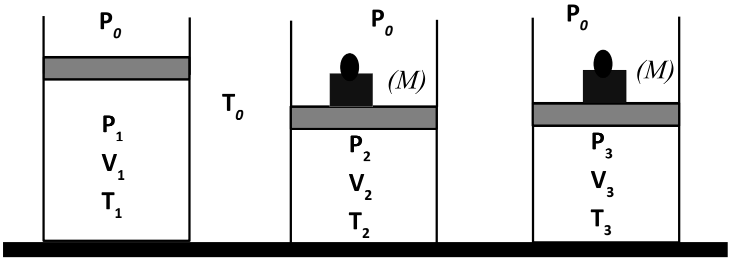
# Problèmes pour s'entrainer

## Problème 1 : Compression d'un gaz parfait

Un gaz parfait est contenu dans un cylindre fermé par un piston mobile sans frottement, de surface $S=10cm^2$ et de masse négligeable. Le gaz est initialement dans l'état 1 (figure ci-dessous) en équilibre thermique et mécanique avec l'extérieur , son volume est $V_1 = 20L$. La température extérieure est $T_0 = 300K$ et la pression extérieure est $P_0 = 1{,}0$ bar.

*Données* :

- *1 bar = $10^5$ Pa*
- *Intensité de la pesanteur $g=10\ m.s^{-2}$*




### Compression Lente

On réalise à partir de l'état 1, une compression quasi-statique jusqu'à un état 2 en ajoutant une masse $M=10kg$ très progressivement par ajout de petites masses successives sur le piston .

Les parois du cylindre sont bonnes conductrices de la chaleur de sorte que le gaz est toujours en équilibre thermique avec l'extérieur au cours de la transformation.

**1.** Déterminer $T_1$ et $P_1$ du gaz dans l'état 1.

**2.** Déterminer littéralement la pression $P_2$ du gaz dans l'état 2 en fonction de $P_0$, $M$ , $g$ et $S$ . Calculer le rapport $\alpha=\frac{P_2}{P_0}$ .

**3.** Déterminer littéralement la température $T_2$ et le volume $V_2$ du gaz dans l'état 2 en fonction de $\alpha$ , $T_0$ et $V_1$. Faire l'application numérique.

**4.** La transformation 1→2 subie par le gaz parfait est-elle isotherme , monotherme? Expliquer.

**5.** Représenter la transformation 1→2 en coordonnées de Clapeyron.

**6.** Déterminer la variation d'énergie interne du gaz $\Delta U_{12}$ .

**7.** Déterminer littéralement le travail $W_{12}$ et le transfert thermique $Q_{12}$ reçus par le gaz lors de la transformation 1→2 en fonction de $P_0$, $V_1$ et $\alpha$ . Faire l'application numérique.

### Compression brutale

On réalise cette fois-ci à partir de l'état 1 une compression brutale en ajoutant la masse M d'un seul coup jusqu'à un état 3 obtenu après stabilisation des paramètres d'état.

**8.** Déterminer $P_3$, $T_3$ et $V_3$ du gaz dans l'état 3 .

**9.** La transformation 1→3 subie par le gaz parfait est-elle isotherme , monotherme? Expliquer.

**10.** Déterminer la variation d'énergie interne du gaz $\Delta U_{13}$.

**11.** Déterminer littéralement le travail $W_{13}$ et le transfert thermique $Q_{13}$ reçus par le gaz lors de la transformation 1→3 en fonction de $P_0$, $V_1$ et $\alpha$ . Faire l'application numérique.

# Problème 2 : Calorimétrie

*Pour toute les questions le choix proposé sera soigneusement justifié quand c'est nécessaire. Plusieurs réponses peuvent être correctes mais aussi aucune.*

***Les questions 11-12 concernent les chapitres C5***

***La question 9 concerne le chapitre C6***

**1.** L'ordre de grandeur de la capacité thermique massique $c_{eau}$ de l'eau liquide supposée constante est :

A) 4200 $J.kg^{-1}K^{-1}$ B) 4200 $J.g^{-1}K^{-1}$ C) 1000 $J.kg^{-1}K^{-1}$ D) 1000 $J.g^{-1}K^{-1}$

*Pour le reste de l'exercice, la capacité thermique massique de l'eau sera celle trouvée à la question 1.*

Pour déterminer la capacité thermique $C_{cal}$ d'un calorimètre, on réalise l'expérience suivante :

- $v_e$ = 25 mL d'eau sont placés dans le calorimètre. A l'équilibre, la température est égale à la température ambiante $T_1$= 20°C.
- $v_e$ = 25 mL d'eau chaude de température $T_2$=50°C sont ajoutés dans le calorimètre.
- A l'équilibre, la température est égale à la température $T_3$= 30°C.

