

# ÉNERGIE THERMIQUE ET CHALEUR

PGC-21

# 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.

$U$

$$PV = nRT$$
$$PV = Nk_B T$$

$$U = N \cdot \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = n \cdot N_A \cdot \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = n N_A \underbrace{\frac{3}{2} k_B}_{R} T = \frac{3}{2} n R T$$

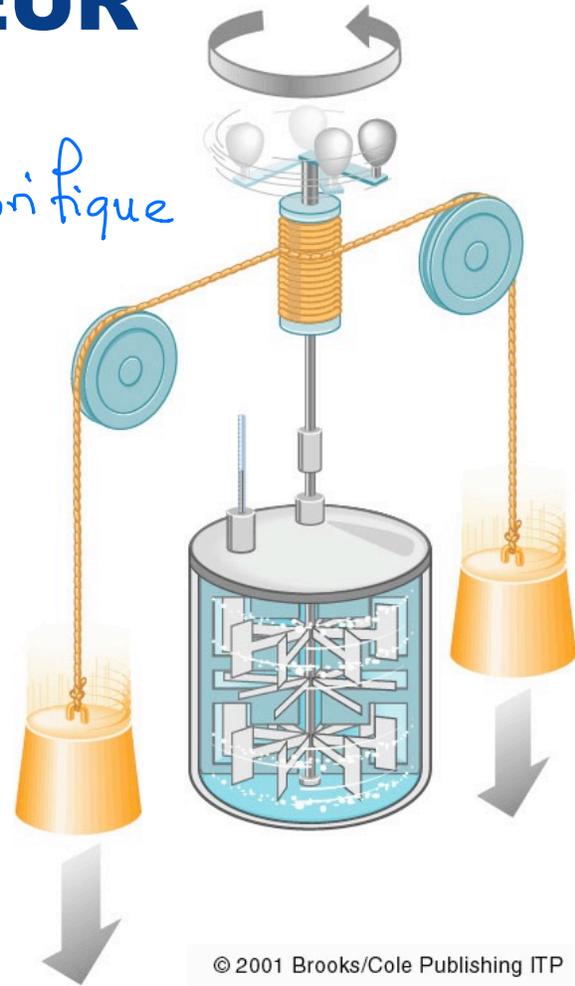
# QUANTITÉ DE CHALEUR ET ÉNERGIE

$$Q = cm \Delta T \quad c: \text{capacité calorifique}$$

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ J}$$

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)

$$\left. \begin{array}{l} m_1 = m_2 \\ T_1 = 5^\circ\text{C} \quad T_2 = 95^\circ\text{C} \end{array} \right\} \text{mélange se stabilise à } T_F$$

$$Q_1 = C m_1 (T_F - T_1) \quad T_F > T_1 : \underbrace{Q > 0} : \text{Reçu!}$$

$$Q_2 = C m_2 (T_F - T_2) \quad T_F < T_2 : \underbrace{Q < 0} : \text{Perdu!}$$

$$Q_1 = -Q_2 \Rightarrow C m_1 (T_F - T_1) = -C m_2 (T_F - T_2) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow T_F - T_1 = -T_F + T_2 \Rightarrow T_F = \frac{T_1 + T_2}{2}$$
$$T_F = 50^\circ\text{C}$$

$$Q = cm \Delta T$$

# LA CAPACITÉ CALORIFIQUE

## (SANS CHANGEMENT D'ÉTAT)

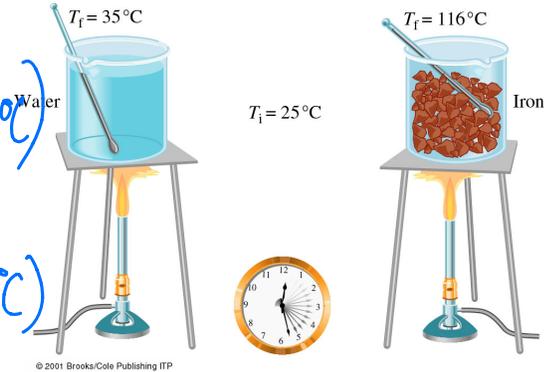
$$\Delta T_{\text{eau}} = \frac{Q}{C_{\text{eau}} m}$$

