

# Formulaire thermodynamique

## Thermométrie

Mesure de la température :

- Par dilatation
- Par changement d'état (évaporation)
- Thermocouple
- Thermistance
- Pyromètre (radiation)
- pyroélectricité (cristaux)

## Echelles de température

$$T_{\text{Kelvin}} = T_{\text{cel.}} + 273,15$$

$$T_{\text{cel}} = \frac{T_{\text{Fahrenheit}} - 32}{1,8} \quad T_{\text{cel}} = \frac{T_F + 459,67}{1,8}$$

## Dilatation thermique

### Corps solides

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta L = \alpha \cdot L_1 \cdot \Delta T$$

$$L_2 = L_1 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

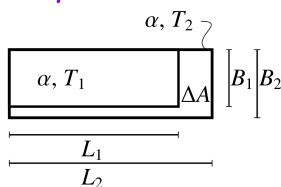
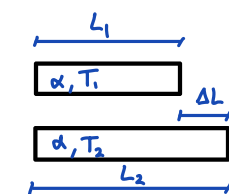
$\alpha \triangleq$  coeff. dilatation linéaire

Surfacique :

$$A_2 = L_2 B_2 = L_1 (1 + \alpha \Delta T) B_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\approx A_1 (1 + 2\alpha \Delta T)$$

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \cdot \Delta T$$



Volumique :

$$V_2 = A_2 H_2 = A_1 (1 + 2\alpha \Delta T) H_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\approx V_1 (1 + 3\alpha \Delta T)$$

### Liquides

coeff. dilatation volumique du liquide

$$V_2 = V_1 (1 + \beta \Delta T)$$

$$\Delta V = \beta \cdot V_1 \cdot \Delta T$$

$$\rho_2 = \rho_1 (1 - \beta \Delta T)$$

$$\Delta \rho = -\beta \rho_1 \Delta T$$

$\rho \triangleq$  masse volumique

Elongation apparente du liquide

$\Rightarrow$  Le récipient se dilate aussi: récipient

coeff. de dilatation apparent:  $\beta_s = \beta - 3\alpha$

## Variation masse volumique

$$\rho = \frac{dm}{dV}$$

$$\rho_2 = \frac{m}{V_2} = \frac{m}{V_1 (1 + 3\alpha \Delta T)} = \rho_1 \frac{1}{1 + 3\alpha \cdot \Delta T}$$

$$\approx \rho_1 (1 - 3\alpha \Delta T)$$

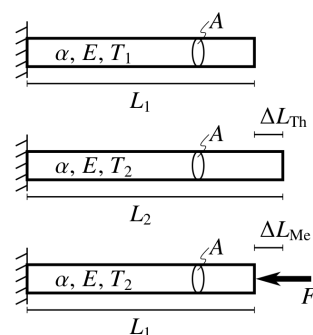
$$\Delta \rho = -3\alpha \rho_1 \cdot \Delta T$$

## Contraintes thermiques

$$\Delta L_{th} = \alpha L_1 \Delta T$$

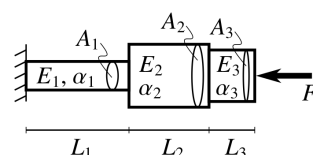
$$\Delta L_{ne} = \frac{F \cdot L_1}{A \cdot E}$$

$$\hookrightarrow F = A \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$



Combinaison matériaux:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^N L_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^N \frac{L_i}{E_i A_i}} \cdot \Delta T$$



## Chaleur $\rightarrow$ Variable $Q$ [J]

### Capacité thermique

Différence de température en absorbant une quantité d'énergie  $dQ$ .

