

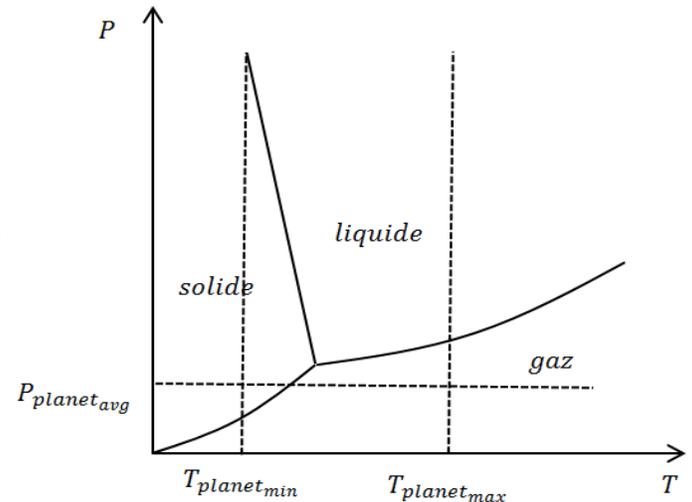
PROPRIÉTÉS THERMIQUES ET LA CHALEUR

PGC-10

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

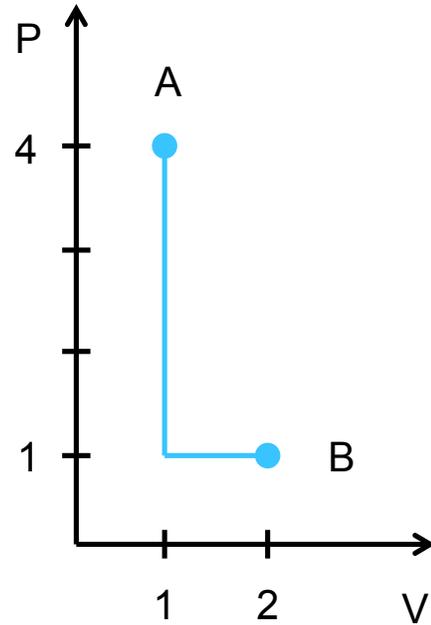
$$T_A / T_B = ?$$

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

$$PV = nRT$$

$$\left. \begin{aligned} P_A V_A &= nRT_A \\ P_B V_B &= nRT_B \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

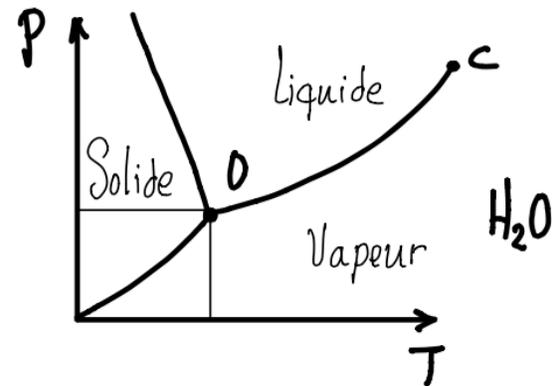
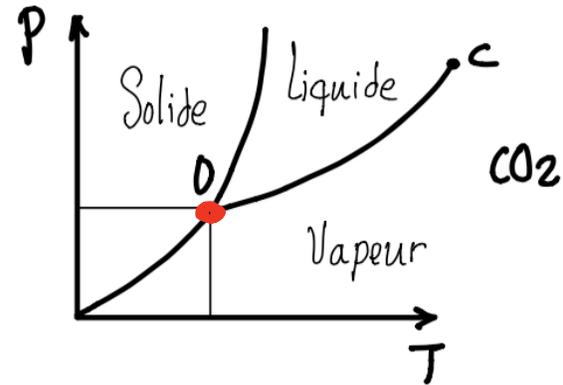
$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{P_A V_A}{P_B V_B} = \frac{4}{2} = 2$$



