

# Cours 1

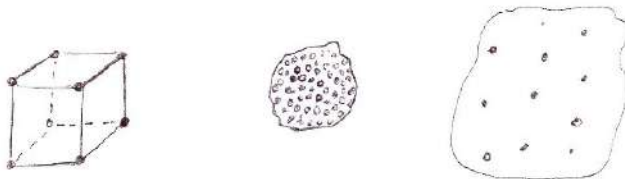
Jose-Maria Fullana

UPMC

2017

Il n'est pas évident d'avoir une définition précise de fluide d'autant plus que des matériaux comme le sable, le dentifrice (et même le sang!) pourtant courants ont un comportement "bizarre"

La Figure 1 montre schématiquement les structures internes d'un solide, d'un liquide et d'un gaz.



**Figure** – Schéma des structures internes d'un solide, d'un liquide et d'un gaz.

Prenons deux molécules isolées, la force autour d'elles est d'origine électromagnétique et due aux interactions entre les électrons et le noyau de chaque molécule.

On l'appelle *force intermoléculaire*. Pour des petites valeurs de la distance  $d$  entre les centres des molécules la force est soit

- (i) attractive, quand des échanges d'électron sont possibles alors nous avons donc une liaison chimique qui apparaît,
- (ii) répulsive dans le cas contraire.

La force répulsive décroît rapidement avec la distance  $d$  et devient attractive à une distance  $d_0$  appelé distance d'équilibre ( $d_0 \sim 3 - 4 \cdot 10^{-10} m$ ). Au delà, pour des grandes valeurs de la distance  $d$  la force intermoléculaire est toujours attractive mais très faible.

La Figure 2 présente le comportement typique du potentiel intermoléculaire.

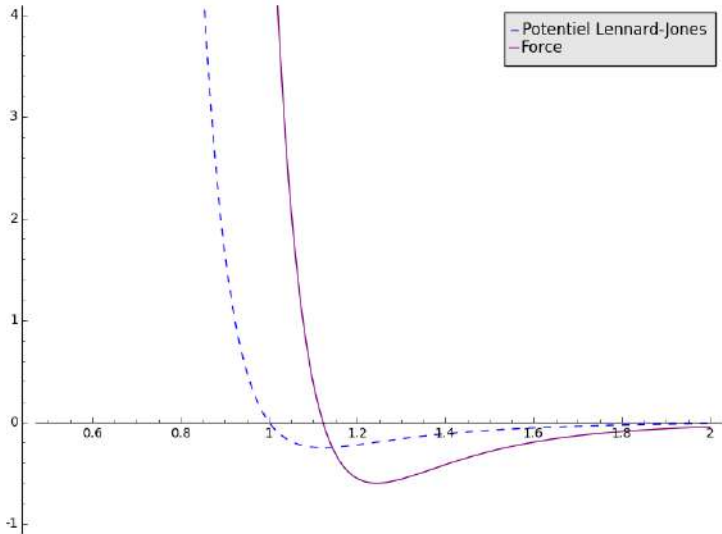


Figure – Potentiel intermoléculaire en fonction de la distance  $d$  entre les

## Contrainte

leur comportement dépend du niveau d'effort appliqué, une manière d'y introduire une quantification c'est de définir la notion de contrainte, une force par unité de surface  $F/A$ .

Contrainte tangentielle et normale, *tenseur* ????

contrainte tangentielle	comportement
faible	solide
élevée	fluide

Table – Comportement du sable

# Contrainte tangentielle

efforts tangentiels ou de cisaillement

- le gaz est très proche des liquides, ils s'écoulent ,
- et différents de la phase solide, plus "rigide".

Compressibilité  $\sim$  capacité à rapprocher 2 molécules

$$\Delta\rho/\rho$$

$\rho$  est la masse volumique

- les solides sont très proches aux liquides, très peu compressibles,
- et différents de la phase gazeuse, plus compressible.

