

Les fluides

H.KRARCHA

DÉPARTEMENT GÉOGRAPHIE ET
AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE



Définition :

- ▶ La mécanique des fluides étudie le comportement des fluides :

- au repos :

hydrostatique

- en mouvement :

hydrodynamique

On distingue deux types de fluides :

- les liquides → *incompressibles*

- les gaz → *compressibles*



Objectifs de cours 1:

- ✓ déterminer expérimentalement la valeur de la poussée d'Archimède;
- ✓ mesurer la pression d'un liquide en un point;
- ✓ - déterminer expérimentalement les variations de pression au sein d'un fluide;
- ✓ - distinguer la pression atmosphérique, pression relative et pression absolue;
- ✓ - utiliser la formule

$$p_B - p_A = \rho gh$$

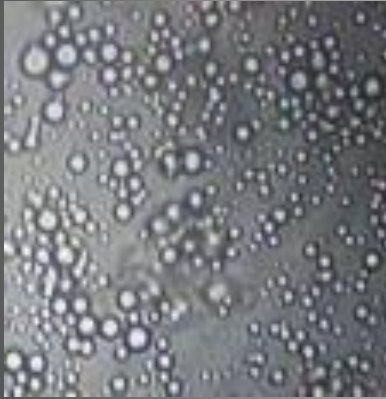


Les fluides

- Qu'est-ce qu'un fluide?
- Quels seraient certains exemples de fluides?
- Quels seraient certains fluides essentiels à la vie?
- Déterminer les propriétés des fluides



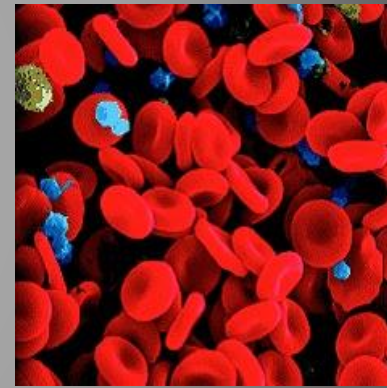
Quelques fluides complexes



Lait



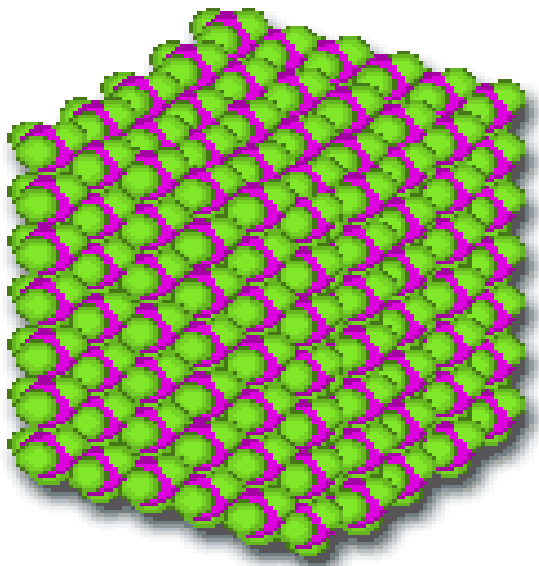
Liquide à bulles



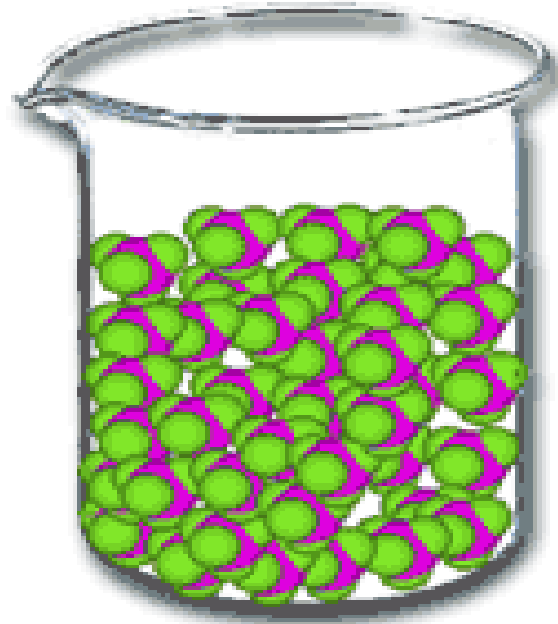
Sang



Les états de la matière



Solid



Liquid



Gas



Les caractéristiques des fluides

- Les fluides ont certaines caractéristiques qui les définissent comme étant des fluides.
- Les fluides n'ont pas de forme définie.
- Les gaz et les liquides prennent la forme de leur contenant.
- Les liquides possèdent un volume défini.
- Les gaz vont remplir complètement le contenant dans lequel ils sont placés.



Poids et masse

- ❖ Mesure de la force d'attraction que la gravité exerce sur ton corps.

- ❖ Ton poids va changer en fonction du lieu où il est mesuré

- ❖ la Lune vs. la Terre

- ❖ Mesure de la quantité de matière dans un objet ou une substance.

- ❖ La masse ne change pas, elle ne dépend pas de l'endroit où tu la mesures.



Volume

- ◆ **Volume** est la mesure de l'espace occupé par un objet.
- ◆ **Volume** (m^3 , l, cm^3 , ml)
= longueur X profondeur X hauteur
- ◆ **Gaz** - m^3
- ◆ **Liquides** ($1\,000\,cm^3 = 1\,000\,ml = 1\,L$)



La pression

- Soit \vec{F} une force s'exerçant uniformément sur une surface plane
et perpendiculairement à cette surface
- S est la surface sur laquelle agit la force \vec{F}

La pression est donnée par la relation :

$$p = \frac{F}{S}$$

p: en pascals

F; en Newtons

S: en mètres carrés



La pression est égale au quotient de la valeur F de la force pressante par l'aire S de la surface pressée.

Unités :

- Le pascal est l'unité du système international de la pression.