$$C_{\text{eau}} = 1.0 \text{ Kcal / (kg} \cdot \text{°C)}$$

$$\Delta T_{\text{Fe}} = \frac{Q}{C_{\text{Fe}} m}$$

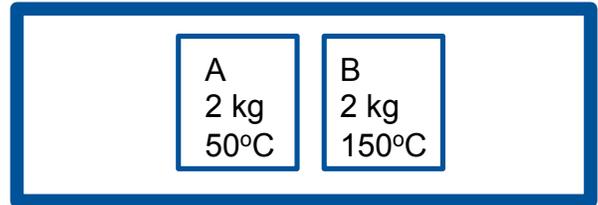
$$C_{\text{Fe}} = 0.11 \text{ Kcal / (kg} \cdot \text{°C)}$$

$\Rightarrow \Delta T_{\text{eau}} \sim 9 \times$  plus petite  $\Delta T_{\text{Fe}}$



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

"b" "c<sub>b</sub>"

T<sub>i</sub> : eau, Cu T<sub>ib</sub>

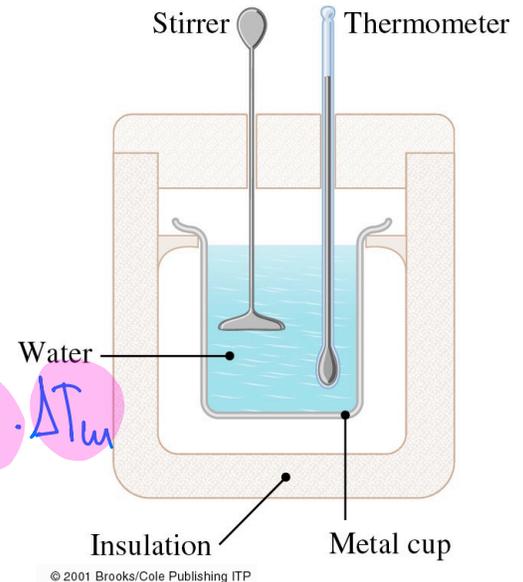
T<sub>F</sub>

$$-Q_b = Q_{\text{eau}} + Q_{\text{vase}} \Rightarrow$$

$$-m_b \cdot C_b \cdot \Delta T_b = m_{\text{eau}} \cdot C_{\text{eau}} \cdot \Delta T_{\text{eau}} + m_{\text{cu}} \cdot C_{\text{cu}} \cdot \Delta T_{\text{cu}}$$

$$\Delta T_b: T_F - T_{ib}$$

$$\Delta T_{\text{eau}} = T_F - T_i = \Delta T_{\text{cu}}$$



# CHANGEMENT D'ÉTAT

Fusion

Vaporisation

# CHALEUR LATENTE DE FUSION

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

(+): fusion

(-): solidification.

