

C10 (15) Thermodynamique

Un système thermodynamique peut échanger de la matière avec l'extérieur:

- une casserole d'eau sur le feu peut échanger des molécules d'eau avec l'air environnant : il s'agit d'un **système ouvert** ;
- une cocotte-minute, soupape fermée, ne peut pas échanger de matière avec l'extérieur : il s'agit d'un **système fermé**.

C10V1



Dès la fin du XVII^e siècle, l'invention de la machine à vapeur, à l'origine de la première révolution industrielle, a ouvert la voie à la construction de machines thermiques (turbine, moteur, etc.) permettant la transformation d'énergie thermique en énergie mécanique. Ce n'est que plus tard, au XIX^e siècle, que ces machines ont été décrites théoriquement dans un cadre scientifique nouveau. C'est l'avènement de la thermodynamique, avec notamment les *Reflexions sur la puissance motrice du feu* (1824) de Sadi Carnot.

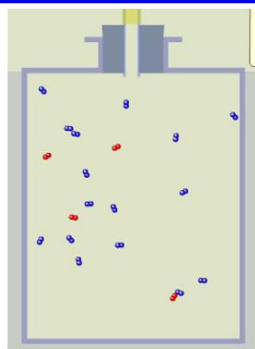
C10V2

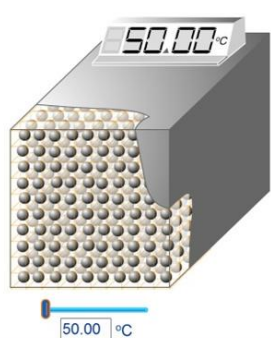
K °C

373 — 100 Ébullition de l'eau (à 1 013 hPa)

273 — 0 Congélation de l'eau

0 — -273 Zéro absolu





C10V3

Travail reçu $W > 0$

Travail cédé $W < 0$

Système macroscopique
 $\mathcal{E}_m$ constante

$Q > 0$ $Q < 0$

Transfert thermique reçu Transfert thermique cédé

C10V4

C10V5	Matériau	c ($\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)
	Aluminium (s)	897
	Plomb (s)	130
	Éthanol (ℓ)	$2,43 \times 10^3$
	Eau (ℓ)	$4,18 \times 10^3$

Application:

C10V6

Ethan souhaite cuire des pâtes. Pour cela, il fait bouillir 1 L d'eau initialement à 20 °C dans une casserole recouverte d'un couvercle.

Déterminer le transfert thermique Q qui est nécessaire pour faire bouillir l'eau.

Donnée: capacité thermique de l'eau $c_{\text{eau}} = 4\,185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Corrigé : Il n'y a pas de travail de force ($W=0$) donc $Q = \Delta U$

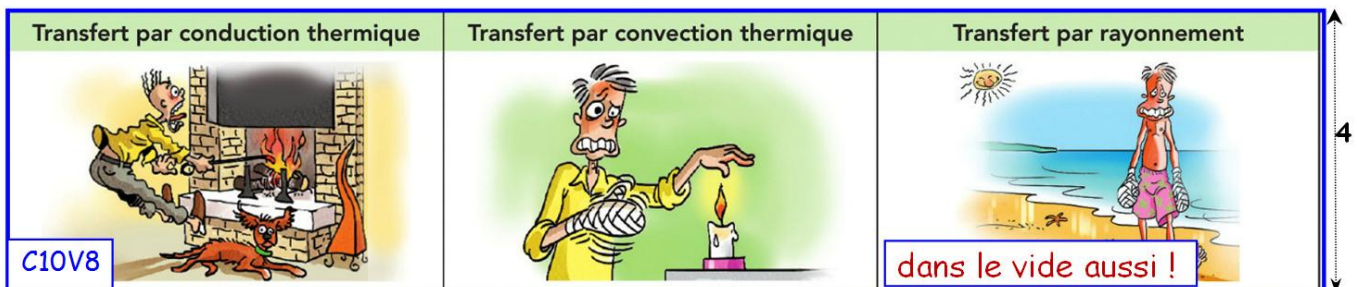
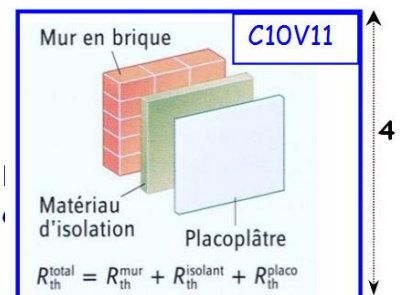
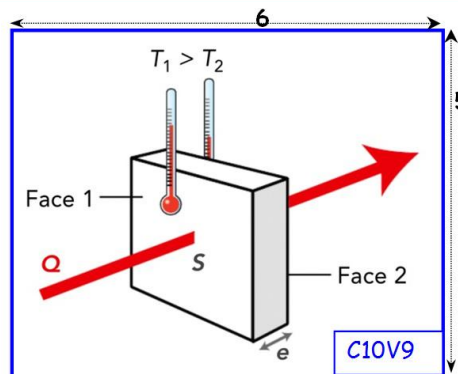
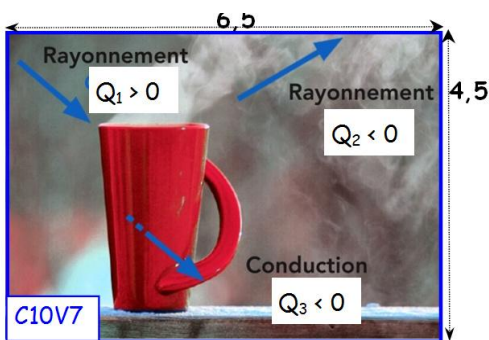
Or la variation d'énergie interne : $\Delta U = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta T$

