

Thermodynamique

du grec *Thermos*: chaud
du grec *Dunamis*: puissance

Pr. Alfonso San Miguel
*Laboratoire de Physique de la Matière
Condensée et Nanostructures*
Bât L. Brillouin

Définition

La thermodynamique est la description **macroscopique** des **propriétés de la matière** en termes de **grandeurs physiques** spécifiques

Constat expérimental

Quelques paramètres (les **grandeurs physiques**) suffisent pour décrire les propriétés macroscopiques d'un **système**.

Définition

Variables thermodynamiques : grandeur macroscopique mesurable qui sert à définir **l'état** d'un système.

Thermodynamique

Programme

- Introduction. Définitions. Variables
- Gaz parfait. Modèle microscopique. Gaz réel.
- Transformations thermodynamiques
- Chaleur et Travail. Premier principe de la thermodynamique.
- Systèmes ouverts. Bilans d'énergie.
- Entropie. Deuxième principe de la thermodynamique.
- Transferts thermiques.

Thermodynamique

Bibliographie

- Claire Lhuillier et de Jean Rous, ***Introduction à la thermodynamique***, collection *1^{er} cycle universitaire*, éditions DUNOD, 1994. Prix indicatif : 25 € .250 pages.
- Edward J. Finn, Marcelo Alonso, **Physique générale. Tome 1 : Mécanique et thermodynamique**. Cours et exercices corrigés, éditions DUNOD, 1994. Prix indicatif : 45 € . 575 pages.
- Etc, etc.

Thermodynamique

Plan du cours 1.

- Introduction : objet de la thermodynamique
- Exemple : gaz idéal
- Définitions basiques : le vocabulaire.
- Notion d'équilibre thermodynamique.
- Application : pression dans un fluide
- Variables thermodynamiques (types, unités)

Remarques

Définition

La thermodynamique est la description **macroscopique** des **propriétés de la matière** en termes de **grandeurs physiques** spécifiques

- Les lois macroscopiques de la thermodynamique, découlent de lois microscopique.
- Le passage du microscopique au macroscopique est fait par l'intermédiaire de moyennes statistiques.

Q : A partir de quel moment le microscopique devient macroscopique ?

R : Quand les moyennes statistiques sont applicables
(principe des grands nombres)

Q : Pourquoi ne pas résoudre le problème de façon exacte ?

R: Nous ne savons pas le faire!

Plus qu'un exemple

Le Gaz idéal (ou parfait) :
gaz de particules sans interaction

Variables thermodynamiques du gaz idéal :

P, V, T, n

Constat expérimental

Ces variables ne sont pas indépendantes entre elles

Définition

Equation d'état : fonction reliant diverses grandeurs thermodynamiques entre elles

$PV = cte$ Loi de Boyle-Mariotte

$\frac{V}{T} = cte$ Loi de Gay-Lussac

Equation d'état du gaz parfait

$$PV = nRT$$

$R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ Constante universelle des gaz parfaits

Constat expérimental

Seulement les gaz fortement dilués vérifient cette équation d'état

Gaz réel : ne vérifie pas l'équation d'état du gaz parfait

Le Vocabulaire

Systeme

Quantité **macroscopique** de matière

Parois

Liaisons système/milieu extérieur

Types de parois

Adiabatiques : pas d'échange de chaleur.

Déformable : permet l'échange de volume. (contraire de **rigide**).

Perméable : permet l'échange de particules

Milieu extérieur

-Ensemble qui peut échanger :
de l'énergie, de la chaleur ou du travail,
des particules
ave le système étudié

Intéraction

Echanges macroscopiques

Transformation

Evolution d'un état thermodynamique à un autre

Systeme isolé

Sans interaction avec le milieu extérieur

Système en équilibre thermodynamique

Deux conditions :

- 1) Les variables thermodynamiques qui décrivent le système sont indépendantes du temps.

En particulier :

- **Equilibre thermique (T)**
- **Equilibre mécanique (P, ρ)**
- **Equilibre chimique (n)**

- 2) Le système est homogène.

La Pression

Définition

Force par unité de surface avec la force normale à cette surface.

$$P = \frac{F_{\perp}}{S}$$

Origine

La pression est due aux chocs des particules sur la surface

Unités de pression S.I.

