

THEME 1 - CHAP 3

ÉCOULEMENT DES FLUIDES

L'étude de l'écoulement d'un liquide est réalisée dès que le **régime permanent** est établi.

I. Le débit d'un liquide.

1. Comment le définir ?

Le débit en volume D d'un liquide est le volume de liquide qui traverse une section d'un tuyau pendant l'unité de temps.

Si V est le volume de liquide qui traverse la section du tuyau pendant la durée Δt :

$D = \dots\dots\dots$ avec V en m^3 ; Δt en s ; D en $m^3.s^{-1}$

Les autres unités usuelles de débit sont :

- le **litre par seconde** : $1 L.s^{-1} = \dots\dots\dots dm^3.s^{-1} = \dots\dots\dots m^3.s^{-1}$.

- le **litre par minute** : $1 L.min^{-1} = \dots\dots\dots dm^3.min^{-1} = \dots\dots\dots dm^3.s^{-1} = \dots\dots\dots m^3.s^{-1}$.

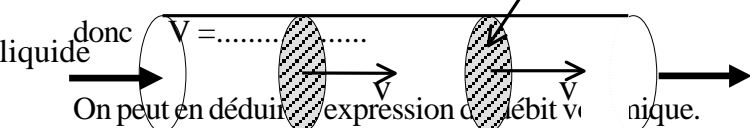
2. Quelle est l'expression du débit volumique ?

Considérons un liquide dont la **vitesse d'écoulement** v dans un tuyau cylindrique est constante.

Le volume V du liquide qui va traverser une **section S du tuyau** pendant une durée Δt est contenu dans un cylindre de section S et de longueur l .

Donc :

$V = \dots\dots\dots$ avec $l = \overline{S} \dots\dots\dots$



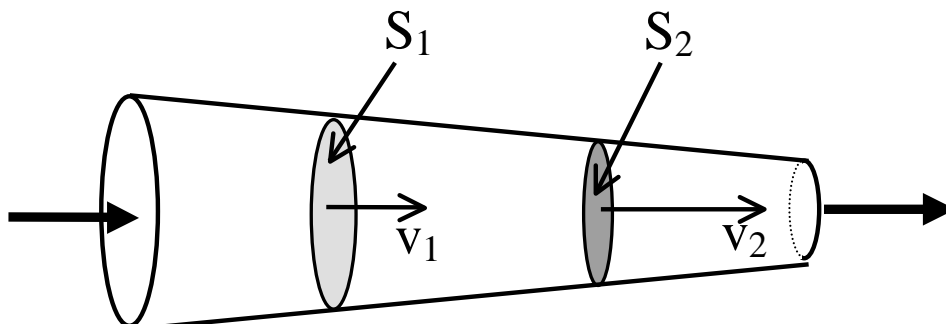
$D = \dots\dots\dots l$ avec v en $m.s^{-1}$; S en m^2 ; D en $m^3.s^{-1}$

3. Conservation du débit volumique.

Il ne peut pas y avoir accumulation de liquide en un point quelconque du circuit : le débit a donc une valeur $\dots\dots\dots$ à travers toute section droite du tuyau.

A débit constant, la diminution de S entraîne une $\dots\dots\dots$ de v .

Sur la figure proposée $S_2 < S_1$ donc $v_2 \dots\dots\dots v_1$ (cas du tuyau d'arrosage dont on pince l'extrémité).



II. Les critères d'écoulement d'un liquide.

1. Comment caractériser le liquide ?

L'écoulement de tout **fluide réel** fait apparaître des *frottements* plus ou moins importants des particules liquides entre elles et avec les parois du tuyau : ce sont les *forces de viscosité*.

Ainsi, l'huile est plus que l'eau (ou moins).

Le coefficient de viscosité attribué à un fluide réel caractérise sa propriété à s'écouler.

On le note η et son unité est le Pa.s (Pascal.seconde).

Exemples : $\eta_{(\text{eau})} = 10^{-3} \text{ Pa.s}$; $\eta_{(\text{huile})} = 0,90 \text{ Pa.s}$
(Pour le modèle du **fluide parfait** on aurait $\eta = \dots\dots\dots$.)

Information : La viscosité d'une huile avec l'élévation de la température.

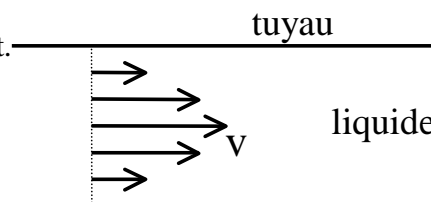
Pour conserver l'effet lubrifiant à froid comme à chaud, on utilise des huiles «multigrades» dans les moteurs thermiques.

2. Quels sont les deux régimes d'écoulement ?

A cause des forces de viscosité, toutes les particules liquides n'ont pas la même vitesse ; c'est donc une **vitesse moyenne d'écoulement** qui intervient dans l'expression du débit.

La vitesse d'écoulement d'un fluide permet de différencier deux types d'écoulement.

