

# PROPRIÉTÉS THERMIQUES ET LA CHALEUR

-  $PV = nRT$

-  $T, U, Q$

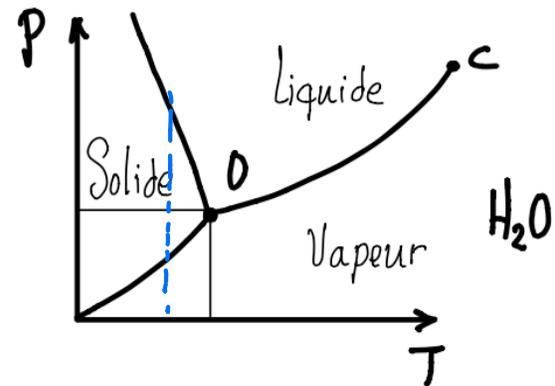
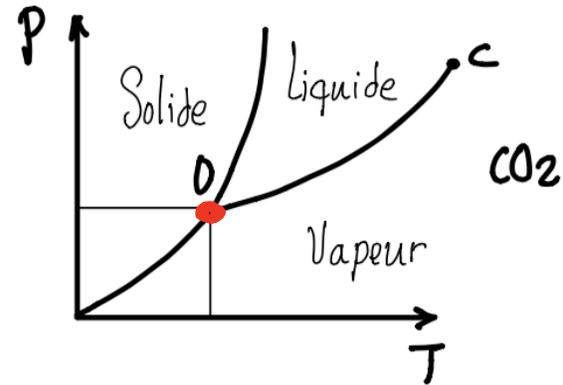
PGC-10

-  $Q = cm\Delta T \Rightarrow$  SANS CHANGEMENT D'ÉTAT!!

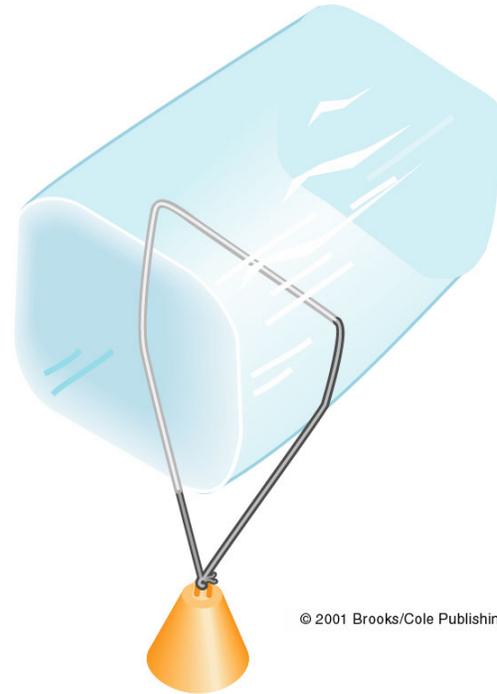
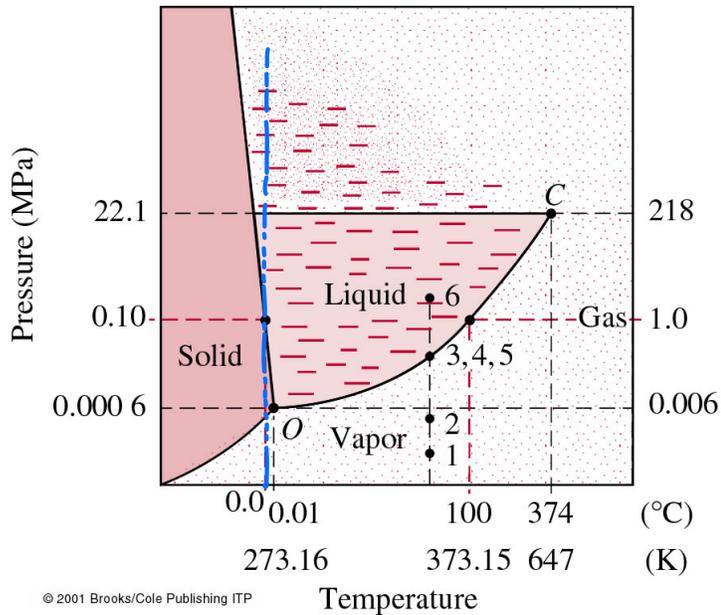
# **CHANGEMENT D'ÉTAT**

