

T.D. n°2**Thermodynamique**

Thème : Premier principe

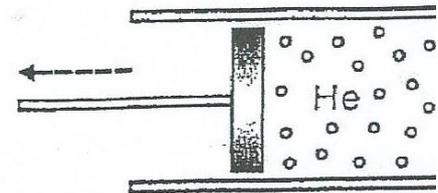
A.1 : Ordres de grandeur

On constate que pour augmenter la température de 1 gramme d'eau liquide de 1 °C, il faut lui fournir un transfert thermique de 4,18 J.

- 1) Quelle est la capacité thermique massique C_m de l'eau liquide ?
- 2) La masse molaire de l'eau est $M(H_2O) = 18,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Déterminer la capacité thermique molaire $C_{mol}(H_2O)$ de l'eau.
- 3) $\gamma = \frac{C_{p,mol}}{C_{v,mol}} = 1,41$ pour l'air. Argumenter.
- 4) On assimile l'air à un gaz parfait diatomique. Déterminer sa capacité thermique molaire à volume constant $C_{v,mol}(\text{air})$.
- 5) La capacité thermique molaire d'un solide est $C_{mol}(\text{solide}) = 3 \cdot R$. En vous référant au théorème d'équipartition (cf cours), commenter cette valeur.
- 6) Quelle est la masse molaire du cuivre ? En déduire la capacité thermique massique du cuivre $C_m(\text{Cu})$.
- 7) Comparer les capacités thermiques massiques de l'eau, de l'air et du cuivre. On apporte un même transfert thermique Q à une même masse d'air (à volume constant), d'eau et de cuivre. Que peut-on dire de la variation de température dans chacun de ces corps ?
- 8) Le dioxyde de carbone est en partie responsable de "l'effet de serre". Que peut-on dire a priori de la capacité thermique molaire (à pression constante) du dioxyde de carbone par rapport à celle de l'air ? Argumenter.

A.2: Détente isotherme d'un GPM (extrait ENAC)

Une enceinte cylindrique fermée par un piston, mobile sans frottement, contient 500 g d'hélium gazeux monoatomique, de masse molaire $M = 4,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Dans l'état initial (1), le volume de l'enceinte est $V_1 = 100 \text{ L}$ et le gaz, supposé parfait, est à la température $T_1 = 600 \text{ K}$.



- 1) Calculer la capacité thermique massique à volume constant C_{Vm} de l'hélium.
- 2) Par déplacement du piston, le gaz subit une détente isotherme, qui le conduit à l'état (2) caractérisé par un volume $V_2 = 250 \text{ L}$. Calculer la pression p_2 du gaz dans cet état.
- 3) Quel est le travail reçu par le gaz au cours de cette évolution ?

A.3: Mise en contact thermique de 2 solides (extrait CCP)

On met en contact thermique deux solides S_1 et S_2 . L'un est en fer et l'autre en cuivre de masses respectives $m_1 = 400 \text{ g}$ et $m_2 = 200 \text{ g}$ et de températures correspondantes $T_1 = 494 \text{ K}$ et $T_2 = 300 \text{ K}$. Les variations de volume des solides sont négligeables et l'ensemble forme un système isolé. En outre, les capacités thermiques molaires de ces deux solides sont les mêmes $C_{mol} = 3 \cdot R$, R étant la constante des gaz parfait.

- 1) Calculer les capacités thermiques massiques de ces deux solides, notées C_{m1} et C_{m2} . On donne les masses molaires du fer et du cuivre : $M(\text{Fe}) = 55,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- 2) Déterminer la température finale T_F . Application numérique.

B.1: Echauffement d'une bille en mouvement dans l'air

Une bille métallique de capacité thermique massique C_m constante est lancée vers le haut avec une vitesse v_0 dans le champ de pesanteur \vec{g} supposé uniforme. Elle atteint une altitude h , puis redescend.

1) Déterminer l'altitude maximale h_0 que peut atteindre la bille si on néglige les forces de frottement fluide entre l'air et la bille. Exprimer h_0 en fonction de v_0 et g .

2) On constate que l'altitude h est inférieure à h_0 à cause des forces de frottement. Calculer la variation de température ΔT de cette bille entre l'instant où elle est lancée et l'instant où elle atteint son point le plus haut en supposant que :

- l'on néglige toute variation de volume de la bille
- l'air ambiant reste macroscopiquement au repos
- le travail des forces de frottement se dissipe pour moitié dans l'air ambiant et pour moitié dans la bille.

Exprimer ΔT en fonction de h , g , c et h_0 en appliquant le premier principe au système constitué par la bille et l'air.

3) Calculer h_0 puis ΔT . Données : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $C_m = 0,40 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $v_0 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $h = 5,0 \text{ m}$.