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

$$C \propto m \Rightarrow$$

capacité therm spécifique

$$c = \frac{dQ}{mdT} \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

Capacité thermique

du calorimètre ("valeur en eau")

$$m_k = \frac{C_k}{c_l} \quad \text{calorimètre}$$

liquide

T du corps va de  $T_1 \rightarrow T_2$

$$Q_{12} = C m (T_2 - T_1)$$

$Q_{12} > 0$  le corps absorbe la chaleur et sa température augmente

# ► Conservation chaleur 1<sup>er</sup> loi thermodyn.

Sans échange :

$$\sum_{i=1}^N Q_i = 0$$

$$C_1 m_1 \Delta T + C_2 m_2 \Delta T + \dots = 0$$

Avec échange :

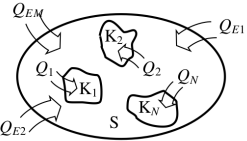
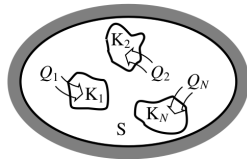
$$\sum_{i=1}^N Q_i = \sum_{k=1}^N Q_{Ek}$$

$$C_1 m_1 \Delta T + C_2 m_2 \Delta T + \dots = Q_{Ek}$$

$Q_{Ek} > 0$  système absorbe chaleur

$Q_{Ek} < 0$  système émet chaleur (pertes)

$Q_i > 0$  corps absorbe chaleur



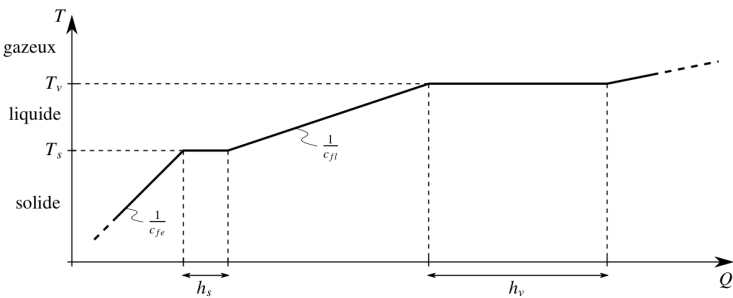
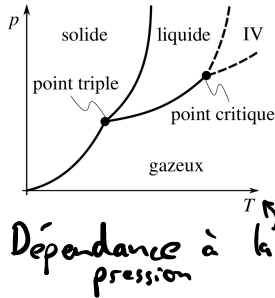
# ► Changement d'états d'agrégation

→ énergie solidification

$$h_s = \frac{H_s}{m}$$

→ vaporisation

$$h_v = \frac{H_v}{m}$$



# ► Energie interne

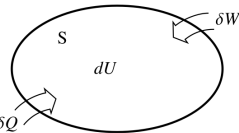
Un système absorbe de l'énergie de deux manières

① Absorbe chaleur → T augmente

② Absorbe travail → Volume diminue

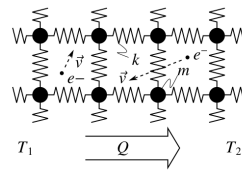
Energie interne :  $U_{12} = Q_{12} + W_{12}$  (travail)

⚠ Gaz : l'échange de chaleur et travail s'influencent mutuellement

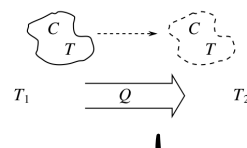


$$\Rightarrow dU = \delta Q + \delta W$$

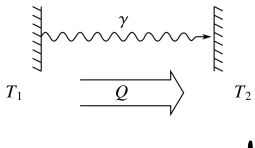
# ► Transfert thermique



Conduction  
→ mouvement des particules



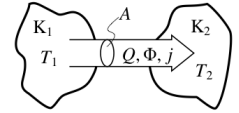
Convection  
→ échange énergie surface - fluide



rayonnement  
→ champs électromagnétique

# Flux thermique

$$\phi = \frac{dQ}{dt}$$



# Densité de flux

$$j = \frac{d\phi}{dA}$$

Transfert thermique va toujours du corps chaud vers froid (sauf avec travail extérieur)

