Physique 06 **BCPST 1C**

- *Bilans d'énergie pour un système thermodynamique* -

Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ J.K^{-1}.mol^{-1}$

Masses molaires (à chercher si besoin)

• EXERCICE 01 :

On considère un cylindre en position horizontale séparé en deux compartiments par un piston mobile vertical pouvant se déplacer sans frottements.

Dans la suite, on considèrera que les parois du cylindre ainsi que le piston sont athermanes et que le cylindre est fermé et de volume invariable.

Dans un état d'équilibre initial (figure 1), les deux compartiments **A** *et* **B** *contiennent une quantité de matière identique* n *de gaz parfait monoatomique et sont dans le même état défini par une pression* $P_0 = 1{,}00$ bar*, une température* $T_0 = 0$ °C *et un volume* $V_0 = 5{,}00$ L.

On chauffe extrêmement lentement le compartiment **A** *grâce à une résistance chauffante de valeur* $R = 50\ \Omega$*, parcourue par un courant continu d'intensité* $I = 0{,}40$ A. *La durée du chauffage vaut* $\Delta t = 50$ minutes. *Dans l'état final d'équilibre (figure 2), la pression dans le compartiment* **A** *vaut* $P_1 = 2{,}14$ bar *et la température dans le compartiment* **B** *vaut* $T_2 = 66{,}1$ °C.

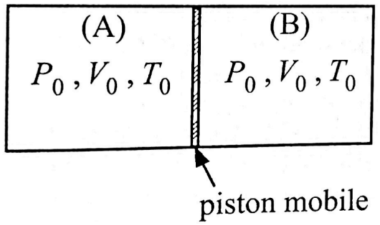


Figure 1 ***: Etat initial du système étudié***

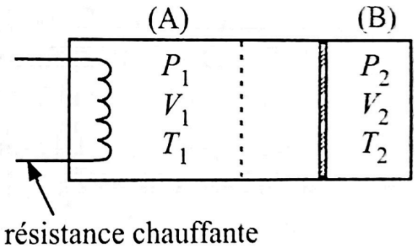


Figure 2 ***: Etat final du système étudié***

1- Quelle donnée montre qu'il y a équilibre mécanique pour chaque gaz dans l'état initial ?

2- Déterminer les valeurs de V_1, T_1, P_2 et V_2.

3- Les gaz des compartiments **A** et **B** subissent-ils une transformation isotherme ? isochore ? isobare ? adiabatique ?

4- Pour le type de transformation subie par le gaz du compartiment **B**, le produit $\mathbf{P \times V^{\gamma}}$ est une constante, avec γ une constante sans dimension appelée coefficient de Laplace. En admettant cette relation, donner l'expression de γ en fonction de V_0, V_2, P_2 et P_0 pour la situation étudiée. Faire l'application numérique.

5- Déterminer la valeur du transfert thermique algébriquement reçu par le gaz du compartiment **A** puis par le gaz du compartiment **B**.

On considère désormais un système en tout point identique au précédent, sauf que la paroi verticale droite du compartiment **B** est maintenant diathermane et mise en contact avec de la glace fondante à la pression atmosphérique.

6- Pourquoi la glace fondante peut-elle être considérée comme un thermostat ? En déduire si les gaz des compartiments **A** et **B** subissent une transformation isotherme, isochore, isobare ou adiabatique.

7- Donner le signe du transfert thermique algébriquement reçu par le gaz du compartiment **A** puis par le gaz du compartiment **B** dans cette nouvelle situation.

• EXERCICE 02 :

Une quantité de matière $n_0 = 7{,}50.10^{-2}$ mol *de diazote gazeux subit la suite de transformations décrites ci-dessous :*

- *A partir des conditions initiales* $\mathbf{P_A}$, $\mathbf{V_A}$ *et* $\mathbf{T_A}$ (*<u>état A</u>*), *un échauffement isochore fait tripler sa pression et sa température atteint* $\mathbf{T_B}$ (*<u>état B</u>*) ;
- *Une détente isotherme réversible lui fait ensuite retrouver sa pression initiale mais le volume de gaz devient égal à* $\mathbf{V_C}$ (*<u>état C</u>*) ;
- *Un refroidissement isobare réversible ramène le gaz à l'état initial* (*<u>état A</u>*).