B.2 : Influence de la définition du système sur l'application du premier principe

On considère un volume divisé en deux compartiments par une cloison mobile. On fait le vide dans le compartiment supérieur puis on place une masse m sur la cloison mobile (dans la suite nous négligerons la masse de la cloison mobile devant m). On note S la surface de la cloison mobile et \vec{g} le champ de pesanteur.

1) Exprimer la pression P_0 qui règne dans le compartiment inférieur en fonction de m , g et S .

2) On donne $S = 100 \text{ cm}^2$ et $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Calculer m pour que $P_0 = 1,00 \text{ bar}$.

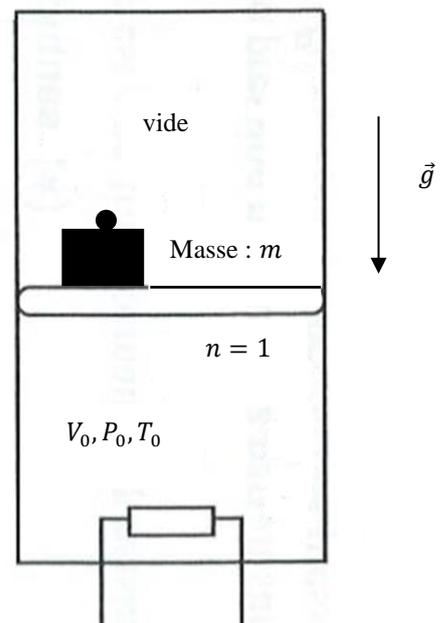
On fait passer un courant dans la résistance chauffante qui s'accompagne d'un transfert thermique Q pour le gaz. Sous l'action de ce courant, le volume occupé par le gaz double.

3) Que peut-on dire de l'évolution subie par le gaz ?

4) On suppose que le gaz parfait est diatomique. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au gaz, déterminer Q .

5) On se propose d'appliquer le premier principe de la thermodynamique à l'ensemble du système constitué par (le gaz parfait + le piston + la masse m). Déterminer Q et commenter.

6) Calculer Q .

**B.3:** Evolution brutale d'un gaz parfait

Une mole d'un gaz parfait de capacité thermique à volume constant $C_{Vm} = \frac{5 \cdot R}{2}$ est contenue dans un cylindre vertical calorifugé comportant un piston mobile calorifugé de section $S = 0,010 \text{ m}^2$ en contact avec une atmosphère extérieure à pression constante p_0 . Initialement, la gaz est en équilibre et sa température vaut $T_0 = 300 \text{ K}$; la pression $p_0 = 1,00 \text{ bar}$ et $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1) On pose sur le piston une masse $M = 102 \text{ kg}$ et on laisse le système évoluer. Déterminer sa pression p_1 et sa température T_1 lorsqu'on atteint un nouvel état d'équilibre (1).

2) L'état d'équilibre (1) étant atteint, on supprime la masse M et on laisse le système évoluer. Déterminer sa pression p_2 et sa température T_2 lorsqu'on atteint un nouvel état d'équilibre (2). Commenter.

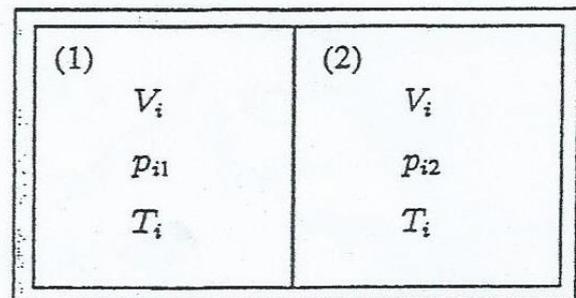
B.4 : Vaporisation de l'eau

On place une ampoule contenant $m = 0,010$ kg d'eau liquide dans une enceinte indéformable de volume V maintenue au contact d'un thermostat à la température $T_0 = 373$ K. Initialement, l'enceinte est vide et l'eau dans l'ampoule est à la température T_0 et sous une pression initiale p_0 égale à la pression de vapeur saturante $\pi(T_0) = 1,00$ bar. On assimile la vapeur d'eau à un gaz parfait de masse molaire $M = 18,0$ g/mol. On donne l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau $l_v = 2,30 \cdot 10^3$ kJ.kg⁻¹ à la température T_0 . On néglige le volume massique de l'eau devant le volume massique de la vapeur d'eau. On donne $R = 8,32$ J/kg.mol.

