

# Premier Principe

## Prérequis

Notions sur les gaz parfaits. Équation d'état des gaz parfaits  $PV = nRT$

## Constantes utiles

→ constante des gaz parfaits :  $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

## Calcul du travail des forces de pression

### Entraînement 1.1 — Les bonnes unités.



Un étudiant doit calculer le travail reçu par un système au cours d'une transformation. L'expression littérale est la suivante :

$$W = -P_0(V_f - V_i).$$

Il sait que pour faire l'application numérique, la pression doit être exprimée en pascal et les volumes en  $\text{m}^3$ .

On rappelle que  $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

a) Calculer  $W$  pour  $P_0 = 1,5 \text{ bar}$ ,  $V_i = 5 \text{ L}$  et  $V_f = 3 \text{ L}$  .....

b) Calculer  $W$  pour  $P_0 = 50 \text{ mbar}$ ,  $V_i = 2 \text{ cL}$  et  $V_f = 120 \text{ mL}$  .....

c) Calculer  $W$  pour  $P_0 = 150 \text{ bar}$ ,  $V_i = 20 \text{ cm}^3$  et  $V_f = 10 \text{ cm}^3$  .....

### **A.N.** Entraînement 1.2 — Suite de transformations.



Un système composé de  $n = 2$  moles de gaz en contact avec un milieu extérieur à la pression  $P_{\text{ext}} = 1 \text{ bar}$ , subit une suite de transformations.

Au cours de la première, son volume ne varie pas (transformation isochore).

Au cours de la seconde, la pression extérieure ne varie pas (transformation monobare) et son volume initialement à  $V_i = 1 \text{ L}$  augmente et se fixe à  $V_f = 2 \text{ L}$ .

Les transformations étant quasi statiques, le travail des forces de pression se met sous la forme suivante :

$$W = - \int_{V_{\text{initial}}}^{V_{\text{final}}} P_{\text{ext}} dV.$$

a) Calculer  $W$  au cours de la première transformation .....

b) Calculer  $W$  au cours de la seconde transformation .....



### Entraînement 1.3 — Bataille de travaux sans calculatrice.



Considérons deux systèmes  $A$  et  $B$  recevant de l'énergie du milieu extérieur. La puissance reçue par le premier durant 30 s s'élève à 50 W. Le second reçoit une puissance plus importante (400 W) mais durant un temps plus court (5 s).

Quel système a reçu la plus grande quantité d'énergie (sous forme de travail) ? .....



### Entraînement 1.4 — Calcul d'aires.

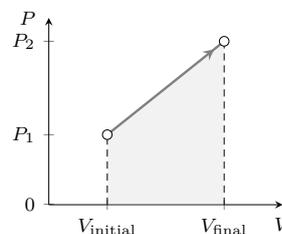
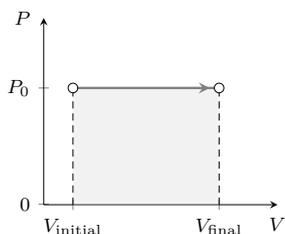


Pour une transformation quasi-statique, le travail des forces de pression s'écrit sous la forme :

$$W = - \int_{V_{\text{initial}}}^{V_{\text{final}}} P dV$$

Ce travail  $W$  correspond alors à l'opposé de l'aire sous la courbe  $P = f(V)$ , pour  $V_{\text{final}} > V_{\text{initial}}$ .

- a) Exprimer le travail  $W$  en fonction des variables  $P_0$ ,  $V_{\text{initial}}$  et  $V_{\text{final}}$ .      b) Exprimer le travail  $W$  en fonction des variables  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $V_{\text{initial}}$  et  $V_{\text{final}}$ .



.....

.....



### Entraînement 1.5 — Différents types de transformations.



Un système est composé de  $n$  moles de gaz parfait, de volume  $V$ , de pression  $P$  et de température  $T$ .

Nous souhaitons évaluer le travail reçu par ce système au cours de transformations quasi statiques :

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

La loi des gaz parfaits assure que  $PV = nRT$ .

#### **Transformation isotherme :**

Au cours de cette transformation, la température du système ne varie pas et  $T = T_0$ .

- a) Écrire  $W$  en fonction de  $n$ ,  $R$ ,  $T_0$ ,  $V_i$  et  $V_f$  .....

#### **Transformation polytropicque et quasi-statique :**

Au cours de cette transformation, on a  $PV^k = \text{constante}$  (avec  $k > 1$ ). Les pressions et volumes du système à l'instant initial seront notés  $P_i$  et  $V_i$  et à l'instant final  $P_f$  et  $V_f$ .

- b) Écrire le travail  $W$  en fonction de  $V_i$ ,  $V_f$ ,  $P_i$ ,  $P_f$  et  $k$  .....

