

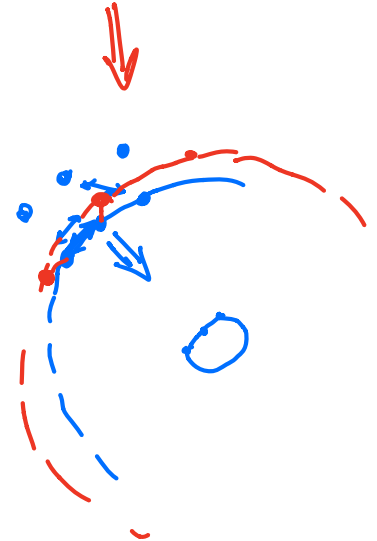
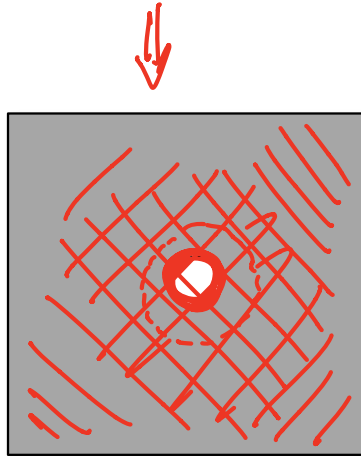
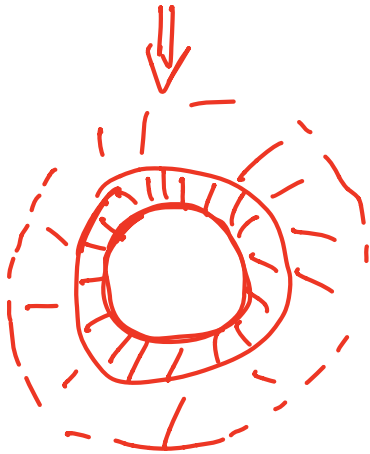
PROPRIÉTÉS THERMIQUES ET LA CHALEUR

PGC-10

QUESTION

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

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



LOI DES GAZ PARFAITS

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \Rightarrow$$

$$PV = nRT$$

R: const des gaz
 γ : # moles

$$N = n N_A$$

$$PV = N k_B T$$

k_B : constante Boltzmann

N: # molecules

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

$$[PV] = N \cdot m = J$$

k_B : energie par molecule par degre de T absolue

QUESTION

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

$$m_{\text{He}} = m_{\text{N}}$$

$$V_{\text{He}} = V_{\text{N}}$$

$$P_{\text{He}} = P_{\text{N}}$$

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

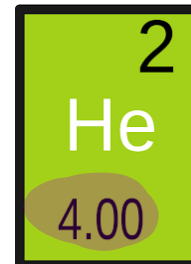
$$n_{\text{He}} ? n_{\text{N}}$$

$$n_{\text{He}} = \frac{m_{\text{He}}}{m_{\text{atome He}}}$$

$$n_{\text{N}} = \frac{m_{\text{N}}}{m_{\text{at N}}}$$

$$T = \frac{PV}{nR} \Rightarrow T \propto \frac{1}{n}$$

$$m_{\text{at He}} < m_{\text{at N}} \Rightarrow n_{\text{He}} > n_{\text{N}}$$
$$T_{\text{He}} < T_{\text{N}}$$



GAZ RÉEL

$$\underline{PV = nRT}$$

Dans un Gaz parfait, les molécules:

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

Corrections : • Taille finie

Equation d'Etat
de Clausius

• particules indépendantes

Equation d'Etat
de Van der Waals

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

↓
forces intermoléculaires

Dans un Gaz réel, les molécules:

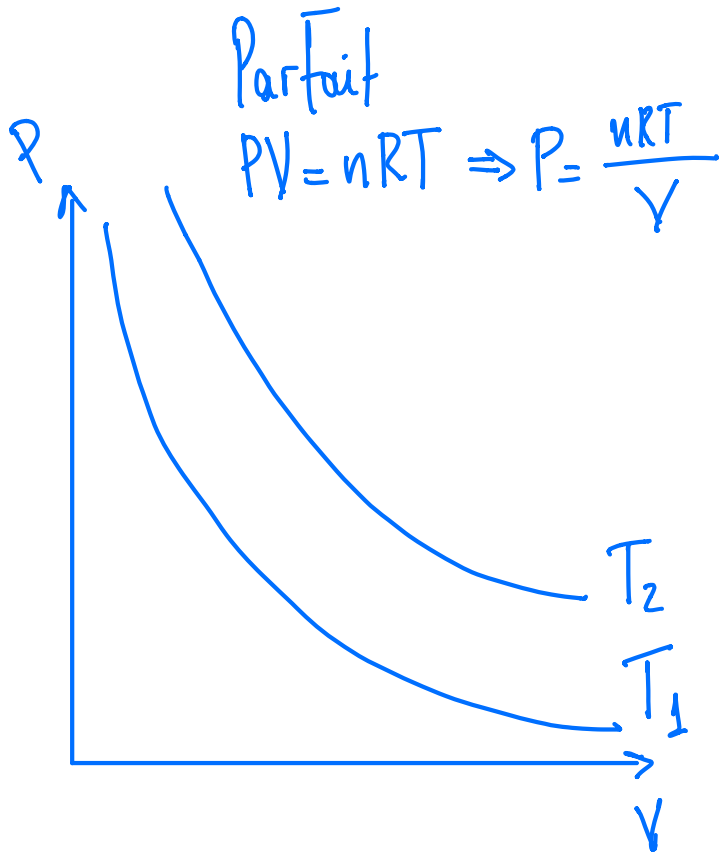
- ont un volume propre.
- interagissent à distance

