Dynamique des fluides réels

Dans le chapitre précédent, nous avons considéré uniquement les écoulements parfaits. La réalité est bien plus complexe que cela, les fluides possèdent une propriété qui rend l’écoulement parfait inexact, c’est la viscosité. Cette dernière permet de faire la distinction entre les fluides parfaits et les fluides réels.

A rappeler que dans le cas des fluides parfaits, on a considéré que l’écoulement se déroulait sans perte d’énergie, ce qui nous permettait d’appliquer le théorème de Bernoulli.

Dans un fluide réel, il existe des forces dites viscosité. Elles sont dues à des frottements qui existent entre les couches de vitesses différentes et sur les parois. Ces forces tendent à ramener toutes les couches à la même vitesse.

r

F

V

V+dv

v

Au niveau macroscopique, les molécules de la couche la plus rapide cèdent de la quantité de mouvement à celle de la couche la plus lente lors des collisions, on a donc diminution d’énergie et une perte de pression.

Ces forces de viscosité sont données par la relation suivante :

: La viscosité dynamique, elle induit un gradient de vitesse à l’intérieur du fluide.

On définit aussi la viscosité cinématique :

*Unités :*  s’exprime en poiseuille (*Pl*) dans le système international : 1*Pl* = 1 *pa.s*

Dans le système CGS,  s’exprime en poise (*Po)* : 1*Pl* = 10 *Po*

**1- Fluides newtoniens :**

Un fluide visqueux, en écoulement laminaire plan, de vitesse est dit newtonien lorsque  est indépendant du taux de cisaillement, exemple : l’eau.

**2- Fluides non newtonien :**

Dans un fluide visqueux non newtonien, la viscosité évolue en fonction du gradient de vitesse auquel est soumis, ainsi la mesure de donne des valeurs variables selon la valeur de .

Les solutions de macromolécules sont souvent non newtoniens, exemple : le sang.

**Mise en évidence de la viscosité :**

On considère un écoulement dans un tube cylindrique supposé horizontal. Voir la figure.

2

1

**Si le fluide est parfait :**

Il n’y a pas de perte d’énergie et donc pas de perte de pression. On peut écrire

*Démonstration :*

D’après la relation de continuité : , et comme

De plus 1 et 2 sont sur l’axe du tube

Donc l’équation de Bernoulli entre 1 et 2 : devient, par simplification,

Ce qui nous amène à dire que la hauteur du fluide dans les deux tubes témoin est la même.

En 1 règne une pression hydrostatique de la forme :

En 2 règne une pression hydrostatique de la forme :

Et comme on aura

2

1

**Si le fluide est réel (visqueux) :**

On observe une légère baisse de niveau du fluide dans les deux tubes au fur et à mesure que l’on s’éloigne de la source de l’écoulement.

Cette baisse, appelé perte de charge de la conduite, est due aux forces de viscosité qui ne sont pas prises en compte dans la relation de Bernoulli : une partie de l’énergie cinétique disparaît et on constate de plus que la température du fluide augmente légèrement.

2

1

Lors de l’écoulement d’un fluide visqueux, on observe une perte de charge (perte de pression) constante par unité de longueur.

Cette perte de charge se traduit par un terme correctif dans l’équation de Bernoulli :

Le terme correctif dépend de l’orientation de la conduite.

Si la conduite est horizontale :

Si la conduite est inclinée :

**Nombre de Reynolds :**

1. **Différents types d’écoulement :**
* ***Ecoulement laminaire :*** Un écoulement est **laminaire** si les trajectoires des particules du fluide sont parallèles au conduit.
* ***Ecoulement turbulent :*** Un écoulement est **turbulent** si les trajectoires des particules du fluide sont quelconques.
1. **Nombre de Reynolds :**

# Il permet de déterminer le régime d’écoulement du fluide

  : Vitesse d’écoulement du fluide. **d** : Diamètre de la conduite.

 : Viscosité dynamique.

 : Masse volumique du fluide.

 : Nombre sans unité.

* Si **< 2000** : l’écoulement est dit **laminaire**.
* Si  **> 3000** : l’écoulement est dit **turbulent**.
* Si **2000 < < 3000** : l’écoulement est dit **transitoire**.

**Etude du régime laminaire (régime de Poiseuille) :**

Soit une canalisation cylindrique de rayon R et de longueur L. on considère un tube élémentaire de fluide de rayon r, qui s’écoule en régime laminaire, il est soumis à :

Une force pressante :

Sens de l’écoulement

B

A

R

L

* La force de viscosité :

La force pressante est équilibrée par la force de viscosité :

Alors :

Et donc : : loi de la distribution de la vitesse

r

Profil parabolique

V(r)

* Au niveau de la paroi , la vitesse est nulle , Effet Prandtl.
* Au niveau de l’axe de la canalisation, la vitesse est maximale : .

Par définition du débit :

  **Loi de Poiseuille**

***Remarque :***

D’après : et , on tire , on remarque alors que

Et que la surpression est égale à : et si on pose

Alors

 étant la résistance à l’écoulement ou bien la résistance hydrodynamique.

L’application simultanée du principe de Bernoulli et de la loi de Poiseuille, donne la valeur de la perte de charge entre les extrémités d’une canalisation horizontale, traversée en régime laminaire par un fluide visqueux dont le débit est .