# Variation d'énergie interne et d'enthalpie

## Entraînement 1.6 — Problème d'unités.



La capacité thermique massique de l'eau vaut  $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

La masse molaire de l'eau vaut  $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Une énergie peut être exprimée en joules ou en kilocalories ; on donne la relation  $1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J}$ .

a) Évaluer la capacité thermique molaire  $C_m$  de l'eau en  $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  .....

b) En déduire sa valeur en  $\text{kcal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  .....

## Entraînement 1.7 — Variation d'énergie interne d'une phase condensée.



Un opérateur chauffe une masse  $m$  d'eau liquide de capacité thermique massique  $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ . La température initialement à  $T_i = 20^\circ\text{C}$  se stabilise en fin d'expérience à  $T_f = 30^\circ\text{C}$ .

Il souhaite calculer sa variation d'énergie interne par l'application de la relation suivante :

$$\Delta U = \int_{T_i}^{T_f} C \, dT$$

où  $C$  est la capacité thermique du système.

a) Donner  $\Delta U$  du système en fonction  $c$ ,  $m$ ,  $T_i$  et  $T_f$  .....

b) Calculer  $\Delta U$  en kJ pour  $m = 100 \text{ g}$  .....

## Entraînement 1.8 — Étude d'un gaz parfait diatomique.



Soient  $n$  moles de gaz parfait diatomique évoluant d'un état initial caractérisé par  $T_i = 60^\circ\text{C}$  vers un état final à la température  $T_f = 90^\circ\text{C}$ .

Pour un gaz parfait diatomique, la relation de Mayer impose  $C_P - C_V = nR$ .

Pour un gaz parfait diatomique, on a  $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$ .

a) Exprimer  $C_V$  (la capacité thermique à volume constant du gaz parfait) en fonction de  $n$ ,  $R$  et  $\gamma$

.....

b) Évaluer  $\Delta U = \int_{T_i}^{T_f} C_V \, dT$  pour  $n = 1 \text{ mol}$  .....

c) Exprimer  $C_P$  (la capacité thermique à pression constante du gaz parfait) en fonction de  $n$ ,  $R$  et  $\gamma$

.....

d) Évaluer  $\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} C_P \, dT$  pour  $n = 1 \text{ mol}$  .....



### Entraînement 1.9 — Des variations d'énergie interne.



Suivant la finesse des modèles utilisés, la capacité calorifique à volume constant  $C_V$  peut être une fonction de la température. Le calcul de la variation d'énergie interne  $\Delta U = \int_{T_i}^{T_f} C_V(T) dT$  se fera alors en tenant compte de son expression.

Donner, dans chacun des cas suivants, l'expression de  $\Delta U$ .

a) pour un gaz parfait ( $C_V$  est une constante) .....

b) pour un gaz réel ( $C_V = AT + B$ , où  $A$  et  $B$  sont des constantes) ...

c) pour un solide ( $C_V = DT^3$ , où  $D$  est une constante) .....



### Entraînement 1.10 — Variation d'enthalpie lors d'un changement d'état.



Dans cet entraînement, le système sera de l'eau : à l'état initial, 1 kg d'eau sous forme liquide, à la température de  $0^\circ\text{C}$  ; à l'état final un mélange de 800 g d'eau sous forme solide, et 200 g d'eau sous forme liquide à la température de  $0^\circ\text{C}$ .

On rappelle la valeur de l'enthalpie massique de fusion de l'eau :  $L_{\text{fus}} = 335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

Quelle est la variation d'enthalpie du système? .....

## Applications du premier principe



### Entraînement 1.11 — Détente de Joule-Gay Lussac d'un gaz réel.



La détente de Joule-Gay Lussac est une détente au cours de laquelle l'énergie interne du système est constante :  $\Delta U = 0$ . Pour  $n$  moles d'un gaz réel passant du volume  $V_i$  au volume  $V_f$  et de la température  $T_i$  à la température  $T_f$ , on a alors

$$\Delta U = C_V(T_f - T_i) - n^2 a \left( \frac{1}{V_f} - \frac{1}{V_i} \right) = 0.$$

Exprimer  $T_f$  en fonction de  $T_i$ ,  $C_V$ ,  $n$ ,  $a$ ,  $V_f$ ,  $V_i$  .....



### Entraînement 1.12 — Température finale.



On applique le premier principe à un système subissant une transformation isobare : on a

$$\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} C_P(T) dT = Q.$$

Dans chacun des cas suivants, exprimer  $T_f$  (en fonction de  $T_i$ ,  $Q$  et des paramètres liés à  $C_P$ ).

a)  $C_P = C$  est une constante .....

b)  $C_P = \frac{A}{T}$  (où  $A$  est une constante) .....

c)  $C_P = BT^2$  (où  $B$  est une constante) .....