Le système S constitué du calorimètre et de tout ce qu'il peut contenir est parfaitement calorifugé.

On rappelle que T(K) = T(°C) +273.

**2.** Quelle est la masse $m_e$ d'eau liquide contenue dans le volume $v_e$ = 25 mL:

A) 250 g B) 250 mg C) 0,0250 kg D) 2500 mg

**3.** La variation d'entropie du système S est:

A) nulle B) strictement positive C) égale à l'entropie de création D) égale à l'entropie d'échange

**4.** Après avoir soigneusement établi l'équation calorimétrique du système S, établir l'expression littérale de la capacité thermique du calorimètre $C_{cal}$. indiquer la ou les bonnes réponses ci-dessous :

A) $C_{cal}=\dfrac{T_1+T_2-T_3}{T_3-T_1}m_e c_{eau}$ B) $C_{cal}=\dfrac{T_2-T_1}{T_3-T_1}m_e c_{eau}$ C) $C_{cal}=300\,J.K^{-1}$ D) $C_{cal}=100\,J.K^{-1}$

**5.** Quelle aurait été la température finale si la capacité thermique du calorimètre avait été négligée :

A) 20°C B) 25°C C) 35°C D) 45°C

*Pour le reste de l'exercice, la capacité thermique du calorimètre sera celle trouvée à la question 4.*

**6.** Le calorimètre est vidé de son eau. On met à l'intérieur un cube de laiton de masse $m_l$ = *500 g* et de capacité thermique massique $c_l$ = *400* $J.K^{-1}.kg^{-1}$. La température de l'ensemble {calorimètre – laiton} est $T_1$ . On ajoute *200 mL* d'eau à la température $T_2$. A l'équilibre thermique du système, la température $T_4$ vaut :

A) $T_4=\dfrac{C_{Cal}T_1+c_{eau}\times 0{,}2\,T_2+c_l m_l T_1}{C_{cal}+c_{eau}\times 0{,}2+c_l m_l}$ B) $T_4=\dfrac{C_{Cal}T_1+c_{eau}\times 0{,}2\times 10^{-3}\,T_2+c_l m_l T_1}{C_{cal}+c_{eau}\times 0{,}2\times 0{,}2.10^{-3}+c_l m_l}$

C) $T_4=37\,°C$ D) $T_4=42\,°C$

**7.** Le calorimètre étant vidé et à la température $T_1$, on dispose à l'intérieur un cube de $m_s$ = *1kg* d'un solide de capacité thermique massique $c_s$ inconnu et à la température $T_5$. On ajoute *200 mL* d'eau chaude à la température $T_2$. L'équilibre thermique est atteint pour la température $T_6$. La température $T_6$ vérifie toujours :

A) $T_6 > T_2$ B) $T_6 < T_2$ C) $T_6 > T_1$ D) On ne peut pas répondre.

**8.** Pour l'expérience de la question 7, on considère $c_s$= *1000* $J.K^{-1}.kg^{-1}$ et on mesure $T_5$ = *0°C*, alors :

A) $T_6$ = 3°C B) $T_6$ =13°C C) $T_6$ = 23°C D) $T_6$ = 33°C.

**9.** On rappelle que dans le cas d'une transformation à pression constante, la variation d'entropie pour un corps de masse m de capacité thermique massique c s'écrit : $\Delta S = m c \ln \frac{T_f}{T_i}$ où $T_f$ et $T_i$ sont respectivement les températures finales et initiales du corps. Soit $\Delta S_{syst}$ la variation d'entropie totale du système étudié en question 7 et 8.

Les calculs montrent :

A) $\Delta S_{syst} = 120\, J.K^{-1}$ B) $\Delta S_{syst} > 0$ C) $\Delta S_{syst} < 0$ D) $\Delta S_{syst} = 0$

**10.** La transformation a les caractéristiques suivantes :

A) réversible B) irréversible C) isotherme D) isobare

**11.** Le calorimètre étant vidé à la température $T_1$, on introduit un morceau de glace (eau solide , densité égale à 1 ) de masse $m_s = 25g$ à la température $T_7 = 0°C$ et *100 mL* d'eau chaude à la température $T_2$. Lorsque l'équilibre thermique est atteint, la température est $T_8 = 25°C$. L'enthalpie massique de fusion de la glace est notée $L_f$. Établir l'équation calorimétrique , en déduire l'expression littérale de $L_f$. Faire l'application numérique. L'enthalpie massique de fusion de la glace est voisine de :

A) 100 $kJ.kg^{-1}$ B) 300 $kJ.kg^{-1}$ C) 700 $kJ.kg^{-1}$ D) 1000 $kJ.kg^{-1}$

**12.** La capacité thermique massique de l'eau solide, supposée constante, est environ égale à la moitié de celle de l'eau liquide. Si le morceau de glace a maintenant une masse de 250g et une température initiale égale à $T_9 = -10°C$, les calculs montrent que :

A) La température finale à l'équilibre thermique est voisine de 0°C.

