

Ressources Educatives Libres

GENERALITES SUR LES FLUIDES

Université Nationale des Sciences,
Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey



Novembre 2023

Chapitre 1

NOTION DE MECANIQUE DES FLUIDES

La mécanique des fluides est la science des lois de l'écoulement des fluides. Elle est la base du dimensionnement des conduites de fluides et des mécanismes de transfert des fluides. C'est une branche de la physique qui étudie les écoulements de fluides c'est-à-dire des liquides et des gaz lorsque ceux-ci subissent des forces ou des contraintes. Elle comprend deux grandes sous branches :

- la statique des fluides, ou hydrostatique qui étudie les fluides au repos. C'est historiquement le début de la mécanique des fluides, avec la poussée d'Archimède et l'étude de la pression.
- la dynamique des fluides qui étudie les fluides en mouvement.

On distingue également d'autres branches liées à la mécanique des fluides : l'hydraulique, l'hydrodynamique, l'aérodynamique . . .

Une nouvelle approche a vu le jour depuis quelques décennies : la mécanique des fluides numérique (CFD ou, Computational Fluid Dynamics en anglais), qui simule l'écoulement des fluides en résolvant les équations qui les régissent à l'aide d'ordinateurs très puissants : les supercalculateurs. La mécanique des fluides a de nombreuses applications dans divers domaines comme l'ingénierie navale, l'aéronautique, mais aussi la météorologie, la climatologie ou encore l'océanographie.

1.1 Définitions

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formé d'un grand nombre de particules matérielles, très petites et libres de se déplacer les unes par rapport aux autres. C'est donc un milieu matériel continu, déformable, sans rigidité et qui peut s'écouler. Les forces de cohésion entres particules élémentaires sont très faibles de sorte que le fluide est un corps sans forme propre qui prend la forme du récipient qui le contient, par exemple : les métaux en fusion sont des fluides qui permettent par moulage d'obtenir des pièces brutes de formes complexes. On insiste sur le fait qu'un fluide est supposé être un milieu continu : même si l'on choisit un très petit élément de volume, il sera toujours beaucoup plus grand que la dimension des molécules qui le constitue. Par exemple, une gouttelette de brouillard, aussi petite soit-elle à notre échelle, est toujours immense à l'échelle moléculaire. Elle sera toujours considérée comme un milieu continu. Parmi les fluides, on fait souvent la distinction entre liquides et gaz. Les fluides peuvent aussi se classer en deux familles relativement par leur viscosité. La viscosité est une de leur caractéristique physico-chimique qui sera définie dans la suite du cours et qui définit le frottement interne des fluides. Les fluides peuvent être classés en deux grandes familles : La famille

des fluides newtoniens (comme l'eau, l'air et la plupart des gaz) et celle des fluides non newtoniens (quasiment tout le reste : le sang, les gels, les boues, les pâtes, les suspensions, les émulsions ...). Les fluides newtoniens ont une viscosité constante ou qui ne peut varier qu'en fonction de la température. La deuxième famille est constituée par les fluides non newtoniens qui ont la particularité d'avoir leur viscosité qui varie en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils subissent lorsque ceux-ci s'écoulent. Ce cours est limité uniquement aux fluides newtoniens qui seront classés comme suit.

1.1.1 Fluide parfait

Soit un système fluide, c'est-à-dire un volume délimité par une surface fermée Σ fictive ou non.

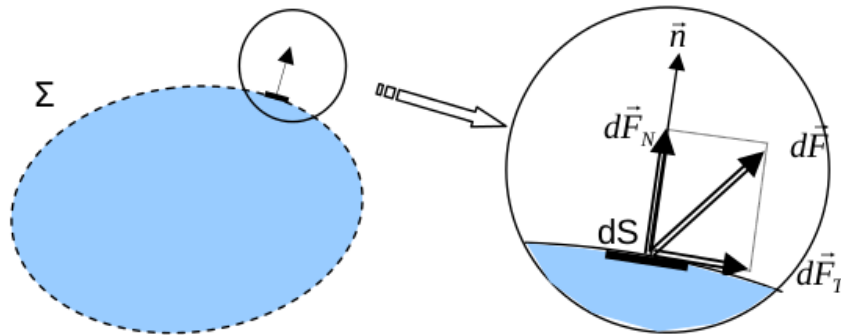


FIGURE 1.1 – Élément de fluide [1]

Considérons $d\vec{F}$ la force d'interaction au niveau de la surface élémentaire dS de normale $\vec{n}$ entre le fluide et le milieu extérieur.

On peut toujours décomposer $d\vec{F}$ en deux composantes :

- une composante $d\vec{F}_T$ tangentielle à dS .
- une composante $d\vec{F}_N$ normale à dS

En mécanique des fluides, un fluide est dit parfait s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement. C'est à dire quand la composante $d\vec{F}_T$ est nulle. Autrement dit, la force $d\vec{F}$ est normale à l'élément de surface dS .