$L_f$ : Energie pour rendre 1 kg solide  $\rightarrow$  liquide  
à T constante

# CHALEUR LATENTE DE VAPORISATION

liquide  $\rightarrow$  gaz

$$Q = \pm \underline{L_v} \cdot m$$

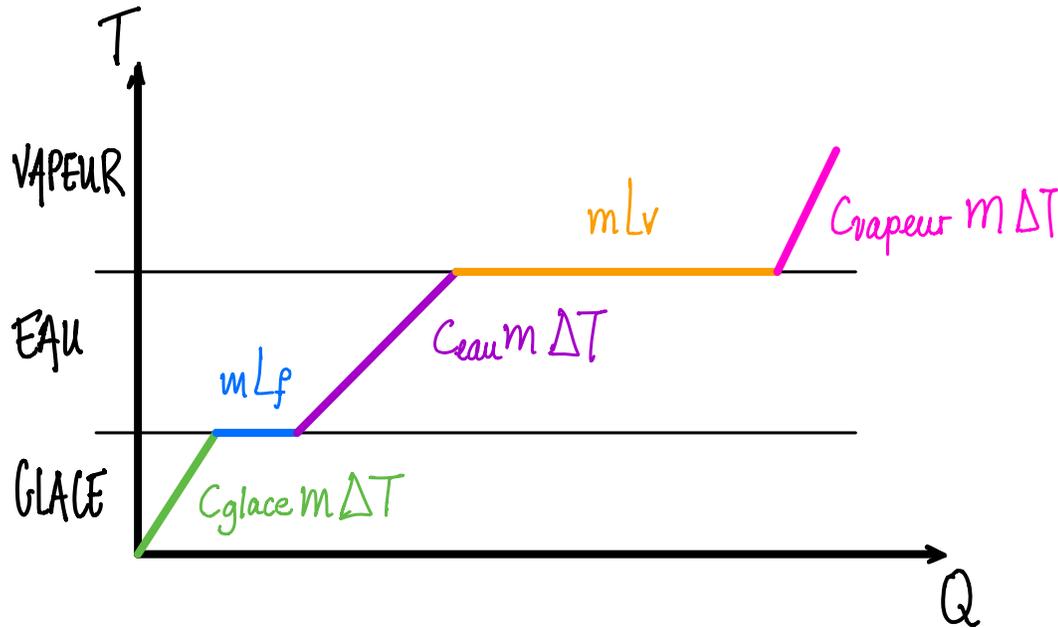
$$L_v > L_f$$

$$L_{v\text{eau}}^{100^\circ\text{C}} < L_{v\text{eau}}^{50^\circ\text{C}}$$

# 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



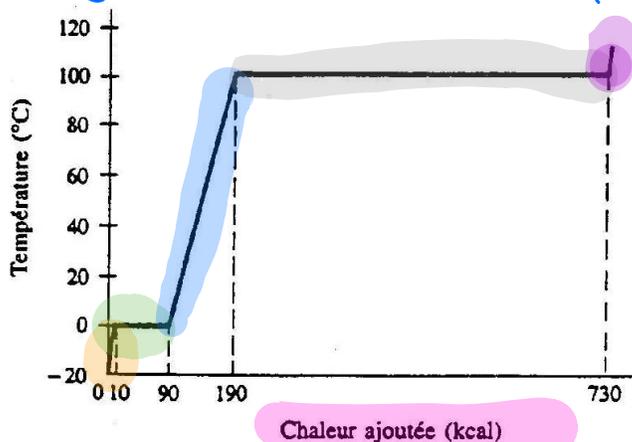
$$\begin{aligned}C_{\text{vapeur}} &= 2.01 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \\L_v &= 2259 \text{ J/g} \\C_{\text{eau}} &= 4.18 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \\L_f &= 333.7 \text{ J/g} \\C_{\text{glace}} &= 2.10 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}\end{aligned}$$

# CHANGEMENT D'ÉTAT

Quelle est la quantité de chaleur nécessaire pour transformer, sous pression atmosphérique, 1.0 kg de glace à  $-10^{\circ}\text{C}$  en vapeur surchauffée à  $110^{\circ}\text{C}$ ?

