

NOTIONS DE MECANIQUE DES FLUIDES

1- INTRODUCTION :

La mécanique des fluides est la 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.
- **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, ...
La mécanique des fluides a de nombreuses applications dans divers domaines, comme l'ingénierie navale, l'aéronautique....

2 -DEFINITIONS :

Un fluide peut être considéré comme étant une substance formée 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 entre particules élémentaires sont très faibles de sorte que le fluide est un corps qui prend la forme du récipient qui le contient.

***Ligne de courant** : C'est la courbe suivant laquelle se déplace un élément de fluide.

***Tube de courant** : Ensemble de lignes de courant s'appuyant sur une courbe fermée.

***Filet de courant** : Assimilé à un tube de courant s'appuyant sur une surface Δs .

2.1 Fluide parfait :

Un fluide est dit parfait, s'il est possible de décrire son mouvement sans prendre en compte les effets de frottement (ne présente aucune résistance au déplacement, il est sans viscosité).

2.2 Fluide réel :

Dans un fluide réel les forces de frottement 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.

2.3 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.)

2.4 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.

2.5 Ecoulement Permanent :

Si en un point donné d'un fluide en mouvement, les molécules qui se succèdent sont animées de la même vitesse, occupent des positions identiques et présentent la même densité, l'écoulement est dit permanent.

2.6 Ecoulement Uniforme :

Dans l'écoulement permanent, la vitesse peut soit varier tout le long de la trajectoire de la molécule, soit rester constante. Dans ce dernier cas, l'écoulement est dit uniforme.

L'écoulement uniforme est un écoulement permanent dont la vitesse est constante en tout point de la masse liquide en mouvement. Il n'y a pas d'accélération. Dans l'écoulement permanent, le débit étant constant, les variations de la vitesse entraînent des variations de sections. Le régime permanent exprime une constante dans le temps, tandis que le régime uniforme exprime une constante dans le temps et dans l'espace.

2.7 Régimes d'écoulement :

En hydraulique souterraine, nous pouvons distinguer deux régimes d'écoulement : Laminaire et turbulent.

Supposons que l'eau s'écoule dans un tube ou dans un canal ayant des caractéristiques hydrauliques déterminées. Lorsque la vitesse de l'eau est faible, les filets liquides partent en mouvement parallèlement les uns aux autres. Le régime est dit « laminaire ». La résistance à l'écoulement est directement proportionnelle à la viscosité et à la vitesse. Si on augmente la vitesse de l'eau, le régime laminaire persiste jusqu'à une certaine vitesse appelée : « vitesse critique » au-delà, s'installe le régime « turbulent ». L'eau se meut irrégulièrement, dans l'espace et dans le temps, il se produit des tourbillons.

3-CARACTERISTIQUES PHYSIQUES :**3.1 Masse volumique :**

$$\rho = m / V$$

où :

 ρ : Masse volumique en (kg/m³),

m : masse en (kg),

V : volume en (m³).**3.2 Poids volumique :**

$$\varpi = m \cdot g / V = \rho \cdot g$$

 ϖ : Poids volumique en (N/m³).

m : masse en (kg),

g : accélération de la pesanteur en (m/s²),V : volume en (m³).**3.3 Densité :**

$$d = \frac{\text{masse volumique du fluide}}{\text{masse volumique d'un fluide de référence}}$$

$$d = \rho / \rho_{ref}$$

*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.

3.4 NOTION DE DEBIT :**1- Débit massique :**

Soit une section S à travers laquelle un fluide s'écoule à une vitesse moyenne v :

$$q_m = \rho S V$$

où :

 q_m : Débit massique en (kg/s) ρ : Masse volumique en (kg/m³)S : Section en (m²)

V : Vitesse moyenne du fluide à travers (S) en (m/s)

2- Débit volumique :

$$q_v = S V$$

3-Relation entre débit massique et débit volumique :

A partir des relations précédentes on peut déduire facilement la relation entre le débit massique et le débit volumique :

$$q_m = \rho q_v$$

3.5 Viscosité :

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide. 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 standardisée. La vitesse à laquelle le fluide s'écoule par cet orifice permet de déterminer la viscosité du fluide.

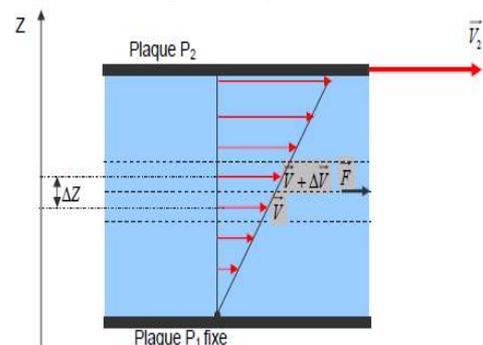
*Viscosité dynamique :

Considérons deux couches de fluide adjacentes distantes de Δz . La force de frottement 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.

$$F = \mu S \frac{\Delta V}{\Delta Z}$$

où :

F : force de glissement entre les couches en (N),
 μ : Viscosité dynamique en (kg/m.s),
 S : surface de contact entre deux couches en (m²),
 ΔV : Écart de vitesse entre deux couches en (m/s),
 ΔZ : Distance entre deux couches en (m).



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

*Viscosité cinématique :

$$\nu = \mu / \rho$$

L'unité de la viscosité cinématique est le (m²/s).

Remarque 1 (unité): On utilise souvent le Stokes (St) comme unité de mesure de la viscosité cinématique. 1 St = 10⁻⁴ m²/s

Remarque 2 (Influence de la température) : Lorsque la température augmente, la viscosité d'un fluide décroît car sa densité diminue.

Remarque 3 (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 un effort.

3.6 NOMBRE DE REYNOLDS :

Les expériences réalisées par **Reynolds** en 1883 lors de l'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive un filet de liquide coloré, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : régime laminaire et régime turbulent : Des études plus fines ont montré qu'il existe encore une subdivision entre :

- les écoulements turbulents lisses
- les écoulements turbulents rugueux.

La limite entre ces différents types d'écoulements est difficile à définir .

En utilisant divers fluides à viscosités différentes, en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds donné par l'expression suivante:

$$R_e = \frac{V d}{\nu}$$

- V : Vitesse moyenne d'écoulement à travers la section considérée en (m/s)
- d : Diamètre de la conduite (m).
- ν : Viscosité cinématique du fluide (m²/s).

Si $R_e < 2000$ l'écoulement est laminaire

Si $R_e > 2000$ l'écoulement est turbulent :

- Lisse si $2000 < R_e < 100000$
- Rugueux si $R_e > 100000$

4- CONCLUSION :

Les fluides peuvent être classés en **fluides parfaits** (sans frottement), **fluides réels** (avec frottement), **fluides incompressibles** (liquides) et **fluides compressibles** (gaz).

Les fluides sont caractérisés par les propriétés suivantes: la masse volumique, le poids volumique, la densité et la viscosité.