

---

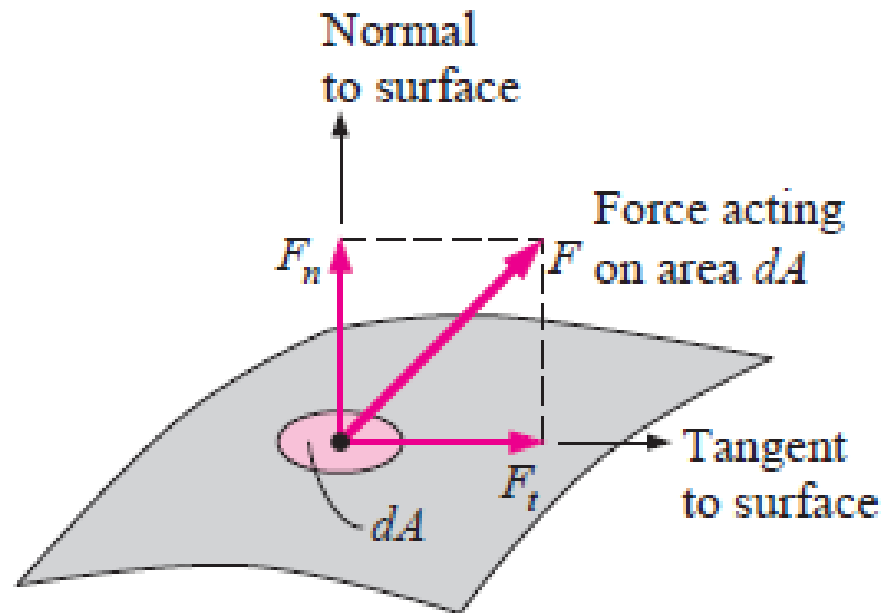
Chapitre 1

**Introduction & Concepts de Base**

---

## 1.1 DÉFINITION MÉCANIQUE DES FLUIDES

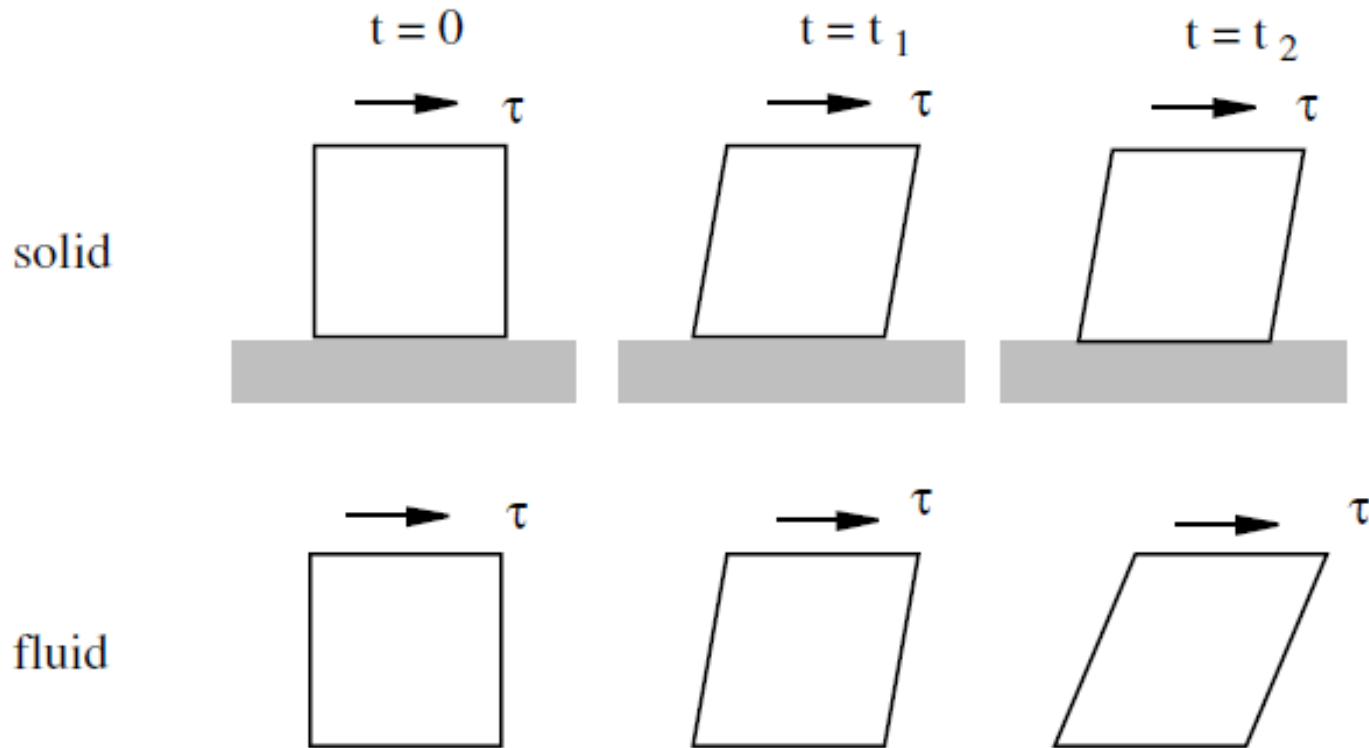
- ▶ Mécanique des fluides (MF) → étude l'équilibre d'un fluide & la loi de son mouvement
- ▶ Fluide = substance dont les particules se déplacent aisément & changent leur position relative  $\Rightarrow$  substance se déformant continuellement sous l'action de contrainte de cisaillement.