# 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

$$\Rightarrow Q = cm \Delta T \Leftarrow$$

# CHALEUR LATENTE DE FUSION

$$Q = \pm L_F m$$

(+) : fusion

(-) : solidification

$L_F$  : 1kg, solide  $\rightarrow$  liquide

# CHALEUR LATENTE DE VAPORISATION

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

$L_v$ : 1 kg liquide  $\rightarrow$  gaz

2 observations:

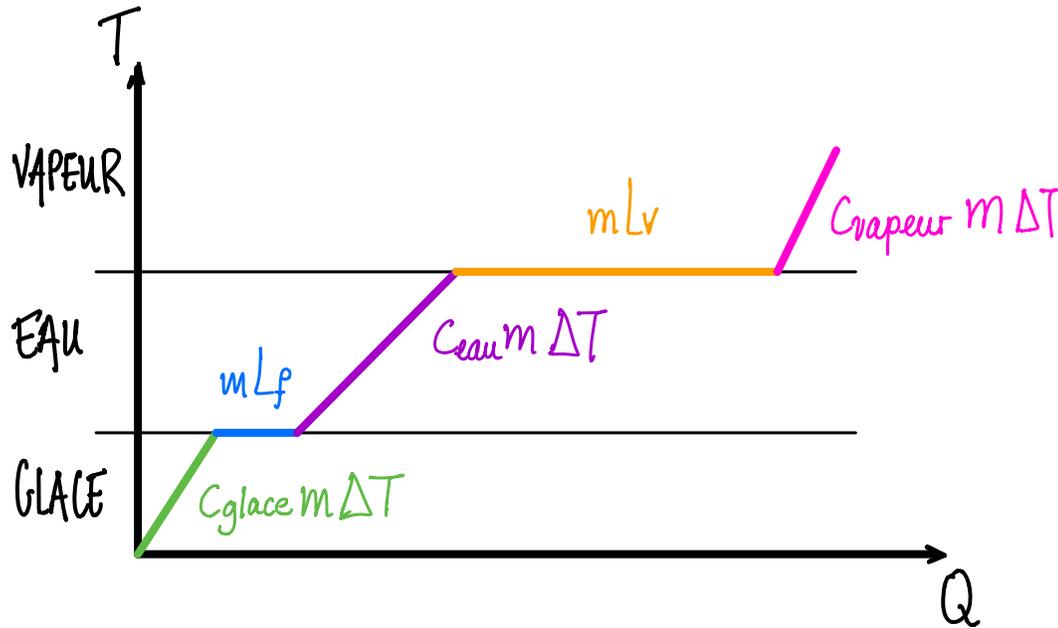
- $L_v > L_f$

- $L_v^{100^\circ\text{C}}_{\text{eau}} < L_v^{50^\circ\text{C}}_{\text{eau}}$

# 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



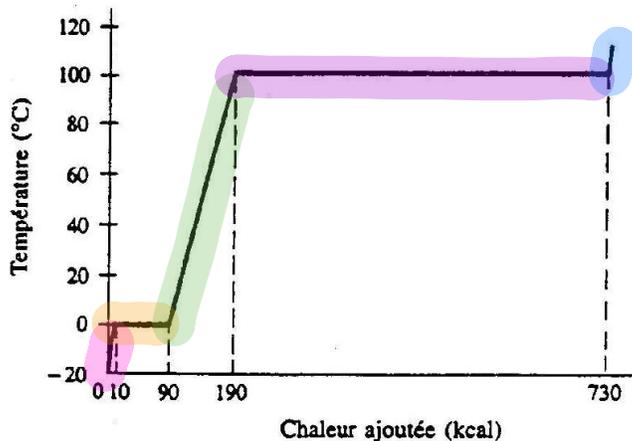
$$\begin{aligned}C_{\text{vapeur}} &= 2.01 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \\L_v &= 2259 \text{ J/g} \\C_{\text{eau}} &= 4.18 \text{ J/(g}\cdot\text{K)} \\L_f &= 333.7 \text{ J/g} \\C_{\text{glace}} &= 2.10 \text{ J/(g}\cdot\text{K)}\end{aligned}$$