Pascal : Pa = N/m²



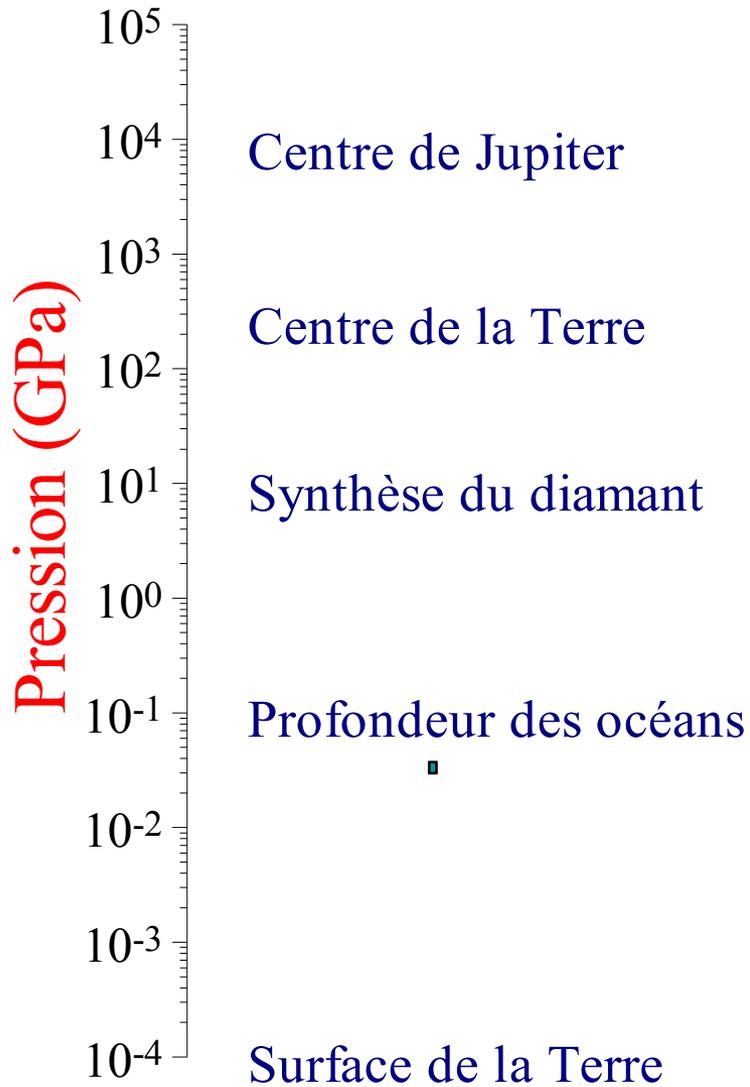
Pression atmosphérique (pression moyenne de l'air à la surface de la terre)