$$P(V - nb) = nRT \Rightarrow P(v - b) = RT$$

$v = \frac{V}{n}$: volume disp. par mole

↓
volume occupé

DIAGRAMME P-V



RÉEL
 $(P + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$

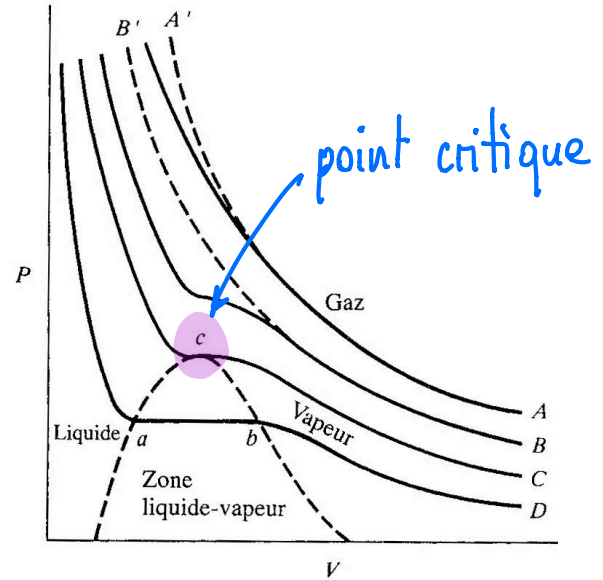
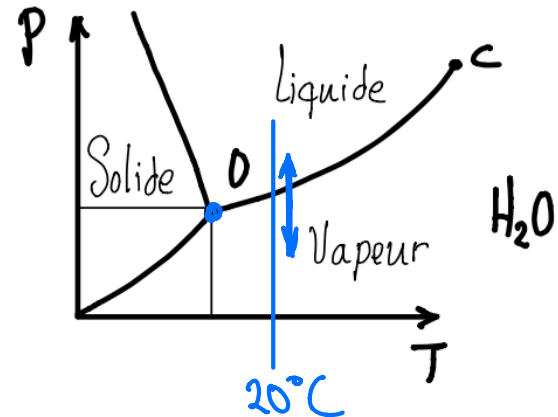
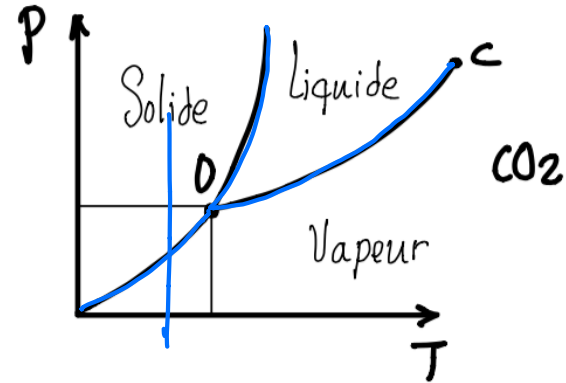


DIAGRAMME DE PHASE

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

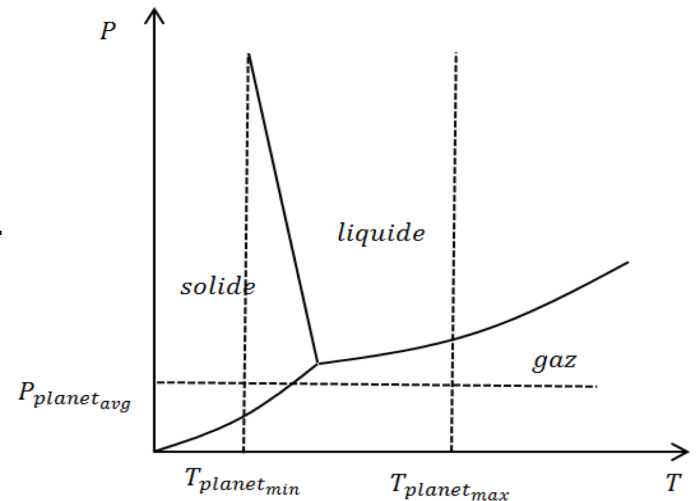
Point Triple



QUESTION

La pression atmosphérique d'une planète est $P_{\text{planète avg}}$. Avec le diagramme de phase de l'eau, quelles conditions doivent être remplies pour permettre l'existence des lacs et des rivières ?