# 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  $110^{\circ}\text{C}$ ?

$$Q = c_g m \Delta T + m L_f + c_l m \Delta T + m L_v + c_v m \Delta T$$

$\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$                        $\Delta T = 100^{\circ}\text{C}$                        $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$



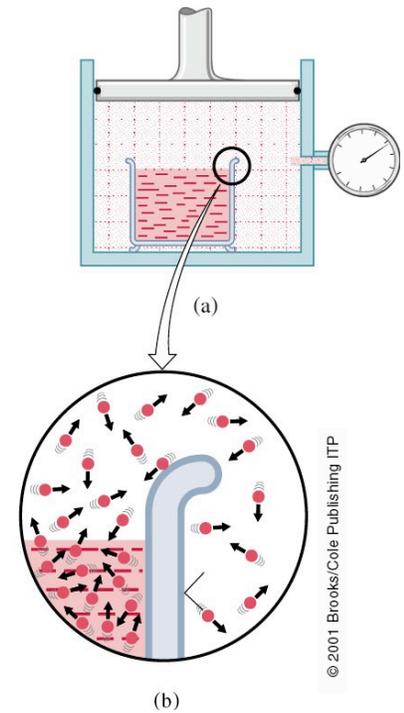
$$m = 1 \text{ kg}$$

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

# ÉVAPORATION

Saturé

Pression de vapeur saturée  $P_0$



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	$4,76 \times 10^5$

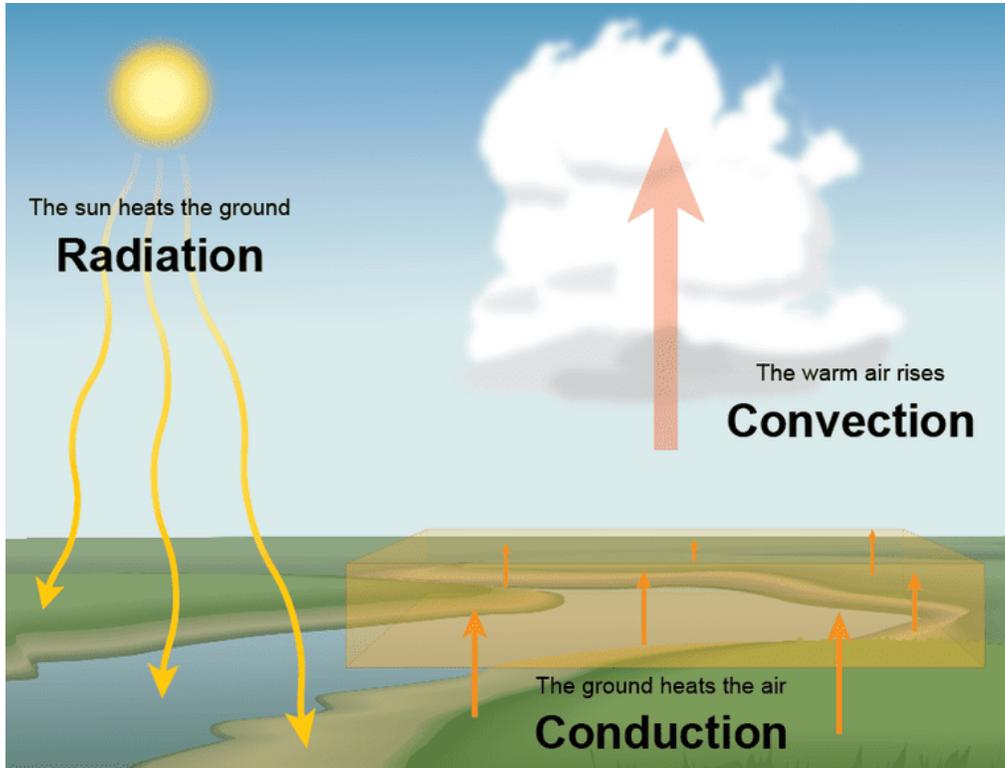
# ÉBULLITION

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.