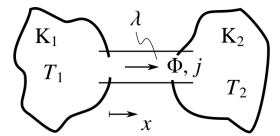
# ► Conduction régime stationnaire

$$j = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

gradient température

conductivité therm.  $\left[ \frac{W}{m \cdot K} \right]$

Comme "I =  $\frac{1}{R} \cdot U$ "



$T_1, T_2$  constants

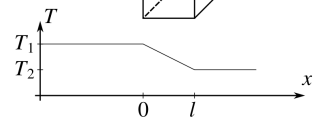
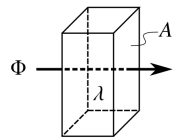
Equation chaleur unidimensionnelle

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2}$$

A travers une paroi plate

$$T(x) = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{l} \cdot x$$

$$T_1 - T_2 = \underbrace{\frac{l}{\lambda \cdot A}}_{R_{th}} \cdot \phi$$



$$R_{th} = \frac{l}{\lambda \cdot A}$$

résistance thermique de la paroi

$$T_1 - T_2 = R_{th} \cdot \phi$$

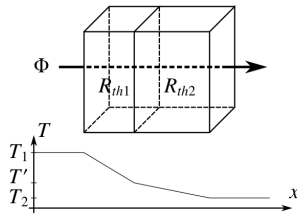
$$"U = R \cdot I"$$

## ► Conduction régime stationnaire (suite)

Paroi plate multi-couche

$$R_{tot} = R_{th1} + R_{th2} \dots$$

$$T_1 - T_2 = R_{tot} \cdot \Phi$$

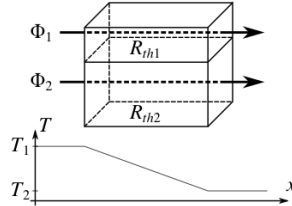


Parois adjacentes

$$\Phi_{tot} = \Phi_1 + \Phi_2$$

$$T_1 - T_2 = R_{tot} \cdot \Phi$$

$$R_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{R_{th1}} + \frac{1}{R_{th2}} \dots}$$

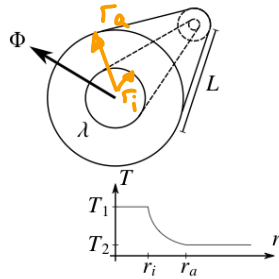


Paroi cylindrique

Densité flux :

$$j(r) = \frac{\Phi}{2\pi r L}$$

$$T_1 - T_2 = \underbrace{\frac{1}{2\pi L \lambda} \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)}_{R_{th}} \cdot \Phi$$



## ► Conduction régime transitoire

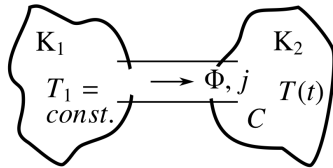
$$\Phi(t) = \frac{1}{R_{th}} (T_1 - T(t))$$

Sol. de l'éq. diff :

$$T(t) = T_1 + (T_0 - T_1) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = R_{th} \cdot C$$

$$C \left[ \frac{J}{K} \right]$$



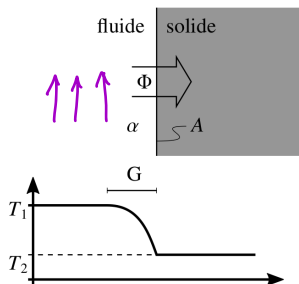
## ► Convection

Transmission therm.

$$T_1 - T_2 = \frac{1}{\alpha \cdot A} \cdot \Phi$$

$$\alpha = 12\sqrt{v} + 2 \quad \text{dans l'air}$$

$$\alpha = 2100\sqrt{v} + 580 \quad \text{dans l'eau}$$



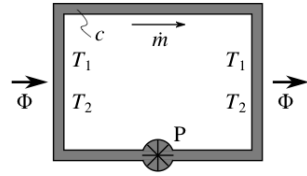
V. vitesse écoulement en m/s

## Convection forcée

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} = C \cdot \dot{m} (T_1 - T_2)$$