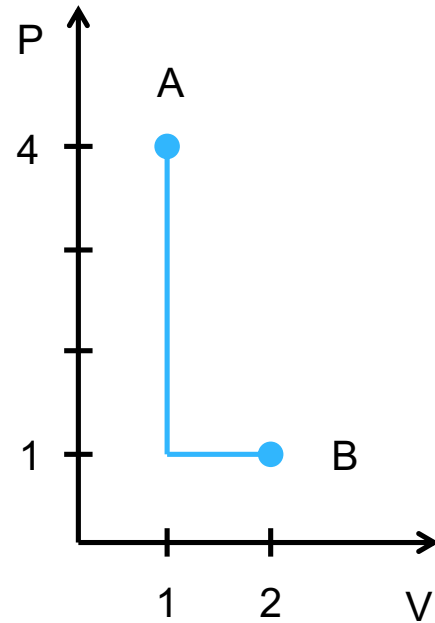
- a) La pression moyenne doit diminuer.
- b) Les conditions actuelles permettent déjà l'existence des lacs et des rivières.
- c) La température moyenne de cette planète doit augmenter.
- d) La pression moyenne doit augmenter.



QUESTION

$$T_A / T_B = ?$$

- (a) $\frac{1}{4}$
- (b) $\frac{1}{2}$
- (c) 1
- (d) 2
- (e) 4



THÉORIE CINÉTIQUE

Un **gaz réel à faible pression** et **loin du point de liquéfaction** se comporte en pratique comme un **gaz parfait** et peut être étudié en utilisant cette théorie qui repose sur les hypothèses suivantes:

- Le volume du récipient contient un très **grand nombre N** de molécules de masse m qui se déplacent sans direction précise avec des vitesses différentes.
- La distance moyenne d entre les molécules est **très supérieure** à leur diamètre D , $d \gg D$.
- Les molécules **obéissent aux lois de la mécanique classique** et n'interagissent que lorsqu'elles entrent en collision (on néglige les forces d'attraction entre elles en dehors des collisions).
- On considère que les chocs entre molécules ou avec les parois rigides du récipient sont **parfaitement élastiques**.

THÉORIE CINÉTIQUE

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2m v_x}{2L/v_x} = \frac{m}{L} \overline{v_x^2} N$$

Pour N molécules: $\overline{v_x^2} = \frac{\sum v_{x_i}^2}{N}$

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} \Rightarrow \overline{v^2} = 3 \overline{v_x^2}$$

$$F = \frac{m}{L} N \overline{v_x^2} = N \frac{m \overline{v^2}}{3L}$$

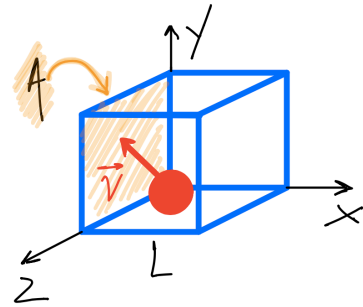
$$P = \frac{F}{A} = N \frac{m \overline{v^2}}{3V} \Rightarrow$$

$$PV = \frac{1}{3} N m \overline{v^2} = \frac{2}{3} N \overline{E_{cin}}$$

$$PV = nRT = \frac{N}{N_A} RT$$

$$\Rightarrow T = \frac{2}{3} \frac{N_A}{R} \overline{E_{cin}}$$

$T \propto \overline{E_{cin}}$



$$\overline{E_{cin}} = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$



VITESSE DES MOLÉCULES DANS UN GAZ

$$T = \frac{2}{3} \frac{N_A}{R} \bar{E}_{cin} = \frac{2}{3} \frac{N_A}{R} \frac{1}{2} m \bar{v}^2 \Rightarrow$$