# TRANSFERT D'ÉNERGIE THERMIQUE

- Conduction
- Convection
- Rayonnement

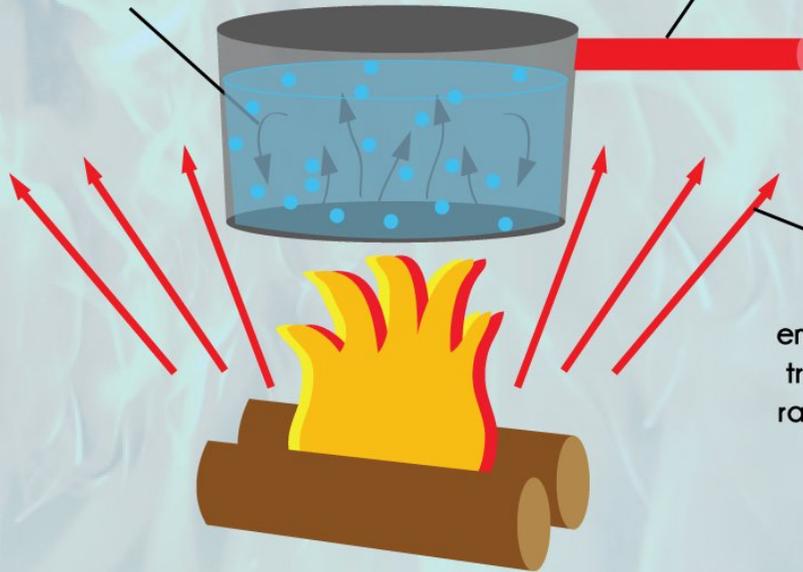


## CONVECTION

the transfer of heat through a fluid (liquid or gas) caused by molecular motion

## CONDUCTION

the transfer of heat or electric current from one substance to another by direct contact.



## RADIATION

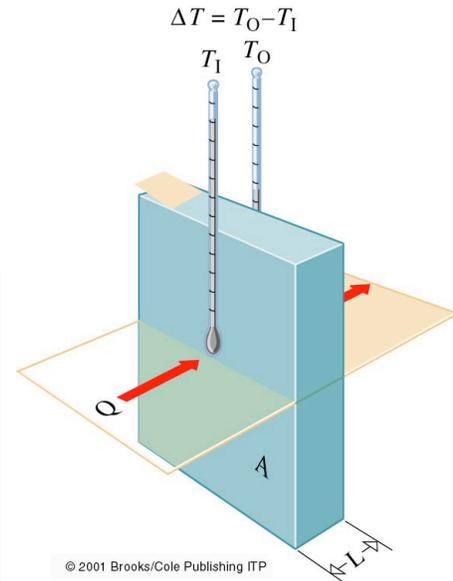
energy that is radiated or transmitted in the form of rays or waves or particles

# LA CONDUCTION

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

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

$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k_T \frac{A}{L} (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$$

$k_T = \dots$   
 $A = 0.9\text{m} \times 1.5\text{m} = 1.35 \text{ m}^2$   
 $\Delta T = -19^{\circ}\text{C}$

$\Rightarrow H = 5386.5 \text{ Watt}$

Resistances  
thermique

---

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

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

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

# 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?

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

$$R_T^{\text{air}} = \frac{L}{k_T^{\text{air}} A} = 0.107 \text{ kW}^{-1}$$

$$2) R_{\text{TOT}} = R_T^{v_1} + R_T^{\text{air}} + R_T^{v_2} = 2R_T^v + R_T^{\text{air}} = 0.11 \text{ kW}^{-1}$$

$$R_{\text{TOT}} \sim 40 R_T^v \quad !!$$

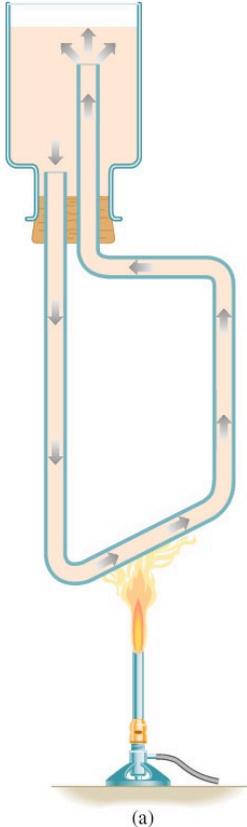
$\times 40$  fois plus isolant que vitre seule