On le note Pa

$1 Pa$ est la pression exercée par une force de $1 N$ sur une surface de $1 m^2$

$$1Pa = \frac{1N}{1m^2}$$



– Le bar

1 bar est la pression exercée par une force de 1 *daN* sur une surface de *1 cm²*

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

–
L'atmosphère;

1 atm = 1,01325 × 10⁵ Pa
(valeur de la pression atmosphérique normale).



Rappel sur les unités

Masse volumique ρ :

unité SI : kg / m^3

Pression p :

unité SI : $\text{N} / \text{m}^2 = \text{kg} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-2} = \text{Pa}$ (Pascal)

- 1 bar = 100 kPa
- 1 torr = 1 mm Hg
- 1 psi = 1 pound / square inch

Pression atmosphérique :

1 atm = 1,01325 bar = 101325 Pa



Petite histoire:



- ▶ PASCAL (Blaise) (1623–1662)
- ▶ Mathématicien, physicien, philosophe et écrivain français. Fit de nombreuses expériences sur la pression atmosphérique et l'équilibre des liquides.

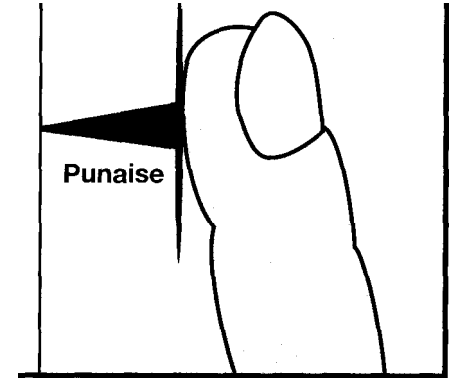


EXEMPLE

Sur la figure ci-contre, le doigt exerce sur la punaise une force de 15 N .

L'aire de la tête de la punaise est 300 mm^2 , celle de la pointe $0,5\text{ mm}^2$.

La surface de la pointe de la punaise étant très petite, la pression sur le mur est très grande.



1. Calculer la pression exercée par le doigt sur la tête de la punaise
2. Quelle est la pression de la pointe de la punaise sur le mur ?

(Les résultats seront donnés en Pa puis en bar)



Réponses

1. Calcul de la pression exercée par le doigt

$$P_{doigt} = \frac{F}{S_{punaise}}$$

P_{doigt} : pression du doigt sur la punaise

$F = 15 \text{ N}$

$S_{punaise} = 300 \text{ mm}^2 = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$: l'aire de la tête de la punaise

$$P_{doigt} = \frac{15}{3 \times 10^{-4}} = 5 \times 10^4 \text{ Pa} = 0,5 \text{ bar}$$



2. Calcul de la pression exercée par la pointe de la punaise

$$p = \frac{F}{S}$$

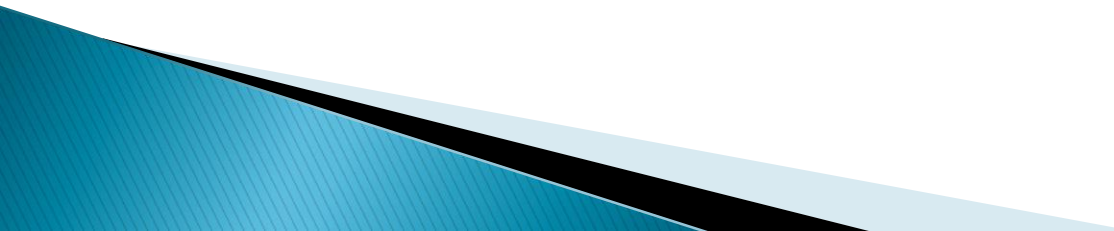
p_{pointe} : pression du doigt sur la punaise

$$F = 15 \text{ N}$$

$S_{\text{pointe}} = 0,5 \text{ mm}^2 = 5 \times 10^{-7} \text{ m}^2$:
l'aire de la tête de la punaise

$$p_{\text{pointe}} = \frac{15}{5 \times 10^{-7}} = 3 \times 10^7 \text{ Pa} = 300 \text{ bar}$$





Calculer la masse volumique

Un cylindre gradué contient 62,0 ml d'eau. Quand un petit bloc de métal est déposé dans l'eau, le volume total est égal à 65,5 ml.

Si le bloc a une masse de 26g quelle est sa masse volumique?

$$\rho = \frac{\text{Masse}}{\text{Volume}}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= 65,5 \text{ ml} - 62,0 \text{ ml} \\ &= 3,5 \text{ ml}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 26 \text{ g} / 3,5 \text{ ml} \\ &= 7,4 \text{ g/ml}\end{aligned}$$

La masse volumique est 7,4 g/ml.



La masse volumique

Un contenant vide a une masse de 67 g. Après avoir versé 55 ml d'huile d'olive dans le contenant, la masse totale s'élève à 117g.

Quelle est la masse volumique de l'huile d'olive?

$$D = M/V$$

$$\begin{aligned} \text{Masse} &= 117 \text{ g} - 67 \text{ g} \\ &= 50\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= 50 \text{ g} / 55 \text{ ml} \\ &= 0,91 \text{ g/ ml} \end{aligned}$$

La masse volumique de l'huile d'olive est 0,91 g/ ml.



La masse volumique

La masse d'un bloc de fer est 35 g. Quand ce bloc de fer est déposé dans un cylindre gradué contenant 65 ml d'eau, le volume total de l'eau et du fer est de 69,5 ml. Quelle est la masse volumique de ce bloc de fer?

$$D = M/V$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 69,5 \text{ ml} - 65 \text{ ml} \\ &= 4,5 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= 35 \text{ g} / 4,5 \text{ ml} \\ &= 7,8 \text{ g/ml} \end{aligned}$$

La masse volumique de ce bloc de fer est 7,8 g/ml.