- 1) Calculer la valeur particulière V_C du volume V pour que dans l'état d'équilibre final, l'eau soit à la température T_0 et à la pression de vapeur saturante $\pi(T_0) = 1,00$ bar, avec un titre en vapeur $x_{VF} = 1$. Calculer pour l'évolution $I \rightarrow F$ correspondante, le transfert thermique fourni par le thermostat, la variation d'énergie interne ainsi que la variation d'enthalpie de l'eau.
- 2) On suppose que le volume $V = 12$ L. Déterminer le titre en vapeur dans l'état d'équilibre.
- 3) On suppose désormais que $V = 20$ L. Déterminer la pression dans le récipient à l'équilibre.

B.5: Evolution isochore d'un système de 2 GPD (extrait ENAC)

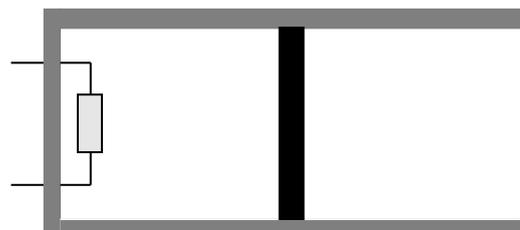
Un système fermé dont les parois sont parfaitement calorifugées est divisé en deux parties étanches de même volume $V_i = 25$ L par un piston diatherme, de capacité thermique négligeable, initialement bloqué. Les deux compartiments contiennent le même gaz parfait à la même température $T_i = 290$ K et aux pressions respectives $p_{i1} = 10^5$ Pa et $p_{i2} = 3 \cdot 10^5$ Pa. On donne $R = 8,31$ J.mol⁻¹.K⁻¹ et $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,4$. On libère le piston qui se déplace en translation sans frottement et finit par s'immobiliser dans une nouvelle position d'équilibre.



- 1) Calculer la température finale T_F des gaz dans les compartiments (1) et (2).
- 2) Calculer la pression finale p_f des gaz dans les compartiments (1) et (2).
- 3) Calculer le volume final V_{f1} du gaz dans le compartiment (1).
- 4) Calculer la variation d'enthalpie ΔH du système.

B.6: Chauffage de gaz par effet Joule

Un récipient de volume total $2 \cdot V_0$ (avec $V_0 = 10,0$ L) est divisé en deux compartiments par une membrane mobile de surface S , sans frottement. Les parois du compartiment de droite permettent les transferts thermiques, alors que celles du compartiment de gauche ainsi que la membrane sont athermanes.



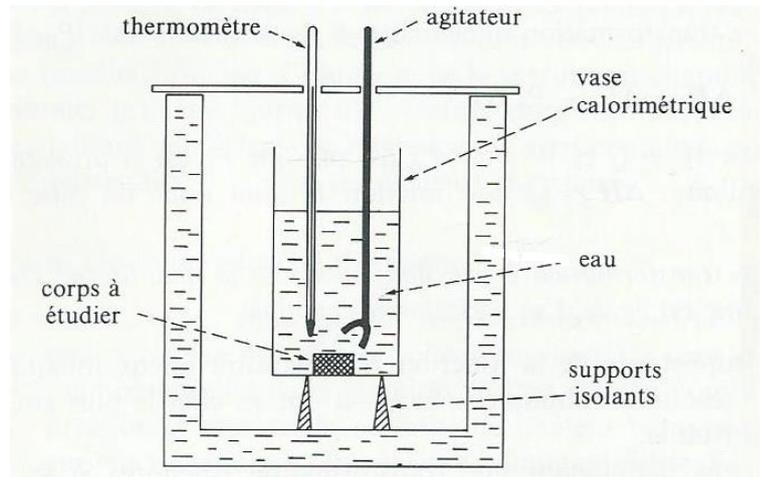
Initialement, l'air (assimilé à un gaz parfait diatomique de rapport $\gamma = 1,4$) contenu dans chacun des deux compartiments est à la température $T_0 = 300$ K et à la pression $P_0 = 1,00$ bar. L'air extérieur au récipient est à la température T_0 . A l'intérieur du compartiment de gauche se trouve une résistance $R = 10 \Omega$. Cette résistance est parcourue par un courant continu $I = 1$ A.

On arrête le courant après une durée τ , dès que la pression dans le compartiment de gauche vaut $P_1 = 2.P_0$. Les transformations sont supposées être lentes.

- 1) Quelles sont les pressions P_2 , la température T_2 et le volume V_2 dans le compartiment de droite à la fin de l'expérience ?
- 2) Quelle est la température finale T_1 dans le compartiment de gauche ?
- 3) Quelle hypothèse peut-on faire sur la transformation subie par le gaz du compartiment de droite ?
- 4) Quel travail W_2 a été reçu par le compartiment de droite ? Et celui W_1 reçu par le compartiment de gauche ?
- 5) Quelle est la durée τ de chauffage ?

