



Introduction

La mécanique des fluides est la science qui a pour objectif l'étude des caractéristiques de ces derniers et leurs comportements.

L'une des plus importantes caractéristiques étudiées par la MDF est le débit. Il est étroitement lié au transport de sédiments en suspension dans les rivières et les fleuves et sans des mesures continues des débits, il est impossible de calculer les flux de sédiments et de produits chimiques, par exemple, dans des cours d'eau.

Ce sont les débits mensuels à long terme qui caractérisent le régime d'écoulement d'un fleuve ou d'une rivière.

Ce régime qui la façon dont le liquide s'écoule est plus complexe dans le fluide réel que dans le fluide idéal (parfait) à cause des forces de frottement qui prennent naissance entre les particules du fluide et les parois qui le limite, ainsi qu'entre les particules elles-mêmes du fait de la viscosité du fluide.

Dans ce TP on procédera à l'étude des différents régimes d'écoulement: laminaire, turbulent et critique et ce en réalisant l'expérience de 'REYNOLDS' qui nous précise dans quelles conditions on passe d'un régime à un autre.

Si le nombre de Reynolds (qui est le produit du diamètre du tuyau, de la vitesse et de la masse volumique du fluide divisé par la viscosité du fluide) est inférieur à 2 500, le flux du fluide, dans le tuyau est laminaire; à des valeurs supérieures, il est turbulent. Le concept du nombre de Reynolds est fondamental pour une grande partie de la mécanique des fluides moderne qui est essentiellement consacré au régime turbulent à cause de sa complexité.



Historique

Les premières expériences sur l'étude du frottement pour des écoulements à faible vitesse dans des tuyaux ont été effectuées par le physiologiste français '*Jean-Louis Poiseuille*', qui s'intéressait à l'écoulement du sang, et dans les années 1840 par l'ingénieur hydraulicien allemand '*Gotthelf Heinrich*

Ludwig Hagen'. Un essai pour prendre en compte les effets de la viscosité dans les équations mathématiques fut d'abord fait par l'ingénieur français

'*Henri Navier*' en 1827. Puis, en 1845, le mathématicien britannique '*George Gabriel*' Stokes précisa les équations fondamentales pour des fluides incompressibles visqueux. Celles-ci sont maintenant connues sous le nom d'équations de '*Navier Stokes*'. Elles sont tellement complexes qu'elles ne peuvent être résolues que dans les cas d'écoulements simples. Ces équations permettent notamment de modéliser l'écoulement d'un fluide réel dans un tuyau droit. Dans ce cas, le principe de '*Bernoulli*' n'est pas applicable car une partie de l'énergie mécanique totale du fluide, se dissipe par frottement et provoque une chute de la pression le long du tuyau. Les équations suggèrent que, pour un tuyau et un fluide définis, cette chute de pression est proportionnelle à la vitesse d'écoulement du fluide.

Des expériences réalisées d'abord vers le milieu du XIX^e siècle montrèrent que cela est exact uniquement pour des vitesses faibles; à des vitesses supérieures, la chute de pression est plutôt proportionnelle au carré de la vitesse d'écoulement du fluide. Ce phénomène resta inexpliqué jusqu'en 1883, date où l'ingénieur britannique '*Osborne Reynolds*' montra l'existence de deux types d'écoulements visqueux dans les tuyaux. À de faibles vitesses, les particules du fluide suivent les courants (flux laminaire) et les résultats concordent avec les prédictions analytiques. À des vitesses supérieures, le flux prend une forme variable ou tourbillonnaire (flux turbulent) qui ne peut être parfaitement prédite. Encore maintenant, on ne sait pas donner une définition analytique à de tels écoulements. Pour les étudier, on a recours aux expériences et à l'utilisation de puissants logiciels de calcul. Reynolds établit également que la limite entre flux laminaire et flux turbulent dépend d'un paramètre unique, le nombre de Reynolds Re .

Si le nombre de Reynolds (qui est le produit du diamètre du tuyau, de la vitesse et de la masse volumique du fluide divisé par la viscosité du fluide) est inférieur à 2 500, le flux du fluide, dans le tuyau est laminaire; à des valeurs supérieures, il est turbulent. Le concept du nombre de Reynolds est fondamental pour une grande partie de la mécanique des fluides moderne.



I - Généralités :

1. Définition d'un fluide :

Les fluides sont des corps dont les molécules sont très mobiles les uns par rapport aux autres.

Un fluide prend automatiquement la forme du récipient qui le contient.

