

# **PROPRIÉTÉS THERMIQUES ET LA CHALEUR**

**PGC-10**

# KEYWORDS

Température, chaleur, énergie thermique.

Thermodynamique.

$P, V, T$

# TEMPÉRATURE

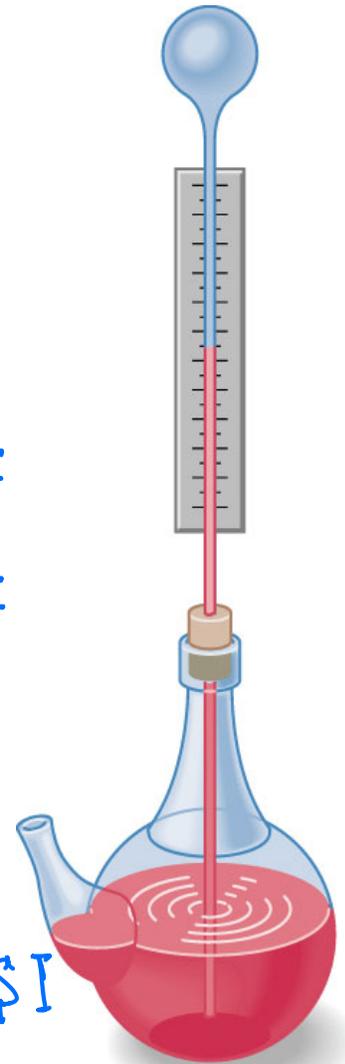
...pour mesurer le “degré d'échauffement”.

$$T_c = 0^\circ\text{C} \quad \text{congelation eau} \quad 32^\circ\text{F}$$

$$T_c = 100^\circ\text{C} \quad \text{ébullition eau} \quad 212^\circ\text{F}$$

$$T_F = 32^\circ + \frac{9}{5} T_c$$

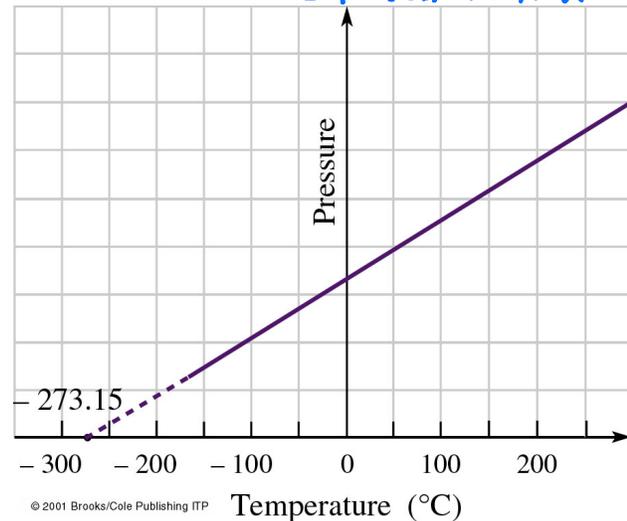
$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 \quad \Rightarrow \quad \text{Temp. en } \text{SI}$$