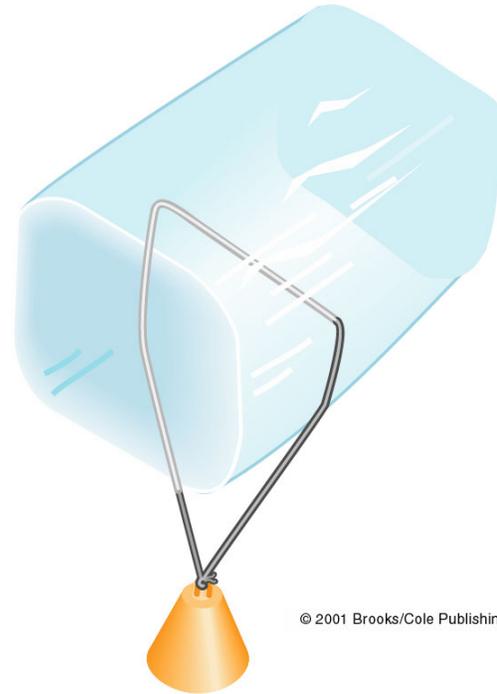
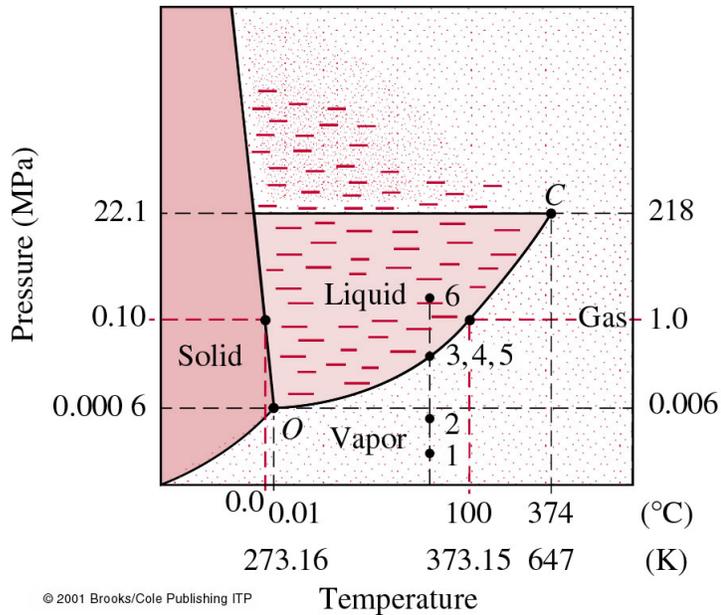
CHANGEMENT D'ÉTAT