$$Q = mc_g \Delta T_g + mL_f + mc_l \Delta T_l + mL_v + mc_v \Delta T_v$$

$c_g = 2.1 \text{ J/(gr}\cdot^{\circ}\text{C)}$        $c_l = 4.2 \text{ J/(gr}\cdot^{\circ}\text{C)}$        $c_v = 2.0 \text{ J/(gr}\cdot^{\circ}\text{C)}$   
 $\Delta T_g = 10^{\circ}\text{C}$        $\Delta T_l = 100^{\circ}\text{C}$        $\Delta T_v = 10^{\circ}\text{C}$



$$L_f = 334 \text{ J/g} \quad L_v = 2259 \text{ J/g}$$

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

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

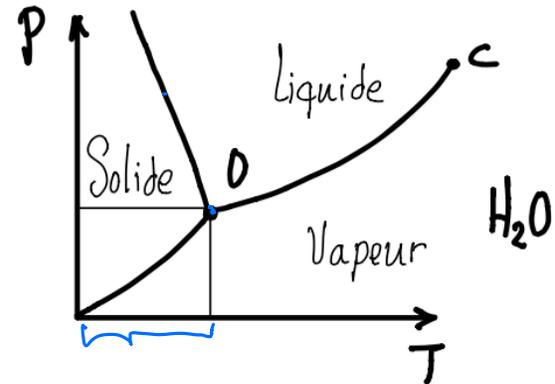
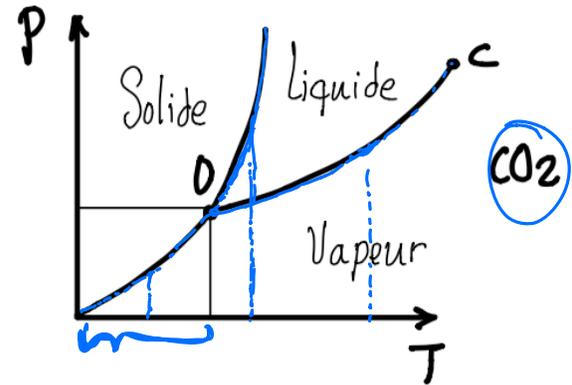
# DIAGRAMME DE PHASE

Courbe de vaporisation (L-V)

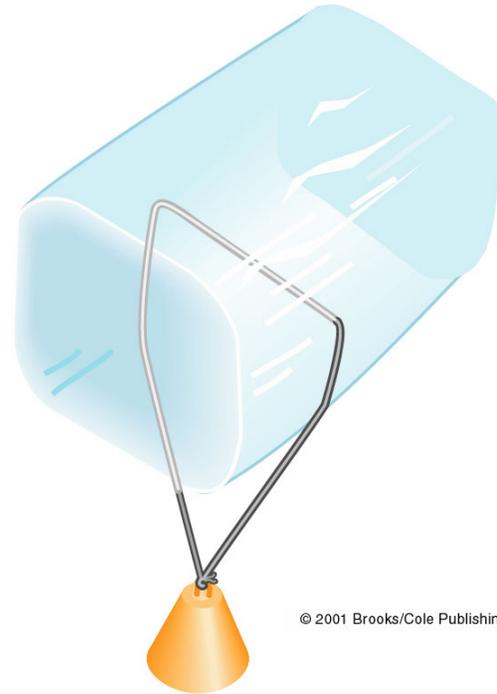
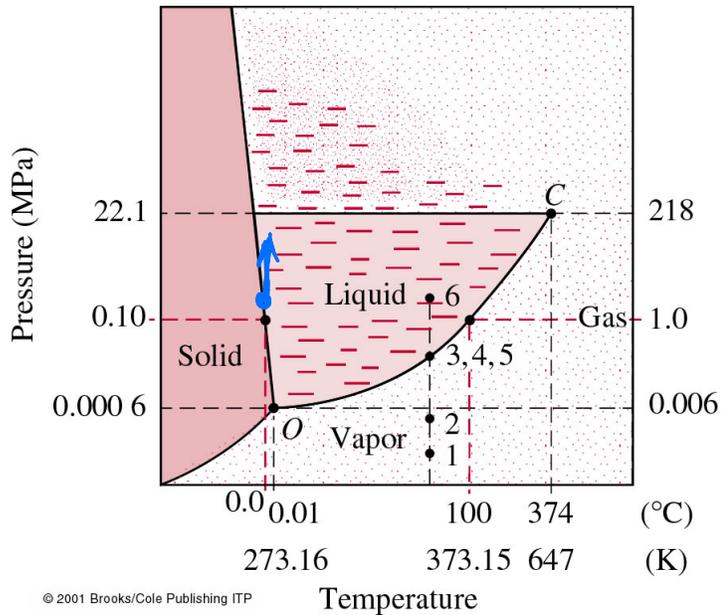
Courbe de fusion (S-L)

Courbe de sublimation (S-V)

Point Triple.