B) La température finale à l'équilibre thermique est positive.

C) La température finale à l'équilibre thermique est négative.

D) La température finale à l'équilibre thermique est impossible à calculer.

## Correction

### Correction problème 1 :

**1.** Dans l'état 1 le piston est en équilibre mécanique : $\boxed{P_1 = P_0}$.

le gaz est également en équilibre thermique avec l'extérieur donc $\boxed{T_1 = T_0 = 300\text{K}}$.

**2.** Dans l'état 2 le piston est en équilibre mécanique : $P_0 S + M g = P_2 S$ d'où $\boxed{P_2 = P_0 + \frac{M g}{S}}$.

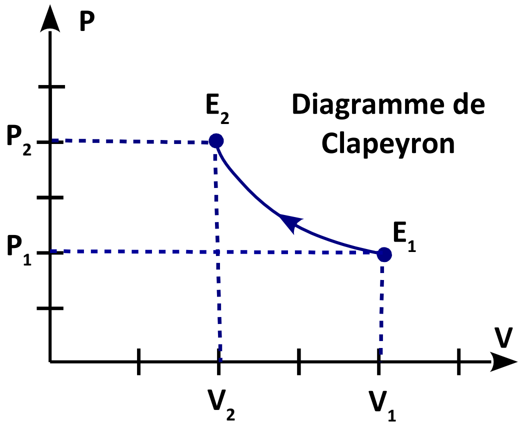
AN : $\boxed{\alpha = \frac{P_2}{P_0} = 1 + \frac{10 \times 10}{10.10^{-4} \times 10^5} = 2}$.

**3.** Le gaz est en équilibre thermique avec l'extérieur donc $\boxed{T_2 = T_0 = 300\text{K}}$.

Pour trouver $V_2$, on applique l'équation d'état entre l'état 1 et l'état 2 en considérant la quantité qui se conserve : $\frac{P_0 V_1}{T_0} = n R = \frac{\alpha P_0 V_2}{T_0}$ d'où $\boxed{V_2 = \frac{V_1}{\alpha} = 10\, L}$.

**4.** La transformation 1 → 2 est monotherme car le gaz subit une transformation au contact d'un thermostat. Elle est en plus isotherme car quasi-statique. On peut considérer qu'à tout moment la température du gaz au cours de la transformation est constante.

**5.** Représentation de la transformation en coordonnées de Clapeyron ( ci-contre)




**6.** On applique la formule pour les GP : $\boxed{\Delta U_{12} = n C_{Vm} \Delta T = 0\, J}$.

**7.** On applique le 1er principe à la transformation où n'intervient que le travail des forces de pression et $E_C$=cste : $\boxed{\Delta U_{12} = W_{12} + Q_{12} = 0}$ Or $\delta W_{12} = -P_{ext} dV = -P\, dV$ car la transformation est quasi-statique supposée mécaniquement réversible. D'où $\delta W_{12} = -nRT_0 \frac{dV}{V}$. Par intégration : $W_{12} = -n R T_0 \ln \frac{V_2}{V_1}$ d'où $\boxed{W_{12} = P_0 V_1 \ln \alpha}$.

AN : $\boxed{W_{12} = 10^5 \times 20.10^{-3} \ln 2 = 1{,}4\, kJ}$.

Du premier principe on déduit $\boxed{Q_{12} = -W_{12} = -P_0 V_1 \ln \alpha = -1{,}4\, kJ}$

**8.** Dans l'état 3 le gaz est en équilibre thermique avec l'extérieur donc $\boxed{T_3 = T_0}$.De plus $\boxed{P_3 = P_2 = 2 P_0 = 2\, bars}$

on en déduit : $\boxed{V_3 = V_2 = \frac{V_1}{\alpha} = 10\, L}$.

**9.** La transformation 1 → 3 est monotherme car le gaz subit une transformation au contact d'un thermostat. Elle n'est pas isotherme car à priori, le gaz subit un échauffement avant d'être en équilibre thermique avec l'extérieur dans l'état 3.