$$\text{Normal stress: } \sigma = \frac{F_n}{dA}$$

$$\text{Shear stress: } \tau = \frac{F_t}{dA}$$

## 1.1 DÉFINITION MÉCANIQUE DES FLUIDES



Comportement d'une petite pièce rectangulaire solide et fluide sous l'action de contrainte de cisaillement

## 1.1 DÉFINITION MÉCANIQUE DES FLUIDES

- Fluide = Gaz ou liquide
- Liquides (et solides) non compressibles : volume fini
- Gaz : facilement comprimés, leur masse volumique dépend de la pression & température
- Volume des liquides limité par forme de surface récipient et surface libre
- Masse volumique liquides beaucoup  $+>$  que celle des gaz ( $1030 \text{ kg/m}^3$  comparativement à  $1.23 \text{ kg/m}^3$ )
- Différence entre fluides & solides due à l'intensité de forces retenant les molécules entre elles pour former une pièce cohérente de matériau  $\Rightarrow$  forces faibles dans les fluides
- Fluides peuvent se transformer en solides et *vice versa* dépendamment de l'énergie potentielle des forces intermoléculaires & l'énergie cinétique du mouvement thermique (température & pression du milieu environnant)
- Fluides vus sous aspect macroscopique (sens de vue et toucher) ou microscopique (structure moléculaire de la matière)

## 1.1 DÉFINITION MÉCANIQUE DES FLUIDES

- ▶ Importance apparente de MF avec son rôle vital dans la vie de tous les jours :
  - Tourner un robinet active l'écoulement dans un réseau hydraulique complexe de tuyau, valves et pompes
  - Écoulement du sang dans nos veines & artères
  - Majorité des masses dans l'univers sont fluides (atmosphère, océans : Problème de pollution de l'eau & de l'air)
  - Scientifiques & Ingénieurs étudient et exploitent la MF (améliorer la condition humaine : transport, production et conversion d'énergie, traitement et fabrication des matériaux, production alimentaire, infrastructure civile, ...)

## 1.2 CLASSIFICATION DES ÉCOULEMENTS

### ➤ Écoulement visqueux *versus* non visqueux

- Viscosité causée les forces cohésives (liquides) & collisions moléculaires (gaz)
- Écoulements avec effets de frottement significatifs  $\Rightarrow$  écoulements visqueux
- Dans certaines régions, forces visqueuses sont négligeables (régions loin de surfaces solides) comparées aux forces d'inertie ou de pression  $\Rightarrow$  régions à écoulement non visqueux simplifient grandement l'analyse.

### ➤ Écoulement interne *versus* écoulement externe

- Écoulement externe : écoulement confiné dans un canal ou sur une surface (écoulement de l'air sur une balle)
- Écoulement interne : écoulement complètement limité par des surfaces solides (écoulement de l'eau dans un tuyau)
- Écoulement des liquides dans une conduite = écoulement dans un canal ouvert  $\rightarrow$  conduite partiellement rempli de liquide & existence d'une surface libre (eau dans les rivières ou canaux d'irrigation).