B.7 : Calorimétrie

La calorimétrie consiste en la mesure d'échanges thermiques. Dans ce but, on utilise un calorimètre (dit de Berthelot) qui est un récipient dont les parois sont conçues de manière à minimiser les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du calorimètre. Ces échanges thermiques seront considérés nuls. De plus, les transformations se font à pression atmosphérique constante et seront supposées isobares.



A: Mesure de la capacité thermique C du calorimètre

Le calorimètre contient initialement une masse $m = 100 \text{ g}$ d'eau, l'ensemble étant à la température ambiante $t_0 = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$. On ajoute la même masse d'eau à $t_1 = 80,0 \text{ }^\circ\text{C}$. On remue pour homogénéiser le système et on mesure la température finale $t_f = 43,6 \text{ }^\circ\text{C}$. La capacité thermique massique de l'eau est $C_m = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- 1) Pourquoi la température finale est-elle inférieure à la moyenne des températures des deux quantités d'eau, soit $50,0 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 2) En appliquant le premier principe (faisant intervenir l'enthalpie) à un système que l'on définira, calculer la capacité thermique C du calorimètre.
- 3) A quelle masse m' d'eau cette capacité thermique est-elle équivalente ? C'est ce que l'on appelle la valeur en eau d'un calorimètre.
- 4) Pourquoi ne faut-il pas trop attendre pour mesurer la température finale ? Quelle est sa valeur si on attend très longtemps ?

B: Mesure de la capacité thermique massique du fer

On considère à nouveau l'état initial, soit une masse $m = 100 \text{ g}$ d'eau dans le calorimètre, mais en ajoutant de plus une masse $m_f = 140 \text{ g}$ de fer. De plus, une résistance électrique de très faible masse est immergée dans le liquide. L'ensemble est initialement à la même température $t_0 = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Pendant une durée $\tau = 30 \text{ s}$, un générateur engendre un courant électrique alimentant la résistance et lui fournissant une puissance $P = 350 \text{ W}$. On homogénéise la solution et on mesure la température $t_{f'} = 34,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 1) En appliquant à nouveau le premier principe de la thermodynamique, exprimer la capacité thermique massique du fer.
- 2) Quelle est sa valeur numérique ?

B.8 : Billes de verre dans un calorimètre.

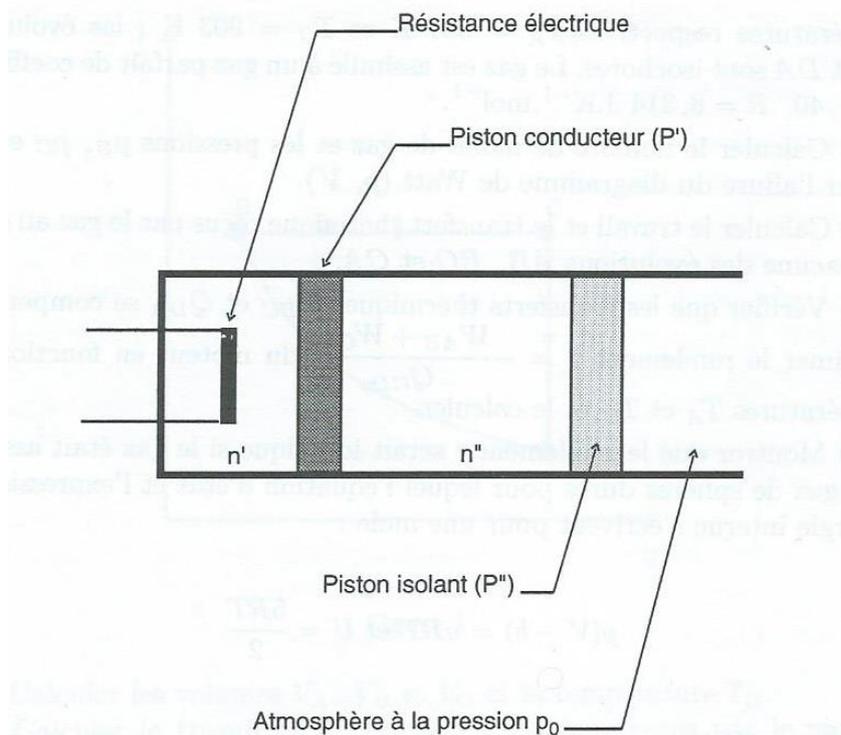
On désire mesurer la capacité thermique massique du verre par une expérience de calorimétrie à pression constante. On place $n = 40$ petites billes de verre identiques dans un four maintenant une température $t_1 = 80\text{ }^\circ\text{C}$. Chaque petite bille a un rayon $r = 1\text{ cm}$. La densité du verre est $d = 2,5$. On plonge ces petites billes dans un calorimètre de masse équivalente en eau $m_{\text{éq}} = 20\text{ g}$ dans lequel on a placé initialement une masse $m_{\text{eau}} = 100\text{ g}$ à $t_2 = 20\text{ }^\circ\text{C}$. On néglige toute fuite thermique. La température du mélange à l'équilibre est $t_{\text{éq}} = 25\text{ }^\circ\text{C}$.

