse ici à un écoulement 2D autour d'un obstacle carré de côté D . Les écoulements 2D autour d'obstacles circulaires ont été souvent étudiés, expérimentalement et numériquement. Les écoulements analogues autour d'obstacles carrés ont suscité un peu moins d'attention et constituent un cas d'étude difficile qui fait actuellement l'objet de nombreuses recherches. Les phénomènes et les différents régimes observés sont similaires, mais les résultats quantitatifs diffèrent en raison de la présence d'arêtes vives qui induisent des décollements plus brutaux que pour des sections circulaires. Ces arêtes vives compliquent également la mise en œuvre de schémas numériques. Les applications pratiques d'écoulements autour d'obstacles présentant des angles sont cependant nombreuses.

Dans ce projet, vous mettrez en évidence les différents régimes d'écoulement, et chercherez quelques résultats quantitatifs.

II. Description physique

Considérons un cylindre à section carrée de côté D , de longueur infinie et d'axe normal à la vitesse de l'écoulement à l'infini U_0 .

Quand le nombre de Reynolds est très petit ($Re \ll 5$), l'écoulement autour de l'obstacle est un écoulement de Stokes. Il se comporte presque comme un écoulement potentiel (fluide parfait); il n'y a qu'un très faible décollement dû à la présence des angles.

Pour $Re > 5$ (mais pas trop élevé), l'écoulement est stationnaire symétrique et on observe des recirculations au passage de l'obstacle. Il apparaît tout d'abord derrière l'obstacle deux tourbillons symétriques. Puis, des recirculations apparaissent sur les bords d'attaque du carré en haut et en bas. Les longueurs de sillage tourbillonnaire peuvent alors être calculées en fonction du nombre de Reynolds.

Pour des nombres de Reynolds supérieurs à 45, l'écoulement est instationnaire. Les tourbillons se détachent l'un après l'autre, et forment peu à peu l'allée caractéristique de Bénard-Karman, phénomène analogue à celui qui se produit pour un obstacle à section circulaire. Cette allée tourbillonnaire a été l'objet d'importantes recherches expérimentales de la part de Bénard, mais on doit à Von Karman d'en avoir fait l'étude théorique. Du fait de la dissymétrie de l'écoulement et de la périodicité du phénomène, il apparaît une fréquence d'émission des tourbillons f (visible sur l'évolution temporelle de chaque variable, par exemple les vitesses longitudinale et transversales en certains points choisis).

On construit alors le nombre sans dimensions de Strouhal tel que :

$$S_t = \frac{fD}{U_0}$$

III. Modélisation

Vous considérerez un écoulement d'air de masse volumique $\rho = 1,225 \text{ kg.m}^{-3}$, de viscosité dynamique $\mu = 1,8 \times 10^{-5}$ et de vitesse U_0 , autour d'un obstacle de section carrée. Les dimensions du domaine sont données sur la figure 1. Vous prendrez $D = 1 \text{ m}$.

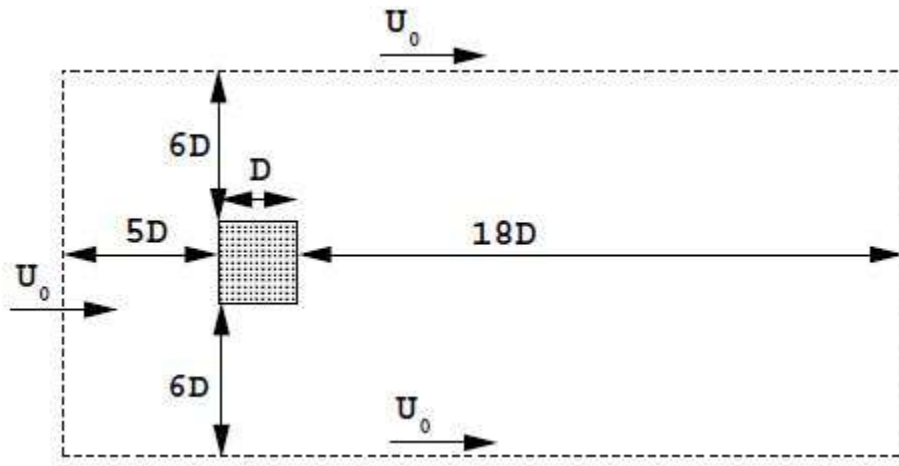


Figure 1-Domaine de calcul.