$$\Leftrightarrow \Delta U = \rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta T$$

$$\Leftrightarrow \Delta U = \rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot c_{\text{eau}} \cdot (T_f - T_i)$$

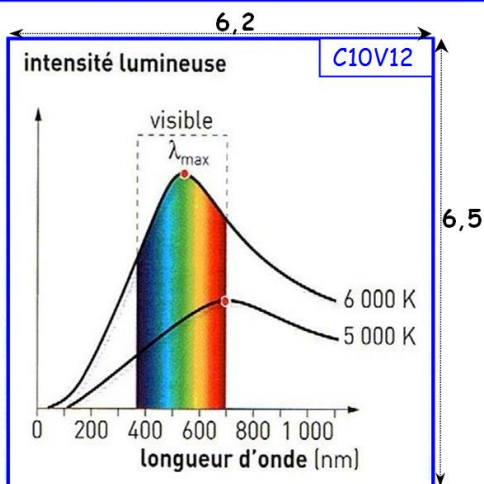
$$\text{AN : } \Delta U = 1\,000 \times 1,0 \times 10^{-3} \times 4,185 \times 10^3 \times (373 - 293) = 3,3 \times 10^5 \text{ J}$$

Il faut donc un transfert thermique $Q = 3,3 \times 10^2 \text{ kJ}$ pour avoir l'ébullition.

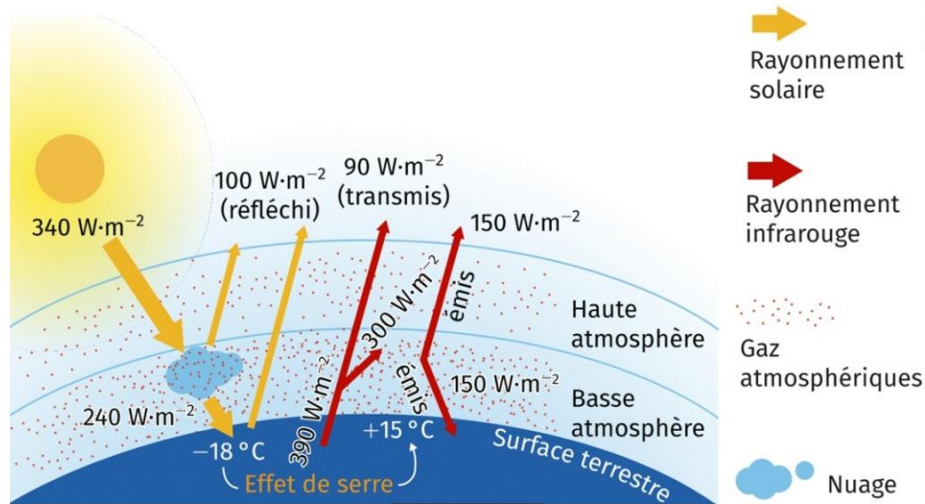


Matériau	$\lambda (\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
Cuivre	400
Aluminium	250
Verre	1
Béton	1
Bois	0,1

C10V10



Le rayonnement solaire parvenant jusqu'à la Terre est sa source principale d'énergie thermique. Comme la température moyenne de la surface de la Terre est stable au fil des ans, cela signifie que la surface reçoit en moyenne autant d'énergie qu'elle en émet vers l'espace par son propre rayonnement.