- 1) Etablir l'expression littérale de la capacité thermique massique du verre $C_m(\text{verre})$.
- 2) Calculer $C_m(\text{verre})$.

On rappelle que la masse volumique de l'eau est $\rho_{\text{eau}} = 1000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ et que la capacité thermique massique de l'eau est $C_m(\text{eau}) = 4,18\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$

C.1: Résistance électrique

Le dispositif étudié, représenté ci-dessous, est constitué de deux pistons (P') et (P'') coulissant dans un cylindre de section constante S et séparant deux compartiments ; (P') est bon conducteur thermique, alors que le cylindre et (P'') sont isolants thermiques. Le compartiment de gauche, limité par une paroi fixe et le piston (P') contient $n' = 0,1$ mole d'un GP monoatomique de coefficient $\gamma' = 5/3$ et d'une résistance électrique. Le compartiment de droite, limité par le piston (P') et par le piston (P''), contient $n'' = 0,2$ mole d'un GP diatomique de coefficient $\gamma'' = 7/5$; l'autre face du piston (P') est au contact d'une atmosphère extérieure dont la pression est uniforme et constante, égale à $p_0 = 1,0\text{ bar}$.



- 1) Dans l'état initial E_0 , la température est uniforme, égale à $T_0 = 300\text{ K}$ et la pression est uniforme égale à $p_0 = 1,0\text{ bar}$. On bloque le piston (P') et on libère le piston (P''), puis on met la résistance électrique en série avec un générateur électrique pendant une durée telle que la chaleur dégagée par effet Joule soit égale à $Q_J = 0,85\text{ kJ}$.

Déterminer l'état d'équilibre E_1 atteint dans les deux compartiments, ainsi que le transfert thermique Q cédé par le gaz monoatomique au gaz diatomique.

- 2) La résistance électrique n'étant plus alimentée, on bloque le piston (P'') et on libère le piston (P'). Déterminer l'état d'équilibre E_2 atteint dans les deux compartiments.