Masse volumique

$\rho(x,y,z,t)$ en kg/m^3

ρ Eau	1000 kg/m^3
ρ Mercure	13540 kg/m^3
ρ Air (20°C, 1 bar)	1.3 kg/m^3

A priori non uniforme dans l'espace

Varie avec la température (même pour un liquide) :
Varie avec la pression (peu pour un liquide) :

dilatabilité
compressibilité

Une approximation bien utile : le fluide incompressible

$\rho = \rho_0$ constant par rapport à t et x, y, z

Conditions de validité : plus tard (amphi 4, poly chapitre 5)

$$M(t) = \int_V \rho dV = \rho V$$

Masse de fluide dans V



2-Volume massique Vs

$$V_s = \frac{1}{\text{masse volumique}}$$

$$V_s = \frac{1}{\rho}$$

▶ $V_s = \frac{\text{volume(m}^3\text{)}}{\text{masse(Kg)}}$

▶ $V_s(\text{m}^3/\text{Kg})$



3-Poids Volumique ω

- ▶ Le poids volumique est le rapport poids par volumes:

$$\omega = \frac{m \cdot g}{V}$$

- ▶ $\omega(\text{N}/\text{m}^3)$



4-Equation d'état

$$PV=m.r.T$$

$$PV=n.R.T$$

T: température absolue en Kelvin K

$$T=t(c)+273$$

$$\rho = m/V=P/r.T$$

$$Vs=r.T/P$$

$$\omega = \rho \cdot g = P.g/r.T$$



r : constante des gaz

$$r = R / M$$

R: constante des gaz parfait

$$R = 8,3144621 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

M: masse molaire(g/mole)



5– La Densité ‘D’:

Pour les liquides

$$D = \frac{\text{masse volumique du liquide}}{\text{masse volumique de l'eau}}$$

$$D = \frac{\rho_{\text{liq}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{\rho_{\text{liq}}}{1000}$$



Pour les Gaz:

$$D = \frac{\text{masse volumique du gaz}}{\text{masse volumique de l'air}}$$

$$D = \frac{\rho_{\text{gaz}}}{1.3}$$

ou bien

$$D = \frac{\text{masse molaire du gaz}}{\rho \text{masse molaire de l'air}_{\text{air}}}$$

$$D = \frac{M_{\text{gaz}}}{M_{\text{air}}} = \frac{MM_{\text{gaz}}}{2.9}$$



2 – POUSSÉE D'ARCHIMÈDE

Principe de la poussée d'Archimède

- Tout corps immergé dans fluide (liquide ou gaz), reçoit de la part de ce fluide une poussée verticale dirigée de bas en haut et dont l'ur est égale au poids du fluide déplacé.

Sa valeur, qu'on peut noter F_A , se calcule par la formule:

$$F_A = \rho \times g \times V$$

- ρ est la masse volumique du fluide en kg/m^3 (kilogramme par mètre cube);
- g est l'intensté de la pesanteur en N/kg (newton par kilogramme)
- V est le volume du fluide déplacé en m^3 (mètre cube);
- La valeur F_A est en newton (N).

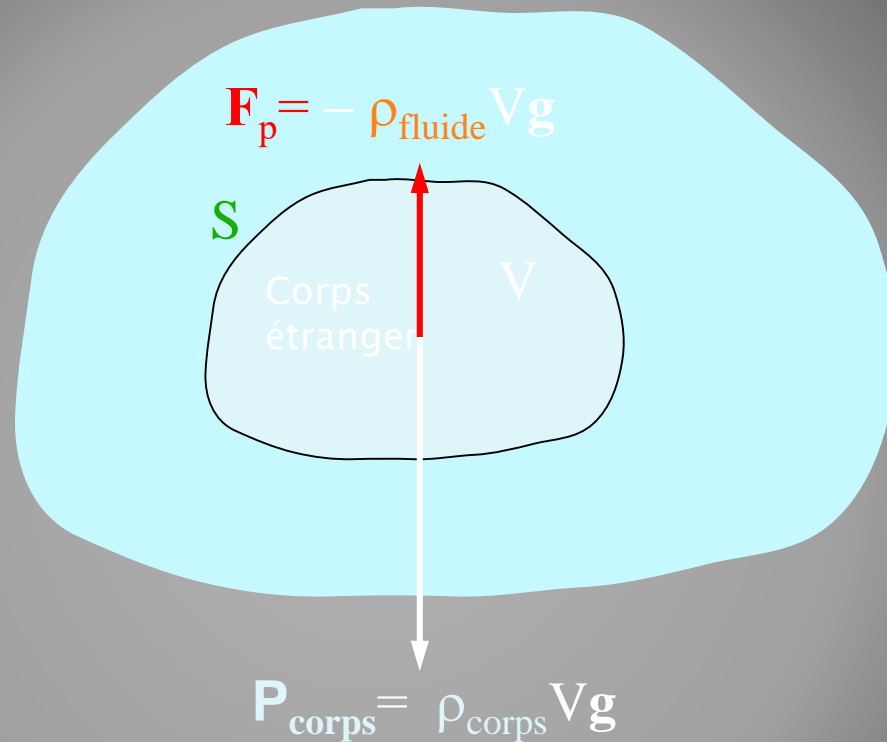


Condition de flottabilité d'un corps

- Un corps flotte si la valeur de son poids égale à la valeur de la force de poussée d'Archimède.
- Un corps coule si la valeur de son poids est supérieure à la valeur de la poussée d'Archimède.