capacité fluide dans circuit

débit pompe



circuit chauffage fermée

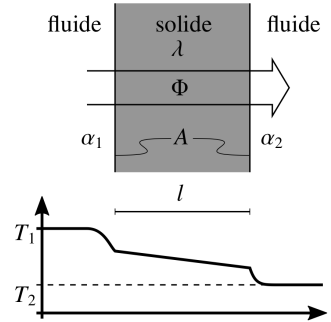
$$\tau = \frac{m}{\dot{m}}$$

masse corps à chauffer

## ► Passage chaleur (conv. + cond.)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$$

$$R_{th} = \frac{1}{A \cdot k} = \frac{1}{A} \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$



## ► Combinaison de plusieurs flux

exemple : composant sur PCB

⇒ Etablir système d'équations

## ► Rayonnement thermique

Mouvement particules crée ondes électromagnétiques. Majorité du rayonnement est transmis par onde IR.

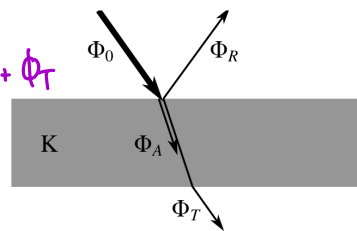
→ aussi dans le vide (vacuum)

Flux énergétique  $\Phi_0 = \Phi_R + \Phi_A + \Phi_T$

réflectance :  $\rho = \frac{\Phi_R}{\Phi_0}$

absorptivité :  $\alpha = \frac{\Phi_A}{\Phi_0}$

transmittance :  $\tau = \frac{\Phi_T}{\Phi_0}$



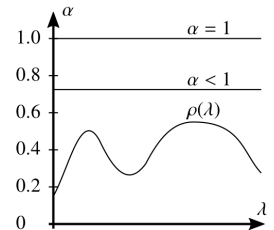
$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

• Corps noir :  $\alpha = 1$   $\rho = 0$

• Corps gris :  $\alpha < 1$

• Corps blanc :  $\rho = 1$

• Corps coloré :  $\rho = \rho(\lambda)$



# Exitance spectrale (corps noir)

Flux énergétique émit par unité de surface d'un corps

$$M(\lambda, T) = \frac{2 \cdot h \cdot c_0^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\left(\frac{h \cdot c_0}{\lambda \cdot k_B \cdot T} - 1\right)} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot m} \right]$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \quad T [\text{K}]$$

$$\text{longueur onde: } \lambda [\text{m}] \quad c_0: \text{v. lumière}$$

## Puissance rayonnée totale

$$\phi(T) = A \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (\text{corps noir})$$

↳ Stefan-Boltzmann =  $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$

Corps quelconque:

$$\phi(T) = \epsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

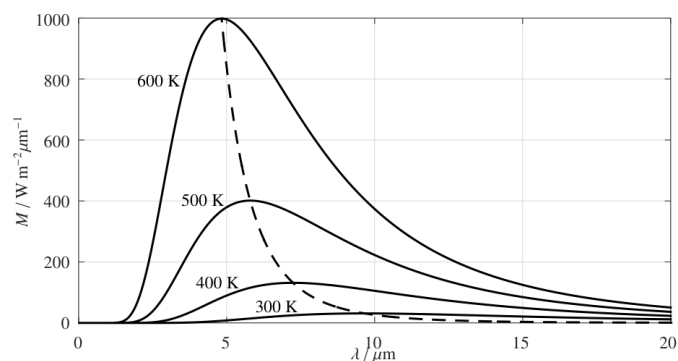
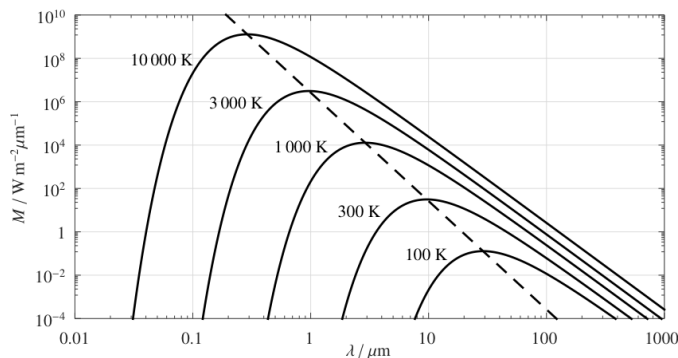
↳ émissivité (rapport entre corps noir et corps en question)