$$\bar{v}^2 = \frac{3RT}{m N_A} = \frac{3 k_B T}{m} \Rightarrow$$

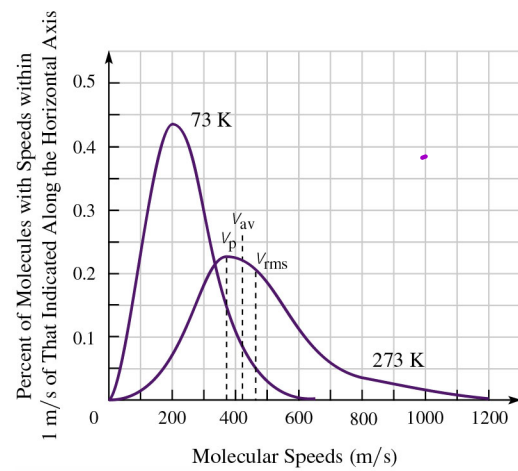
$$v_{qm} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3 k_B T}{m}}$$

vitesse moyenne

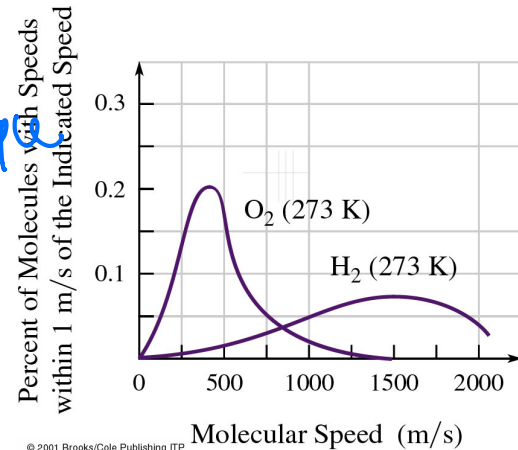
Vitesse quadratique moyenne

$$\bar{v} = 0.92 v_{qm}$$

Distributions des vitesses de Maxwell



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

$$P(v) = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2k_B T}}$$

QUESTION

La vitesse de chaque molécule dans un gaz est augmentée par un facteur 4. Ça résulte à une augmentation de la température T du gaz par un facteur:

a) 2

b) 4

c) 16

d) T ne change pas

RAPPEL MATHÉMATIQUE

Huit particules se déplacent aux vitesses suivantes, exprimées en m/s :

1.0, 6.0, 4.0, 2.0, 6.0, 3.0, 2.0 et 5.0.

Calculer a) leur vitesse moyenne et b) leur vitesse quadratique moyenne.

$$\bar{v} = \frac{\sum_i^N v_i}{N} = \dots = 3.6 \text{ m/s}$$

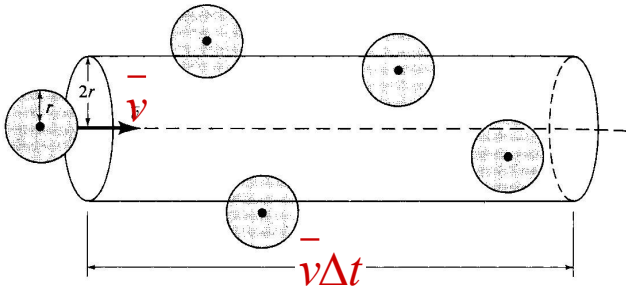
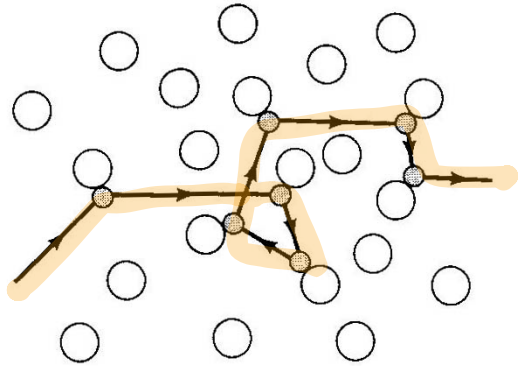
$$v_{qm} = \sqrt{\frac{\sum_i^N (v_i)^2}{N}} = \dots = 4.1 \text{ m/s}$$

$$\bar{v} = 0.88 v_{qm}$$

EXEMPLE

- a) Déterminez la moyenne de l'énergie cinétique de translation pour des molécules d'air(O_2 et N_2) à $20^\circ C$.
- b) Déterminez leur vitesse quadratique moyenne.