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

CHALEUR LATENTE DE FUSION

$$Q = \pm L_f \cdot m$$

↑

(+) : fusion

(-) : solidification

CHALEUR LATENTE DE VAPORISATION

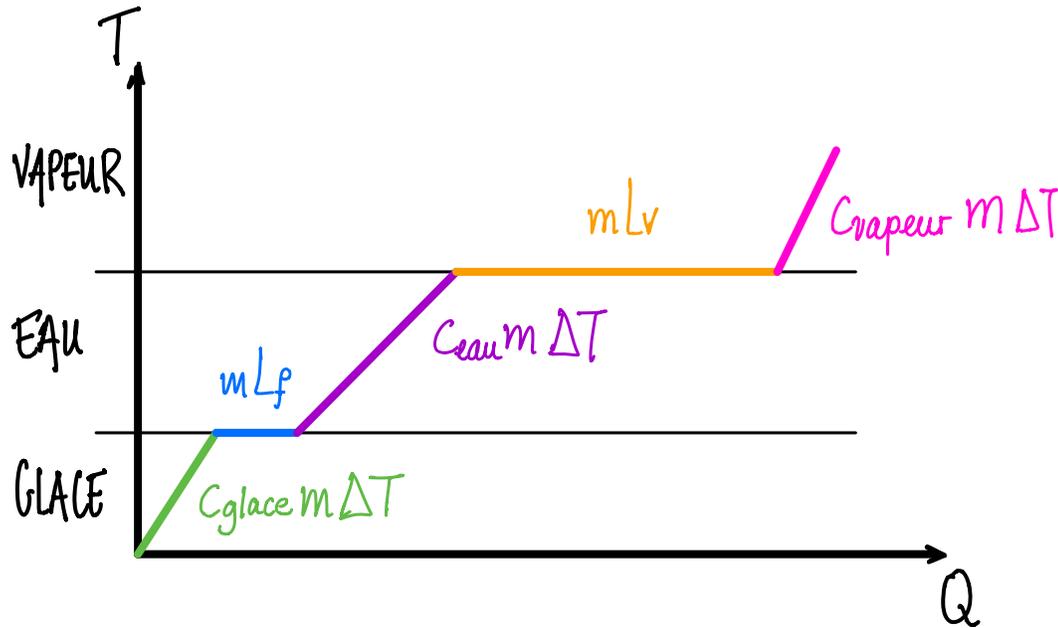
$$Q = \pm L_v \cdot m$$

$$L_v > V_f$$

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 ?

$$Q = m c_g \Delta T_g + m L_f + m c_e \Delta T_e + m L_v + m c_v \Delta T_v$$

$$c_g = 2.1 \text{ J/g}\cdot\text{C}$$

$$\Delta T_g = 10^{\circ}\text{C}$$

$$c_e = 4.2 \text{ J/g}\cdot\text{C}$$

$$\Delta T_e = 100^{\circ}\text{C}$$

$$c_v = 2.0 \text{ J/g}\cdot\text{C}$$

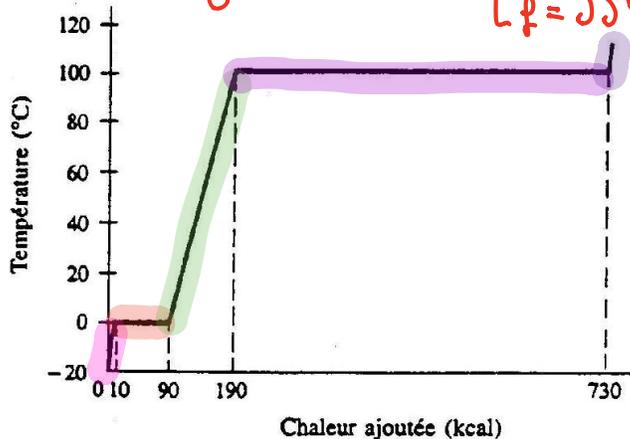
$$\Delta T_v = 10^{\circ}\text{C}$$

$$L_f = 334 \text{ J/g}$$

$$L_v = 2259 \text{ J/g}$$

$$m = 1000 \text{ gr}$$

$$\Rightarrow Q = \underline{\underline{3055 \text{ kJoule}}}$$

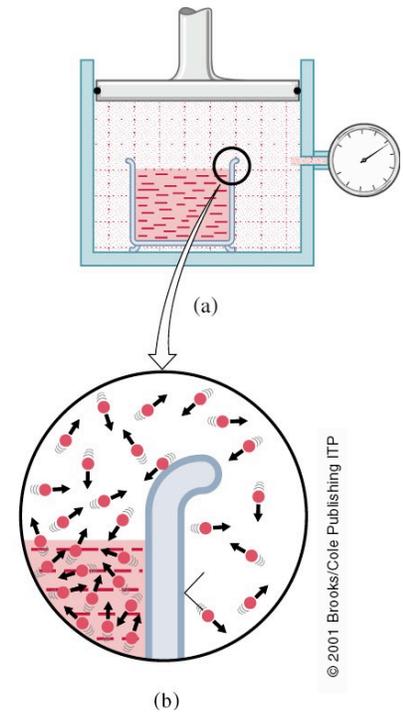


ÉVAPORATION

Pression de vapeur saturée P_0

Pression de vapeur $< P_0$:

Évaporation continue !



