

**TOUT EN
FICHES**

Pascal Bigot

Professeur en BTS au lycée
Marie Curie (Nogent-sur-Oise)

Richard Mauduit

Professeur en BTS au lycée
Robert Schuman (Le Havre)

Eric Wenner

Professeur en BTS au lycée
Robert Schuman (Le Havre)

L'ESSENTIEL DE

MÉCANIQUE DES FLUIDES

LICENCE, IUT

DUNOD

Graphisme de couverture : Pierre-André Gualino
Illustrations de couverture : shutterstock_12802474

Cet ouvrage existe en deux versions dans les collections
L'Essentiel BTS et L'Essentiel Licence / IUT

© Dunod, 2011, 2015, 2021
11, rue Paul Bert 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-083038-1

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

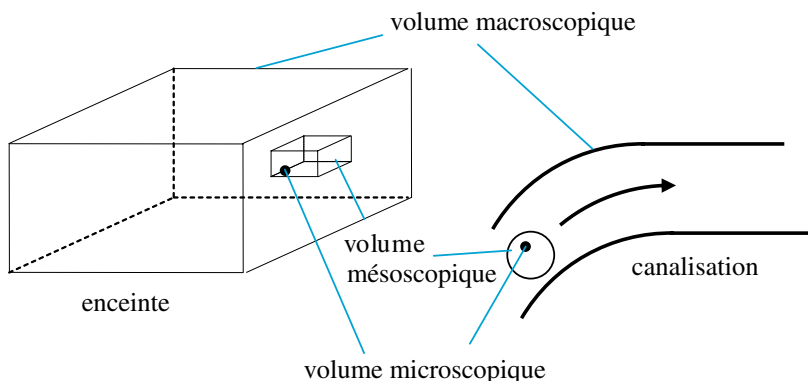
Table des matières

Fiche 1	Généralités sur les fluides – pression	1
Fiche 2	Fluides gazeux	8
Fiche 3	Relation fondamentale de la statique des fluides	17
Fiche 4	Pression atmosphérique	26
Fiche 5	Mesures de pressions	33
Fiche 6	Forces de pression : poussée sur une paroi	43
Fiche 7	Forces de pression : poussée d'Archimède	51
Fiche 8	Tension superficielle et tensiométrie	60
Fiche 9	Écoulement des fluides parfaits	69
Fiche 10	Mesures de débits	76
Fiche 11	Mesures de vitesses	85
Fiche 12	Viscosité et viscosimétrie	95
Fiche 13	Rhéologie	104
Fiche 14	Calculs de perte de charge	112
Fiche 15	Les pompes	122
Fiche 16	Les turbines hydrauliques	135
Fiche 17	Le théorème de Bernoulli généralisé	144
Fiche 18	Travail de synthèse	155
Fiche 19	Dynamique des fluides compressibles	163
Fiche 20	Théorème d'Hugoniot	172

1. Les fluides

■ Grandeurs mésoscopiques

En mécanique des fluides, les grandeurs définies le sont pour des volumes mésoscopiques (encore appelés éléments de fluides), *intermédiaires entre le volume microscopique et le volume macroscopique*.



Une grandeur définie sur un volume microscopique ne concerne que trop peu de particules et n'est donc pas continue.

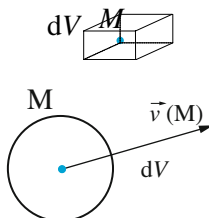
Une grandeur définie sur un volume macroscopique ne permet pas de rendre compte des variations de cette grandeur à l'intérieur de ce volume.

EXEMPLES DE GRANDEURS DÉFINIES AU NIVEAU MÉSCOPIQUE

$$\text{Masse volumique (en } M) = \frac{dm}{dV}$$

avec dm = masse de l'ensemble des particules dans le volume dV .

$\vec{v}(M)$ = moyenne des vecteurs vitesses des particules contenues dans le volume dV .



Différence solide/fluide

Dans un solide, les particules sont rigidement liées les unes aux autres, contrairement à un fluide : *fluides = liquides et gaz*.

Différence liquide/gaz

Au niveau macroscopique, contrairement à un liquide, un gaz occupe toujours l'ensemble du volume qui lui est proposé.

Au niveau microscopique, contrairement à un gaz, les particules d'un liquide sont très proches.

D'autre part, liquides et gaz diffèrent par l'ordre de grandeur :

- de leur masse volumique (en moyenne 1 000 fois supérieure pour un liquide) ;
- de leur aptitude à subir une variation de volume à température constante (en moyenne 100 000 fois supérieure pour un gaz).