**10.** Les états d'équilibres sont les mêmes que pour la transformation 1→2 on en déduit : $\boxed{\Delta U_{13} = \Delta U_{12} = 0\, J}$

**11.** On applique le 1er principe à la transformation où n'intervient que le travail des forces de pression : $\boxed{\Delta U_{13} = W_{13} + Q_{13} = 0}$. Or $\delta W_{13} = -P_{ext} dV = -P_3 dV = -\alpha P_0 dV$.

. Par intégration : $\boxed{W_{13} = -\alpha P_0 (V_3 - V_1) = -\alpha P_0 \left(\frac{V_1}{\alpha} - V_1\right) = P_0 V_1 (\alpha - 1)}$.

. AN : $\boxed{W_{13} = 10^5 \times 20.10^{-3} = 2{,}0\, kJ}$ d'où $\boxed{Q_{13} = -W_{13} = -P_0 V_1 = -2{,}0\, kJ}$.

## **Correction problème 2 :** *(d'après ICNA 2018)*

**1.** La capacité thermique massique de l'eau est 4180 $J.kg^{-1}K^{-1}$. **la bonne réponse est A.**

**2.** 25 mL = $25.10^{-3}$ L or 1L pèse 1kg donc 25 mL pèse $25.10^{-3}$ kg = 0,0250 kg = 25 g = 25000 mg.

**La bonne réponse est C**

**3.** Le système S subit une transformation adiabatique irréversible : $\Delta S = S_e + S_C = S_c > 0$ .

**Il y a deux bonnes réponses B et C**

**4.** Au cours de la transformation, le système S{calorimètre, $m_{e1}$ , $m_{e2}$} subit **une transformation adiabatique isobare** ainsi : $\Delta H = \Delta H_{calo} + \Delta H_{me1} + \Delta H_{me2} = Q = 0$ (1)

- $\Delta H_{calo} = C_{cal}(T_3 - T_1)$
- $\Delta H_{me1} = m_e c_{eau}(T_3 - T_1)$
- $\Delta H_{me2} = m_e c_{eau}(T_3 - T_2)$

d'où grâce à la relation (1) : $C_{cal}(T_3 - T_1) + m_e c_{eau}(T_3 - T_1) + m_e c_{eau}(T_3 - T_2) = 0$ d'où :

$C_{cal}(T_3 - T_1) = m_e c_{eau}(T_1 + T_2 - 2T_3)$ d'où : $\boxed{C_{cal} = m_e c_{eau} \dfrac{(T_1 + T_2 - 2T_3)}{(T_3 - T_1)}}$ .

**Application numérique :** $\boxed{C_{cal} = 25.10^{-3} \times 4{,}2.10^3 \dfrac{(20 + 50 - 60)}{(30 - 20)} = 4{,}2 \times 25 = 105 \approx 100 J\, K^{-1}}$

**La bonne réponse est D.**

**5.** Si on néglige la capacité thermique du calorimètre :

- $\Delta H_{calo} = 0$ ;
- $\Delta H_{me1} = m_e c_{eau}(T_f - T_1)$
- $\Delta H_{me2} = m_e c_{eau}(T_f - T_2)$

d'où grâce à la relation (1) : $+ m_e c_{eau}(T_f - T_1) + m_e c_{eau}(T_f - T_2) = 0$ d'où : $\boxed{T_f = \dfrac{(T_1 + T_2)}{2}}$ .

**Application numérique :** $\boxed{T_f = \dfrac{20 + 50}{2} = 35\,°C}$.

**La bonne réponse est C.**

**6.** Au cours de la transformation, le système S{calorimètre, eau , cube} subit **une transformation adiabatique isobare** ainsi : $\Delta H = \Delta H_{calo} + \Delta H_{eau} + \Delta H_{cube} = Q = 0$ (1)

- $\Delta H_{calo} = C_{cal}(T_4 - T_1)$
- $\Delta H_{cube} = m_l c_l (T_4 - T_1)$
- $\Delta H_{eau} = 0{,}2\, c_{eau}(T_4 - T_2)$

d'où grâce à la relation (1) : $C_{cal}(T_4 - T_1) + 0{,}2\, c_{eau}(T_4 - T_2) + m_l c_l (T_4 - T_1) = 0$ d'où :

$C_{cal} T_1 + 0{,}2\, c_{eau} T_2 + m_l c_l T_1 = (C_{cal} + 0{,}2\, c_{eau} + m_l c_l) T_4$ d'où : $\boxed{T_4 = \dfrac{C_{cal} T_1 + 0{,}2\, c_{eau} T_2 + m_l c_l T_1}{C_{cal} + 0{,}2\, c_{eau} + m_l c_l}}$ .