LE LIBRE PARCOURS MOYEN



$$\lambda_0 = \frac{1}{\text{Section molecules}} \cdot \frac{1}{\text{concentration}}$$

$$\lambda_0 = \frac{1}{4\pi r^2 n_v}$$

$$\lambda_0 = \frac{1}{\sqrt{2} 4\pi r^2 n_v}$$

niveau mer
 $\lambda \sim 0.1 \mu\text{m}$

100 km

$\lambda : 16 \text{ cm}$

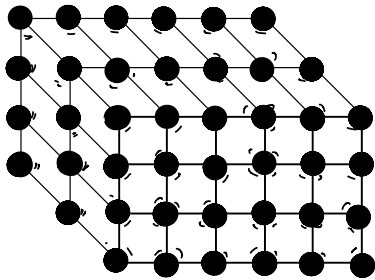
300 km

$\lambda : 20 \text{ km}$

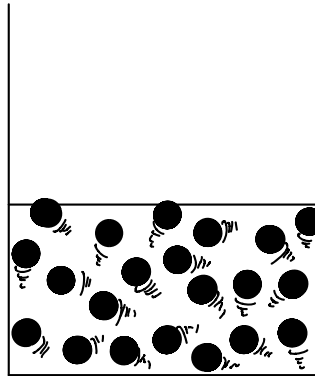
ÉTATS DE LA MATIÈRE

- **solide** : conserve sa forme et son volume.
- **liquide** : coule et prend la forme du récipient dans lequel il est placé, mais conserve un volume constant (si incompressible).
- **gaz** : coule, se disperse prenant la forme et occupant tout le volume du récipient.
- **plasma** : mélange d'atomes, ions et électrons.

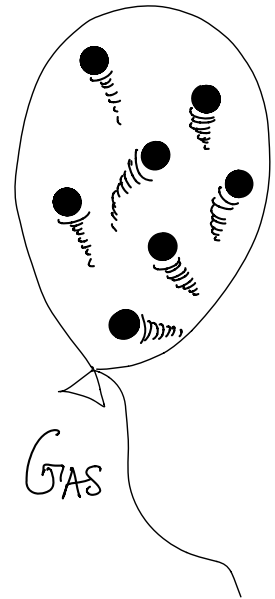
LES PARTICULES DANS LA MATIÈRE



SOLIDE



LIQUIDE



GAS

ÉNERGIE THERMIQUE

L'énergie thermique

est l'énergie cinétique désordonnée totale (rotationnelle, translationnelle et vibratoire) associée à un groupe de particules (atomes, ions, électrons,...) qui constituent un corps.

Il existe trois mécanismes principaux pour varier l'énergie thermique :

- Un **travail** sur un corps.
- Le **rayonnement électromagnétique** (lumière visible, infrarouge,...).
- La **conduction**.

La chaleur est l'énergie thermique échangée entre deux corps.

TEMPÉRATURE VS ÉNERGIE THERMIQUE VS CHALEUR

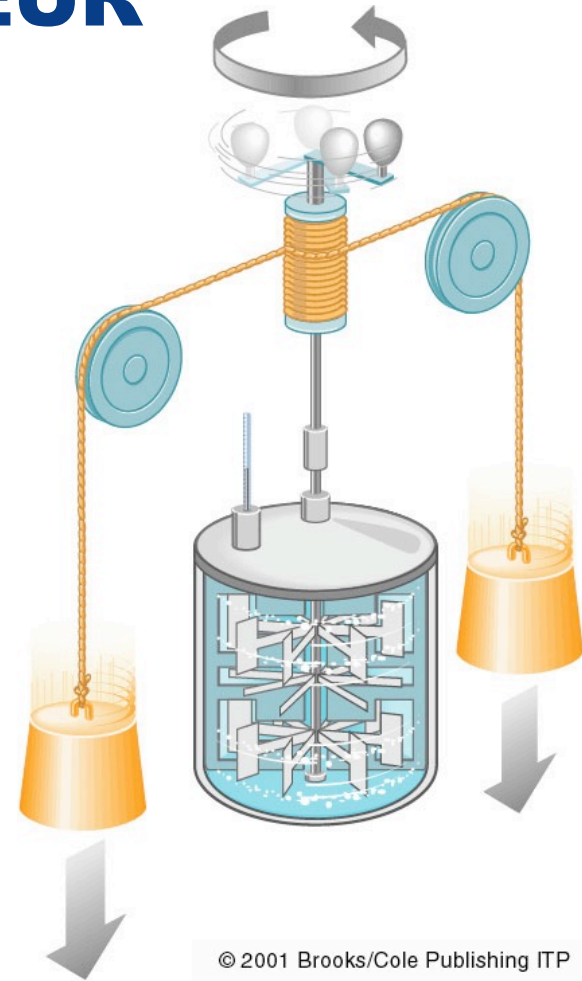
- 1) La **température** qui constitue une mesure de l'**énergie cinétique moyenne** des molécules individuelles. Elle est donc indépendante du nombre total d'atomes présents. Ce type de variable est appelée *variable intensive = variable par molécule*
- 2) L'**énergie thermique** ou **énergie interne** U qui correspond à l'**énergie cinétique désordonnée** totale de toutes les molécules d'un objet : c'est une *variable extensive = variable de l'ensemble de molécules*
- 3) La **chaleur** qui consiste en un **transfert d'énergie** (généralement thermique) d'un objet à un autre dû à leur différence de température.