## Puissance rayonnée réelle

(Le corps absorbe aussi le rayonnement)

$$\phi(T) = A \cdot \sigma \cdot \epsilon (T^4 - T_u^4)$$

Umgebung ←



# Principes thermodynamique

## Loi gaz parfaits

$$\langle V^2 \rangle_{\text{moyenne}} = \frac{3 k_B \cdot T}{m} \quad F_{\text{particule sur paroi}} = \frac{k_B \cdot T}{b \cdot \text{largeur paroi}}$$

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T$$

↳ nombre particules

$$R_s = \frac{N \cdot k_B}{m}$$

Equation état gaz parfait  
→ valable en tout temps

$$p \cdot V = m R_s \cdot T$$

$R_s$  dépend gaz  $\frac{J}{kg \cdot K}$

## Système thermodynamique

Portion de l'univers que l'on isole par la pensée. On le caractérise par:

① Les grandeurs fournis ou dissipés à ses frontières

-  $\delta Q$ : chaleur fournie/dissipée  
-  $\delta W$ : travail des forces  
-  $\delta m$ : échange de masse

② Les variable d'état mesurables  
-  $p$  [Pa],  $T$  [K],  $V$  [m<sup>3</sup>]

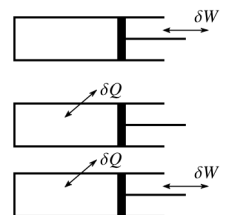
③ Les variables énergétiques

Energie interne  $U$  [J]

Enthalpie  $H$  [J]

Entropie  $E$  [J K<sup>-1</sup>]

système	échange	exemples
adiabatique (thermiquement étanche)	travail	gonfler un pneu, Föhn (vent)
imperméable au travail	chaleur	chauffer ou refroidir une bonbonne de gaz
sans restriction	travail et chaleur	réfrigérateur, pompe à chaleur



La convention de signe suivante s'applique

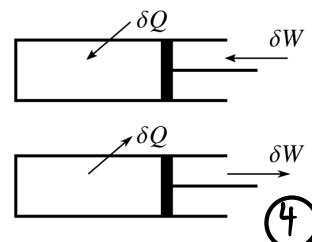
$\delta W > 0$  Le système absorbe du travail.

$\delta Q > 0$  Le système absorbe de la chaleur.

$\delta W < 0$  Le système dissipe du travail.

$\delta Q < 0$  Le système émet de la chaleur.

ici  $\delta m = 0$



# ► Energie interne 1<sup>er</sup> principe de thermodyn.

$$dU = \delta Q + \delta W$$

Energie interne = énergie cin des molécules

Pour 1 molécule mono-atomique:  $U = \frac{3}{2} m R_s \cdot T$

Dans les gaz parfaits U dépend seulement de T

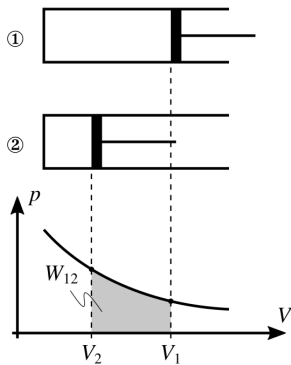
Changement d'énergie du gaz parfait d'un état 1 → 2  $U_{12} = m C_V (T_2 - T_1)$

$C_V$ : capacité therm. spécifique à V const.