- L'**écoulement laminaire** se produit pour une vitesse d'écoulement faible. L'écoulement se fait en couches cylindriques qui glissent les unes sur les autres suivant des *lignes de courant* sensiblement parallèles : la vitesse du filet central est supérieure à la vitesse des filets latéraux.



- L'**écoulement turbulent** se produit pour une vitesse d'écoulement importante. Les lignes de courant se déforment et apparaissent des *tourbillons* (cas de la vidange d'une baignoire). Ce type d'écoulement n'est pas étudié.

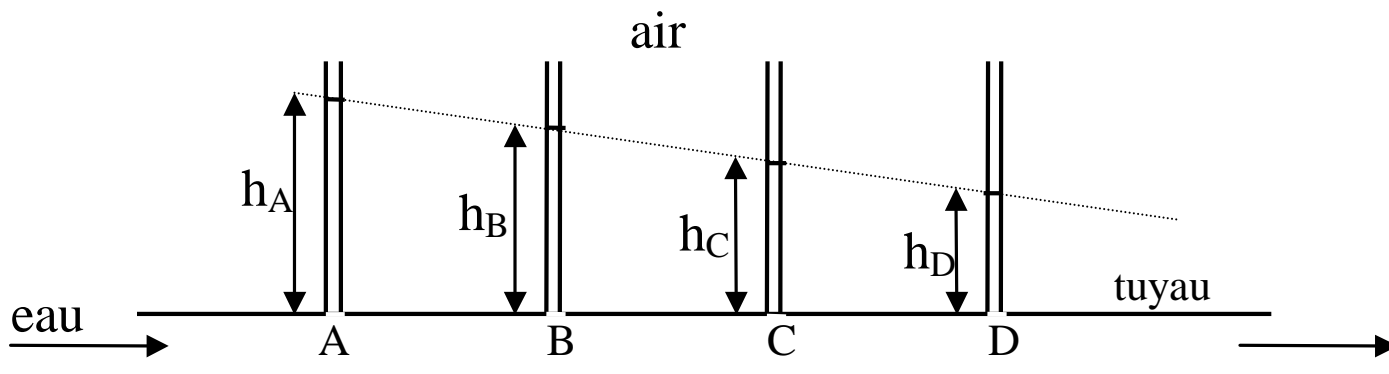
3. Perte de charge dans un tuyau.

a) Comment la mettre en évidence ?

On considère un écoulement laminaire d'eau dans un tuyau horizontal, avec un débit constant.

Les tubes manométriques verticaux permettent de mesurer la pression de l'eau dans le tuyau en différents points A, B, C, D ...

Par exemple en A : $p_A - p_{\text{atm}} = \dots\dots\dots$ soit $p_A = \dots\dots\dots$



On observe que : $h_A \dots\dots h_B \dots\dots h_C \dots\dots h_D$ donc $p_A \dots\dots p_B \dots\dots p_C \dots\dots p_D$.

Dans le cas d'un fluide réel, la pression dans le sens de l'écoulement.

b) Comment la définir ?

La chute de pression entre deux points A et B d'un tuyau est appelée perte de charge.

Pour un écoulement de A vers B, on la note $\Delta p = p_A - p_B$. On l'exprime en Pa.

Information : On peut également définir une perte de charge par unité de longueur appelée perte de charge linéique et exprimée en $\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$.

III. La loi de Poiseuille.

1. Quelle est l'expression du débit ?

En régime laminaire, le débit d'un liquide visqueux dans un tuyau cylindrique dépend :

- de la viscosité η du liquide,
- de la différence de pression (ou perte de charge) Δp entre les deux extrémités du tuyau,
- de la géométrie du tuyau : rayon intérieur r et longueur l .

$$D = \frac{r^4 \cdot \Delta p}{8 \cdot \eta \cdot l} \quad \text{avec } l = AB \text{ et } r \text{ en m ; } \Delta p = (p_A - p_B) \text{ en Pa ; } \eta \text{ en Pa}\cdot\text{s}$$

et D en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Pour un écoulement de A vers B, le débit est exprimé par la loi de Poiseuille.

Exercice 1: Vérifiez l'homogénéité de la relation à l'aide des unités

Exercice 2: Déduisez de la loi de Poiseuille l'expression de la vitesse moyenne d'écoulement du liquide dans un tuyau cylindrique.

$\frac{\Delta p}{l}$
Donnée : la surface d'un disque de rayon r est $S = \pi \cdot r^2$.

2. Les conséquences.

• Si $\Delta p = 0$ $D = \dots\dots\dots$
L'écoulement d'un liquide visqueux dans un tuyau est lié à l'existence d'une dans le sens de l'écoulement.

• Pour une même perte de charge ($\Delta p = \text{Cte}$), dans quel facteur le débit varie-t-il :

- si r est multiplié par 2 :

- si l est multiplié par 2 :

- si η est multiplié par 1000 :

Dans un tuyau, pour une même différence de pression, le débit augmente :

- avec le rayon à la puissance

- avec de la longueur du tuyau.

- avec de la viscosité.