

La statique des fluides : Fondements, lois et applications industrielles

Prérequis

Pour aborder sereinement ce chapitre de Terminale Technologique, il est essentiel de maîtriser les concepts suivants, étudiés lors des années précédentes :

- **La notion de force** : Comprendre qu'une force modélise une action mécanique, caractérisée par une direction, un sens, un point d'application et une intensité en Newton (N).
- **La masse volumique** : Savoir que $\rho = \frac{m}{V}$, exprimée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ dans le Système International.
- **L'équilibre d'un système** : Un objet est au repos si la somme des forces qui s'exercent sur lui est nulle (principe d'inertie).
- **Conversions d'unités** : Maîtriser le passage des cm^2 aux m^2 (facteur 10^{-4}) et des litres aux m^3 (facteur 10^{-3}).

Ce cours se situe dans la partie "Énergie et Fluides" du programme. Il constitue le socle indispensable pour comprendre ensuite la dynamique des fluides (fluides en mouvement) et les transferts thermiques.

I. Modélisation de la pression au sein d'un fluide

1. Qu'est-ce qu'un fluide ?

Un fluide est un milieu matériel parfaitement déformable. Contrairement aux solides, les fluides n'ont pas de forme propre et prennent celle du récipient qui les contient. On distingue deux grandes familles :

- **Les liquides** : Ils sont dits "incompressibles". Leur volume ne varie pratiquement pas, même sous une forte pression. Leur masse volumique ρ est considérée comme constante.
- **Les gaz** : Ils sont "compressibles". Un gaz occupe tout l'espace disponible et sa masse volumique dépend fortement de la pression et de la température.

2. La force pressante

Lorsqu'un fluide est en contact avec une paroi (la paroi d'un piston, la peau d'un plongeur ou le fond d'une bouteille), il exerce une action mécanique sur celle-ci. Cette action est modélisée par une **force pressante**.

Caractéristiques de la force pressante \vec{F} :

- **Point d'application** : Le centre de la surface de contact.

- **Direction** : Perpendiculaire (normale) à la surface.
- **Sens** : Du fluide vers la paroi.
- **Intensité** : Notée F , elle s'exprime en Newton (N).

3. Définition de la pression

La pression est la grandeur physique qui traduit l'intensité de la force pressante exercée par unité de surface.

La pression P exercée par un fluide sur une surface S est définie par la relation :

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

Avec :

- P en Pascal (Pa)
- F en Newton (N)
- S en mètre carré (m^2)

Remarque importante : Le Pascal est une unité "petite". Dans l'industrie, on utilise souvent le bar.
 $1, \text{bar} = 10^5, \text{Pa} = 1000, \text{hPa}$.

4. Différents types de pressions

En physique et en ingénierie, on distingue trois manières d'exprimer la pression :

- **La pression absolue (P_{abs})** : C'est la pression mesurée par rapport au vide total (pression nulle). Elle est toujours positive.
- **La pression relative (P_{rel})** : C'est la différence entre la pression absolue et la pression atmosphérique ($P_{\text{atm}} \approx 1,013 \cdot 10^5, \text{Pa}$). C'est ce que mesurent la plupart des manomètres (par exemple, la pression des pneus).

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{rel}} + P_{\text{atm}}$$

- **La pression différentielle (ΔP)** : C'est simplement l'écart de pression entre deux points ou deux milieux.

Exercice d'application 1 : Le hublot d'un sous-marin Un sous-marin possède un hublot circulaire de rayon $r = 10, \text{cm}$. La pression de l'eau à l'extérieur est de $P = 5,0 \cdot 10^5, \text{Pa}$. Quelle est l'intensité de la force pressante exercée par l'eau sur le hublot ?

*Correction : * 1. On calcule la surface $S = \pi \cdot r^2$. Attention, $r = 0,10, \text{m}$.
 $S = \pi \cdot (0,10)^2 \approx 0,0314, \text{m}^2$. 2. On utilise $F = P \cdot S$. $F = 5,0 \cdot 10^5 \cdot 0,0314 = 15700, N$.
La force est équivalente au poids d'une masse d'environ 1,6 tonne !

II. Le Principe Fondamental de la Statique des Fluides (PFSF)

1. Énoncé de la loi

Dans un fluide au repos (statique), la pression n'est pas la même partout. Si vous plongez dans une piscine, vous sentez la pression augmenter sur vos tympans à mesure que vous descendez.

Pour un fluide incompressible (liquide) au repos, la différence de pression entre deux points A et B est donnée par :

$$P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

Où :

- P_A et P_B sont les pressions aux points A et B (textPa).
- ρ est la masse volumique du fluide (textkg cdottextm⁻³).
- g est l'intensité de la pesanteur ($g \approx 9,81, \text{textNcdottextkg}^{-1}$ ou $\text{textmcdottexts}^{-2}$).
- z_A et z_B sont les altitudes des points A et B (textm).

Analyse de la formule : Si on définit la profondeur h comme la distance verticale vers le bas ($h = z_A - z_B$), la formule devient souvent : $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$

Cela signifie que pour un même liquide, l'augmentation de pression ne dépend **que** de la profondeur, et non de la forme du récipient. C'est ce qu'on appelle le paradoxe hydrostatique.