1 bar = 10⁵ Pa

1 atm = 101325 Pa = 760 mm Hg

1 torr = 1 mm Hg

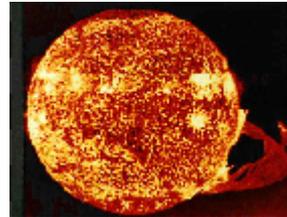
Etoile de neutrons : 10^{30} Pa



Pressions extrêmes



Cellule à enclumes
de diamant



Centre du Soleil : 10^7 GPa

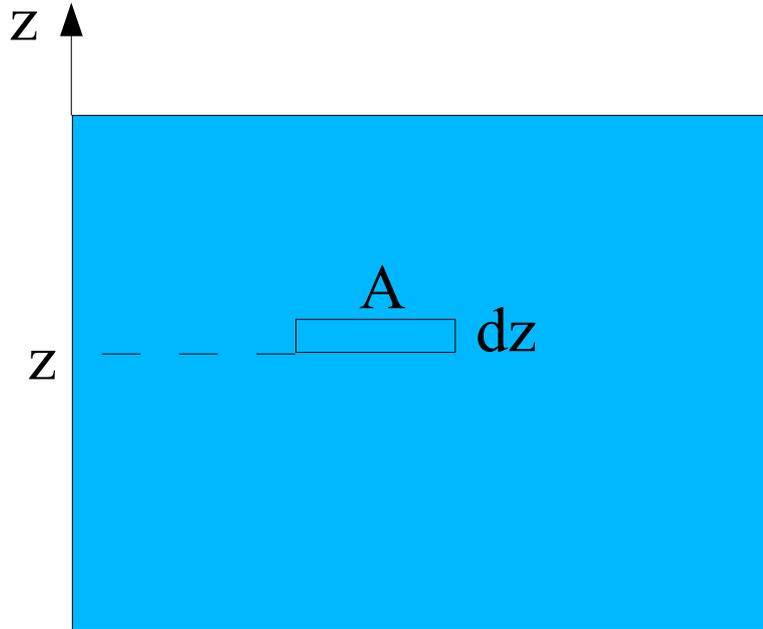


Meilleur vide
au laboratoire : 10^{-16} Pa

Vide intergalactique : 10^{-30} Pa

Pression dans un fluide à l'équilibre

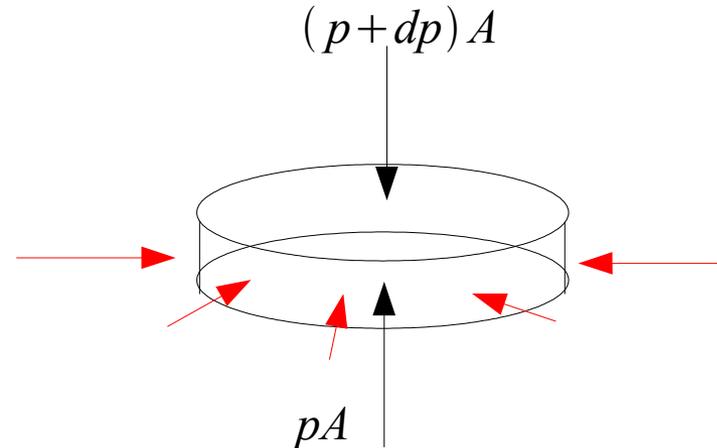
Soit un élément de volume du fluide $A dz$



Note : dz et dp doivent avoir le même sens d'augmentation positif, car pris du même signe.

$$F_g = m g = \rho A dz g$$

$$\sum F_{\text{laterales}}^{\vec{}} = 0 \quad \Rightarrow \quad dp_{\text{lateral}} = 0$$



$$\sum F_{\text{verticales}}^{\vec{}} = 0$$

$$A(p + dp) + F_g - A p = 0$$

$$A dp + \rho A dz g = 0$$

$$dp = -\rho g dz$$

Unités des principales variables thermodynamiques

Pression (P)

S.I :

Pascal : Pa = N/m²

Usuel :

bar = 10⁵ Pa

atm = 101325 Pa = 760 mm Hg

torr = 1 mm Hg

Pression atmosphérique ~ 10⁵ Pa

Volume (V)

S.I :

m³

Usuel :

litre = 10⁻³ m³

Température (T)

S.I :

K

Usuel :

t (°C) = T(K) - 273,15

Energie (E, U, W, Q)

S.I :

J (Nm)

Usuel :

cal = 4,186 J

Unités : conseils pressants

- ★ Pas d'unités dans les calculs (sauf lors des conversion d'unités)
- ★ Résultat : signe + valeur numérique + unités
- ★ Pas de fraction : précision réfléchie
- ★ Utilisation des préfixes si approprié :

10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
pico	nano	micro	mili	kilo	mega	giga	tera
p	n	μ	m	k	M	G	T

Types de variables thermodynamiques

- Soit un système S homogène et en équilibre thermodynamique décrit avec un ensemble de variables.

Exemple : n, V, T, P



- Coupons ce système S en 2 parties S1 et S2 qui restent en équilibre

On peut mesurer : n_1, V_1, T_1, P_1
 n_2, V_2, T_2, P_2



- Si X est l'une de variables :

- X est **extensive** si $X = X_1 + X_2$

Exemples ?
 V, n, S (entropie)

- X est **intensive** si $X = X_1 = X_2$

Exemples ?
 P, T, η (potentiel chimique)