IV. Simulation

1. Préambule : Étude numérique

Définissez les conditions limites pour les frontières de l'entrée, de haut du bas et de la sortie du domaine. Puis, vous étudierez la convergence des résultats par rapport au maillage. Pour cela vous allez étudier l'évolution de la vitesse axiale pour trois différentes tailles de mailles (grossier, moyen et fin).

2. Simulation d'un écoulement à très faible Reynolds ($Re < 5$)

Pour $Re = 1$, vous allez simuler à l'aide de STARCCM+, un écoulement stationnaire, laminaire.

- 2.a. Visualisez les lignes de courant et le champ de vorticité avec le post-traitement intégré dans STAR-CCM+.
- 2.b. Décrire et analyser vos observations en comparaison avec les résultats de la littérature.

3. Simulation d'un écoulement stationnaire ($20 < Re < 40$)

Pour un nombre de Reynolds inférieur au Reynolds critique ($Re_{cr} \approx 45$), simuler le cas $Re = 30$ d'un écoulement stationnaire, laminaire.

- 3.a. Visualisez les tourbillons symétriques.
- 3.b. Calculez la longueur de recirculation derrière l'obstacle. Pour cela, il faut regarder l'évolution de la vitesse longitudinale u dans le sillage.
- 3.c. Décrire et analyser vos observations en comparaison avec les résultats de la littérature.

4. Simulation d'un écoulement instationnaire ($Re > 10$)

Reproduire l'étude pour 3 nombres de Reynolds; $Re = 200, 500$, et 1000 pour simuler l'écoulement instationnaire (Annexe 1) autour de l'obstacle.

- 4.a. Visualisez les tourbillons instationnaires et calculez le nombre de Strouhal correspondant.
- 4.b. Comparer les résultats en fonction du nombre de Strouhal et du nombre de Reynolds.
- 4.c. Décrire et analyser vos observations en comparaison avec les résultats de la littérature.

Pour calculer le nombre de Strouhal, il faut enregistrer une donnée à l'aide d'un moniteur (Annexe 1). Ainsi, après de nombreux pas de temps, on visualise l'évolution des coefficients au cours du temps et on peut calculer la période des oscillations. En déduire la valeur de la fréquence f et le nombre de Strouhal correspondant.

5. Étude paramétrique sur la taille de l'obstacle

- 5.a. Refaites les mêmes études pour 2 tailles d'obstacle différentes : $D = 1.5 \text{ m}$ et 2.5 m .
- 5.b. Comparer les résultats en fonction des nombres de Strouhal et de Reynolds.
- 5.c. Décrire et analyser vos observations en comparaison avec les résultats de la littérature.

Annexe 1

Calcul instationnaire.

Dans STARCCM+, pour avoir un écoulement instationnaire :

- Choisissez dans 'continua' pour 'time' 'implicit unsteady'.

Pour choisir le pas de temps dans STARCCM+, allez dans Solvers > Implicit Unsteady. Vous l'imposerez dans Properties > time step.

Dans Starccm+, les critères d'arrêt (stopping criteria) sont importants. Ainsi, pour un écoulement instationnaire vous devez imposer un 'Maximum Inner Iterations', c'est-à-dire, le nombre d'itération que doit avoir un pas de temps, et aussi un 'maximum Physical Time', c'est-à-dire, le temps à simuler pour l'écoulement instationnaire. Dans ce cas l'allée de tourbillons met très longtemps à apparaître. Par conséquent, vous devez choisir un pas de temps important. Visualisez les champs de vorticité et les lignes de courant.

Important : Pour créer un monitor :

D'abord créer un report : ici par exemple 'maximum Velocity (pris sur un point)', puis faire :

- Clic-droit sur le report et faire create monitor and plot from report.