On peut classer les fluides en deux groupes : des liquides et des gaz.

Les liquides ont un volume propre tant que les gaz occupent tout le volume qui leur est offert.

2. Compressibilité des fluides :

Soit ρ la masse volumique d'un fluide.

D'une façon générale, ρ varie avec la pression et la température.

On appelle un fluide incompressible lorsque ρ est indépendante de p et T .

Les liquides sont très peu compressibles.

Pratiquement : on considère que les liquides sont incompressibles et les gaz sont compressibles.

3. Viscosité :

Les forces de cohésion intermoléculaire ont tendance à freiner l'écoulement d'un fluide. Cette propriété est appelée viscosité : c'est la capacité d'écoulement d'un fluide.

- Coefficient de viscosité dynamique « μ » : exprimé dans le système international en Poiseuille (Pl) ou en Pascal seconde (Pa.s)
- Coefficient de viscosité cinématique « ν » : exprimé dans le système international en mètre carré par seconde (m^2/s)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

4. Fluide parfait – fluide réel :

Un fluide parfait est un fluide dont les molécules se déplacent sans aucun frottement les uns par rapport aux autres ; donc sans viscosité $\mu = 0$. (C'est théorique)

Un fluide est réel lorsque $\mu \neq 0$

5. Les fluides newtoniens

On distingue deux grandes familles de fluides en fonction de leur viscosité : les fluides dits "newtoniens" et les fluides "non newtoniens".

- **Les fluides newtoniens**

Les fluides "newtoniens", comme l'eau, l'air et la plupart des gaz, présentent une viscosité constante ou qui ne peut varier qu'en fonction de la température.

- **Les fluides non newtoniens**

En revanche, les fluides "non newtoniens" ont la particularité d'avoir une viscosité variable, en fonction de la vitesse et des contraintes qu'ils subissent. En d'autres termes, la déformation de ce type de fluide n'est pas directement proportionnelle à la force qu'on lui applique.



Viscosité :

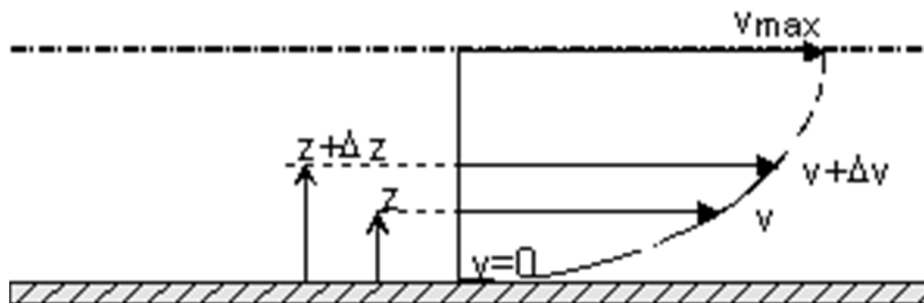
Les forces de cohésion intermoléculaire ont tendance à freiner l'écoulement d'un fluide. Cette propriété est appelée viscosité : c'est la capacité d'écoulement d'un fluide.

Viscosité dynamique - Viscosité cinématique

- **Profil des vitesses**

Sous l'effet des forces d'interaction entre les molécules de fluide et des forces d'interaction entre les molécules de fluide et celles de la paroi, chaque molécule de fluide ne s'écoule pas à la même vitesse.

On dit qu'il existe un *profil de vitesse*.



Si on représente par un vecteur, la vitesse de chaque particule située dans une section droite perpendiculaire à l'écoulement d'ensemble, 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 de cette couche au plan fixe : $v = v(z)$.

- **Viscosité dynamique**

Considérons deux couches de fluide contiguës 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 :

$$F = \mu S \frac{\Delta v}{\Delta z}$$

Le facteur de proportionnalité est le coefficient de viscosité dynamique du fluide.

Dimension : $[] = \text{M} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}$.

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



- **Viscosité cinématique**

Dans de nombreuses formules apparaît le rapport de la viscosité dynamique et de la masse volumique .

Ce rapport est appelé **viscosité cinématique** : $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ **Dimension** : [] = L² · T⁻¹.

Unité : Dans le système international (SI), l'unité de viscosité n'a pas de nom particulier : (m²/s).

BUT DU TP : Determiner la vitesse de rotation et la viscosité

Viscosimètres rotatifs “NDJ-1”

Instrument qui fonctionne par la rotation d'un cylindre ou d'une tige qui s'immerge dans le liquide ou fluide a analyser, a une vitesse selectionnee, en mesurant la resistance visqueuse et absolue des fluides. Particulierement adapte pour les aliments, cosmetiques, graisses, peintures, produits pharmaceutiques,plastiques, etc.