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	$4,76 \times 10^5$

augmente avec T

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.

TRANSFERT D'ÉNERGIE THERMIQUE

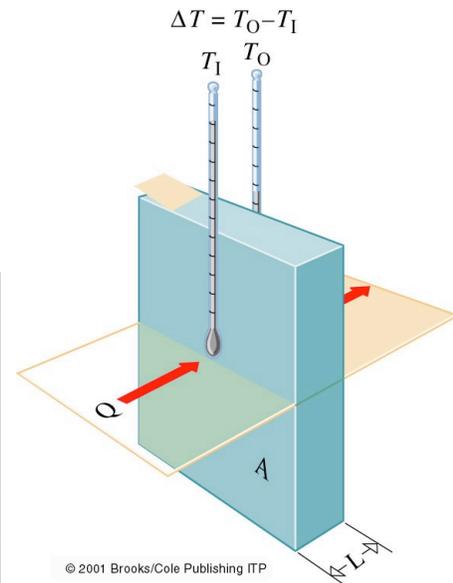
- Conduction
- Convection
- Rayonnement

LA CONDUCTION

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k_T \frac{A}{L} \Delta T$$

k_T : coeff. de
conductivité
thermique

Matériau	$k_T(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$	matériau	$k_T(\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$
Aluminium	210	Cuivre	386
Plomb	35	Argent	406
Verre	0,84	Duvet	0,02
Glace	2,2	Neige compacte	0,21
Mercure	8,7	Eau	0,58
Air	0,026	Dioxyde de carbone	0,017



EXEMPLE

Soit une vitre de 0.90m de largeur, 1.5 m de hauteur et 4.0 mm d'épaisseur. La température extérieure est de -9.0°C et celle de la pièce de 10°C . Quelle est la puissance thermique qui traverse cette vitre ($k_T = 0.84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ?

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = -k_T \frac{A}{L} (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow H = 5386.5 \text{ Watt}$$
$$A = 0.9 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} = 1.35 \text{ m}^2$$
$$L = 4.0 \text{ mm}$$
$$\Delta T = -19^{\circ}\text{C}$$

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = - \frac{k_T A}{L} \Delta T \Rightarrow H = - \frac{1}{R} \Delta T$$

$$R = \frac{L}{k_T A}$$

"En Serie" $R_{\text{TOT}} = R_1 + R_2 + \dots$

Resistance Thermique

LA RÉSISTANCE THERMIQUE

On assimile une fenêtre à une vitre de verre de forme carrée de 90 cm de côté et 2mm d'épaisseur.

1) Calculez la résistance thermique de la vitre sachant que la conductivité thermique du verre est $k^v_T = 0.84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

2) On remplace le simple vitrage par un double vitrage comprenant deux vitres simples séparées par une lame d'air de 2 mm d'épaisseur et de conductivité thermique $k^a_T = 0.023 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Calculez la nouvelle résistance thermique. Conclusion?

$$1) R_T^v = \frac{L}{k_T^v \cdot A} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad R_T^{\text{air}} = \frac{L}{k_T^{\text{air}} \cdot A} = 0.107 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

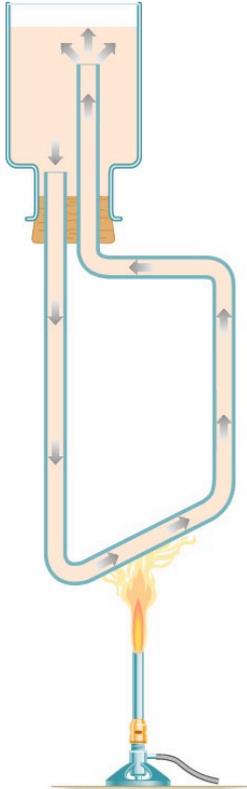
$$2) R_{\text{TOT}} = R_T^v + R_T^{\text{air}} + R_T^v = 2R_T^v + R_T^{\text{air}} = 0.11 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$
$$R_{\text{TOT}} \approx 38 \cdot R_T^v$$