Force sur un corps dans un fluide statique



$$\mathbf{P}_{\text{corps}} + \mathbf{F}_p = (\rho_{\text{corps}} - \rho_{\text{fluide}}) V \mathbf{g} \neq 0$$

Deux cas possibles

- $\rho_{\text{corps}} > \rho_{\text{fluide}}$: il descend
- $\rho_{\text{corps}} < \rho_{\text{fluide}}$: il monte



5 – PRESSION EXERCÉE PAR LES FLUIDES

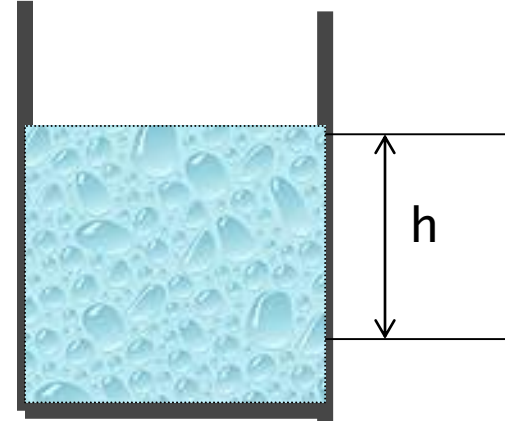
a. Pression en un point d'un fluide

La pression en un point d'un liquide

dépend :

_ de la profondeur de ce point ;

_ de la masse volumique du liquide.



$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

- La pression est la même en tout point d'un plan horizontal (plan isobare).

Il n'existe qu'une seule pression en un point donné d'un liquide.

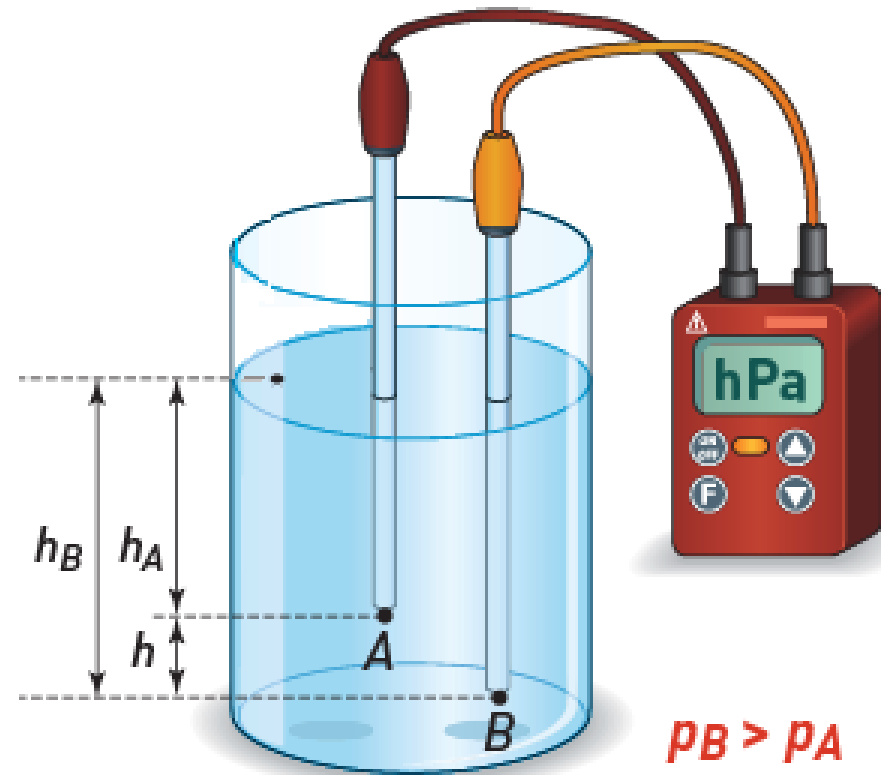


b. Calcul de la pression en un point d'un fluide:
principe fondamental de l'hydrostatique

La différence de pression entre deux points A et B d'un liquide est égale à :

$$P_B - P_A = \rho g h$$

- – ρ est la masse volumique du liquide exprimé en kilogrammes par mètre cube (kg.m^{-3})
 - g est l'intensité de la pesanteur (soit à Paris : $9,81 \text{ N.kg}^{-1}$)
- h est la différence de niveau entre les deux points exprimée en mètres (m)
- – P_A et P_B sont les pressions exprimées en Pascals(Pa).



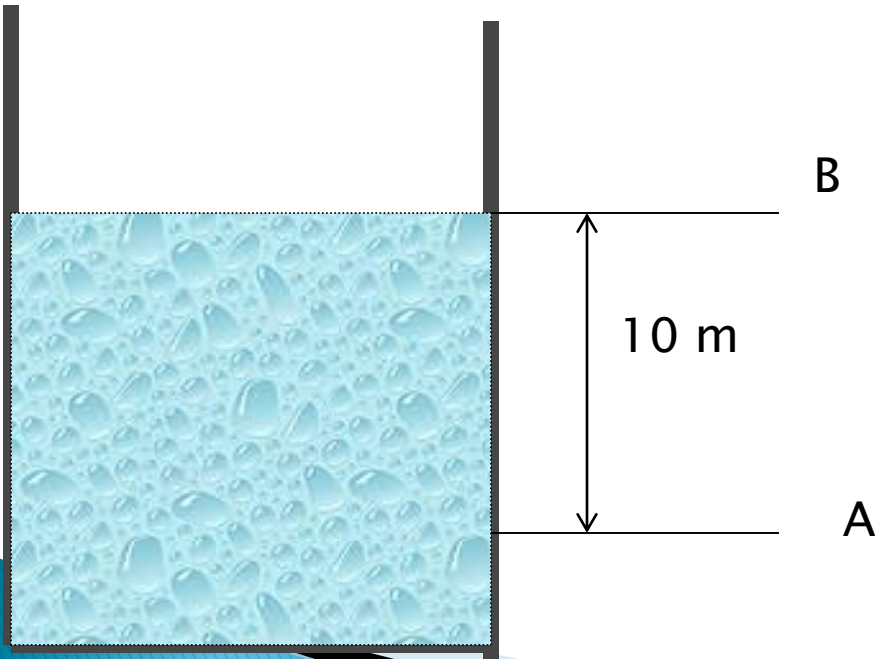
EXEMPLE

- Deux points situés *dans l'eau* sont à 10 m l'un au-dessus de l'autre.
- La masse volumique de l'eau étant $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Calculer la différence de pression entre ces deux points.