# LA TEMPÉRATURE ABSOLUE ET LE ZERO ABSOLU

$P=0 \Leftrightarrow$  zero absolue  $-273.15^{\circ}\text{C}$   
 $0\text{ K}$

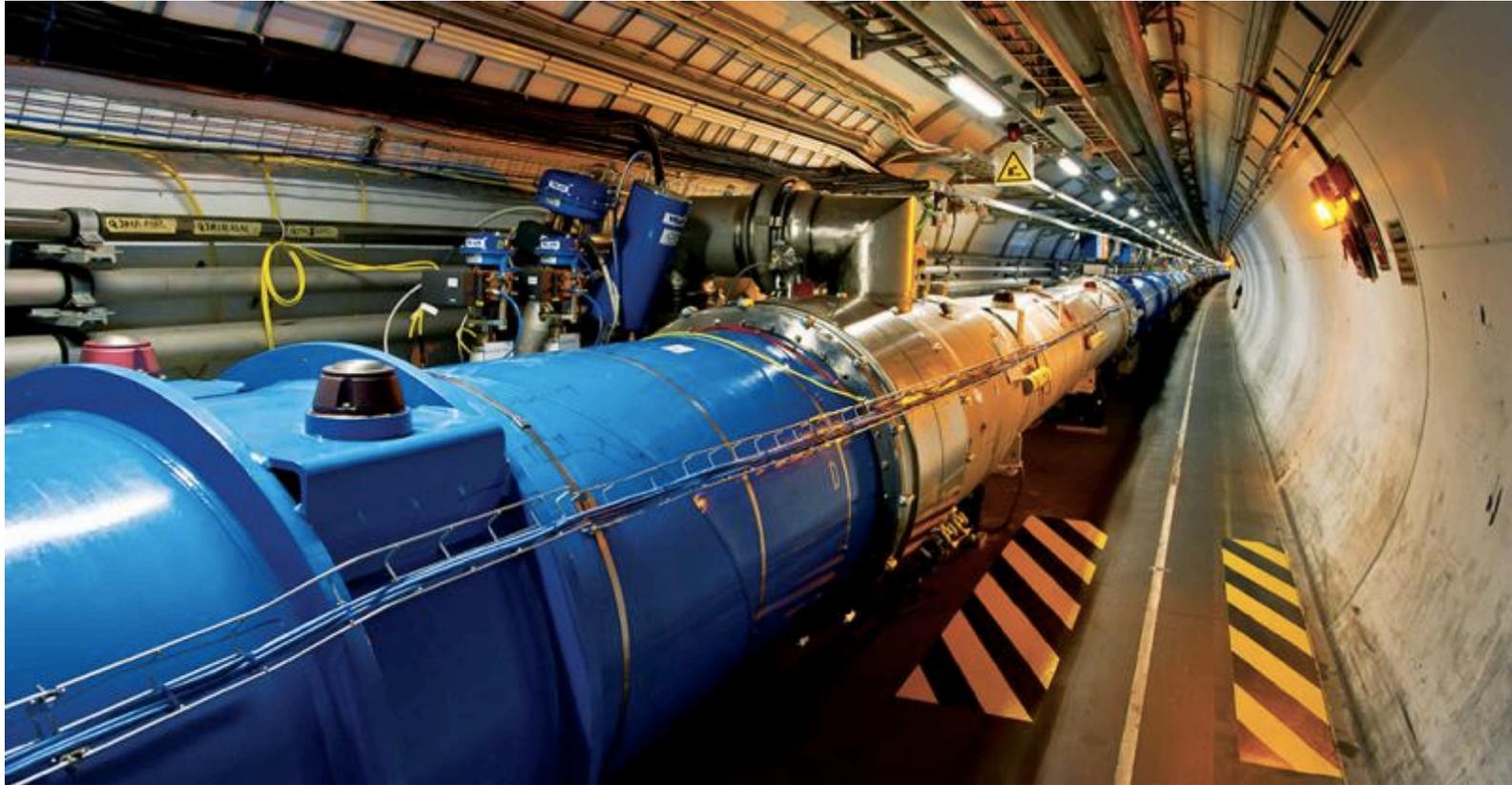
$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 \Rightarrow$  Temp ABSOLUE  
THERMODYNAMIQUE