# LA CONVECTION

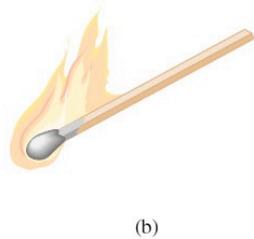
$$H = g \cdot A \cdot \Delta T$$

↑

constante de convection.



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



# LE RAYONNEMENT

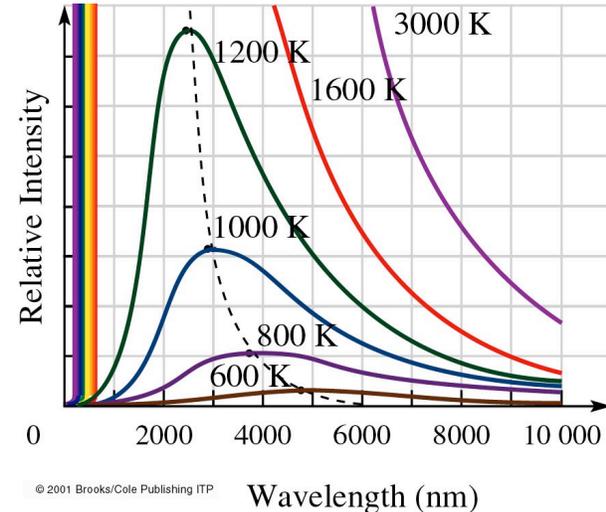
$$H_e = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon \sigma A T^4$$

$\epsilon$ : coeff. emissivité

$\epsilon = 1$  corps noir

$\epsilon = 0$  corps brille

$\epsilon \dots$  surface blanche

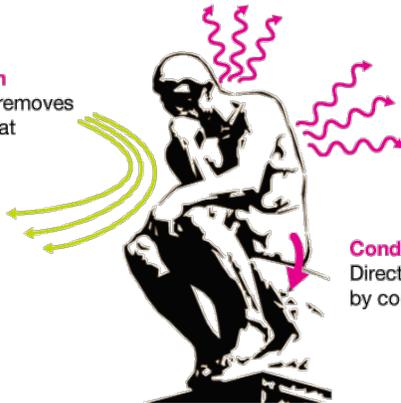


**Convection**  
Moving air removes radiated heat

**Evaporation**  
Loss of heat by evaporation of water

**Radiation**  
Emission of electromagnetic radiation

**Conduction**  
Direct transfer by contact



**Radiation only**

**No Wind**

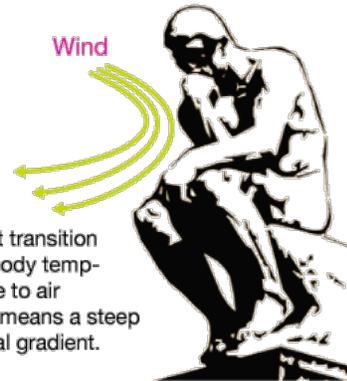
A "blanket" of heated air reduces the steepness of the thermal gradient.



**Convection**

**Wind**

Abrupt transition from body temperature to air temp. means a steep thermal gradient.



# QUESTION

Vous (à  $37^{\circ}\text{C}$ ) êtes dans une chambre à  $20^{\circ}\text{C}$ . 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  $k_{\text{Cu}}=385 \text{ W/mK}$ ,  $k_{\text{beton}}=0.8 \text{ W/mK}$ ,  $k_{\text{Au}}=314 \text{ W/mK}$ ,  $k_{\text{Acier}}=50.2 \text{ W/mK}$



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 the re-emission of infrared radiation. A smaller red arrow points from the atmosphere back down towards the ground, representing the 'back radiation' that warms the surface. The background shows a cityscape with buildings, a tractor in a field, and an airplane in the sky, all under a blue sky with a white cloud.

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