1.1.2 Fluide réel

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prises en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide. C'est uniquement au repos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, et on suppose que les forces de contact sont perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquels elles s'exercent. **La statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits.**

1.1.3 Fluide incompressible

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.)

1.1.4 Fluide compressible

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles. Par exemple, l'air, l'hydrogène, le méthane à l'état gazeux, sont considérés comme des fluides compressibles.

1.2 Caractéristiques physiques

- Masse volumique : $\rho = \frac{m}{V}$;
- Poids volumique : $\bar{\omega} = \frac{mg}{V} = \rho g$;
- Densité : $d = \frac{\text{Masse volume du fluide}}{\text{Masse volume d'un fluide de référence}} = \frac{\rho}{\rho_{ref}}$
Avec :
 - ρ : en kg/m^3 ,
 - m : masse en kg ,
 - V : Volume en m^3 ,
 - $\bar{\omega}$ en (N/m^3) ,
 - g en (N/Kg) ou (m/s^2) .

Dans le cas des liquides on prendra l'eau comme fluide de référence. Dans le cas des gaz on prendra l'air comme fluide de référence.

- Viscosité

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel on mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. Elle peut également être mesurée par un récipient dont le fond comporte un orifice de taille standardisé. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide. La viscosité est déterminée par la capacité d'entraînement que possède une couche en mouvement sur les autres couches adjacentes. Par exemple, si on considère un fluide visqueux placé entre deux plaques P_1 et P_2 , tel que la plaque P_1 est fixe et la plaque P_2 est animée d'une vitesse V_2 voir fig.(1.2).

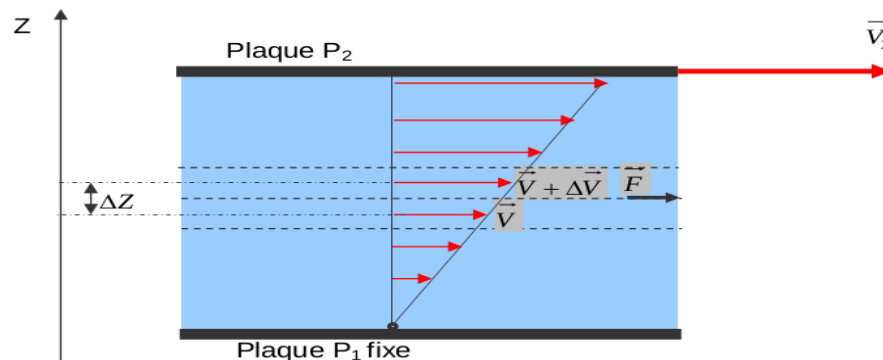


FIGURE 1.2 – Ecoulement de Poiseuille [1]

Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement, la courbe lieu des extrémités de ces vecteurs représente le profil de vitesse. Le mouvement du fluide peut être considéré comme résultant du glissement des couches de fluide les unes sur les autres. La vitesse de

chaque couche est une fonction de la distance Z . On distingue la viscosité dynamique et la viscosité cinématique.

– **Viscosité dynamique**

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force qu'il faut exercer sur une plaque lorsqu'elle est plongée dans un courant et la variation de vitesse des veines de fluide entre les 2 faces de la plaque. ... Elle est exprimée par un coefficient représentant la contrainte de cisaillement nécessaire pour produire un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans la matière. Considérons deux couches de fluide adjacentes distantes de Δz . La force de frottement $\vec{F}$ qui s'exerce à la surface de séparation de ces deux couches s'oppose au glissement d'une couche sur l'autre. Elle est proportionnelle à la différence de vitesse des couches soit Δv , à leur surface S et inversement proportionnelle à Δz : Le facteur de proportionnalité μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

$$F = \mu S \frac{\Delta V}{\Delta z} \quad (1.1)$$

Où

F : force de glissement entre les couches en (N) ,

S : surface de contact entre deux couches en (m^2) ,

ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s) ,

ΔZ : Distance entre deux couches en (m)

Dans le système international (SI), l'unité de la viscosité dynamique est le Pascal seconde ($Pa.s$) ou Poiseuille (Pl) : $1Pa.s = 1Pl = 1kg/m.s$

– **Viscosité cinématique** : $\nu = \frac{\mu}{\rho}$,

L'unité de la viscosité cinématique est le (m^2/s) .

On utilise souvent le Stokes (St) comme unité de mesure de la viscosité cinématique : $1st = 10^{-4}m^2/s$.

Remarque (différence entre viscosité dynamique et viscosité cinématique)

La viscosité cinématique caractérise le temps d'écoulement d'un liquide. Par contre, la viscosité dynamique correspond à la réalité physique du comportement d'un fluide soumis à une sollicitation (effort). En d'autre terme, cette dernière exprime la rigidité d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement (voir la relation (1.1)).