Grandeurs usuelles

- **Pression P en un point** : voir partie 2.
- **Température T** : grandeur qui traduit le degré d'agitation des particules.
- **Volume V** : partie de l'espace occupée.
- **Masse volumique ρ (« rho »)** : $\rho = \frac{m}{V}$ avec m = masse de fluide occupant le volume V .
- **Densité d** : $d = \frac{m}{m_R}$ avec m = masse de fluide occupant le volume V et m_R = masse d'un corps R de référence occupant le même volume V .

Le corps de référence est l'eau pour les liquides et l'air pour les gaz.

On a aussi : $d = \frac{\rho}{\rho_R}$ avec ρ_R = masse volumique du corps R .

Fluides incompressibles et compressibles

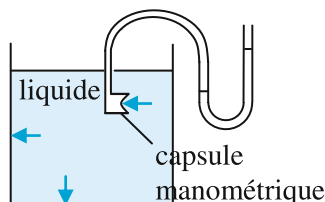
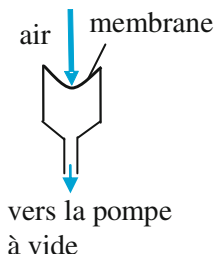
Un fluide incompressible est tel que sa masse volumique reste la même en tout point : *les liquides peuvent être considérés comme incompressibles*.

Un fluide compressible est tel que sa masse volumique peut varier d'un point à l'autre : *les gaz peuvent être considérés comme compressibles*.

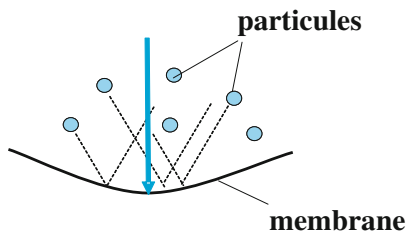
2. Pression en un point d'un fluide au repos

Forces pressantes

Les molécules d'un **fluide quelconque, au repos**, sont en mouvement incessant (par exemple, quelques gouttes de colorant ajoutées dans un verre d'eau finissent par diffuser dans la totalité du liquide) et exercent donc des forces pressantes en tout point du fluide.



Interprétation microscopique :

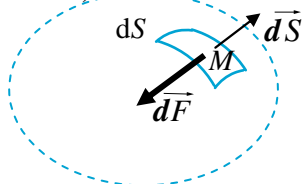


La force de pression résultante est principalement due aux chocs des particules

Par raison de symétrie, une force de pression est localement normale à l'élément de surface sur lequel elle s'exerce (la viscosité n'intervenant pas pour un fluide au repos).

Pression absolue en un point

(surface S)



La pression p_M au point M est définie

telle que : $d\vec{F} = -p_M \cdot d\vec{S}$

on a alors : $p_M = \frac{dF}{dS}$

Unité S.I. : le Pascal (Pa)

Si on isole dans un fluide un volume V fictif délimité par une surface S fermée, les particules extérieures à V exercent sur une surface élémentaire dS (centrée sur le point M) de S la force pressante $d\vec{F}$ normale (pour un fluide au repos) à dS .

$$\text{« pression »} = \text{« } \frac{\text{force}}{\text{surface}} \text{ »} ; \text{ « force »} = \text{« pression } \times \text{ surface »}$$

Autres unités utilisées

- le bar : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- l'atmosphère (atm) : $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,013 \text{ bar}$
- le millimètre de mercure (mm de Hg) $760 \text{ mm de Hg} = 1 \text{ atm}$
- le mètre colonne d'eau (m CE) $10 \text{ m CE} = 1 \text{ bar}$

Pression relative (ou effective) en un point

La pression relative $p_{\text{rel}}(M)$ en un point M est telle que :

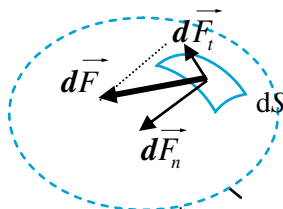
$$p_{\text{rel}}(M) = p_M - p_{\text{atm}}$$

avec p_{atm} = pression atmosphérique (elle peut varier !).

La présence d'atmosphère fait qu'elle contribue à la pression exercée ; la pression relative correspond donc à la pression exercée par le fluide seul.

Cas d'un fluide en mouvement

Dans ce cas, la force pressante $d\vec{F}$ n'est plus forcément normale à dS , en particulier si le fluide est visqueux.