**Application numérique :**

$$\boxed{T_4 = \frac{100 \times 20 + 0{,}2 \times 4200 \times 50 + 0{,}5 \times 400 \times 20}{100 + 0{,}2 \times 4200 + 0{,}5 \times 400} = \frac{2000 + 42000 + 4000}{100 + 840 + 200} = \frac{48000}{1140} = 42\,°C}$$

**Il y a deux bonnes réponses A et D.**

**7.** N'ayant aucune indication sur la température $T_5$, on ne peut pas conclure. **La bonne réponse est D.**

**8.** Le raisonnement est le même qu'à la question 6 : $\boxed{T_6 = \dfrac{C_{cal} T_1 + 0{,}2\, c_{eau} T_2 + m_s c_s T_5}{C_{cal} + 0{,}2\, c_{eau} + m_s c_s}}$

**Application numérique :**

$$\boxed{T_6=\frac{100\times20+0{,}2\times4200\times50+0{,}5\times400\times0}{100+0{,}2\times4200+1\times1000}=\frac{2000+42000+0}{100+840+1000}=\frac{44000}{1940}=23\,°C}$$

**La bonne réponse est C.**

**9.** Le système subit une transformation adiabatique irréversible $\Delta S_{syst}>0$ (il faut mettre les températures en Kelvin pour calculer ΔS )

**La bonne réponse est B.**

L'entropie est une fonction extensive : $\Delta S_{syst}=\Delta S_{cal}+\Delta S_s+\Delta S_{eau}$ d'où :

$$\Delta S_{syst}=C_{cal}\ln\frac{T_6}{T_1}+m_s c_s\ln\frac{T_6}{T_5}+m_{eau}c_{eau}\ln\frac{T_6}{T_2}.$$

AN : $\Delta S_{syst}=100\ln\frac{(273+23)}{(273+20)}+1000\ln\frac{(273+23)}{273}+0{,}2\times4200\ln\frac{(273+23)}{(273+50)}$. $\Delta S_{sys}=8{,}6\ J.K^{-1}$.

La réponse A n'est pas correcte.

**10. Il y a deux bonnes réponses B et D.**

**11.** Au cours de la transformation, le système S{calorimètre, eau , glace} subit **une transformation adiabatique isobare** ainsi : $\Delta H=\Delta H_{calo}+\Delta H_{eau}+\Delta H_{glace}=Q=0$ (1)

- $\Delta H_{calo}=C_{cal}(T_8-T_1)$
- $\Delta H_{glace}=m_s L_f+m_s c_{eau}(T_8-T_7)$
- $\Delta H_{eau}=0{,}1\,c_{eau}(T_8-T_2)$

d'où grâce à la relation (1) : $C_{cal}(T_8-T_1)+0{,}1\,c_{eau}(T_8-T_2)+m_s L_f+m_s c_{eau}(T_8-T_7)=0$ d'où :

$$\boxed{L_f=\frac{C_{cal}(T_1-T_8)+0{,}1\,c_{eau}(T_2-T_8)+m_s c_{eau}(T_7-T_8)}{m_s}}.$$

**Application numérique :**

$$\boxed{L_f=\frac{100(20-25)+0{,}1\times4200(50-25)+0{,}025\times4200(-25)}{0{,}025}=\frac{-500+10500-2625}{0{,}025}=\frac{7375}{0{,}025}}$$

$$\boxed{L_f=295000\,J.kg^{-1}}$$

**La bonne réponse est B.**

**12.** Pour passer à 0°C la glace absorbe le transfert thermique :

$$Q_{glace}=\Delta H_{1glace}=m_s\frac{c_{eau}}{2}(T_7-T_9)=\frac{0{,}250\times4200}{2}\times10=5250\,J$$

L'eau liquide et le calorimètre apportent le transfert thermique :

$$Q_{apportée}=-\Delta H_{eau}-\Delta H_{calo}=0{,}1\,c_{eau}(T_2-T_7)+C_{cal}(T_1-T_7)=0{,}1\times4200\times50+100\times20=21000+2000=23000\,J$$

$Q_{apportée}>Q_{glace}$ . Le transfert thermique est suffisant pour élever la température de la glace à O°C.

Pour fondre, la glace a besoin du transfert thermique : $Q_{fonte}=\Delta H_{2glace}=m_s L_f=0{,}250\times300000=75\,000\,J$

$Q_{fonte}>Q_{apportée}-Q_{glace}$ Toute la glace ne pourra pas fondre.

**La bonne réponse est A.**