CARACTERISTIQUES

Pourvu d'un moteur asynchrone connecte a un disque gradue avec 4 vitesses differentes et uniformes,propulsant la tige au travers d'une spirale et d'un axe.

Livre avec 4 tiges numerotees de 1 a 4 et d'un dispositif de protection.

Le viscosimetre inclue le statif avec mecanisme elevateur avec vis d'ajustement, ainsi qu'un etui de protection de l'appareil et des tiges.



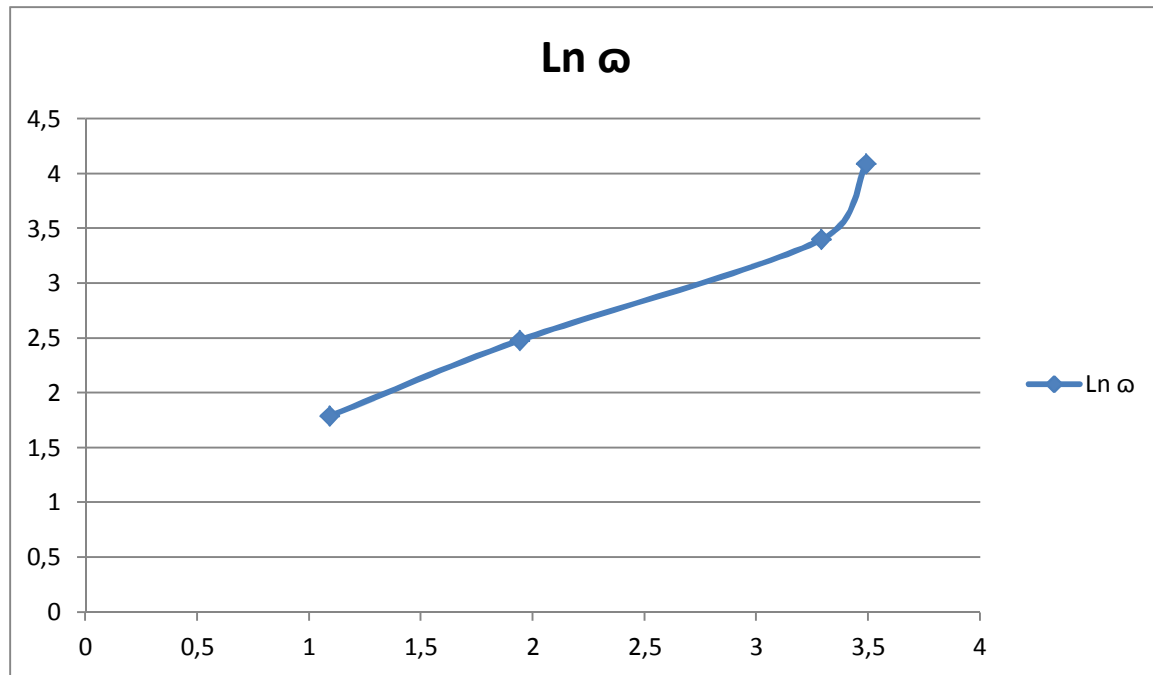
MODELE	Code	Plage de mesure	Tolérance	Vitesse tige r.p.m. du 1 à 4	Consom. W	Poids Kg
NDJ-1	5120230	10-100.000 mPaS	±5% liquides Newtonians	6 - 12 - 30 - 60	15	6

I- on doit determiner le couple de rotation (c) de la vitesse de retation (ω)
(température constante)

Vitesse de rotation ω	Ln ω	Couple (Nm)	Ln C
6	1.79	3	1.09
12	2.48	7	1.94
30	3.40	27	3.29
60	4.09	33	3.49



La courbe $\text{Ln} \omega = f(\text{Ln} C)$; en déduire que le fluide analysé est newtonien.



Viscosité constante ou qui ne peut varier qu'en fonction de la température, donc le fluide analysé est newtonien.

