

Chap 1 Généralités sur les fluides

I- L'état fluide

Le terme fluide désigne un comportement qui s'oppose au comportement élastique ou plastique associé aux solides. Par définition, on dit que la matière est fluide lorsqu'elle se déforme aussi longtemps que lui sont appliquées des contraintes tangentielles. En termes simples on peut dire qu'un fluide coule quand un solide se déforme.

Fondamentalement, le comportement fluide est lié, au niveau moléculaire, à l'absence d'ordre à longue portée (contrairement aux cristaux) et à l'existence d'un chaos moléculaire (contrairement aux solides).

Ces propriétés se retrouvent à la fois chez les gaz et les liquides.

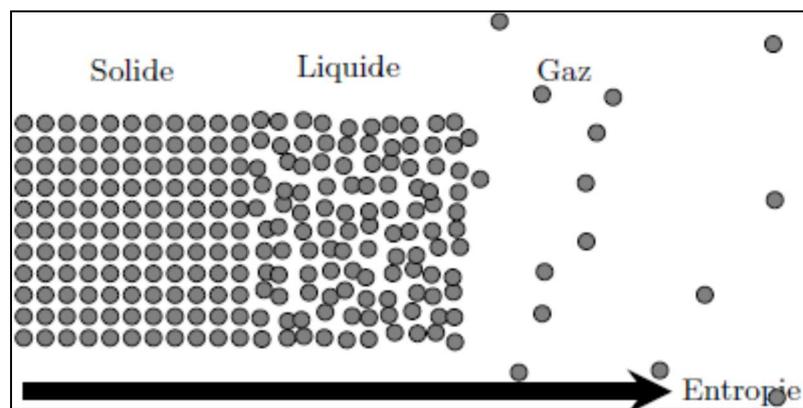


Figure I. 1 degré de désordre du gaz au solide

I-1 Les liquides

Dans un liquide, les interactions (l'interaction de Van der Waals, la liaison hydrogène, l'interaction électrostatique dans une solution électrolytique etc ...) jouent un rôle clé. L'interaction est telle que les molécules sont quasi en contact ce qui explique le caractère quasi-incompressible des liquides : les liquides présentent un volume propre. Les variations du volume V ou de la masse volumique ρ avec la pression et la température se mesurent à l'aide du coefficient de dilatation α et du coefficient de compressibilité χ_T

$$\alpha = -\frac{1}{\rho} \left. \frac{\partial \rho}{\partial T} \right|_P \quad \text{et} \quad \chi_T = \frac{1}{\rho} \left. \frac{\partial \rho}{\partial P} \right|_T$$

Pour l'eau, par exemple, la compressibilité vaut $\chi_T \approx 4,4 \cdot 10^{-10} \text{ Pa}^{-1}$ à 20°C. Cela signifie qu'il faut augmenter la pression de **227 bars** pour voir la masse volumique augmenter de 1%. Les liquides ont également un coefficient de dilatation très faible.

Eau liquide (25°C, 1atm)

$$\Delta T = 10 \text{ K} \quad \frac{|\Delta\rho|}{\rho} = 0,2\%$$

$$\Delta P = 1 \text{ bar} \quad \frac{|\Delta\rho|}{\rho} = 0,02\%$$

I-2 Le gaz

Dans un gaz, les particules interagissent peu, l'énergie est avant tout cinétique. Les distances interatomiques sont grandes ce qui explique qu'à l'inverse des liquides, les gaz sont **très compressibles**. Pour un gaz, dans les conditions de pression et de température raisonnables et loin de tout point critique, le modèle du gaz parfait est tout à fait suffisant.