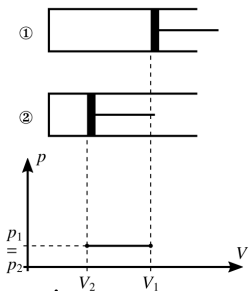
## ► Travail des forces

Le travail des forces, pour un changement de volume donné, correspond à l'air contenu sous la courbe du diagramme pV. On obtient, à nouveau

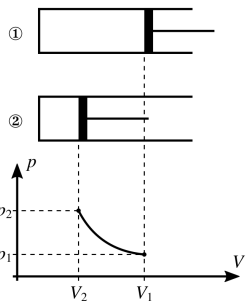
$W_{12} > 0$  Compression, le système absorbe de l'énergie.  
 $W_{12} < 0$  Expansion, le système dissipe de l'énergie.



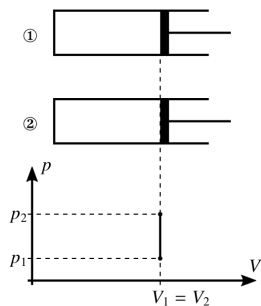
## ► Processus de transformation des gaz Le gaz passe d'un état 1 → 2.



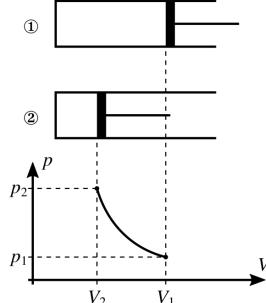
isobare  $dp=0$



isotherme  $dT=0$   
 idéalisation d'un processus extrêmement lent  $dU=0$   
 L'énergie gagnée par travail est dissipée en chaleur!



isochore  $dV=0$



adiabatique  $\delta Q=0$   
 pas de transfert de chaleur à la frontière  
 Processus extrêmement rapide!

Processus	$Q_{12}$	$W_{12}$	$U_{12}$	$p, T, V$
isochore $V = \text{const}$	$m C_V (T_2 - T_1)$	0	$m C_V (T_2 - T_1)$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
isobare $p = \text{const}$	$m C_p (T_2 - T_1)$	$-p(V_2 - V_1)$	$Q_{12} + W_{12}$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
isotherme $T = \text{const}$	$p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$	$-p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$	0	$p_1 V_1 = p_2 V_2$
adiabatique $\delta Q = 0$	0	$m C_V (T_2 - T_1)$	$m C_V (T_2 - T_1)$	$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\kappa$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\kappa-1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$

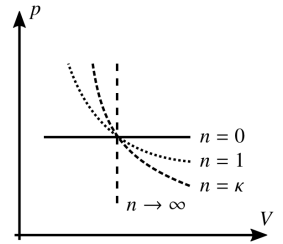
$$R_s = C_p - C_V \quad \kappa = \frac{C_p}{C_V} \Rightarrow C_p = R_s \frac{\kappa}{\kappa - 1}$$

$p [\text{Pa}] \quad T [\text{K}] \quad V [\text{m}^3]$

Transformations polytropes  
 $p V^n = \text{const}$

En choisissant l'exposant polytrope  $n$  on obtient la transformation suivante :

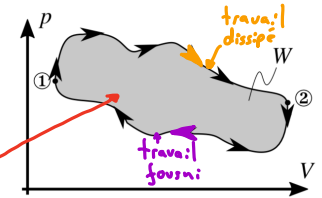
$n = 0$ : isobare  
 $n = 1$ : isotherme  
 $n = \kappa$ : adiabatique  
 $n \rightarrow \infty$ : isochore



## ► Cycle

Un système subit une suite de processus.

ici travail dissipé:  $W = -\oint p dV$  (aire grise)



$$0 = \oint dU = \oint \delta Q + \oint \delta W$$

a) Travail dissipé (moteur)  
 b) Travail fourni (frigo)