## 1.2 CLASSIFICATION DES ÉCOULEMENTS

### ➤ Écoulement compressible *versus* écoulement incompressible

- Compressibilité et incompressibilité dépendent du niveau de variation de masse volumique pendant l'écoulement
- Écoulement incompressible  $\Rightarrow$  masse volumique demeure constante durant l'écoulement
- Masses volumiques des liquides essentiellement constantes  $\Rightarrow$  liquides = substances incompressibles)
- Gaz sont hautement compressibles
- Vitesse d'écoulement souvent exprimée en termes du *nombre de Mach* :

$$\text{Ma} = \frac{V}{c} = \frac{\text{Speed of flow}}{\text{Speed of sound}}$$

- Écoulement incompressible :  $\text{Ma} = 0$
- Écoulement sonique :  $\text{Ma} = 1$
- Écoulement subsonique :  $0 < \text{Ma} < 1$
- Écoulement transsonique :  $0.8 < \text{Ma} < 1.2$
- Écoulement supersonique :  $\text{Ma} > 1$
- Écoulement hypersonique :  $\text{Ma} > 3$

## 1.2 CLASSIFICATION DES ÉCOULEMENTS

### ► Célérité du son

- Vitesse de propagation du son = vitesse acoustique = vitesse du son = célérité du son
- Vitesse du son est fonction de ratio des capacités calorifiques, pression & masse volumique

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

- Processus isentropique (perturbation faible, transfert de chaleur négligeable) :

$$c = \sqrt{\gamma r T}$$

- Vitesse du son dans l'air  $\approx 340$  m/s à 0 °C
- Dans l'air, vitesse augmente avec  $T$  : 0.6 m/s pour une augmentation de 1 °C
- Vitesses & températures absolues sont reliées par :

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

### Exemple 1.1

Calculer la vitesse du son dans l'hélium ( $M = 4$  kg/kmol) à 700 °C et à une pression de 2.3 atm. Pour l'hélium,  $\gamma = 1.66$ . Que représente cette vitesse par rapport à la vitesse du son dans l'air et quelle est sa nature ? Vitesse du son dans l'air : 330 m/s à 0 °C.



## 1.2 CLASSIFICATION DES ÉCOULEMENTS

### ➤ Écoulement laminaire *versus* écoulement turbulent

- Écoulement laminaire : mouvement de fluide avec couches lisses et ordonnées
- Écoulement turbulent : mouvement de fluide hautement désordonné ayant lieu à des vitesses élevées (vitesse de l'air à des vitesses élevées avec faible viscosité)
- Écoulement entre laminaire & turbulent  $\Rightarrow$  écoulement transitoire
- Régime d'écoulement déterminé par le *nombre de Reynolds* ( $Re$ )

### ➤ Écoulement naturel (non forcé) *versus* écoulement forcé

- Écoulement forcé : fluide est forcé à s'écouler sur une surface ou dans un tuyau par l'intervention d'une pompe
- Écoulement naturel : mouvement de fluide dû aux facteurs naturels tel que l'effet de flottabilité

### ➤ Écoulement permanent *versus* écoulement non permanent

- Écoulement permanent : aucun changement (vitesse, charge, débit) en un point avec le temps
- Écoulement non permanent (transitoire) : un des paramètres change avec le temps
- Écoulement uniforme : aucun changement avec le temps et dans l'espace

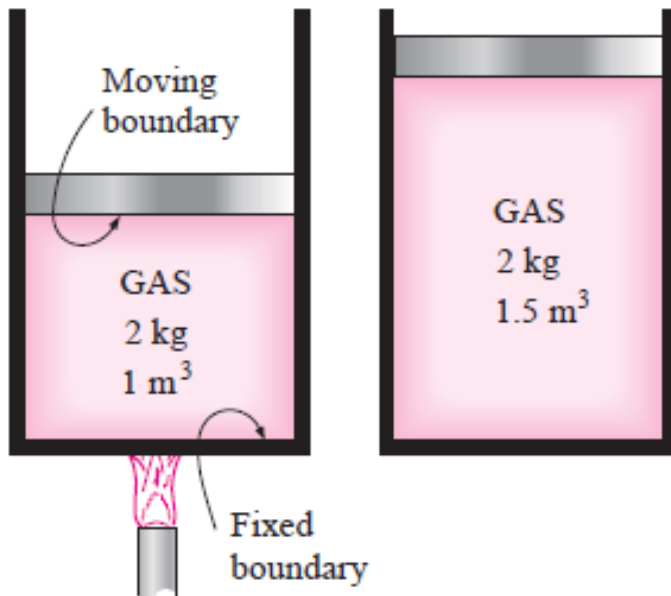
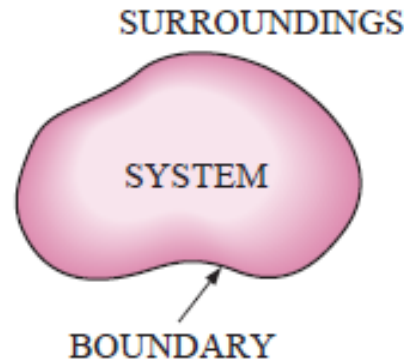
## 1.2 CLASSIFICATION D'ÉCOULEMENT DES FLUIDES