Vapeur d'eau (25°C, 1atm)

$$\Delta T = 10 \text{ K} \quad \frac{|\Delta\rho|}{\rho} = 3\%$$

$$\Delta P = 1 \text{ bar} \quad \frac{|\Delta\rho|}{\rho} = 100\%$$

Approximations courantes

- Cas des liquides :

$$\rho \approx C^{te}$$

- Cas des gaz : modèle du Gaz Parfait

$$pV = nRT \Rightarrow \rho = \frac{Mp}{RT} \text{ avec } R = 8,315 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$$

II-Le modèle continu

II-1 Approches descriptives d'un fluide

Plusieurs approches sont possibles pour décrire un fluide :

- **L'approche « Dynamique Moléculaire »** : On peut chercher le comportement de N molécules en résolvant de façon numérique les équations de la mécanique du point appliquées aux N corps. Bien entendu, la limitation des ordinateurs, impose N petit. À l'heure actuelle le record est de l'ordre de 100 milliards d'atomes.
- **L'approche « milieu continu »** : Lorsque le libre parcours moyen l , est très petit devant l'échelle macroscopique, on choisit de décrire le fluide à une échelle intermédiaire entre l'échelle atomique et macroscopique : l'échelle mésoscopique.
- **L'approche statistique** : Lorsque le libre parcours moyen des molécules est du même ordre de grandeur que l'échelle macroscopique on utilise les équations de physique statistique (équation de Boltzmann) pour décrire le fluide.

La mécanique des fluides repose sur la deuxième approche. En effet, dans les situations courantes on peut, en général, distinguer trois échelles :

1. L'échelle macroscopique L . Par exemple L est le diamètre du tuyau quand on étudie l'écoulement dans un tuyau.
2. L'échelle des collisions, $l \ll L$. l est le libre parcours moyen, c'est-à-dire la distance moyenne parcourue par une molécule entre deux collisions successives. À cette échelle, les grandeurs varient de façon discontinue et imprévisible.
3. L'échelle mésoscopique a telle que $l \ll a \ll L$. À cette échelle, **les fluctuations sont lissées** de sorte que l'on peut définir des grandeurs locales continues.

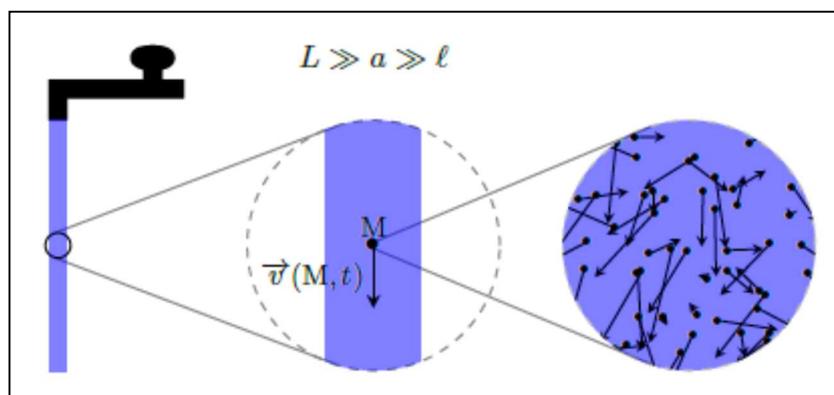


Figure I. 2 Les trois échelles

II-2 Particule fluide

On choisit alors comme échelle d'observation, l'échelle mésoscopique. On considère, autour d'un point M , un volume mésoscopique $\delta\mathcal{G}$. Typiquement un volume de $1 \mu\text{m}^3$. Ce volume contient un grand nombre de particules ce qui permet de définir des grandeurs moyennes locales qui, elles, vont évoluer de façon continue : la masse volumique locale $\rho(M, t)$, la vitesse locale $\bar{v}(M, t)$.

On donne à ce « sac de molécules » le nom de particule de fluide qu'il ne faut pas confondre avec la notion de molécule.

Conditions de validité du modèle :

Un milieu peut être considéré continu si le libre parcours moyen ℓ , des molécules est petit devant la taille caractéristique L du système étudié. On définit le nombre de Knudsen

$$K_n = \frac{\ell}{L} \ll 1$$

Lorsque K_n n'est pas petit devant 1, le modèle continu n'est plus adapté.

Par exemple, dans la haute atmosphère, à l'altitude de 100 km, on a $\ell \approx 0,3\text{m}$. Pour calculer l'écoulement autour d'un véhicule spatial à cette altitude, le modèle continu ne conviendra pas.