LA QUANTITÉ DE CHALEUR

Consommation horaire approximative en kcal

Masse du corps en kg	45	68	90	100
En sommeil	40	60	80	105
Debout	70	100	140	170
Marche	130	195	260	320
Course à pied	290	440	580	730

QUANTITÉ DE CHALEUR ET ÉNERGIE



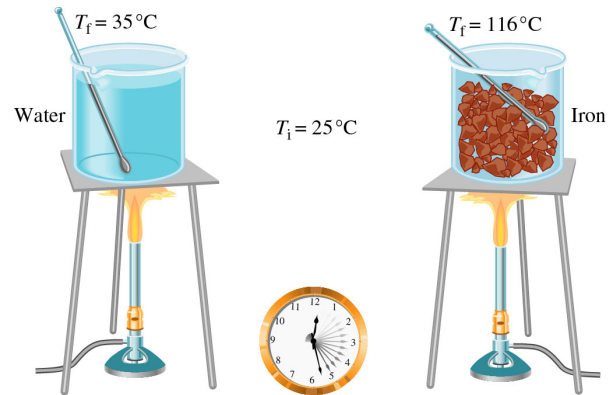
On peut augmenter (abaisser) la température de 1 kg d'eau de 1 Kelvin en lui apportant (soutirant) une énergie (chaleur) de 4186 Joules (1kg chutant de 427m).

LA CAPACITÉ CALORIFIQUE

(SANS CHANGEMENT D'ÉTAT)

LA CAPACITÉ CALORIFIQUE

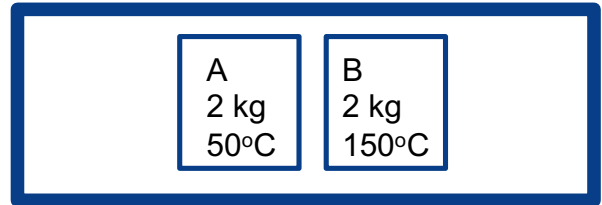
(SANS CHANGEMENT D'ÉTAT)



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

Matériau	c (kcal/(kg·K))
Glace (eau, -5°C)	0.50
Plomb	0.031
Aluminium	0.21
Cuivre	0.093
Fer	0.11
Mercure	0.033
Eau	1
Helium	1.237
Vapeur d'eau (110°C)	0.481
Air (100°C)	0.24

QUESTION

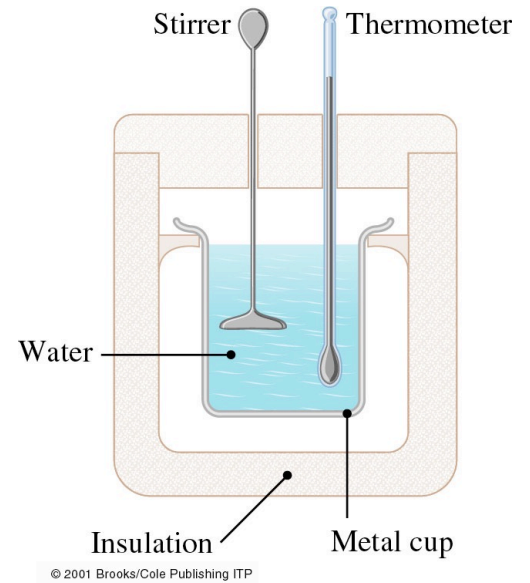


Le grand recipient est bien isolé de l'environnement.

On sait que $c_A < c_B$. Quelle est la temperature finale?

- (a) $T_f > 100^\circ\text{C}$
- (b) $T_f = 100^\circ\text{C}$
- (c) $T_f < 100^\circ\text{C}$