### ► Écoulement en 1D, 2D & 3D

- Un champ d'écoulement est caractérisé par une distribution de vitesses : vitesses d'écoulement varient en une, deux ou trois dimensions
- Variation de vitesse dans une direction peut être faible par rapport à la variation dans les 2 autres directions; et par conséquent, peut être négligée

### 1.3 SYSTÈME & VOLUME DE CONTRÔLE

- Système : quantité de matière ou région de l'espace choisie pour analyse/étude.
- Masse ou région en dehors du système = extérieur (environnement)
- Surface réelle ou fictive séparant un système de son environnement = frontière, qui peut être fixe ou mobile



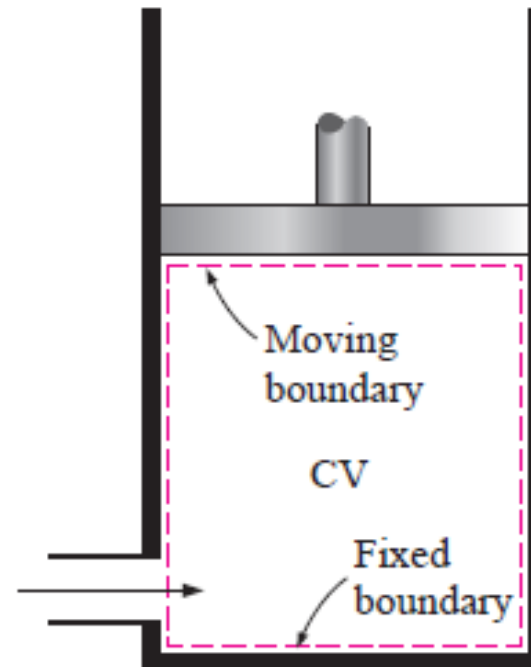
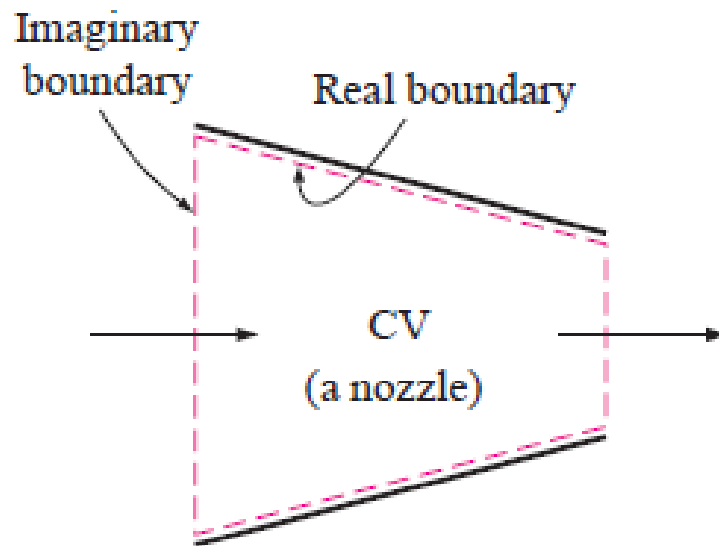
#### ► Système peut être :

- Fermé (masse de contrôle) : quantité fixe de masse, aucune masse ne peut traverser la frontière; seule l'énergie ( $E$ ) sous forme de chaleur ou travail peut traverser la frontière; son volume n'est pas supposé être fixe. Si  $E$  ne peut pas traverser la frontière  $\Rightarrow$  système isolé.