Réponse: $P_A - P_B = \rho g h$

$$P_A - P_B = 1\,000 \times 9,81 \times 10$$

$$P_A - P_B = 9,81 \times 10^4 \text{ Pa}$$



2 - Force de tension superficielle

Dans un tube, la surface libre de l'eau forme un ménisque près des bords.



<http://perso.wanadoo.fr/philippe.boenf/robert/physique/menisque.htm>

Une punaise (ou une aiguille d'acier) flotte à la surface de l'eau.



N. Vandewalle et al., Université de Liège

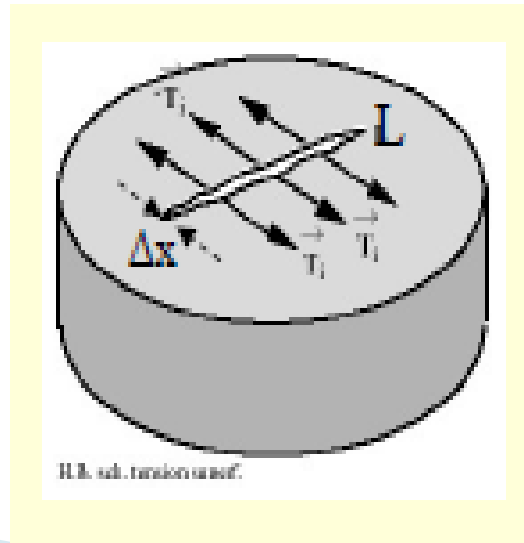
Certains insectes sont capables de se déplacer sur l'eau.



<http://blog.empyree.org/?Galerie-photo>



Imaginons qu'on veuille créer à la surface libre d'un liquide une ouverture en forme de fente, de longueur L et de largeur Δx très petite : il faut pour cela exercer en plusieurs points de l'ouverture des forces T_i , qui doivent être des forces de traction :



: En effet, le liquide tend à s'opposer à cette opération en développant une force de norme F qui s'oppose aux forces T_i . La tension superficielle est la même en tout point de la surface du film ; la force F est normale en tout point du fil de coton : c'est elle qui tend le fil.

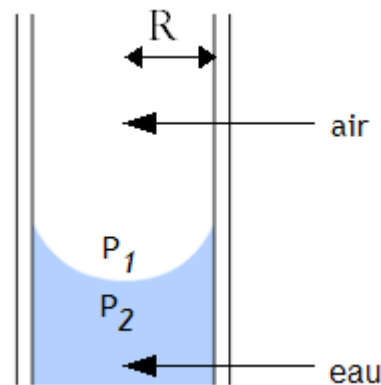
$$F = \sigma L$$

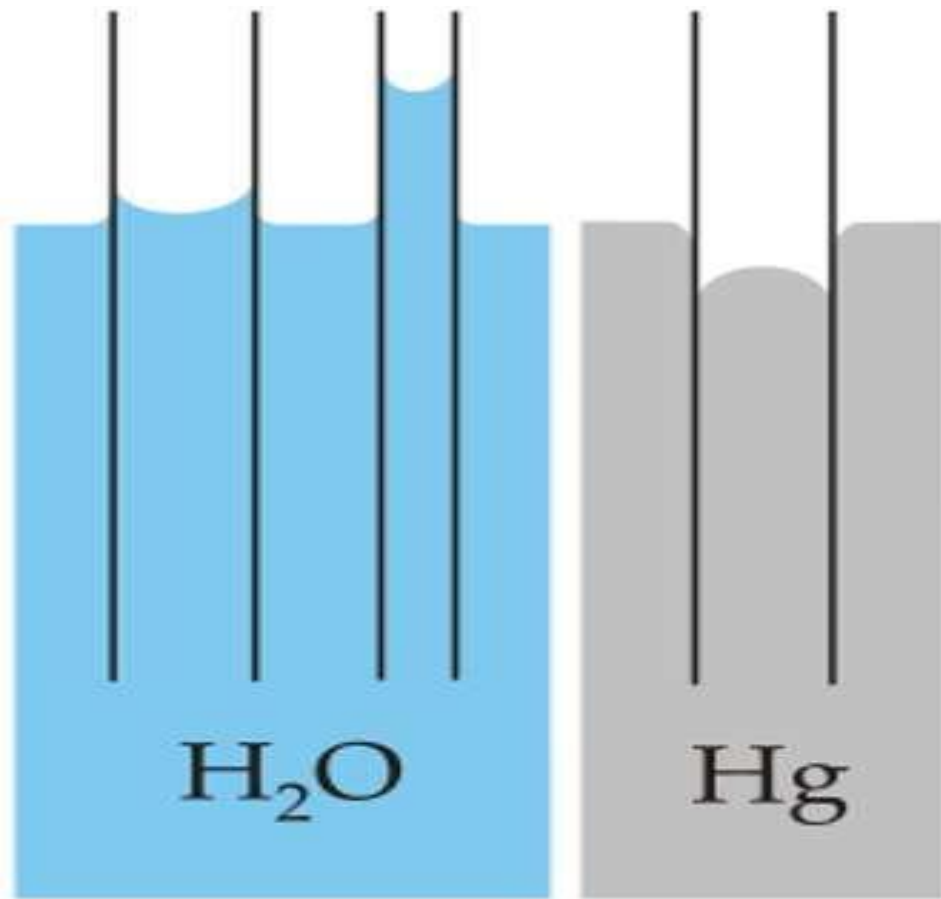
Le coefficient σ s'appelle tension superficielle et se mesure en N/m .



PHÉNOMÈNE DE CAPILLARITÉ

Ce phénomène est encore plus visible quand on utilise des tubes fins, aussi appelés capillaires. Cette courbure est due à la **capillarité**, elle est appelé ménisque. Selon la valeur de **latension superficielle**, le liquide va plus ou moins mouiller les parois latérales du capillaires.