LE CALORIMÈTRE



CHANGEMENT D'ÉTAT

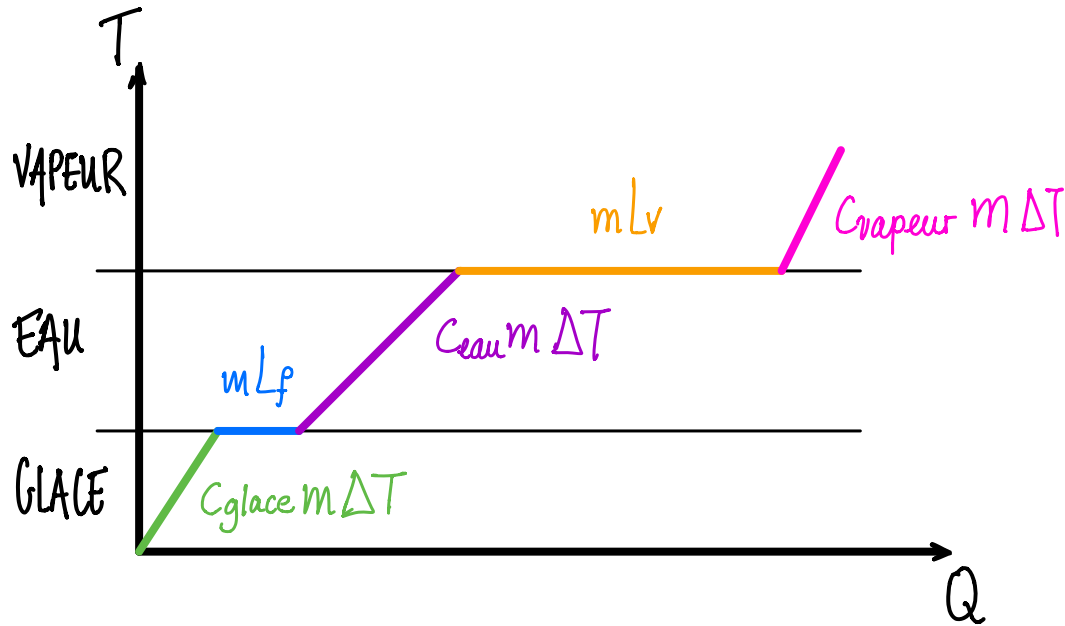
CHALEUR LATENTE DE FUSION

CHALEUR LATENTE DE VAPORISATION

CHANGEMENT D'ÉTAT – TABLEAU RECAPITULATIF

Substance	Point de fusion (°C)	L_f (kJ/kg)	Point d'ébullition (°C)	L_v (kJ/kg)
Cuivre	1083	205	2336	5069
Or	1063	66,6	2600	1578
Alcool éthylique	-114	104	78	854
Eau	0,0	333,7	100,0	2259
Mercure	-38,87	11,8	356,58	296
Azote	-209,86	25,5	-195,81	199
Hydrogène	-259,31	58,6	-252,89	452
Hélium	-269,65	5,23	-268,93	21

CAPACITÉ CALORIFIQUE ET CHALEUR LATENTE



$$\begin{aligned}C_{\text{vapeur}} &= 2.01 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \\L_v &= 2259 \text{ J/g} \\C_{\text{eau}} &= 4.18 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \\L_f &= 333.7 \text{ J/g} \\C_{\text{glace}} &= 2.10 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}\end{aligned}$$

CHANGEMENT D'ÉTAT

Quelle est la quantité de chaleur nécessaire pour transformer, sous pression atmosphérique, 1.0 kg de glace à -10°C en vapeur surchauffée à 110°C ?