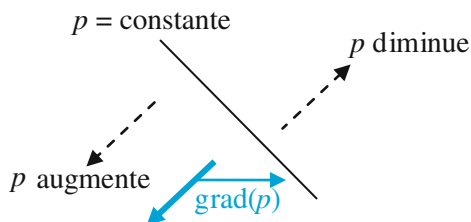


$$d\vec{F} = d\vec{F}_n \text{ (composante normale)} + d\vec{F}_t \text{ (composante tangentielle)}$$

$$\text{La pression en } M \text{ est telle que : } p_M = \frac{dF_n}{dS}$$

Gradient de pression

C'est le vecteur $\overrightarrow{\text{grad}}(p) = \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)_{y,z} \vec{u}_x + \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right)_{x,z} \vec{u}_y + \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)_{x,y} \vec{u}_z$

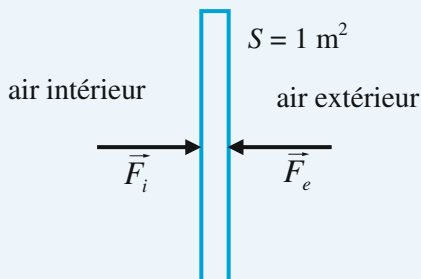


(en coordonnées cartésiennes) ; il permet d'indiquer localement comment varie la pression. Ce vecteur est perpendiculaire à une surface isobare.

EXERCICE 1 Force pressante exercée par l'air atmosphérique

Calculez la force exercée de part et d'autre sur 1 m² de vitre ; on supposera que la pression atmosphérique est la même de chaque côté et égale à 1 bar.

Solution



$$F_e = F_i = p_{\text{atm}} \cdot S = 10^5 \times 1 = 10^5 \text{ N}$$

C'est environ le poids d'une masse de 10⁴ kg (10 tonnes).

Tout se passe comme si un éléphant tenait verticalement sur chaque côté de la vitre.

$$S = 1 \text{ m}^2$$

EXERCICE 2 Pression au fond d'un réacteur

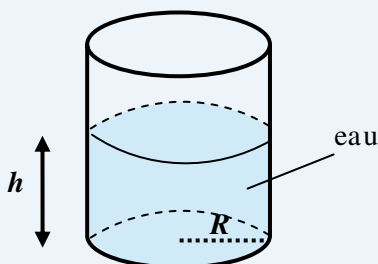
Un réacteur cylindrique à fond plat, de rayon $R = 20 \text{ cm}$ et de hauteur $H = 50 \text{ cm}$, contient 35 L d'eau.

1. Calculez la hauteur h d'eau dans le réacteur.

2. Calculez la force exercée par l'eau sur le fond du réacteur.
3. Calculez la pression relative, en Pascal puis en mmCE, exercée par l'eau sur le fond du réacteur (trouvez deux méthodes).

Données : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

Solution



$$\begin{aligned} 1. \text{ Volume d'eau } V &= (\pi \cdot R^2) \cdot h \\ 35 \cdot 10^{-3} &= \pi \cdot (0,2)^2 \cdot h \\ h &= 0,278 \text{ m} = \mathbf{27,8 \text{ cm}} \end{aligned}$$

2. Soit F_{eau} = valeur de la force exercée par l'eau $F_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \cdot g$ (poids de l'eau)
 $= \rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot g = 10^3 \times 35 \times 10^{-3} \times 9,81 = \mathbf{343 \text{ N}}$

3. Première méthode

$$P_{\text{relative}} \text{ de l'eau} = \frac{F_{\text{eau}}}{\pi \cdot R^2} = 2730 \text{ Pa} (= 278 \text{ mmCE})$$

Deuxième méthode

Soit F_{air} = valeur de la force exercée par l'air

$$\text{pression de l'eau} = \frac{F_{\text{eau}} + F_{\text{air}}}{\pi \cdot R^2} = \frac{F_{\text{eau}} + (\pi \cdot R^2) \cdot p_{\text{atm}}}{\pi \cdot R^2} = \frac{F_{\text{eau}}}{\pi \cdot R^2} + p_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{relative}} \text{ de l'eau} = \text{pression de l'eau} - p_{\text{atm}} = \frac{F_{\text{eau}}}{\pi \cdot R^2} = 2730 \text{ Pa}$$

EXERCICE 3 Pression exercée par un piston

On considère le dispositif suivant :

Le piston est caractérisé par des sections S et s , et une masse m ; déterminez l'expression de la pression au point A.