

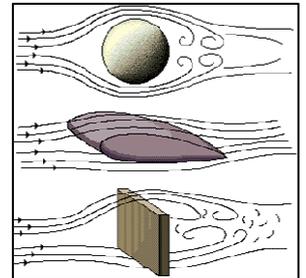
MECANIQUE DES FLUIDES

Force de frottement visqueux

1 – PREAMBULE

Lorsqu'un corps solide se déplace dans un milieu fluide, on observe une force qui s'oppose au mouvement. En effet, nous avons tous constaté par exemple que se mouvoir dans l'eau est plus dur que dans l'air.

⇒ On se propose ici de voir différents modèles de représentation du frottement fluide.



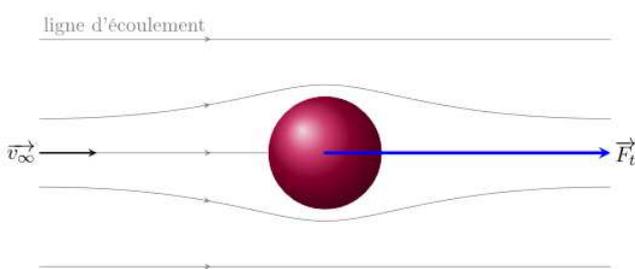
2 – CADRE THEORIQUE – FORMULES DE NAVIER-STOKES

Un formalisme théorique existe et donne lieu à des formules générales dites de Navier-Stokes. Trop complexes pour être abordées ici dans toute leur généralité, elles permettent d'étudier par exemple :

- ⇒ les courants océaniques ou les mouvements des masses d'air dans l'atmosphère,
- ⇒ le comportement d'un pont ou d'un immeuble sous l'action du vent,
- ⇒ le comportement aérodynamique d'un train, d'un avion ou d'une voiture

 La formulation générale de Navier-Stokes peut être simplifiée en se plaçant dans certains cas particuliers.

3 – FORMULES PRATIQUES



Dans la suite, on considère un corps solide plongé dans un milieu fluide avec une vitesse relative v . Le corps solide subit alors des forces de frottement \vec{F}_i qui tendent à le ralentir. L'expérience montre que ces forces de frottement peuvent dépendre fortement de la géométrie du corps solide, du nombre de Reynolds (qui dépend entre autre de la vitesse de l'écoulement) et de la viscosité dynamique (qui dépend sensiblement de la température).

- ⇒ Si le nombre de Reynolds est $R_e < 1$, **l'écoulement est laminaire** et les forces de frottement sont essentiellement dues à la viscosité, les effets cinétiques étant négligeables.
- ⇒ Si le nombre de Reynolds est $1 < R_e < 10^3$, **l'écoulement est intermédiaire** et on peut admettre que les forces de frottement sont essentiellement dues aux effets cinétiques.
- ⇒ Si le nombre de Reynolds est $10^3 < R_e < 5 \cdot 10^5$, **l'écoulement est turbulent** et les forces de frottement sont essentiellement dues aux effets cinétiques.

* Écoulement laminaire – Formule de Stokes

Elle concerne les écoulements de fluides newtoniens incompressibles en régime permanent et à faible nombre de Reynolds ($R_e < 1$).

avec :

F_t : force de frottement.

k : coefficient caractéristique de la géométrie du solide ($k = 6 \cdot \pi \cdot R$ pour une sphère).

η : viscosité dynamique du fluide (assez variable en fonction de la température).

v : vitesse relative solide/fluide.

$$F_t = k \cdot \eta \cdot v$$

Diagramme de dimensionnement pour la formule de Stokes. Les unités sont indiquées par des flèches vertes pointant vers les termes de l'équation :

- $m \cdot s^{-1}$ (vitesse) pointe vers v .
- $Pa \cdot s$ (viscosité) pointe vers η .
- m (longueur) pointe vers k .
- N (force) pointe vers F_t .

Domaines d'utilisation : circulation sanguine, vitesse de sédimentation.

* Écoulement turbulent

Elle concerne les écoulements de fluides newtoniens avec un nombre de Reynolds élevé ($10^3 < R_e < 5 \cdot 10^5$).

F_t : force de frottement.

ρ : masse volumique du milieu fluide.

S : surface frontale ou « maître couple ».

Section du corps solide projetée perpendiculairement au mouvement.

v : vitesse relative solide/fluide.

C_x : coefficient de traînée.

Nombre sans dimension définissant la capacité d'un objet à générer le moins de résistance possible ; il dépend de la géométrie de l'objet mais aussi du nombre de Reynolds.

Il se détermine à partir d'essais en soufflerie.

Valeur minimale : $C_{x\text{ mini}} = 0,07$ (corps de forme ovoïde)

Valeur maximale : $C_{x\text{ max}} = 1,4$ (demi-sphère creuse)

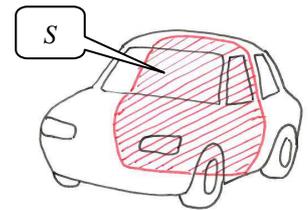
Exemples indicatifs : voiture : $C_x \approx 0,3$; camion : $C_x \approx 0,9$

A noter : la goutte d'eau est la forme la plus aérodynamique.

$$F_t = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$$

Diagramme de dimensionnement pour la formule de traînée. Les unités sont indiquées par des flèches vertes pointant vers les termes de l'équation :

- $m \cdot s^{-1}$ (vitesse) pointe vers v .
- m^2 (surface) pointe vers S .
- $kg \cdot m^{-3}$ (masse volumique) pointe vers ρ .
- N (force) pointe vers F_t .



| Forme | | Coefficient de traînée |
|--------------------|-----|------------------------|
| Sphère | → ○ | 0.47 |
| Demi-sphère | → ◐ | 0.42 |
| Cube | → □ | 1.05 |
| Corps profilé | → ◡ | 0.04 |
| Semi-corps profilé | → ◡ | 0.09 |

Domaines d'utilisation : génie civil (immeuble, pont, etc.), génie mécanique (avion, voiture, train, etc.).