2. Conséquences du PFSF

- **Surface libre :** La surface libre d'un liquide au repos et en contact avec l'atmosphère est toujours un plan horizontal. Tous les points de cette surface sont à la même pression (P_{atm}).
- **Points à la même profondeur :** Dans un même liquide, tous les points situés sur un même plan horizontal sont à la même pression.
- **Influence de la masse volumique :** Pour une même profondeur h , la pression sera beaucoup plus élevée dans du mercure ($\rho \approx 13600, \text{textkg cdottextm}^{-3}$) que dans de l'eau ($\rho \approx 1000, \text{textkg cdottextm}^{-3}$).

3. Application : La transmission de pression (Théorème de Pascal)

Une propriété remarquable des liquides est qu'ils transmettent intégralement les variations de pression.

Si on applique une surpression en un point d'un liquide enfermé, cette surpression est transmise en tout point du fluide. C'est le principe utilisé dans les **presses hydrauliques** et les systèmes de **freinage**.

***Exemple :** En appuyant avec une petite force sur un petit piston, on peut générer une force immense sur un grand piston situé plus loin, car la pression P reste identique des deux côtés :
$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \text{ implique } F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

Exercice d'application 2 : Pression au fond d'une cuve Une cuve contient du fioul ($\rho = 850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) sur une hauteur de $4,0 \text{ m}$. La surface est à l'air libre ($P_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$). Calculer la pression absolue au fond de la cuve.

***Correction :** 1. On applique le PFSF entre la surface (point A) et le fond (point B).

$$P_B = P_A + \rho \cdot g \cdot h$$

2. Calcul : $P_B = 100000 + 850 \cdot 9,81 \cdot 4,0$
 $P_B = 100000 + 33354 = 133354 \text{ Pa} \approx 1,33 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

III. Mesure de pression et dispositifs technologiques

1. Les instruments de mesure

Il existe deux grandes familles d'appareils selon ce que l'on souhaite mesurer :

- **Le baromètre :** Il mesure la pression atmosphérique. Le premier baromètre fut inventé par Torricelli (colonne de mercure).
- **Le manomètre :** Il mesure la pression d'un fluide enfermé (pression relative ou différentielle).

2. Le manomètre à colonne de liquide (Tube en U)

C'est l'appareil le plus pédagogique pour comprendre le PFSF. Un tube en forme de U contient un liquide de masse volumique ρ connue.

- Une extrémité est reliée au réservoir dont on veut mesurer la pression P .
- L'autre extrémité est ouverte à l'air libre (P_{atm}).

La dénivellation h entre les deux surfaces du liquide permet de calculer la pression :
$$P - P_{\text{atm}} = \rho \cdot g \cdot h$$

On mesure ici directement la **pression relative**.

3. Le manomètre métallique (Type Bourdon)

Dans l'industrie, on utilise des manomètres à tube de Bourdon. Un tube métallique courbé se déforme sous l'effet de la pression. Cette déformation, proportionnelle à la pression, est transmise à une aiguille via un mécanisme d'engrenages. Ces appareils sont robustes et ne nécessitent pas de liquide.

4. Capteurs de pression électroniques

Aujourd'hui, on utilise des capteurs piézorésistifs. Une fine membrane de silicium se déforme sous la pression, ce qui modifie sa résistance électrique. Un circuit électronique convertit cette variation en une tension électrique (souvent à $10, V$) ou un courant (4 à $20, \text{mA}$), facilement traitable par un automate industriel.

Question de réflexion : Pourquoi n'utilise-t-on pas d'eau dans les baromètres de Torricelli ?

- Indice : Pensez à la hauteur de la colonne si ρ est petit.*

Résumé

- **Fluide** : Substance déformable (liquide ou gaz). Les liquides sont considérés comme **incompressibles** ($\rho = \text{constante}$).
- **Pression** : Grandeur scalaire définie par $P = \frac{F}{S}$. L'unité légale est le **Pascal** (Pa), avec $1, \text{Pa} = 1, \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$.
- **Unités usuelles** : $1, \text{bar} = 10^5, \text{Pa}$.
- **Types de pressions** :
- **Absolue** : Par rapport au vide.
- **Relative** : $P_{\text{rel}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}}$.
- **Principe Fondamental de la Statique des Fluides** : Dans un liquide au repos, la différence de pression entre deux points est $P_B - P_A = \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B)$.
- **Loi de l'hydrostatique** : La pression augmente avec la profondeur : $\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$.
- **Force pressante** : \vec{F} est toujours **perpendiculaire** à la paroi et dirigée vers l'extérieur du fluide. Son intensité est $F = P \cdot S$.
- **Mesure** : On utilise un **baromètre** pour la pression atmosphérique et un **manomètre** pour la pression d'un fluide dans un circuit.
- **Transmission** : Toute variation de pression en un point d'un liquide enfermé est transmise intégralement dans tout le fluide (principe de la presse hydraulique).

From:
<https://www.wikiprof.fr/> - **wikiprof.fr**

Permanent link:
https://www.wikiprof.fr/doku.php?id=cours:lycee:sti2d:terminale_techologique:physique_chimie:la_statique_des_fluides&rev=1779260129

Last update: 2026/05/20 08:55