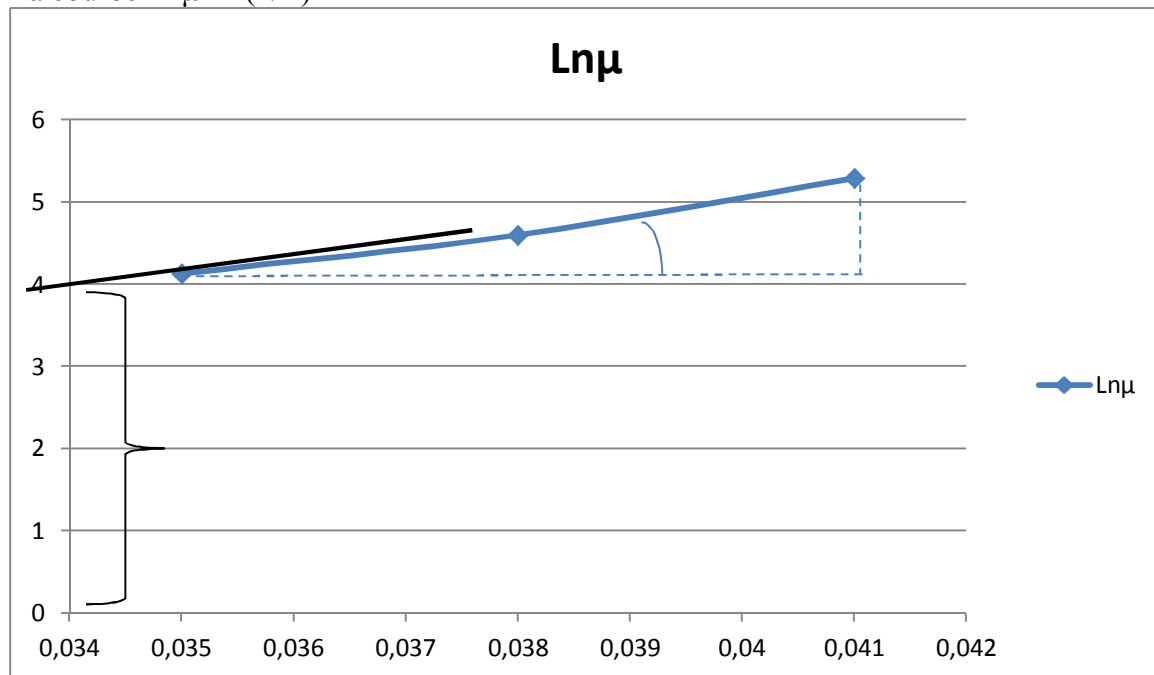
II- Déterminer la viscosité dynamique μ ; pour différentes températures et ($\omega = \text{cte}$)

- La vitesse de rotation : $\omega = 6 \text{ cte}$; $K = 50$.
- Les températures T (24°C , 26°C , 28°C).
- $C_{(T24)} = 4$, $C_{(T26)} = 2$, $C_{(T28)} = 1.25$
- $\mu = C.K \text{ m}^2/\text{s}$

T (°C)			1/T			μ			Ln (μ)		
24	26	28	0.041	0.038	0.035	200	100	62.5	5.29	4.60	4.13



La courbe $\text{Ln}\mu = f(1/T)$



- Après le tracé de la courbe du $\text{Ln}\mu=f(1/T)$.

On voit que c'est une ligne droite qui ne passe pas par l'origine.

Donc sa fonction de la forme $y=ax+b$.

En utilisant cette forme pour déduire les coefficients A et B de l'équation d'Andrade :

$$\mu = A \cdot e^{(B/T)}$$

$$\mu = A \cdot e^{(B/T)} \Rightarrow \text{Ln}\mu = \text{Ln}(A \cdot e^{(B/T)})$$

$$\Rightarrow \text{Ln}\mu = \text{Ln}A + B/T$$

$$\Rightarrow \text{Ln}\mu = B(1/T) + \text{Ln}A$$

Donc : $y = \text{Ln}\mu$

$$a = B$$

$$x = 1/T$$

$$b = \text{Ln}A$$

$$B = \text{tg}\alpha = \frac{5,29 - 4,13}{0,041 - 0,035} = \frac{1,16}{0,006} = 193,33 \quad \left. \vphantom{\frac{5,29 - 4,13}{0,041 - 0,035}} \right\} \text{ d'après le graphe}$$

Conclusion :

D'après notre TP nous identifions que : dans un fluide réel $\mu \neq 0$ les forces de contact ne sont pas perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquelles elles s'exercent la viscosité est due à ces frottements qui s'opposent au glissement de couches de fluides, et cette viscosité, elle est simontoiné par la température et la vitesse, quand les deux augmentent la μ diminue et pour mesurer ce dernier on utilise la viscosimètre.