**Entraînement 1.13 — Transformations du gaz parfait.**



Dans cet entraînement, le système correspond à  $n$  moles de gaz parfait de coefficient adiabatique  $\gamma = 1,4$ . Il subit différentes transformations suivant les questions, et nous noterons les variables dans l'état initial  $P_i, V_i, T_i$  et les variables dans l'état final  $P_f, V_f, T_f$ .

On appliquera le premier principe  $\Delta U = W + Q$ , avec  $\Delta U = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_f - T_i)$  et  $W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV$  pour une transformation quasi-statique.

Dans chaque cas, exprimer le transfert thermique  $Q$  reçu par le gaz.

a) Pour une transformation isotherme (à température constante) .....

b) Pour une transformation isochore (à volume constant) .....

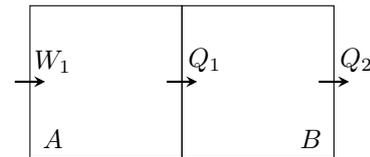
c) Pour une transformation adiabatique (sans transfert thermique) ....

**Entraînement 1.14 — Étude d'une enceinte divisée en deux compartiments.**



Une enceinte est divisée en deux compartiments.

- Le compartiment  $A$  reçoit un travail  $W_1$  de l'extérieur et fournit un transfert thermique  $Q_1$  au compartiment  $B$ .
- Le compartiment  $B$  reçoit un transfert thermique  $Q_1$  du compartiment  $A$  et fournit un transfert thermique  $Q_2$  à l'extérieur.



On rappelle l'expression du premier principe pour un système :  $\Delta U = W + Q$ , où  $\Delta U$  est la variation d'énergie interne du système, et où  $W$  et  $Q$  sont respectivement le travail et le transfert thermique reçus par le système considéré.

a) Exprimer  $\Delta U_A$  la variation d'énergie interne du compartiment  $A$  .....

b) Exprimer  $\Delta U_B$  la variation d'énergie interne du compartiment  $B$  .....

c) Exprimer  $\Delta U_{\text{tot}}$  la variation d'énergie interne des compartiments  $A$  et  $B$ , qui correspond à la somme des variations d'énergie interne des compartiments  $A$  et  $B$  .....

## Calorimétrie

**A.N. Entraînement 1.15 — Capacité thermique d'un calorimètre.**



On considère un calorimètre de valeur en eau  $m = 10$  g. La valeur en eau d'un calorimètre est la masse d'eau ayant la même capacité thermique que le calorimètre vide.

On rappelle la capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_{\text{eau}} = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Que vaut la capacité thermique du calorimètre? .....

🍏 **Entraînement 1.16 — Évolution de la température d'un calorimètre.**



Nous considérons ici un calorimètre initialement à la température  $T_0$  alors que l'air extérieur est à la température  $T_a$ .

Le calorimètre étant de capacité thermique  $C$ , sa température  $T$  évolue au cours du temps et obéit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dT}{dt} + \frac{h}{C}T = \frac{h}{C}T_a.$$

a) Définir un temps caractéristique pour l'équation différentielle .....

b) Résoudre l'équation différentielle et exprimer  $T$  en fonction du temps .....

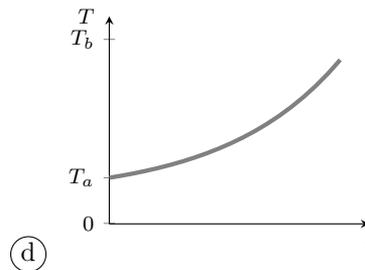
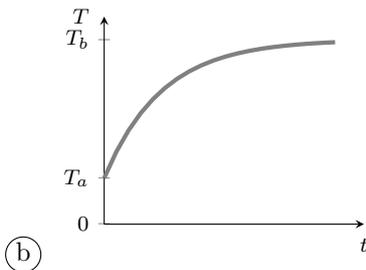
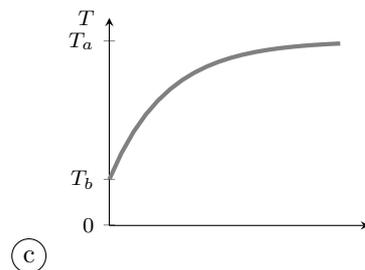
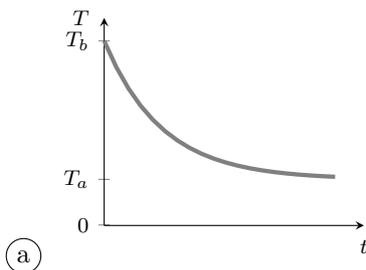
🔧 **Entraînement 1.17 — Évolution temporelle de la température.**



En échangeant avec l'extérieur, la température d'un système varie et suit la loi d'évolution suivante :

$$T = T_b + (T_a - T_b)e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Quelle courbe correspond à cette évolution temporelle ?