# PRÈS DU ZÉRO ABSOLU

Aimants 1.9k

Espace 2.7k



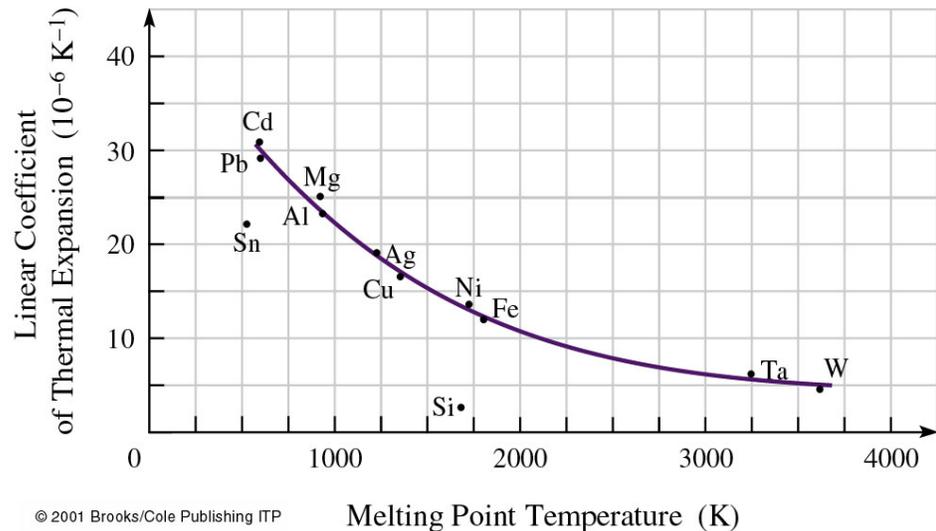
# QUELQUES TEMPERATURES TYPIQUES

°C	Phénomènes	K
-273,2	zéro absolu	0
-269	Ebullition de l'hélium	4,2
-196	Ebullition de l'azote	77,2
-183	Ebullition de l'oxygène	90,2
-79	Congélation de la neige carbonique	194,2
-39	Congélation du mercure	234,2
0	Congélation de l'eau	273,2
~ 37	Température du corps humain	~ 310
78	Ebullition de l'alcool	351
100	Ebullition de l'eau	373,2
327	Fusion du plomb	600
1063	Fusion de l'or	1336
1000-1400	Fusion du verre	1273-1673
1300-1400	Fusion de l'acier	1573-1673
6000	surface du soleil	6273
$15 \times 10^6$	Intérieur du soleil	$15 \times 10^6$

# DILATATION THERMIQUE (SOLIDES)

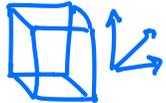
Dilatation lineique  $\Delta L = L_0 a \Delta T \Rightarrow$

a: coeff. de dilatation lineique  $\Rightarrow \frac{\Delta L}{L_0} = a \Delta T$



# DILATATION THERMIQUE (SOLIDES)

Dilatation volumique



$$\Delta V = V_0 \beta \Delta T \Rightarrow$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T$$

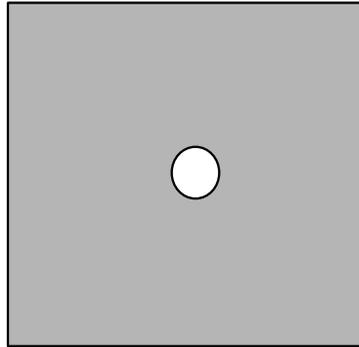
$$\beta \approx 3\alpha$$

Matériau	$\alpha$ (K <sup>-1</sup> )	$\beta$ (K <sup>-1</sup> )	Temp. (°C)
Aluminium	$22.1 \times 10^{-6}$		-23
Aluminium	$23.0 \times 10^{-6}$	$72 \times 10^{-6}$	20
Aluminium	$33.5 \times 10^{-6}$		527
Ciment	$\sim 12 \times 10^{-6}$	$\sim 35 \times 10^{-6}$	20
Acier	$12 \times 10^{-6}$	$36 \times 10^{-6}$	20
Verre (Pyrex)	$3 \times 10^{-6}$	$9 \times 10^{-6}$	20