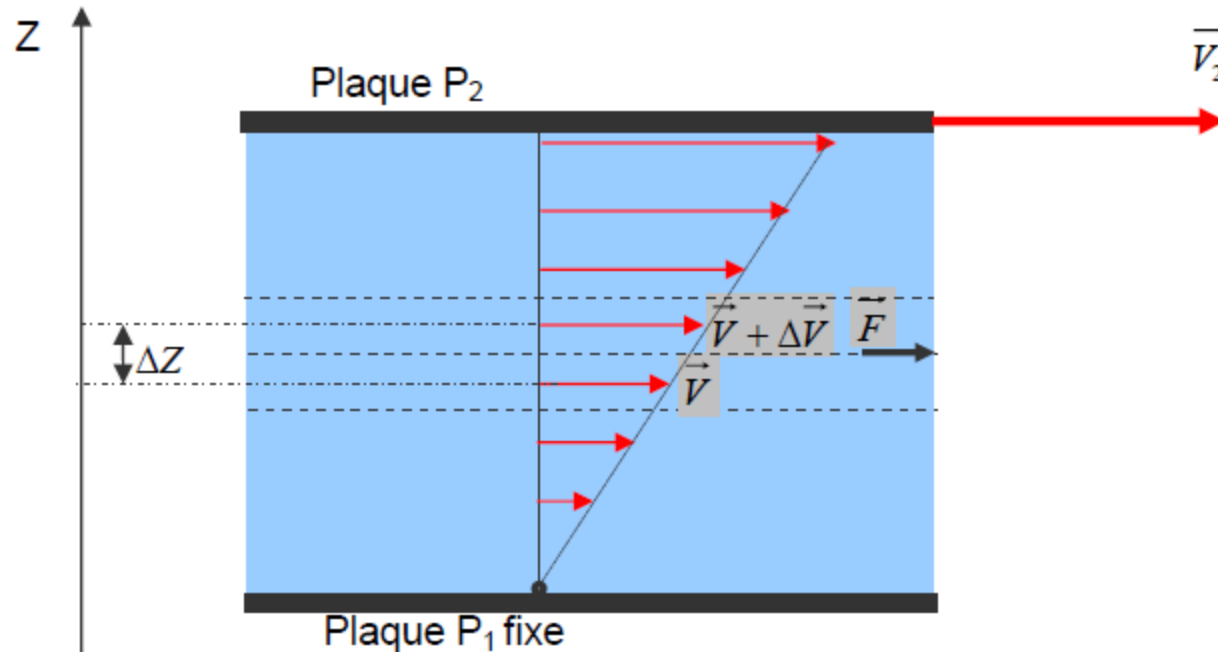


Ce schéma illustre le phénomène de capillarité et le fait qu'il dépend des liquides. Sur la gauche on voit que l'eau (H_2O) monte d'autant plus haut au-dessus de la surface de ce liquide dans un tube qui y plongé que ce tube est fin. Avec du mercure (H_g), comme on le voit sur la droite, le liquide descend dans le tube.



Viscosité

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. 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 en mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide



Viscosité dynamique

La viscosité dynamique exprime la proportionnalité entre la force qu'il faut exercer sur une plaque lorsqu'elle est plongée dans un courant et la variation de vitesse des veines de fluide entre les 2 faces de la plaque. ...Elle est exprimée par un coefficient représentant la contrainte de cisaillement nécessaire pour produire un gradient de vitesse d'écoulement d'une unité dans la matière.

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

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 (Pl) : $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1 \text{ Pl} = 1 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$

Exemple :

Fluide	μ (Pa·s)
eau (0 °C)	$1,787 \cdot 10^{-3}$
eau (20 °C)	$1,002 \cdot 10^{-3}$
eau (100 °C)	$0,2818 \cdot 10^{-3}$
Huile d'olive (20 °C)	$\approx 100 \cdot 10^{-3}$
glycérol (20 °C)	$\approx 1000 \cdot 10^{-3}$
Hydrogène (20 °C)	$0,86 \cdot 10^{-5}$
Oxygène (20 °C)	$1,95 \cdot 10^{-5}$



Viscosité cinématique

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

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.

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$



Viscosité cinématique $\rho \mu$

ν = L'unité de la viscosité cinématique est le (m^2/s).

Remarque 1 (unité):

On utilise souvent le Stokes (St) comme unité de mesure de la viscosité cinématique.

$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

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 une sollicitation (effort). En d'autre terme, cette dernière

exprime la « rigidité » d'un fluide à une vitesse de déformation en cisaillement (voir

la relation * à la page 6).



CHAPITRE III

DYNAMIQUE DES FLUIDES



INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous allons étudier les fluides en mouvement. Contrairement aux solides, les éléments d'un fluide en mouvement peuvent se déplacer à des **vitesse différentes**. L'écoulement des fluides est **un phénomène complexe**.



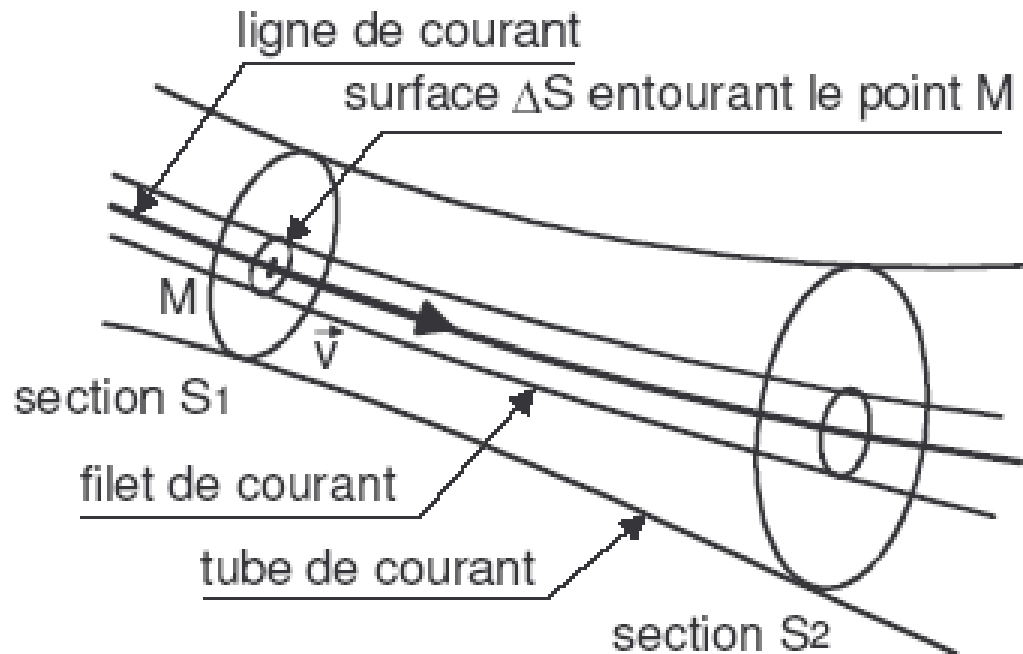
On s'intéresse aux équations fondamentales qui régissent la dynamique des **fluides incompressibles** parfaits, en particulier :