Solutions : A.1: 1) $\Delta U_{eau} = m \cdot C_m \cdot \Delta T = 4,18 J$; avec $m = 10^{-3} kg$ et $\Delta T = 1 K$; $C_m(eau) = 4,18 \cdot 10^3 J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$ 2) $C = m \cdot C_m = n \cdot C_{mol}$ ainsi $C_{mol} = \frac{m}{n} C_m = M \cdot C_m$. A.N.: $C_{mol} = 75,2 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$ 3) $\gamma = 1,41$: air assimilable à un GPD 4) $C_{v,mol} = \frac{5}{2} R = 20,8 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$ 5) $C_{mol} = 3 \cdot R$: par application du théorème d'équipartition, on associe $k \cdot T$ par direction ($\frac{1}{2} k \cdot T$ pour l'énergie cinétique et $\frac{1}{2} k \cdot T$ pour l'énergie potentielle élastique). 6) $M(Cu) = 63,5 g \cdot mol^{-1}$, avec $C = m \cdot C_m = n \cdot C_{mol}$: $C_m(Cu) = \frac{1}{M(Cu)} C_{mol} = \frac{3 \cdot R}{M(Cu)} = 393 J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$ 7) $C_m(air) = \frac{1}{M(air)} C_{v,mol} = \frac{1}{29 \cdot 10^{-3}} \frac{5 \cdot R}{2} = 716 J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$: on constate que $C_m(eau) > C_m(air) > C_m(Cu)$, avec $\Delta U = m \cdot C_m \cdot \Delta T$, $\Delta T(Cu) > \Delta T(air) > \Delta T(eau)$ 7) $C_m(CO_2) < C_m(air)$ donc $\Delta T(CO_2) > \Delta T(air)$ ce qui provoque une élévation de la température de l'atmosphère appelée "effet de serre" **A.2:** 1) $C_{vm} = \frac{1}{M} C_{vmol} = \frac{1}{M} \frac{3 \cdot R}{2} = 3,12 kJ \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$ 2) Evolution isotherme $p_2 = \frac{n \cdot R \cdot T_1}{V_2} = 24,9 \cdot 10^5 Pa$ 3) $w_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 \delta w$ avec $\delta w = -p_{ext} \cdot dV = -\frac{n \cdot R \cdot T_1}{V} dV$ soit $w_{1 \rightarrow 2} = n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = -571 kJ$ **A.3:** 1) $C_m = \frac{1}{M} C_{mol}$ soit $C_{m1} = 447 J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$ et $C_{m2} = 393 J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$ 2) En appliquant le 1er principe au système constitué par $\{S_1 + S_2\}$ isolé : $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$. En explicitant : $m_1 \cdot C_{m1} \cdot (T_F - T_1) + m_2 \cdot C_{m2} \cdot (T_F - T_2) = 0$, soit $T_F = \frac{m_1 \cdot C_{m1} \cdot T_1 + m_2 \cdot C_{m2} \cdot T_2}{m_1 \cdot C_{m1} + m_2 \cdot C_{m2}} = 435 K$ **B.1:** 1) Intégrale première de l'énergie cinétique : $E_m = E_C + E_P = cte$ ce qui nous conduit à : $h_0 = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} = 5,1 m$ 2) En appliquant le 1er principe au système constitué par $\{bille, atm\}$ isolé : $\Delta E_{tot} = \Delta E_{m,M} + \Delta U = 0$ avec $\Delta U = \Delta U_{bille} + \Delta U_{atm} = 2 \cdot \Delta U_{bille} = 2 \cdot m \cdot C_m \cdot \Delta T$ et $\Delta E_{m,M} = \Delta E_m = m \cdot g \cdot (h - h_0)$. Soit $\Delta T = \frac{g \cdot (h_0 - h)}{2 \cdot C_m}$ 3) A.N.: $\Delta T = 1,2 mK$ **B.3:** 1) Soit $E_0(p_0, V_0, T_0)$ l'état initial et $E_1(p_1, V_1, T_1)$ l'état d'équilibre (1); $p_1 = p_0 + \frac{M \cdot g}{S} = 2 \cdot p_0$. Pour déterminer T_1 appliquons le 1er principe au GPD entre E_0 et E_1 en notant que $\Delta E_{tot} = \Delta U$ pour un GP : $\Delta E_{tot} = \Delta U = \frac{5 \cdot R}{2} (T_1 - T_0) = w_{0 \rightarrow 1}$. L'évolution de E_0 à E_1 est monobare sous la pression p_1 donc $w_{0 \rightarrow 1} = \int_0^1 \delta w = -p_1 \cdot (V_1 - V_0)$ avec $\delta w = -p_{ext} \cdot dV = -p_1 \cdot dV$. Soit $\frac{5 \cdot R}{2} (T_1 - T_0) = -p_1 \cdot (V_1 - V_0) = -R \cdot T_1 + 2 \cdot R \cdot T_0$ avec $p_1 = 2 \cdot p_0$; $T_1 = \frac{9}{7} T_0 = 386 K$ 2) Soit $E_2(p_2, V_2, T_2)$ le nouvel état d'équilibre. $p_2 = p_0$. De E_1 à E_2 , l'évolution est monobare sous la pression $p_2 = p_0$ donc $w_{1 \rightarrow 2} = -p_2 \cdot (V_2 - V_1) = -R \cdot T_2 + \frac{R \cdot T_1}{2}$ De la même manière qu'en 1), en appliquant le 1er principe, on établit que $T_2 = \frac{6}{7} T_1 = 331 K$ **B.4:** 1) $V_C = 17,2 L$. En appliquant le premier principe, sachant que la vaporisation se fait dans le vide : $\Delta U = Q$ avec $\Delta U = \Delta H - \Delta(p \cdot V) = m \cdot l_V - \pi(T_0) \cdot V_C$. Soit $Q = 21,3 kJ$ 2) Si $V = 12,0 L < V_C$, le nombre de moles d'eau qui se vaporise est donné par $n_V = \frac{\pi(T_0) \cdot V}{R \cdot T_0} = 38,7 \cdot 10^{-2} moles$. Dans l'état d'équilibre, le titre en vapeur est $x_V = \frac{n_V}{n} = 69,7 \%$ 3) $V = 20, L > V_C$ donc toute l'eau se vaporise. La pression de vapeur sèche dans le récipient est $p = \frac{n \cdot R \cdot T_0}{V} = 86,1 \cdot 10^3 Pa$ **B.5:** 1) En appliquant le 1er principe au système isolé composé par les 2 GP : $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$. En explicitant : $\frac{5}{2} n_1 \cdot R \cdot (T_F - T_i) + \frac{5}{2} n_2 \cdot R \cdot (T_F - T_i) = 0$ soit $T_F = T_i$ 2) A l'équilibre $p_{f1} = p_{f2} = p_f$. Sachant que $p_{f1} \cdot V_{f1} = p_{i1} \cdot V_{i1}$ et $p_{f2} \cdot V_{f2} = p_{i2} \cdot V_{i2}$; $p_f \cdot (V_{f1} + V_{f2}) = (p_{i1} + p_{i2}) \cdot V_i$. Avec $V_{f1} + V_{f2} = 2 \cdot V_i$: $p_f = \frac{p_{i1} + p_{i2}}{2} = 2 \cdot 10^5 Pa$ 3) $V_{f1} = 12,5 L$ et $V_{f2} = 37,5 L$ 4) $\Delta T = 0$ donc $\Delta H = 0$ **B.6:** 1) Dans l'état initial, les 2 GP sont dans un même état $E_0(p_0, V_0, T_0)$. Dans l'état final, le GP (1) (compartiment de gauche) est dans l'état $E_1(p_1, V_1, T_1)$ et le GP (2) est dans l'état $E_2(p_2, V_2, T_2)$ avec $T_2 = T_0$ contact thermique avec l'atmosphère assimilé à un thermostat et $p_2 = p_1 = 2 \cdot p_0$: équilibre mécanique du piston. En appliquant l'équation d'état des GP : $V_2 =$