# QUESTION

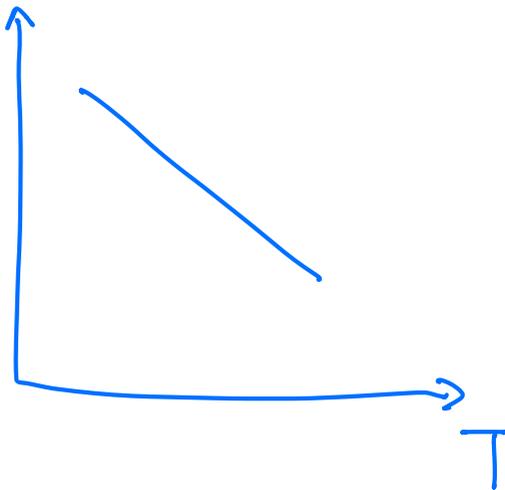
Une plaque d'acier a un trou au milieu de diamètre de 2cm.

Si on chauffe la plaque, le diamètre du trou augmente ou diminue?



# DILATATION THERMIQUE (LIQUIDES)

densité Volumique



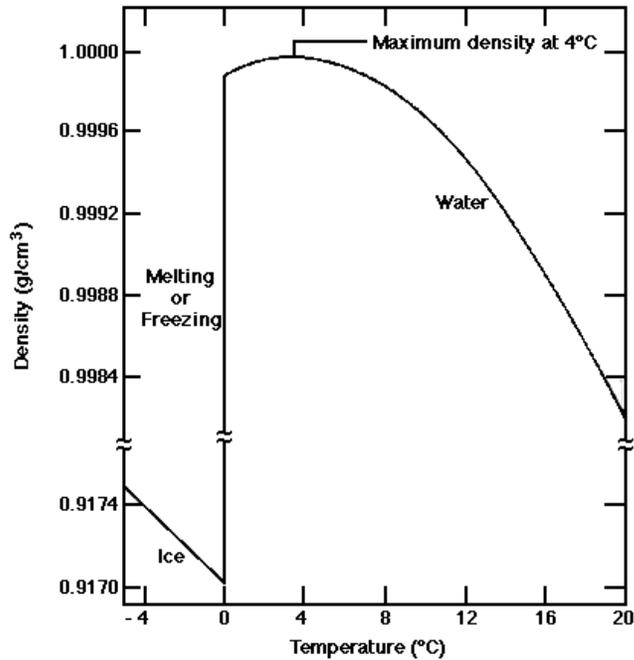
$$\Delta V = V_0 \beta \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T$$

Matériau	$\beta$ ( $K^{-1}$ )	Temp. ( $^{\circ}C$ )
Acétone	$1487 \times 10^{-6}$	20
Mercure	$181 \times 10^{-6}$	20
Ether	$1630 \times 10^{-6}$	20
Eau	$207 \times 10^{-6}$	20

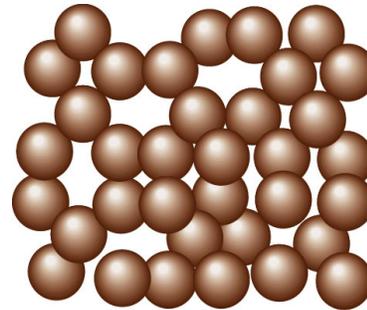
# CAS PARTICULIER DE L'EAU

Anomalie dilatométrique



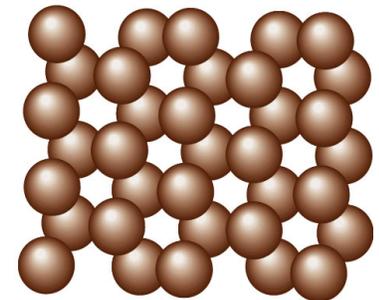
$$\frac{m}{V}$$

ordonné  
↳ volume  
↳ grand



Water

(a)



Ice

(b)

Density of water (and ice) as a function of temperature. Note maximum density of water at 4°C. (Data from Pauling 1953 and Hutchinson 1957: 204.)