<u>Données</u> *: - Coefficient de Laplace pour le diazote :* $\gamma = \frac{7}{5}$;

- Capacité thermique molaire à volume constant du diazote : $C_{Vm} = \frac{R}{\gamma - 1}$.

1- Exprimer T_B en fonction de T_A et V_C en fonction de V_A.

2- Représenter la suite de transformations subies par le gaz dans un diagramme de Watt (flécher chaque transformation).

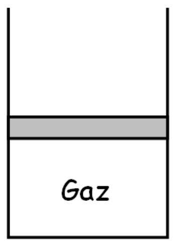
3- On donne $P_A = 1{,}00$ bar et $T_A = 300$ K. Exprimer puis calculer la variation d'énergie interne, le travail algébriquement reçu par le gaz et le transfert thermique algébriquement reçu par le gaz au cours des transformations A → B, B → C et C → A.

4- Que vaut la variation d'énergie interne du gaz sur l'ensemble du cycle ?

• EXERCICE 03 :

On enferme une masse $m = 20{,}0$ g *d'hélium gazeux (capacité thermique massique à volume constant* $c_V = 3{,}12\ J.K^{-1}.kg^{-1}$*; masse molaire* $M_{He} = 4{,}0\ g.mol^{-1}$*) dans un cylindre vertical aux parois diathermanes clos par un piston de masse négligeable et de section* S.

Le piston est initialement maintenu pour que le gaz soit à la pression $P_A = 5\ P_0$ *où* P_0 *est la pression atmosphérique extérieure. Le gaz occupe initialement le volume* V_A*. La température extérieure* T_0 *est constante et l'ensemble est initialement à l'équilibre thermique.*



On réalise deux expériences à partir de ce même état initial :

❶ *On relâche brutalement le piston et on attend l'équilibre.*

❷ *On relâche très lentement le piston de façon à ce que le système passe par une suite d'états d'équilibres infiniment voisins.*

1- Les transformations ❶ et ❷ sont-elles isothermes ? monothermes ? isobares ? monobares ? Justifier rapidement.

2- On note $V_{B❶}$ et $V_{B❷}$ le volume atteint par le gaz dans l'état final à l'issue des transformations ❶ et ❷. Exprimer $V_{B❶}$ et $V_{B❷}$ en fonction de V_A.

3- On note $\Delta U_{❶}$ et $\Delta U_{❷}$ la variation d'énergie interne du gaz au cours des transformations ❶ et ❷. Calculer $\Delta U_{❶}$ et $\Delta U_{❷}$. Commenter.

4- On note $W_{❶}$ et $W_{❷}$ le travail algébriquement reçu par le gaz au cours des transformations ❶ et ❷. Exprimer $W_{❶}$ et $W_{❷}$ en fonction de P_0 et de V_A. Commenter.

5- On note $Q_{❶}$ et $Q_{❷}$ le transfert thermique algébriquement reçu par le gaz au cours des transformations ❶ et ❷. Exprimer $Q_{❶}$ et $Q_{❷}$ en fonction de P_0 et de V_A. Commenter.

6- Pour aller plus loin … On peut imaginer que le piston est maintenu dans son état initial grâce à une masse M posée sur celui-ci. A l'aide des données supplémentaires ci-dessous, déterminer la valeur de la masse M afin que $P_A = 5\ P_0$.
Données supplémentaires : # Section du piston : S = 10 cm² ;
Intensité de la pesanteur terrestre : $g = 9{,}8\ m.s^{-2}$.

• EXERCICE 04 :

La brique réfractaire (ou terre cuite) est un matériau très souvent utilisé en cuisine car elle a une valeur élevée de capacité thermique massique. Le but de cet exercice est de déterminer la valeur de la capacité thermique massique c_B *de ce matériau. Pour cela, on réalise la suite de manipulations suivantes :*

❶ *Dans un calorimètre idéal (enceinte ne participant pas aux échanges thermiques avec l'extérieur ni avec ce qu'il contient), on introduit* $m_e = 600$ g *d'eau et on mesure sa température une fois stabilisée au bout de quelques minutes :* $T_e = 19{,}7$ °C.

❷ *On y introduit une brique de masse* $m_B = 77{,}5$ g *qui a préalablement séjourné dans une étuve à la température* $T_B = 100$ °C *pendant une très longue durée.*

❸ *On mesure la température finale d'équilibre dans le calorimètre :* $T_F = 21{,}7$ °C.