- **l'équation de continuité** (conservation de la masse),
- **le théorème de Bernoulli** (conservation de l'énergie) et,
- **le théorème d'Euler** (conservation de la quantité de mouvement) à partir duquel on établit les équations donnant la force dynamique exercée par les fluides en mouvement (exemple les jets d'eau)

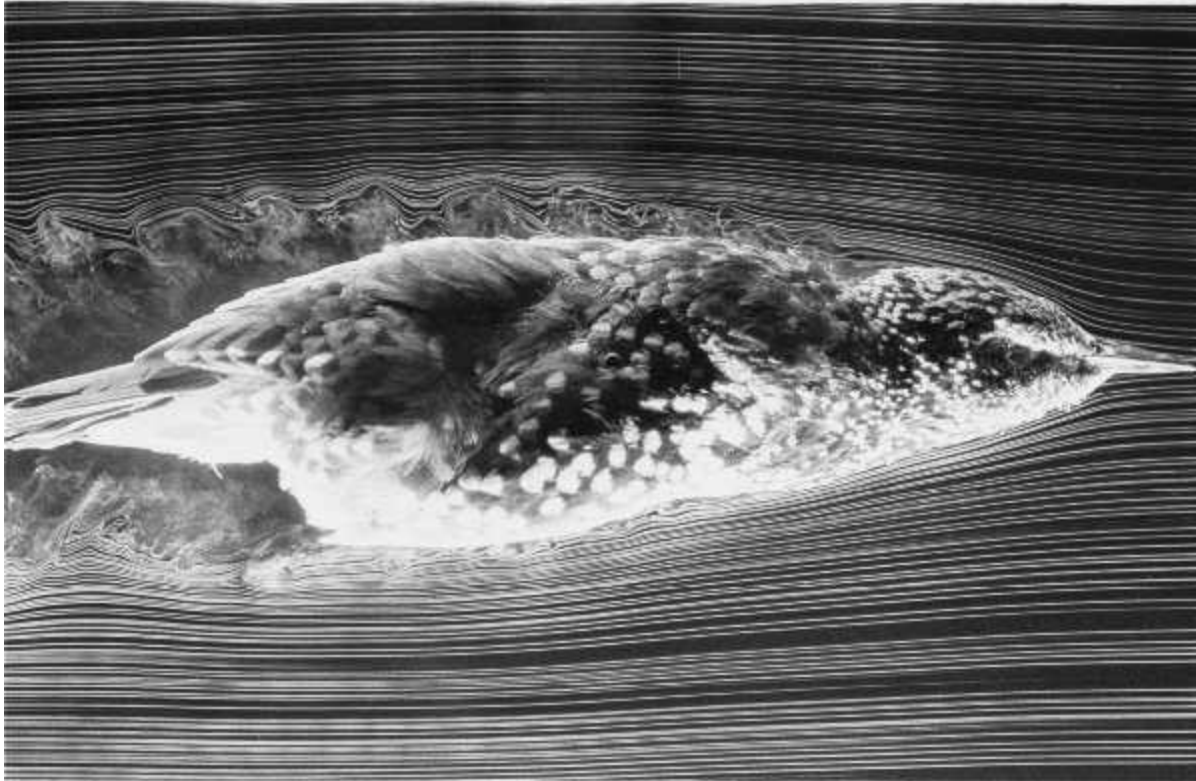


Lignes de courant

Les lignes de courant sont les trajectoires suivies par les molécules d'un fluide en mouvement (*voir figure*).

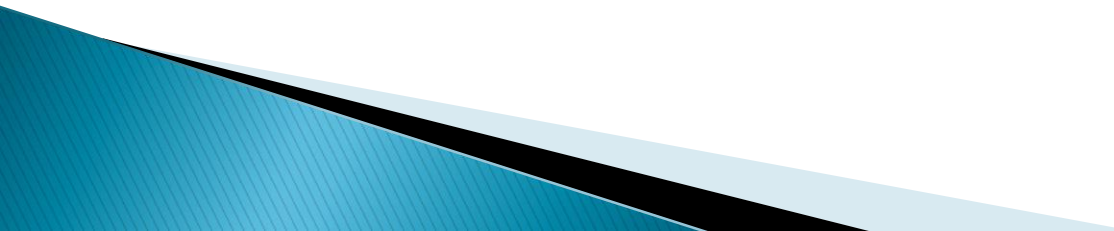


Type D'écoulement:



**Figure II.2 : lignes de courant visualisées
autour d'un oiseau**





Type d'écoulement :

» Ecoulement permanent : $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$

» Ecoulement non permanent $\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$

» Ecoulement uniforme $\frac{\partial V}{\partial S} = 0$

» Ecoulement non uniforme $\frac{\partial V}{\partial S} \neq 0$

S : c'est la section.



2. Écoulement

permanent

- Un écoulement est dit permanent lorsque les lignes de courant ne varient pas au cours du temps.
- En un point du fluide, toutes les molécules passent avec la même vitesse (les vitesses sont indépendantes du temps).
- Dans un écoulement parfait, on considère que toutes les molécules traversant une même section ont la même vitesse.