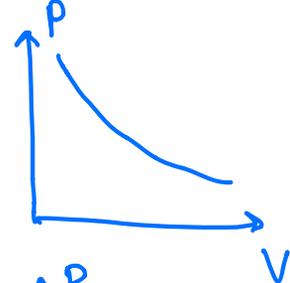
# ÉQUATIONS D'ÉTAT DES GAZ

P, V, T

$$f(x) = \frac{1}{x}$$

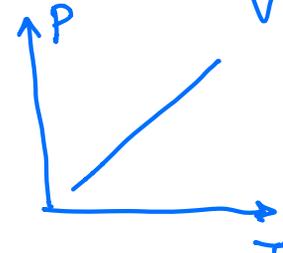
Loi de Boyle-Mariotte

$$PV = \text{const} \quad [T = \text{const}]$$



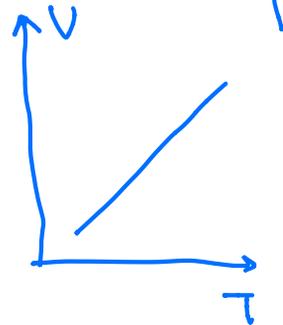
Loi de Gay-Lussac

$$P/T = \text{const} \quad [V = \text{const}]$$



Loi de Charles

$$V/T = \text{const} \quad [P = \text{const}]$$



$$\frac{PV}{T} = \text{constante}$$

$$\Downarrow \frac{\Delta V}{\Delta T} = \text{const} (= \beta V_0)$$

# LOI DES GAZ PARFAITS

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow PV = \underbrace{n}_{\text{moles}} R \cdot T$$

R: constante des gaz

$$R = 8.31 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

n: # moles

$$[PV] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}$$

$$R = \frac{PV}{nT} = 8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

$$N = n \cdot N_A$$

$$\Rightarrow PV = \underbrace{N}_{\text{molecules}} \cdot k_B \cdot T$$

$k_B$ : const de Boltzmann

N: # molecules

$$k_B = \frac{PV}{NT} \Rightarrow$$

Énergie par molécule  
par degré de T  
absolue!!

# QUESTION

$$PV = nRT \Rightarrow nT = \text{const} \Rightarrow T = \frac{\text{const}}{n}$$
$$m_{\text{He}} = m_{\text{N}} \quad n_{\text{He}} ? n_{\text{N}}$$

Nous avons deux boites qui ont le même volume. Un de deux est remplis avec d'hélium. L'autre a la même masse d'azote. On a la même pression dans les deux cas. Quelle est la relation entre les deux températures?

- a)  $T_{\text{He}} > T_{\text{N}}$
- b)  $T_{\text{He}} = T_{\text{N}}$
- c)  $T_{\text{He}} < T_{\text{N}}$

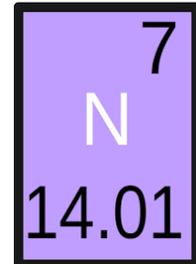
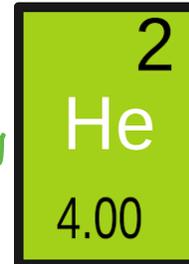
$$n_{\text{He}} ? n_{\text{N}}$$

$$n_{\text{He}} = \frac{m_{\text{He}}}{M_{\text{atome He}}}, \quad n_{\text{N}} = \frac{m_{\text{N}}}{M_{\text{atome N}}} \Rightarrow$$

$$n_{\text{He}} \cdot M_{\text{atome He}} = n_{\text{N}} \cdot M_{\text{atome N}}$$

$$\Rightarrow \frac{n_{\text{He}}}{n_{\text{N}}} = \frac{M_{\text{atome N}}}{M_{\text{atome He}}} = \frac{14}{4} \Rightarrow n_{\text{He}} > n_{\text{N}}$$

$$T_{\text{He}} < T_{\text{N}}$$



# GAZ RÉEL

$$PV = nRT \Rightarrow$$

$$Pv = RT$$

$$v = \frac{V}{n}$$

volume disponible  
par mole

Dans un Gaz parfait, les molécules:

- sont ponctuelles.
- sans interactions, sauf lors de collisions

Dans un Gaz réel, les molécules:

- ont un volume propre.
- interagissent à distance

Corrections à  $PV = nRT \Rightarrow Pv = RT$

- Taille finie

$$P(v - b) = RT$$

↳ volume occupé

Equation d'Etat  
de Clausius

- particules indépendantes

Equation d'Etat de  
van der Waals

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

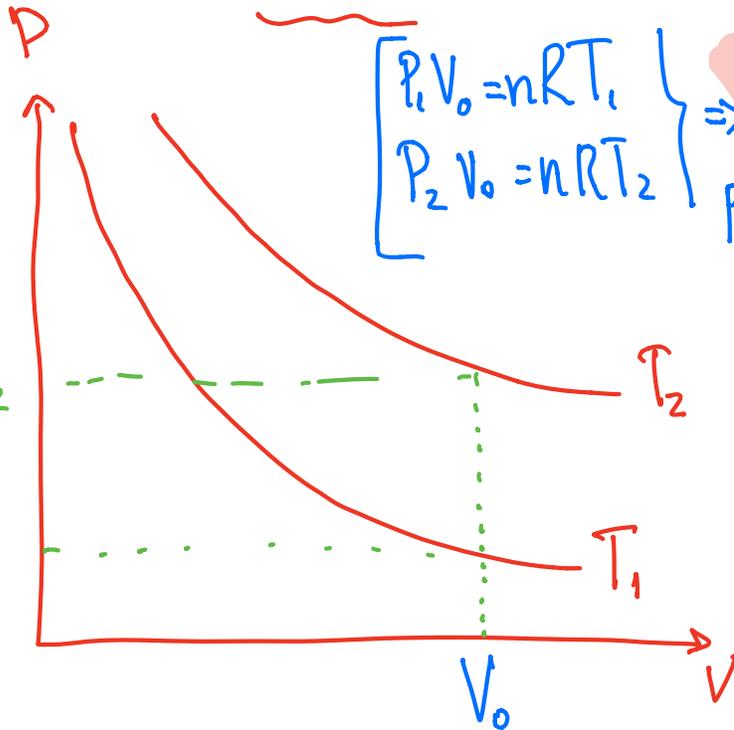
↳ force intermoléculaires

# DIAGRAMME P-V

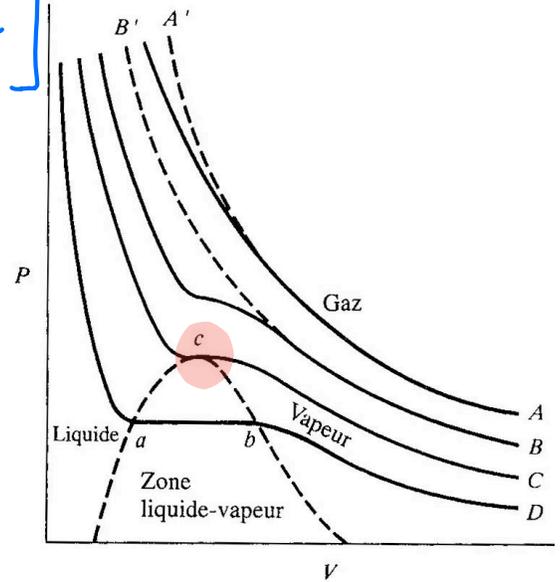
Parfait  $PV = \text{const}$

$$\left[ \begin{array}{l} P_1 V_0 = nRT_1 \\ P_2 V_0 = nRT_2 \end{array} \right] \Rightarrow T_2 > T_1$$

puisque  $P_2 > P_1$



Réel  
 $(P + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$   
 $T_A > T_B > T_C > T_D$



# DIAGRAMME DE PHASE

- Courbe de vaporisation (L-V)
- Courbe de fusion (S-L)
- courbe de sublimation (S-V)