Données *: Capacité thermique massique à volume constant et à pression constante de l'eau :* $\mathbf{c_{eau} = 4{,}18.10^{3}\ J.K^{-1}.kg^{-1}}$

1- Quel(s) type(s) de transfert(s) thermique(s) observe-t-on entre le moment où la brique est plongée dans l'eau et le moment où l'équilibre thermique est atteint ? Dans quel sens a-t-il (ont-ils) lieu ?

2- On étudie le système {eau + brique}. En utilisant le 1^er^ principe, déterminer l'expression de la capacité thermique massique c_B de la brique en fonction de c_{eau}, m_e, m_B, T_E, T_B et T_F. Faire l'application numérique.

En réalité, les parois intérieures du calorimètre interviennent dans les échanges thermiques. Le calorimètre n'est donc pas idéal et est caractérisé par une capacité thermique notée C_{calo} *dont on estime la valeur à* $200\ J.K^{-1}$.

3- On étudie le système {eau + brique + calorimètre}. En utilisant le 1er principe, déterminer l'expression la capacité thermique massique c_B de la brique en fonction de C_{calo}, c_{eau}, m_e, m_B, T_E, T_B et T_F. Faire l'application numérique.

On met en contact la brique réfractaire de masse $m_B = 77{,}5$ g *à la température uniforme* $T_B = 100$ °C *avec un morceau de cuivre de masse* $m_C = 200$ g *de température uniforme* $T_C = 25{,}0$ °C *et de capacité thermique molaire* $C_m = 3\ R$ *(où R est la constante des gaz parfaits).*

Données *: Masse molaire atomique du cuivre* : $M_{Cu} = 63{,}5\ g.mol^{-1}$.

4- Quel(s) type(s) de transfert(s) thermique(s) observe-t-on à partir du moment où les deux solides sont mis en contact ? Dans quel sens a-t-il (ont-ils) lieu ?

5- En étudiant le système {brique + cuivre} qu'on supposera isolé, exprimer la température finale T_F' des deux solides une fois l'équilibre thermique atteint en fonction de m_B, m_C, T_B, T_C, R et M_{Cu}. Faire l'application numérique.

6- Si on faisait l'expérience à l'air libre au laboratoire, obtiendrait-on une température T_F' supérieure ou inférieure à celle calculée précédemment ? Justifier qualitativement.

• EXERCICE 05 :

Madame Michu a acheté une statue garantie en or massif, de masse m = 860 g. *Pour vérifier sa composition, elle souhaite mesurer la capacité thermique massique* c *du métal qui la constitue.*

Pour cela, elle plonge la statue, à la température initiale $T_0 = 293$ K, *dans une masse* $m_e = 300$ g *d'eau, de température initiale* $T_e = 353$ K *et de capacité thermique massique* $c_e = 4{,}18.10^3\ J.K^{-1}.kg^{-1}$, *contenue dans un calorimètre aux parois parfaitement athermanes, initialement à la température* T_e. *Elle mesure alors la température finale* T_F *du système* Σ *{eau + statue + calorimètre} à l'équilibre thermodynamique et obtient* $T_F = 346$ K.

Le calorimètre est caractérisé par une valeur en eau $\mu = 40{,}0$ g. *Il s'agit de la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique* C_{cal} *que celle du calorimètre. Pendant toute la transformation, le système* Σ *est en contact avec l'atmosphère où règne une pression* P_0 *constante.*

1- Quelle relation existe-t-il entre μ, C_{cal} et c_e ?

2- Exprimer la capacité thermique c de la statue en fonction de m_0, m, μ, c_e, T_F et T_0. Faire l'application numérique.

3- Pour tous les métaux à température ordinaire, la loi de Dulong et Petit indique que la capacité thermique molaire vaut $C_m = 3\ R = 24{,}9\ J.K^{-1}.mol^{-1}$. En déduire la masse molaire du métal constituant la statue et la comparer à celle de l'or valant $197\ g.mol^{-1}$. Conclure.