## 1.3 SYSTÈME & VOLUME DE CONTRÔLE

### ► Système peut être :

- Ouvert (volume de contrôle) : une région de l'espace proprement sélectionnée, qui inclut souvent un dispositif qui implique un écoulement de masse tels que compresseur, turbine, radiateur de véhicule; masse & énergie peuvent traverser la frontière d'un volume de contrôle



## 1.4 SYSTÈMES D'UNITÉS ET DIMENSIONS

- Toute quantité physique caractérisée par une dimension à laquelle une magnitude, appelée unité, est accordée
- Dimensions primaires ou fondamentales : masse (m), longueur (L), temps (t), température (T)
- Dimensions secondaires ou dérivées (exprimées en termes de dimensions primaires) : vitesse (v), énergie (E), volume (V)
- Système Internationale d'Unités (SI) : masse (kilogramme : kg), longueur (mètre : m), temps (seconde : s), température (degré Kelvin : K), intensité du courant électrique (ampère : A), quantité de lumière (candela : cd), quantité de matière (mole : mol)
- Opérations effectuées sur des grandeurs de même dimension

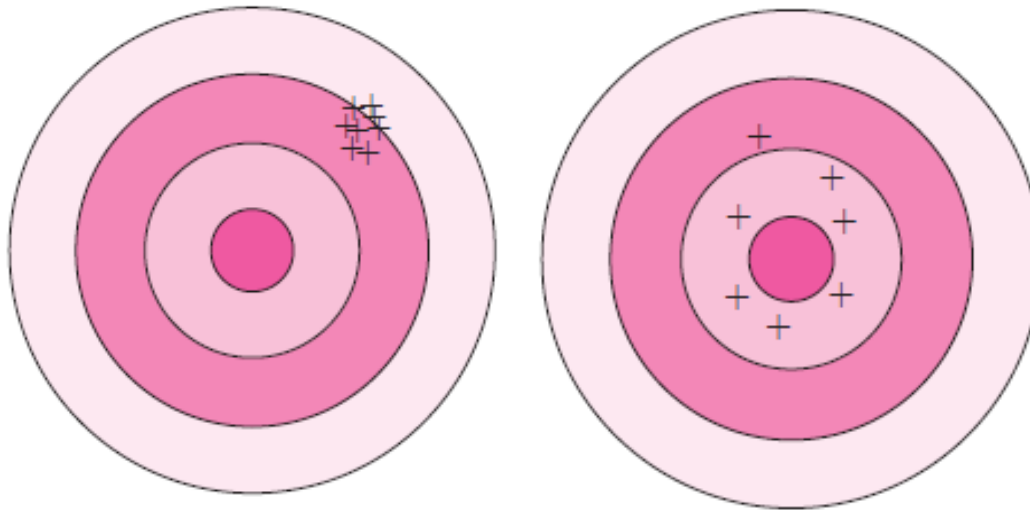
## 1.4 SYSTÈMES D'UNITÉS ET DIMENSIONS

### ► Préfixes dans le SI d'unités

Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur
yotta	Y	$10^{24}$	déci	d	$10^{-1}$
zetta	Z	$10^{21}$	centi	c	$10^{-2}$
exa	E	$10^{18}$	milli	m	$10^{-3}$
peta	P	$10^{15}$	micro	$\mu$	$10^{-6}$
tera	T	$10^{12}$	nano	n	$10^{-9}$
giga	G	$10^9$	pico	p	$10^{-12}$
méga	M	$10^6$	femto	f	$10^{-15}$
kilo	k	$10^3$	atto	a	$10^{-18}$
hecto	h	$10^2$	zepto	z	$10^{-21}$
deca	da	$10^1$	yocto	y	$10^{-24}$

## 1.5 EXACTITUDE, PRÉCISION & CHIFFRES SIGNIFICATIFS

- ▶ Exactitude (erreur d'exactitude) : valeur donnée moins la vraie valeur  $\Rightarrow$  répétabilité : erreurs fixes
- ▶ Précision (erreur de précision): valeur donnée moins la moyenne de toutes les valeurs  $\Rightarrow$  non répétables : erreurs aléatoires
- ▶ Chiffres significatifs : chiffres pertinents et significatifs



Number	Exponential Notation	Number of Significant Digits
12.3	$1.23 \times 10^1$	3
123,000	$1.23 \times 10^5$	3
0.00123	$1.23 \times 10^{-3}$	3
40,300	$4.03 \times 10^4$	3
40,300.	$4.0300 \times 10^4$	5
0.005600	$5.600 \times 10^{-3}$	4
0.0056	$5.6 \times 10^{-3}$	2
0.006	$6. \times 10^{-3}$	1