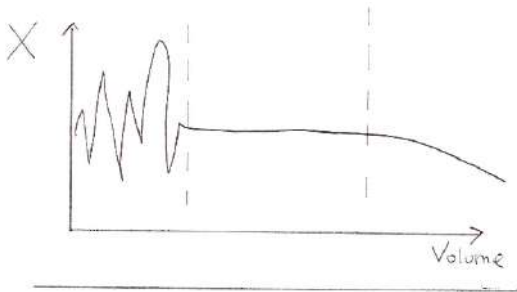


Nous allons étudier les fluides

- à une échelle plus grande que l'échelle moléculaire
- mais plus petite que la dimension caractéristique de l'objet étudié.

exemple : température dans une salle

La Figure 3 présente la variation de la valeur d'une grandeur quelconque en fonction de la taille du volume caractéristique.



**Figure** – Variation de la grandeur X en fonction de la taille de l'échantillon.

à quelle échelle regarde-t-on ?

Nous introduisons l'hypothèse de milieu continu

*un milieu est considéré comme continu si l'échelle de description du phénomène néglige les caractéristiques individuelles de chaque molécule tout en pouvant définir un élément matériel (dans notre cas une particule de fluide) que l'on peut suivre dans son mouvement et que l'on peut attacher des grandeurs cinématiques (position, vitesse, ...) et thermodynamiques (masse volumique, température, pression) qui peuvent être considérés constants.*

L'hypothèse de milieu continu définit donc un **modèle** mathématique utilisé pour représenter de manière simple et maniable une réalité extrêmement complexe.

mot clé : **modèle**

exemple : vitesse à la paroi, quelle échelle ?

*La densité volumique ou masse volumique d'un fluide mesure la quantité de masse dans une unité de volume et elle est généralement indiqué par le symbole  $\rho$ .*

soit  $\delta\mathcal{V}$  un petit volume de fluide centré en un point M de coordonnées  $(x, y, z)$ , on note  $\delta m$  la masse de ce volume élémentaire. La masse volumique du fluide contenu dans  $\delta\mathcal{V}$  est alors définie par

$$\rho(x, y, z) = \lim_{\delta\mathcal{V} \rightarrow 0} \frac{\delta m}{\delta\mathcal{V}} \quad (1)$$

si cette limite existe. Dans le Système International (SI) l'unité de mesure de la masse volumique est  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

## Variation avec la température

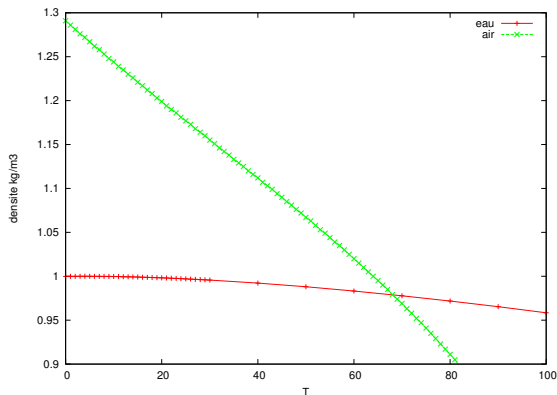


Figure – Variation de la densité de l'eau et de l'air en fonction de la température.

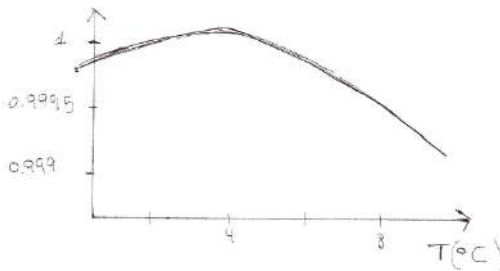


Figure – Densité de l'eau près de zéro.

La variation de la densité de l'eau présente un maximum autour de la température  $T = 4^{\circ}\text{C}$ , cette anomalie (car tous les liquides équivalents continuent à avoir une densité croissante quand la température diminue) est en fait responsable de la survivance des formes de vie dans l'eau dont la notre...



Figure – Comportement de l'eau "anomale".