• EXERCICE 06 :

Dans un récipient parfaitement calorifugé, une masse $m_0 = 200$ g *d'eau liquide à la température* $\theta_0 = 20,0$ °C *et de capacité thermique massique* $c_0 = 4,18$ kJ.K^{-1}.kg^{-1} *est mise en contact avec un filament de cuivre initialement à* $\theta_0 = 20,0$ °C*, de capacité thermique massique* $c = 0,39$ kJ.K^{-1}.kg^{-1} *et de masse* $m = 30$ g.

Le filament de cuivre a une résistance $R = 20\ \Omega$ *et il est parcouru par un courant d'intensité* $I = 10$ A *pendant une durée* $\Delta t = 5,0$ s.

En étudiant le système {eau + fil de cuivre}, déterminer la température finale θ_F de l'eau.

• EXERCICE 07 :

On prélève 5 *glaçons pesant chacun* $m = 12,0$ g *d'un congélateur où la pression vaut* $P_A = 1,00$ bar *et la température* $T_A = -18,0$ °C*. Dans la suite, on travaille à la pression constante* $P_A = 1,00$ bar.

<u>Données</u> :
- Enthalpies massiques de fusion de l'eau à 1 bar : $\Delta h_{fusion} = 3,36.10^5$ J.kg^{-1} ;
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,20.10^3$ J.K^{-1}.kg^{-1}.
- Capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2,06.10^3$ J.K^{-1}.kg^{-1}.

1- Quelle énergie faut-il fournir à ces 5 glaçons pour les transformer en eau liquide à une température $T_B = 25,0$ °C et à la pression $P_B = 1,00$ bar ?

2- On réalise l'opération en plaçant les glaçons dans un erlenmeyer dont le fond est en contact avec une plaque chauffante de puissance $P = 300$ W. Quelle durée Δt sera nécessaire pour réaliser l'opération si on considère que toute l'énergie fournie par la plaque sert à réaliser la transformation évoquée à la question **1-** ?

3- En réalité, on constate qu'il faut trois minutes pour réaliser l'opération. Justifier l'écart observé et calculer le rendement de la plaque chauffante.

• EXERCICE 08 :

<u>Données</u> **:**
- Enthalpie massique de fusion de l'eau à 1 bar : $\Delta h_{fusion} = 3,36.10^5$ J.kg^{-1} ;
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau à 1 bar : $\Delta h_{vaporisation} = 2,26.10^6$ J.kg^{-1}.
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_e = 4,20.10^3$ J.K^{-1}.kg^{-1}.
- Capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2,06.10^3$ J.K^{-1}.kg^{-1}.
- Capacité thermique massique de la vapeur d'eau : $c_V = 1,85.10^3$ J.K^{-1}.kg^{-1}.

Dans un récipient parfaitement calorifugé, on place une masse $M = 1,00$ kg *d'eau liquide à la température* $T_1 = 20,0$ °C *et une masse* $m = 500$ g *de glace à la température* $T_2 = 0,00$ °C*. On travaille à la pression constante de* 1,00 bar.

1- La transformation étudiée est-elle adiabatique ?

2- On suppose que dans l'état final, la totalité de l'eau est liquide. Déterminer la température T_F de l'eau obtenue et montrer que le résultat n'est pas cohérent.

3- On suppose que dans l'état final, seulement une partie de la glace a fondu. Déterminer la température T_F de l'eau obtenue et la masse m_ℓ de glace qui a fondu (on notera m_s la masse de glace qui n'a pas fondu).

• EXERCICE 09 :

Un récipient de taille variable et dont les parois sont athermanes contient une quantité de matière n de gaz parfait. On fait subir à ce gaz une transformation réversible le faisant passer de l'état (P_0, V_0, T_0) *à l'état* (P_1, V_1, T_1).

Lors d'une telle transformation, le gaz suit l'équation de Laplace : $\mathbf{P \times V^{\gamma} = Cte}$ *tout au long de la transformation (où* γ *est une constante sans dimension différente de 1, appelée coefficient de Laplace).*

1- Donner l'expression de la pression P du système au cours de cette transformation en fonction de P_0, V_0 et γ.

2- Montrer que le travail algébriquement reçu par le gaz au cours de cette transformation vaut $W = \dfrac{P_0V_0 - P_1V_1}{1-\gamma}$.

3- En déduire l'expression de ce même travail en fonction de γ et des températures.

4- En déduire l'expression de la capacité thermique à volume constant d'un gaz parfait en fonction de n, R et γ.