C10V13

C10V14

La Terre reçoit un rayonnement solaire dont le flux thermique surfacique moyen est de l'ordre de $\phi_s = 340 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Environ $\alpha = 30\%$ de ce rayonnement est réfléchi sans être absorbé par l'atmosphère : cette proportion est appelée **albédo**.

Plus l'albédo est élevé, plus le rayonnement solaire est réfléchi et moins la surface de la Terre reçoit d'énergie thermique. Si une partie du rayonnement émis par la Terre n'était pas absorbée par l'atmosphère (principalement dans le domaine des infrarouges), la température à la surface serait d'environ -18°C . Cette absorption essentiellement due à la présence d'eau H_2O et de dioxyde de carbone CO_2 dans l'atmosphère s'appelle **l'effet de serre**.

Cet effet de serre naturel permet à la surface de la Terre de récupérer une partie de l'énergie qu'elle rayonne, contribuant ainsi à son réchauffement jusqu'à une température moyenne de 15°C .

Lorsqu'un système incompressible de température T échange uniquement de l'énergie avec une paroi thermostatée à une température T_{ext} , le premier principe de la thermodynamique s'écrit :

- $Q = \Delta U \Rightarrow \frac{Q}{\Delta t} = \frac{\Delta U}{\Delta t} \Rightarrow \phi = \frac{dU}{dt} \quad (1)$

On dérive par rapport au temps

- Or $\Delta U = m \cdot c \cdot (T_{ext} - T)$ donc $\frac{dU}{dt} = m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} \quad (2)$

- De plus la loi de Newton : $\phi = h \cdot S \cdot (T_{ext} - T) \quad (3)$

- En remplaçant (2) et (3) dans (1) on obtient: $h \cdot S \cdot (T_{ext} - T) = m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt}$

$$\Leftrightarrow m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} + h \cdot S \cdot T = h \cdot S \cdot T_{ext}$$

C10V15

11

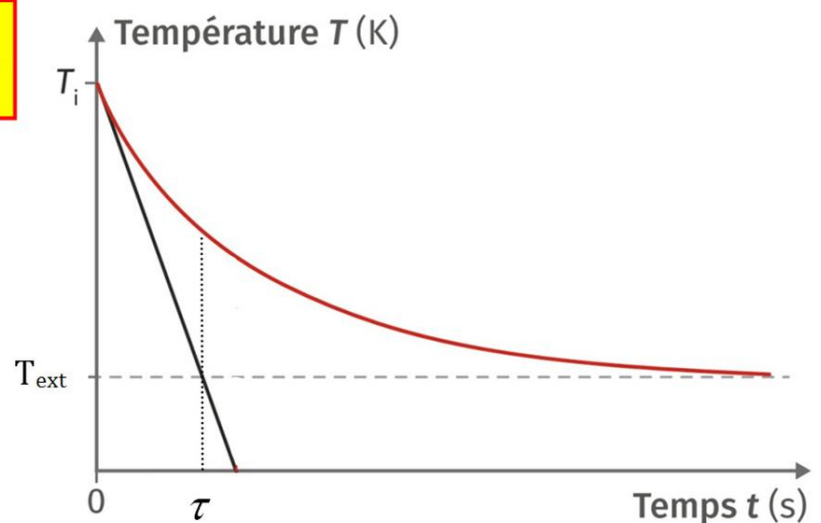
Dans le cas où τ est indépendant de la température T , les solutions de cette équation différentielle sont de la forme

C10V16

$$T(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + B$$

Si on note T_i la température initiale du système étudié et T_{ext} celle du thermostat, alors la température T en fonction du temps t a pour expression :

$$T(t) = (T_i - T_{ext}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{ext}$$



12