LA CONVECTION

$$h = q \cdot A \cdot \Delta T$$



constante de convection



(a)

© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



(b)



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

LE RAYONNEMENT

$$H_e = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T^4$$

emise

ϵ : depend de la surface
"coeff. d'emissivité"

$\epsilon = 1$ corps noir - rayonne beaucoup
 $\epsilon = 0$ corps qui brille -- reflekte!

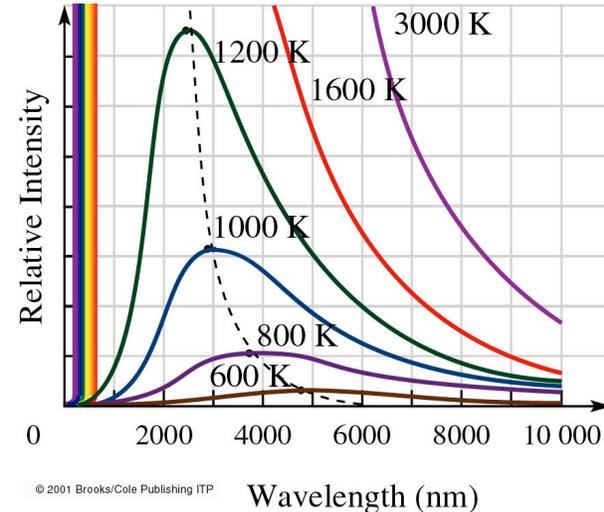
Surface blanche au milieu.

$$H_{net} = H_a - H_e = \epsilon \sigma A (T_{env}^4 - T^4)$$

↑ absorbée ↑ emise

Loi de Stefan-Boltzmann
 σ : constante $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

A: aire
T: temp.



QUESTION

Vous (à 37°C) êtes dans une chambre à 20°C. Les quatre murs sont faits de matériaux différents, béton, cuivre, or et acier. Lequel des murs paraît le plus froid ?

- a) le côté du cuivre
- b) le côté du béton
- c) le côté de l'acier
- d) le côté de l'or
- e) Puisque les quatre murs sont à la même température, ils paraissent tous aussi froids les uns que les autres.

NB : Les conductivités thermiques respectives des matériaux sont $k_{Cu}=385 \text{ W/mK}$, $k_{beton}=0.8 \text{ W/mK}$, $k_{Au}=314 \text{ W/mK}$, $k_{Acier}=50.2 \text{ W/mK}$



L'atmosphère
laisse arriver au sol
50 % du rayonnement
reçu du soleil.

The diagram illustrates the greenhouse effect. A sun in the top left corner emits yellow arrows representing solar radiation. One arrow points towards the Earth's surface, while another points away from the atmosphere. A large red arrow points from the ground up towards the atmosphere, representing infrared radiation emitted by the surface. A second, larger red arrow points from the atmosphere back down towards the ground, representing the re-emission of infrared radiation. The background shows a cityscape with buildings, a power line tower, a tractor in a field, and an airplane in the sky.

Le rayonnement absorbé par le sol et l'atmosphère est finalement réémis vers l'espace en infrarouges, après de multiples interactions avec les composants de l'atmosphère, contribuant ainsi à en réchauffer les couches inférieures.

Agissant telles les vitres d'une serre, certains gaz présents naturellement en faible quantité dans l'atmosphère (vapeur d'eau, gaz carbonique, éthane, ozone) interfèrent avec les rayons infrarouges en les empêchant directement de s'échapper vers l'espace. Cela provoque une hausse des températures.

LAND AVERAGE TEMPERATURE