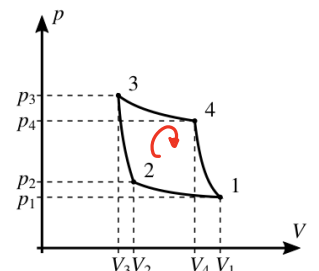
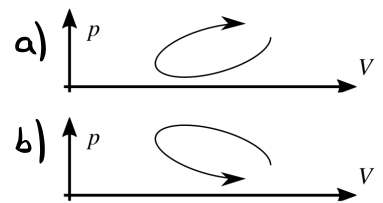
## Cycle de Carnot

2 → 3 } adiabatique  
 4 → 1 }

1 → 2 } isotherme  
 3 → 4 }

efficacité:  $\eta_{th} = \frac{W}{Q_{fourni}}$

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_1}{T_3}$$



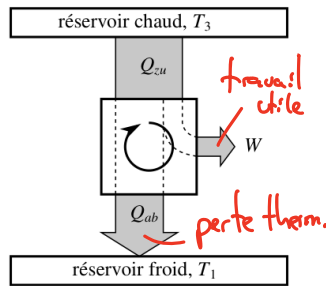
Le cycle de Carnot est le cycle le plus efficace. ⑤



# Machine thermique

On donne de l'énergie thermique et on exploite le travail fourni par le gaz.

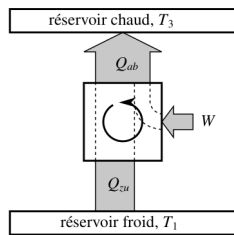
efficacité:  $\eta = \frac{W}{Q_{\text{fournit}}}$



# Machine frigorifique

On fournit un travail pour comprimer le gaz et exploiter la chaleur créée

$\epsilon_{\text{frigo}} = \frac{Q_{2u}}{W}$   $\epsilon_{\text{pompe}} = \frac{Q_{ab}}{W}$   $\epsilon_{\text{chaleur}}$   $\epsilon_{\text{coeff. de performance}}$



## Deuxième principe de thermodyn.

Le deuxième principe de thermodynamique détermine le sens dans lequel un processus a lieu. Il décrit l'irréversibilité.

## Constantes

### A.1 Constantes physiques

constante	symbole	valeur
vitesse de la lumière	$c_0$	$299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$
constante gravitationnelle	$G$	$6.67 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}\text{ s}^{-2}$
constante de Planck	$h$	$6.62 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$
constante de Boltzmann	$k_B$	$1.38 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$
constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5.67 \cdot 10^{-8}\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-4}$
charge élémentaire	$e$	$1.60 \cdot 10^{-19}\text{ C}$
masse de l'électron	$m_e$	$9.11 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$
constante électrique	$\epsilon_0$	$8.85 \cdot 10^{-12}\text{ As V}^{-1}\text{ m}^{-1}$
constante magnétique	$\mu_0$	$\pi \cdot 10^{-12}\text{ V m A}^{-1}\text{ s}^{-1}$
masse de la Terre	$m_\oplus$	$5.97 \cdot 10^{24}\text{ kg}$
rayon moyen de la Terre	$r_\oplus$	$6.37 \cdot 10^6\text{ km}$
accélération gravitationnelle moyenne	$g$	$9.81\text{ m s}^{-2}$
pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer	$b_0$	$101325\text{ Pa}$

### A.2 Coefficient de dilatation linéaire $\alpha$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (25°C).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$\alpha / \text{K}^{-1}$
Stahl (Invar)	acier (invar)		$1.70 \cdot 10^{-6}$
Stahl (Bau-)	acier (de construction)		$11.8 \cdot 10^{-6}$
Eisen	fer	Fe	$11.8 \cdot 10^{-6}$
Kupfer	cuivre	Cu	$16.5 \cdot 10^{-6}$
Aluminium	aluminium	Al	$23.1 \cdot 10^{-6}$
Zink	zinc	Zn	$30.2 \cdot 10^{-6}$

