

Chapitre I : Propriétés des liquides

1.3 PROPRIETES DES LIQUIDES

Dans l'établissement des principes de l'hydraulique, certaines propriétés des fluides jouent un rôle important, d'autres seulement un rôle mineur ou aucun rôle du tout. En hydrostatique (fluide au repos) c'est le *poinds spécifique* qui est la propriété la plus importante, tandis qu'en hydrodynamique (fluide en mouvement), la *densité* et la *viscosité* sont des propriétés dominantes. La *pression de vapeur* prend de l'importance quand interviennent des basses pressions, le liquide en question contient des bulles de vapeur, c'est le phénomène de cavitation. La *tension de surface* influe sur les conditions statiques et dynamiques dans les conduits très étroits, c'est le phénomène de capillarité.

- Masse volumique

La masse volumique (ρ) est le rapport : $\rho = \frac{\text{Masse } M}{\text{Volume } V_{ol}} \quad [\text{Kg/m}^3]$

Pour les liquides, le volume est pratiquement insensible aux variations de pression et, dans la majorité des cas, il augmente faiblement quand la température augmente, l'eau faisant exception à cette règle en dessous de 4°C.

$$\begin{aligned}\rho_{\text{eau}} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{\text{mercure}} &= 13546 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{\text{air sec}} &= 1,205 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Attention : Contrairement aux liquides, les gaz sont fortement compressibles. La variation de masse volumique dépend de la température et de la pression : $\rho = f(p, T)$.

- Poids spécifique

Il représente la force de gravité agissant sur la masse par unité de volume :

$$\gamma = g \cdot \rho \quad [\text{N/m}^3]$$

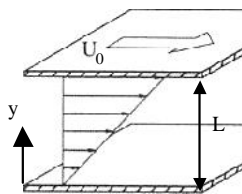
$$\gamma_{\text{eau}} = 10^4 \text{ N/m}^3$$

- Viscosité

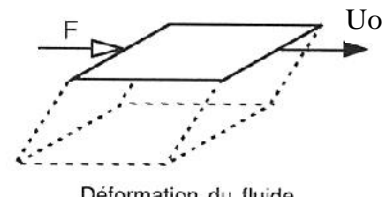
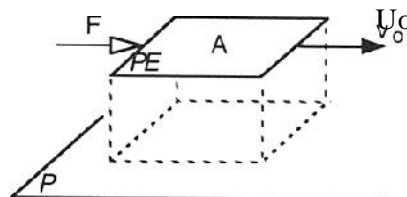
La viscosité d'un fluide en mouvement est la propriété qui exprime sa résistance à une force tangentielle.

Expérience :

Considérons un fluide placé entre deux plaques planes, parallèles, distantes de L et horizontales. L'une est fixe et l'autre est en mouvement uniforme de vitesse U_0 . Pour générer une vitesse de la plaque supérieure (surface A), il faut exercer une force F .



Répartition de la vitesse entre deux plaques en régime laminaire



Déformation du fluide

Cette force est la résultante des forces de frottements visqueux.

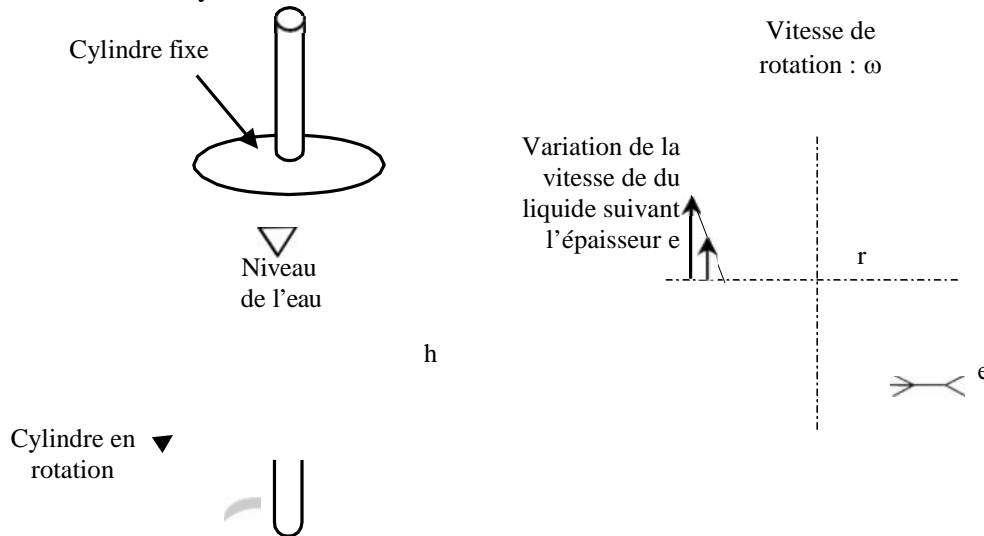
L'expérimentation permet de déduire une proportionnalité entre le rapport de la force F et la surface A avec le rapport entre la vitesse U_0 et la longueur L telle que :

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{U_0}{L} = \mu \frac{\partial U}{\partial y}$$

μ [$N.s/m^2$] est appelé viscosité dynamique ou absolue.