# EXEMPLE DE TRANSFORMATION REVERSIBLE



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

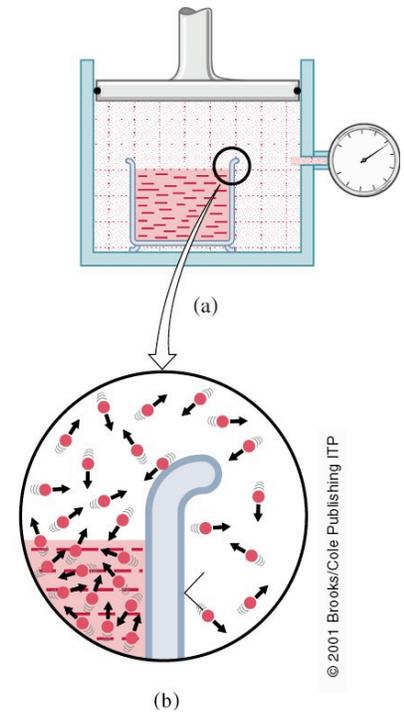
# ÉVAPORATION

Espace Saturé

Pression de vapeur saturé  $P_0$

Pression de vapeur  $< P_0$

$\leadsto$  Évaporation!



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

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.

Everest  $P \approx \frac{1}{3} P_{mer}$  70°C

Ex. Camerole à pression.

# TRANSFERT D'ÉNERGIE THERMIQUE

\* CONDUCTION

\* CONVECTION

\* RAYONNEMENT

# LA CONDUCTION

Resultat des collisions!

Flux d'energie du chaud au froid.

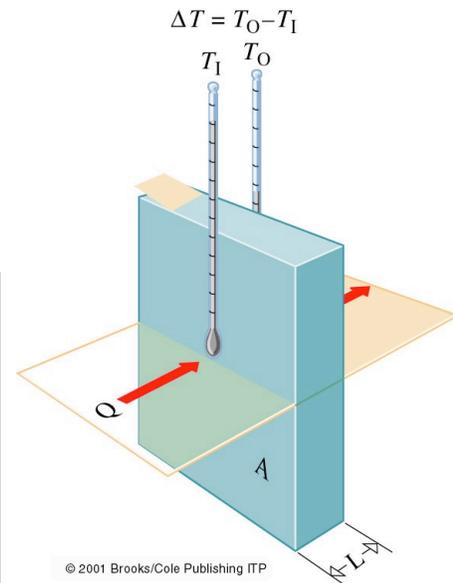
$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = - k_T \frac{A}{L} \Delta T$$

$k_T$ : coeff. de conductiv. thermique

liquides / gaz :  $k_T$  bas

Air : SOLANT.

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  $-9.0^{\circ}\text{C}$  et celle de la pièce de  $10^{\circ}\text{C}$ . Quelle est la puissance thermique qui traverse cette vitre ( $k_T = 0.84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) ?