### A.3 Coefficient de dilatation volumique $\beta$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (18°C).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$\beta / \text{K}^{-1}$
Quecksilber	mercure	Hg	$1.80 \cdot 10^{-4}$
Wasser	eau	H <sub>2</sub> O	$2.07 \cdot 10^{-4}$
Ethanol	éthanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	$11.0 \cdot 10^{-4}$

### A.4 Masse volumique $\rho$

Toutes les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (101 325 Pa, 25°C).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$\rho / \text{kg m}^{-3}$
Quecksilber	mercure	Hg	13 550
Blei	plomb	Pb	11 340
Kupfer	cuivre	Cu	8 940
Eisen, Stahl	fer, acier	Fe	7 870
Zink	zinc	Zn	7 140
Wasser (4°C)	eau (4°C)	H <sub>2</sub> O	1 000
Eis (0°C)	glace (0°C)	H <sub>2</sub> O	917
Erdöl	mazout		830
Luft	air		1.18

### A.5 Module d'élasticité $E$ et module de cisaillement $G$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (25°C).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$E / \text{Pa}$	$G / \text{Pa}$
Aluminium	aluminium	Al	$70 \cdot 10^9$	$26 \cdot 10^9$
Zink	zinc	Zn	$83 \cdot 10^9$	$43 \cdot 10^9$
Kupfer	cuivre	Cu	$110 \cdot 10^9$	$48 \cdot 10^9$
Eisen	fer	Fe	$211 \cdot 10^9$	$82 \cdot 10^9$
Stahl	acier		$200 \cdot 10^9$	$79 \cdot 10^9$

### A.6 Capacité thermique spécifique $c$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (101 325 Pa).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$c / \text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$
Blei	plomb	Pb	129
Gold	or	Au	129
Kupfer	cuivre	Cu	385
Eisen	fer	Fe	449
Silizium	silicium	Si	703
Aluminium	aluminium	Al	897
Erdöl	mazout		2 070
Eis	glace	H <sub>2</sub> O	2 090
Wasser	eau	H <sub>2</sub> O	4 187

### A.7 Chaleur latente de fusion spécifique $h_s$ et température de fusion $T_s$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (101 325 Pa).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$h_s / \text{kJ kg}^{-1}$	$T_s / ^\circ\text{C}$
Blei	plomb	Pb	23	327
Gold	or	Au	66	1 064
Kupfer	cuivre	Cu	205	1 083
Eisen	fer	Fe	277	1 535
Wasser	eau	H <sub>2</sub> O	334	0
Aluminium	aluminium	Al	397	660

### A.8 Chaleur latente de vaporisation spécifique $h_v$ et température de vaporisation $T_v$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (101 325 Pa).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$h_v / \text{kJ kg}^{-1}$	$T_v / ^\circ\text{C}$
Ethanol	éthanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	108	78
Wasser	eau	H <sub>2</sub> O	2 265	100

### A.9 Conduction thermique $\lambda$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (27°C).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$\lambda / \text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
Kupfer	cuivre	Cu	401
Aluminium	aluminium	Al	237
Eisen	fer	Fe	80
Stahl	acier		48
Blei	plomb	Pb	35
Glas	verre		0.8
Polystyrol	polystyrole		0.032
Luft	air		0.026
Vakuum-Dämmplatten	calorifugeage à vide		0.004

### A.10 Constante spécifique du gaz $R_s$ et indice adiabatique $\kappa$

Les valeurs sont indicatives et s'appliquent à des conditions normales (20°C).

substance (de)	substance (fr)	symbole chim.	$R_s / \text{J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$	$\kappa / 1$
Kohlendioxid	dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	189	1.29
Argon	argon	Ar	208	1.67
Sauerstoff	oxygène	O <sub>2</sub>	260	1.40
Luft	air		287	1.40
Stickstoff	azote	N <sub>2</sub>	297	1.40
Wasserstoff	hydrogène	H <sub>2</sub>	4 124	1.41