Le viscosimètre :

On considère deux cylindres coaxiaux séparés par un intervalle e dont l'espace entre eux est rempli par un liquide. On fait tourner le cylindre extérieur à vitesse constante (ω) et on maintient fixe le cylindre intérieur.



Le fluide en contact avec le cylindre extérieur va y adhérer et par conséquent va être animé de la vitesse V du cylindre extérieur. Le fluide en contact avec le cylindre fixe aura une vitesse nulle. La viscosité fait naître une force de frottement que l'on mesure par le couple M .

Les expériences ont montré que :

- si e est faible par rapport au rayon intérieur r , la courbe représentative de la variation de la vitesse entre r et $r+e$ est une droite,
- le couple (M) varie proportionnellement à la vitesse et on a :

$$M = \mu \frac{(2.\pi.r.h).r}{e} V$$

On définit un deuxième coefficient de viscosité, le coefficient de viscosité cinématique :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ [m}^2\text{/s]}$$

$\mu_{\text{eau}} \text{ à } 20^\circ\text{C} = 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ $\nu_{\text{eau}} \text{ à } 20^\circ\text{C} = 10^{-6} \text{ m}^2\text{/s}$	$\mu_{\text{mercure}} = 1,554.10^{-3} \text{ N.s/m}^2$ $\nu_{\text{mercure}} = 0,1147.10^{-6} \text{ m}^2\text{/s}$	$\mu_{\text{air}} = 18,5.10^{-6} \text{ N.s/m}^2$ $\nu_{\text{air}} = 15,6.10^{-6} \text{ m}^2\text{/s}$
---	--	---

On appelle fluide parfait un fluide dont la viscosité serait nulle (fluide inexistant dans la nature). La viscosité existe dès qu'il y a mouvement relatif entre particules, que ce soit en régime laminaire ou turbulent.

- Pression de vapeur saturante

L'ébullition est un phénomène de changement d'état, dans lequel le liquide passe à l'état de vapeur. Tous les liquides ont tendance à s'évaporer ; la phase liquide se transforme en phase gazeuse. Au cours de cette transformation, les molécules de vapeur exercent une pression appelée pression de vapeur saturante. Dans le cas de l'eau, la pression de vapeur (p_s) croît avec une augmentation de la température (T).

La pression de vapeur saturante pour l'eau est donnée par la relation empirique suivante :

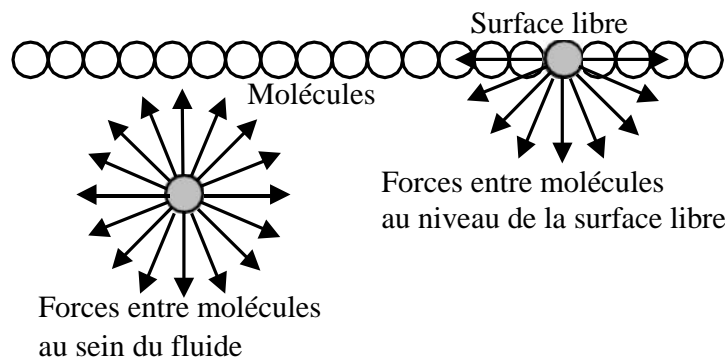
$$\log_{10} (p_s) = 22.435 - \frac{2795}{T + 273.15} - 3.868 \log_{10} (T + 273.15) \text{ avec } p_s \text{ en Pa et T en } ^\circ\text{Celsius.}$$

Si, à température constante, on abaisse la pression à la surface d'un liquide, ce dernier se met à bouillir lorsqu'on atteint la pression de vapeur saturante correspondant à cette température. Dans l'écoulement des liquides, il peut arriver que la pression en certains points devienne inférieure à la pression de vapeur saturante. Le liquide entre alors localement en ébullition et des bulles de vapeur apparaissent au sein même de l'écoulement. Ce phénomène, appelé cavitation, est le plus souvent nuisible pour les installations où il se produit (canalisation, pompes, turbine...). Les variations de volume lors du changement d'état sont telles qu'il se produit au sein du fluide de véritables explosions de bulles au moment de la vaporisation et de violentes implosions, lors de la condensation.

- Tension superficielle

Une molécule liquide au repos est soumise aux forces d'attractions que les molécules voisines exercent sur elle. Une molécule à la surface libre d'un liquide ou à la surface de séparation de deux liquides non miscibles n'est plus soumise à l'action de forces symétriques, puisqu'elle n'est plus entourée symétriquement par d'autres molécules de même nature. Ainsi la résultante des forces moléculaires n'est plus nulle. La surface de séparation se comporte comme une membrane tendue.

La force d'attraction tangentielle à la surface nécessaire pour arracher des particules agissant le long d'un segment de longueur unitaire est appelée tension superficielle.



Les effets de tension superficielle ne sont pas importants dans les écoulements en eau potable ou en assainissement et ne sont donc pas pris en compte.

Tension de surface : Air – eau à 20°C : 0,0724 N/m.