III. Débit massique et débit volumique d'un liquide

a. Débit massique

Le débit massique Q_m est le rapport de la masse m de liquide s'écoulant pendant le temps t

$$Q_m = \frac{m}{t} = \rho S v$$

Unités: m (masse) en kg; t (durée) en s;

Q_m (débit massique) en kg/s

ρ (masse volumique) en kg/m³;

S (l'aire de la section) en m²;

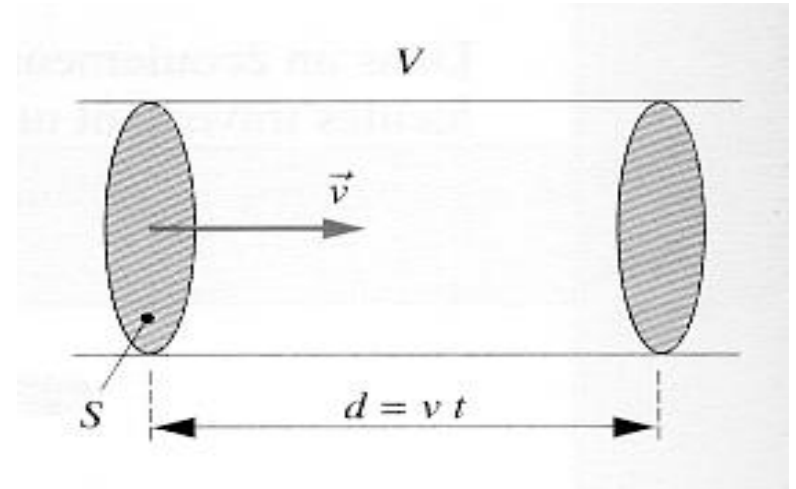
v (vitesse moyenne d'écoulement du fluide) en m/s



b. Débit volumique

Le débit volumique Q_v est le volume de fluide, par unité de temps, qui traverse une section droite.

Unité : mètre cube par seconde (m^3/s)



$$Q_v = \frac{V}{t} = Sv$$

Q_v (débit volumique) en m^3/s

V (volume) en m^3 ; t (durée) en s; S (l'aire de la section) en m^2 ;

v (vitesse moyenne d'écoulement du fluide) en m/s



4.2 Débit volumique

Le débit volumique d'une veine fluide est la limite du rapport $\frac{dV}{dt}$ quand dt tend vers 0.

$$q_v = \frac{dV}{dt}$$

Où :

- q_v : Volume de fluide par unité de temps qui traverse une section droite quelconque de la conduite.
- dV : Volume élémentaire, en (m^3), ayant traversé une surface S pendant un intervalle de temps dt ,
- dt : Intervalle de temps en secondes (s),

D'après la relation (3) et en notant que $dV = \frac{dm}{\rho}$ on peut écrire également que

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} \text{ soit}$$

$$q_v = S.V$$



4.3 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 :

$$q_m = \rho \cdot q_v$$



Remarque:

ρ étant la masse volumique du liquide, on constate:

$$Q_m = \rho \times Q_v$$

On utilise plus généralement le débit volumique que l'on notera, sauf ambiguïté Q



VI- Equation de continuité:

L'équation de continuité résulte du principe de conservation de masse:

$$\frac{m_1}{t_1} = \frac{m_2}{t_2} = Cte$$

$$\frac{\rho_1 V_1}{t_1} = \frac{\rho_2 V_2}{t_2} = Cte$$

$$\frac{\rho_1 S_1 l_1}{t_1} = \frac{\rho_2 S_2 l_2}{t_2} = Cte$$

D'où

$$V_1 = \frac{l_1}{t_1} \quad \text{et} \quad V_2 = \frac{l_2}{t_2} \quad (\text{vitesse})$$

$$\rho_1 S_1 V_1 = \rho_2 S_2 V_2 = Cte$$

Pour les fluides incompressibles $\rho_1 = \rho_2 = Cte$



Pour les fluides incompressibles:

$$\rho_1 = \rho_2 = Cte$$

$$S_1 V_1 = S_2 V_2 = Cte$$

le produit $S.V$ est appelé débit Q :

$$Q = S_1 V_1 = S_2 V_2 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

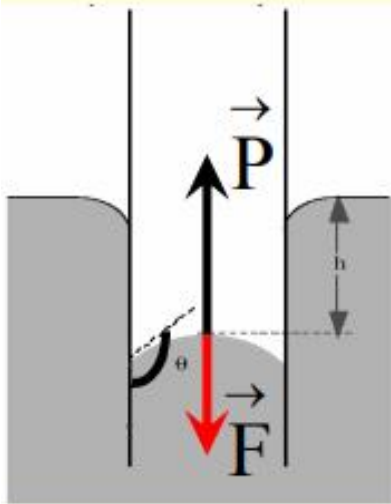


On obtient ainsi la relation

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{R\rho g}$$

que l'on appelle ***Loi de Jurin***





Cette fois les forces de cohésion sont supérieures aux forces d'adhésion, le liquide ne mouille pas les parois du tube. Le niveau du liquide s'abaisse dans le tube au dessous du niveau de la surface libre du récipient. Le ménisque est convexe et forme l'angle $\theta > 90^\circ$ avec la paroi du tube.

Les forces de tension superficielle tirent le liquide vers le bas. La résultante F de ces tensions équilibre maintenant le poids P du liquide manquant.

Quelques valeur de l'angle de contact :

Interface dans l'air	Ange de contact θ	Ascension capillaire
Eau - verre	0	↑
Liquide org. - verre	0	↑
Alcool - verre	0	↑
Mercure - verre	140	↓

Interface dans l'air	Ange de contact θ	Ascension capillaire
Kérozène - verre	26	↑
Eau - paraffine	107	↓
Eau - acier	90	nulle
Eau - bois	0	↑