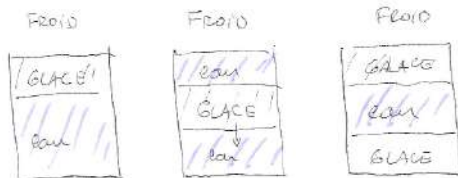


Figure – Comportement de l'eau "normale".

Variation avec la température

Figure – Convection de Rayleigh-Benard.

## Compressibilité

un fluide occupe un volume de référence  $V$   
après avoir appliquée une différence de pression  $dp$   
la variation de volume  $dV$  permet de définir le module de compressibilité

$$K = -\frac{dp}{dV/V}$$

Si nous utilisons la définition de la masse  $m$ ,  $m = \rho V$  nous obtenons que  $dV/V = -d\rho/\rho$  donc

$$K = \frac{dp}{d\rho/\rho}$$

valeurs de  $K$  pour un liquide  $\sim 10^9 \text{ Pa}$

## Important pour ce cours

Ceci nous dit que les variations de volume d'un liquide avec la pression peuvent être négligées, nous avons donc en pratique que les liquides sont *incompressibles*.

Cette propriété sera très importante dans la description cinématique et dynamique d'un écoulement fluide.

Si nous considérons une particule de fluide comme celle de la Figure 9(a) et nous appliquons sur la surface  $S$  une force  $F$  (une contrainte tangentielle) que nous dénotons  $\tau$ , la particule se déformera comme il est montré sur la Figure 9(b).

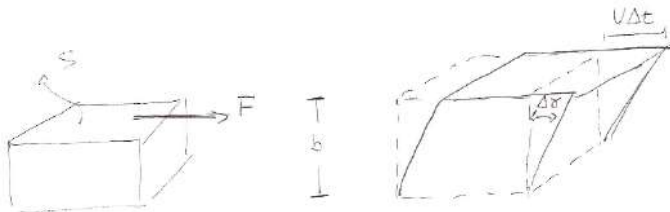


Figure – Schéma de la déformation d'une particule de fluide

pour nombre élevé d'expériences on remarque que les valeurs de  $\tau$  sont toujours proportionnels à l'effort appliqué qui dépend

- du fluide considéré
- de la température.

Nous pouvons donc écrire

$$\tau = \mu \frac{dU}{dy}. \quad (2)$$

La constante  $\mu$  définit la viscosité dynamique. Cette relation est aussi la plus simple que l'on peut imaginer et décrit correctement un grand nombre de fluides comme l'eau, le gaz dans des conditions non critiques, les hydrocarbures, etc.

Par contre pour les fluides "bizarres" cette relation n'est plus valable et comme le montre la Figure 10

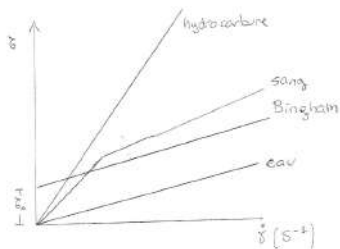


Figure – Diagramme d'effort/déformation pour des différents fluides.

pour le sang

en particulier pour les petits  $\dot{\gamma}$  le sang est très visqueux mais il devient “très fluide” dès que les contraintes augmentent.

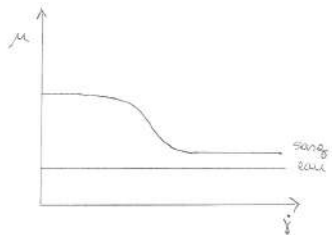


Figure – Rhéologie du sang et de l'eau.



## explication intuitive

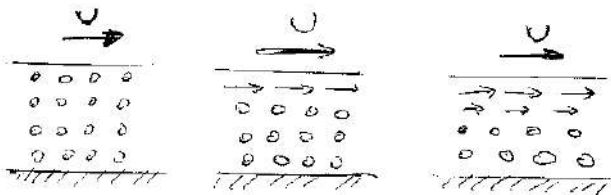


Figure – Transfert de quantité de mouvement.

Le processus se terminera dans un état d'équilibre dynamique où les couches supérieures du fluide auront une vitesse égale à  $U$  et celles proches de la paroi égale à zéro.