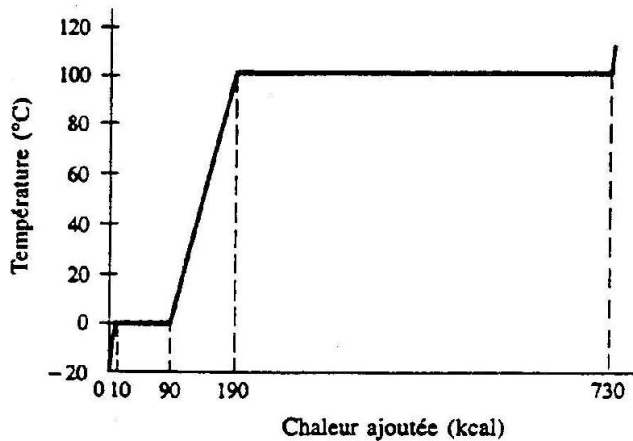
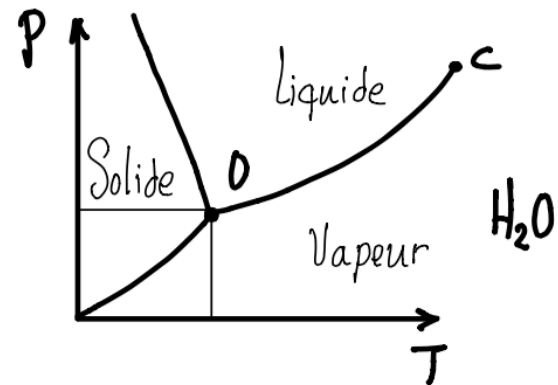
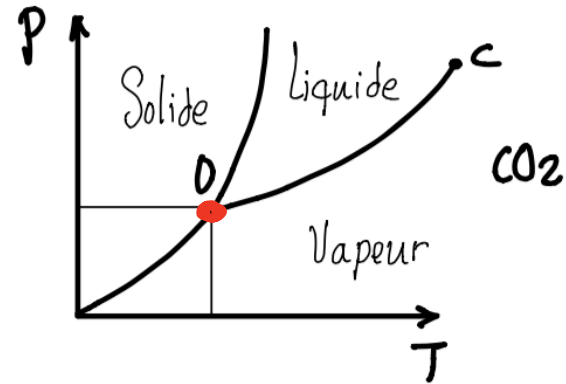
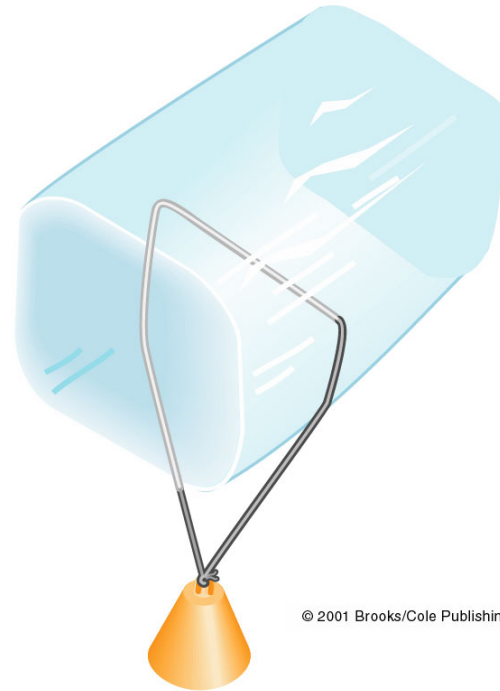
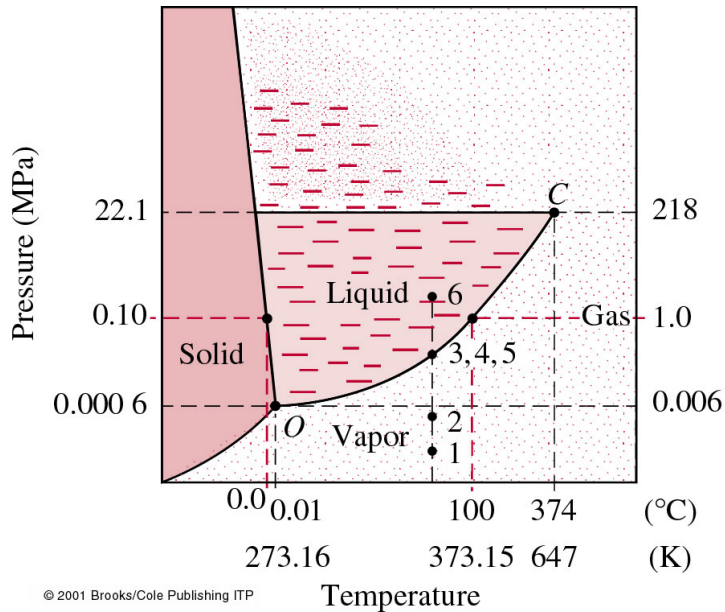


DIAGRAMME DE PHASE

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

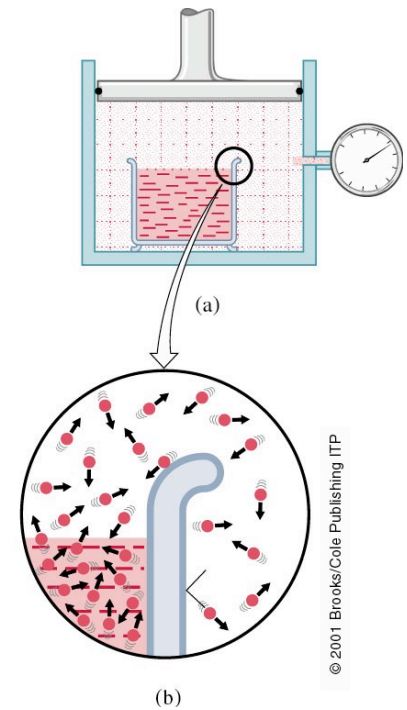


EXEMPLE DE TRANSFORMATION REVERSIBLE



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

ÉVAPORATION



Température (°C)	Pression de vapeur saturée (Pa)
0	$6,11 \times 10^2$
50	$1,23 \times 10^4$
70	$3,12 \times 10^4$
100	$1,01 \times 10^5$
120	$1,99 \times 10^5$
150	$4,76 \times 10^5$

ÉBULLITION

La pression de vapeur d'un liquide augmente avec la température.

Lorsque celle-ci s'élève au point où la pression de vapeur est égale à la pression extérieure, il y a ébullition.