$\frac{n.R.T_2}{p_2} = \frac{n.R.T_0}{2.p_0} = \frac{V_0}{2}$ A.N. : $E_2(p_2 = 2,00 \text{ bars}, V_2 = 5,0 \text{ L}, T_2 = 300 \text{ K})$ 2) $T_1 = \frac{p_1.V_1}{n.R} = \frac{2.p_0}{n.R} \left(\frac{3.V_0}{2} \right) = 3.T_0 = 900 \text{ K}$ 3) Evolution isotherme 4) $W_2 = \int_i^f \delta W$ avec $\delta W = -p_{ext}.dV = -\frac{n.R.T_0}{V}dV$; $W_2 = -n.R.T_0.ln\left(\frac{V_2}{V_0}\right) = n.R.T_0.ln2 = 691 \text{ J}$. L'ensemble des 2 GP subit une

évolution isochore donc $W_T = W_1 + W_2 = 0$ et $W_1 = -W_2$ 5) Appliquons le 1er principe au GP (1) : $\Delta U_1 = \frac{nR}{\gamma-1}(T_1 - T_0) = R.I^2.\tau + W_1$. Soit $\tau = \frac{\frac{nR}{\gamma-1}(T_1 - T_0) + n.R.T_0.ln2}{R.I^2} = 9 \text{ min } 28 \text{ s}$ **B.7:**

A-1) $t_f \neq 50^\circ \text{ C}$ car le calorimètre intervient dans les bilans thermiques A-2) Appliquons le 1er principe au système composé par {calorimètre, eau froide, eau chaude} : $\Delta H = \Delta H_{eau \text{ froide}} + \Delta H_{eau \text{ chaude}} + \Delta H_{calor} = m.C_m.(t_f - t_0) + m.C_m.(t_f - t_1) + C.(t_f - t_0) = 0$ soit $C = m.C_m.\left(\frac{t_0 + t_1 - 2.t_f}{t_f - t_0}\right)$. A.N. : $C = 227 \text{ J.K}^{-1}$ 3) En posant $C = m'.C_m$, on peut

déterminer la masse équivalente en eau du calorimètre : $m' = 54,3 \text{ g}$ 4) Le système n'est pas parfaitement calorifugé B-1) En appliquant le 1er principe au système {calorimètre, eau, masse de fer} : $(m + m').C_m.(t_f - t_0) + m_f.C_m(Fe).(t_f - t_0) = Q = P.\tau$ soit $C_m(Fe) = \frac{1}{m_f}\left(\frac{P.\tau}{t_f - t_0} - (m + m').C_m\right)$ B-2) A.N.: $C_m(Fe) = 461 \text{ J.K}^{-1}.kg^{-1}$

Rq: on peut vérifier que $C_m(Fe)$ est proche de la valeur attendue : $C_m(Fe) = \frac{C_{mol}}{M(Fe)} = \frac{3.R}{55,8.10^{-3}} = 447 \text{ J.K}^{-1}.kg^{-1}$ **B.8:** 1) En appliquant le 1er principe au système {calorimètre, eau, billes} : $\Delta H = (m_{eau} + m_{\acute{e}q}).C_m(eau).(t_{\acute{e}q} - t_2) + m_{verre}.C_m(verre).(t_{\acute{e}q} - t_2) = 0$ avec $m_{verre} = n.\left(\frac{4.\pi}{3}r^3\right).d.\rho_{eau}$, on établit que : $C_m(verre) = \frac{(m_{eau} + m_{\acute{e}q}).C_m(eau).(t_{\acute{e}q} - t_2)}{n.\left(\frac{4.\pi}{3}r^3\right).d.\rho_{eau}.(t_2 - t_{\acute{e}q})}$ 2) A.N.:

$C_m(verre) = 109 \text{ J.K}^{-1}.kg^{-1}$. **C.1:** 1) Considérons le système constitué par les 2 gaz parfaits. Dans l'état initial, le système est dans l'état $E_0(p_0; V_0; T_0)$ avec n' moles de GPM qui occupent un volume V_0' et n'' moles de GPD qui occupent un volume V_0'' . Sous l'action de contraintes extérieures, le système évolue vers l'état d'équilibre E_1 dans lequel les n' moles de GPM sont dans l'état $(p_1'; V_1'; T_1')$ et les n'' moles de GPD dans l'état $(p_1''; V_1''; T_1'')$. Compte tenu du fait que le piston P' est bon conducteur thermique : $T_1' = T_1'' = T_1$: les deux GP sont à la même température dans l'état E_1 . Appliquons le premier principe au système entre E_0 et E_1 : $\Delta U = W^{nc} + Q$ avec $\Delta E_{m,M} = 0$ pour les GP. Les parois sont athermanes et le système reçoit la chaleur Q_J dégagée par la résistance par effet Joule donc $Q = Q_J$. Le piston P'' est au contact de l'atmosphère qui exerce une pression constante p_0 sur sa surface. L'évolution du système est donc monobare : $W^{nc} = -p_0.(V_1' - V_0'')$ donc : $\Delta U = \Delta U' + \Delta U'' = \frac{n'.R}{\gamma'-1}(T_1 - T_0) + \frac{n''.R}{\gamma''-1}(T_1 - T_0) = \left(\frac{n'}{\gamma'-1} + \frac{n''}{\gamma''-1}\right).R.(T_1 - T_0)$. En explicitant le premier principe : $\left(\frac{n'}{\gamma'-1} + \frac{n''}{\gamma''-1}\right).R.(T_1 - T_0) = Q_J - p_0.(V_1'' - V_0'')$. P'' est au contact de l'atmosphère donc $p_1'' = p_0$ et $p_0.V_1'' = p_1''.V_1'' = n''.R.T_1$. De plus $p_0.V_0'' = n''.R.T_0$ donc : $-p_0.(V_1'' - V_0'') = -n''.R.(T_1 - T_0)$ soit : $Q_J = \left(\frac{n'}{\gamma'-1} + \frac{n''.\gamma''}{\gamma''-1}\right).R.(T_1 - T_0)$. A.N.: A partir de la relation ci-dessus, on calcule $T_1 = 420 \text{ K}$ puis $V_1' = V_0' = \frac{n'.R.T_0}{p_0} = 2,5 \text{ L}$ et $p_1' = \frac{n'.R.T_1}{V_1'} = 1,4 \text{ bar}$ et $p_1'' = p_0 = 1,0 \text{ bar}$; $V_1'' = \frac{n''.R.T_1}{p_0} = 7,0 \text{ L}$. Pour déterminer le transfert thermique Q cédé par le GPM

au GPD appliquons le premier principe au GPM entre E_0 et E_1 : $\left(\frac{n'.R}{\gamma'-1}\right).(T_1 - T_0) = Q_J + Q$ ce qui conduit à : $Q = -\left(\frac{n''.R.\gamma''}{\gamma''-1}\right).(T_1 - T_0)$. A.N.: $Q = -0,70 \text{ kJ}$ 2) On considère le même système que dans la question 1) qui évolue de l'état E_1 vers l'état E_2 dans lequel les n' moles de GPM sont dans l'état $(p_2'; V_2'; T_2')$ et les n'' moles de GPD dans l'état $(p_2''; V_2''; T_2'')$. Le piston P' est libre de se déplacer donc $p_2' = p_2'' = p_2$. De plus, le piston P' est bon conducteur

thermique donc $T_2' = T_2'' = T_2$. $\Delta U = \Delta U' + \Delta U'' = \left(\frac{n'}{\gamma'-1} + \frac{n''}{\gamma''-1} \right) \cdot R \cdot (T_2 - T_1) = 0$ donc $T_2 = T_1 = 420 \text{ K}$. De plus : $p_2 \cdot V_2' = n' \cdot R \cdot T_2$ et $p_2 \cdot V_2'' = n'' \cdot R \cdot T_2$. Sachant que $V_1' + V_1'' = V_2' + V_2''$ on peut déterminer $V_2' = 3,2 \text{ L}$ et $V_2'' = 6,3 \text{ L}$ ainsi que $p_2 = 1,1 \text{ bar}$