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k_T \frac{A}{L} (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \quad \left\{ \quad H = 5386.5 \text{ watt.} \right.$$

$$A = 1.35 \text{ m}^2$$

$$\Delta T = -19^{\circ}\text{C}$$

---

$$H = - \frac{k_T A}{L} \Delta T = - \frac{1}{R} \Delta T \quad \left\{ \quad R = \frac{L}{k_T A} \right.$$

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

# 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?

$$1) R_T^v = \frac{L}{k_T^v \cdot A} = \underline{\underline{29 \times 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}}} // R_T^{\text{air}} = \frac{L}{k_T^{\text{air}} \cdot A} = \underline{\underline{0.107 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}}}$$

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

$$R_{\text{TOT}} \sim 38 \times R_T^v$$

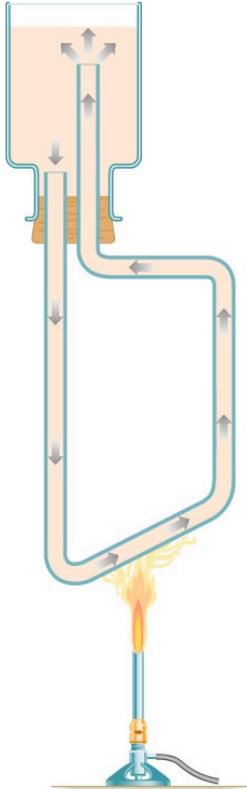
$\sim 40 \times$  plus isolant  
que vitre seul.

# LA CONVECTION

$$H = \rho \cdot A \cdot \Delta T$$



cont. de convection.

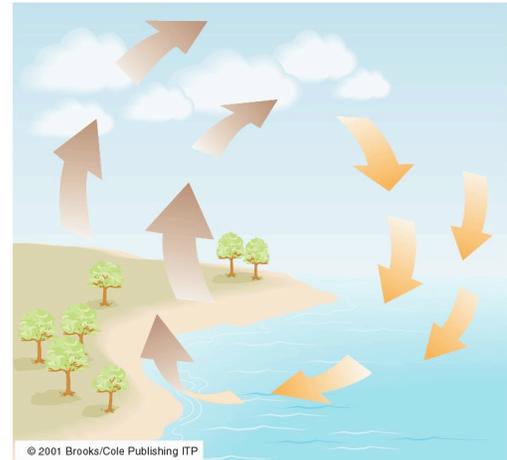


(a)

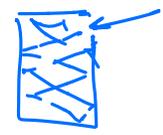
© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



(b)



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



# LE RAYONNEMENT

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

$\uparrow$   $\uparrow$   
 emise  $\text{mm}$

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

A: aire

T: temp.

$\epsilon$ : coefficient d'emissivite

$\epsilon$ : depend de la surface.

$\epsilon$ : [0, 1]

$\epsilon = 1$ : "corps noir" rayonne beaucoup

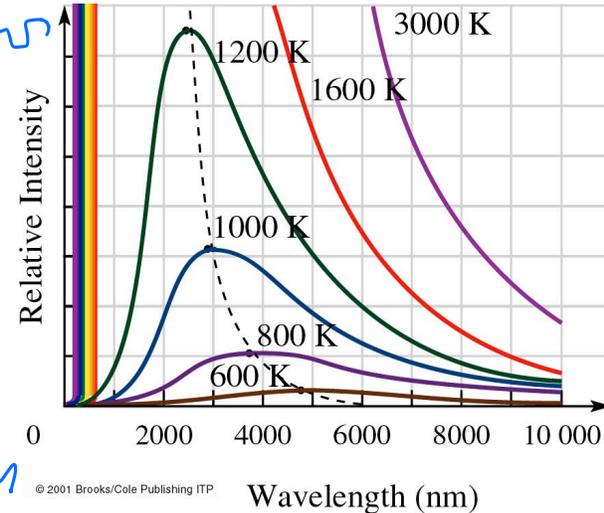
$\epsilon = 0$ : corps brillante rayonne peu

"blanches"

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

$\uparrow$   $\uparrow$   
 absorch emise

$\epsilon \uparrow$ : emetteur bon



# QUESTION

Les chiens en été ont très souvent la langue pendue. Quel processus a lieu à ce temps là?

- (a) Conduction
- (b) Convection
- (c) Radiation
- (d) Evaporation



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 Earth's surface is depicted with a city, a tractor, and a house. An airplane is shown in the sky. The background is a blue sky with a white cloud layer.

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.