.....

 **Entraînement 1.18 — Mélange de liquides.**



Dans un calorimètre, on mélange une masse  $m_1$  d'eau liquide à la température  $T_1$  et une masse  $m_2$  d'eau liquide à la température  $T_2$ .

a) À l'équilibre, la température de l'ensemble  $T_{\text{eq}}$  vérifie l'équation :

$$m_1 c(T_{\text{eq}} - T_1) + m_2 c(T_{\text{eq}} - T_2) = 0.$$

Déterminer  $T_{\text{eq}}$  en fonction de  $T_1, T_2, m_1, m_2$  .....

b) En réalité, des pertes thermiques  $Q$  sont observées durant l'évolution de la température.

La température  $T_{\text{eq}}$  vérifie alors l'équation suivante :

$$m_1 c(T_{\text{eq}} - T_1) + m_2 c(T_{\text{eq}} - T_2) = Q.$$

Déterminer  $T_{\text{eq}}$  en fonction de  $T_1, T_2, m_1, m_2$  et  $Q$  .....

**Réponses mélangées**

$-0,5 \text{ J}$	$\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$	$W_1 - Q_1$	$T_i + \frac{n^2 a}{C_V} \left( \frac{1}{V_f} - \frac{1}{V_i} \right)$
$\frac{A}{2} (T_f^2 - T_i^2) + B(T_f - T_i)$	$300 \text{ J}$	$\frac{nR}{\gamma - 1} (T_f - T_i)$	$42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
$18 \times 10^{-3} \text{ kcal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$	$mc(T_f - T_i)$	$6,2 \times 10^2 \text{ J}$	$\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} + \frac{Q}{(m_1 + m_2)c}$
$\frac{P_f V_f - P_i V_i}{k - 1}$	$-268 \text{ kJ}$	$B$	$150 \text{ J}$
$4,2 \text{ kJ}$	$-P_0(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})$	$0 \text{ J}$	$C_V(T_f - T_i)$
$T_i + \frac{Q}{C}$	$-nRT_0 \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$	$W_1 - Q_2$	$Q_1 - Q_2$
$\frac{D}{4} (T_f^4 - T_i^4)$	$nRT_i \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$	$0$	$\frac{-(P_2 + P_1)(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})}{2}$
$8,7 \times 10^2 \text{ J}$	$\frac{C}{h}$	$\frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$	$76 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
	$-100 \text{ J}$	$T_i e^{\frac{Q}{A}}$	$\left(T_i^3 + \frac{3Q}{B}\right)^{1/3}$
	$(b)$	$T_a + (T_0 - T_a)e^{-\frac{ht}{C}}$	$\frac{nR}{\gamma - 1}$

► Réponses et corrigés page 8

# Fiche n° 1. Premier Principe

## Réponses

1.1 a) .....  $300 \text{ J}$

1.1 b) .....  $-0,5 \text{ J}$

1.1 c) .....  $150 \text{ J}$

1.2 a) .....  $0 \text{ J}$

1.2 b) .....  $-100 \text{ J}$

1.3 .....  $B$

1.4 a) .....  $-P_0(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})$

1.4 b) .....  $\frac{-(P_2 + P_1)(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})}{2}$

1.5 a) .....  $-nRT_0 \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$

1.5 b) .....  $\frac{P_f V_f - P_i V_i}{k - 1}$

1.6 a) .....  $76 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

1.6 b) .....  $18 \times 10^{-3} \text{ kcal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

1.7 a) .....  $mc(T_f - T_i)$

1.7 b) .....  $4,2 \text{ kJ}$

1.8 a) .....  $\frac{nR}{\gamma - 1}$

1.8 b) .....  $6,2 \times 10^2 \text{ J}$

1.8 c) .....  $\frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$

1.8 d) .....  $8,7 \times 10^2 \text{ J}$

1.9 a) .....  $C_V(T_f - T_i)$

1.9 b) .....  $\frac{A}{2}(T_f^2 - T_i^2) + B(T_f - T_i)$

1.9 c) .....  $\frac{D}{4}(T_f^4 - T_i^4)$

1.10 .....  $-268 \text{ kJ}$

1.11 .....  $T_i + \frac{n^2 a}{C_V} \left( \frac{1}{V_f} - \frac{1}{V_i} \right)$

1.12 a) .....  $T_i + \frac{Q}{C}$

1.12 b) .....  $T_i e^{\frac{Q}{A}}$

1.12 c) .....  $\left( T_i^3 + \frac{3Q}{B} \right)^{1/3}$

1.13 a) .....  $nRT_i \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$

1.13 b) .....  $\frac{nR}{\gamma - 1}(T_f - T_i)$

1.13 c) .....  $0$

1.14 a) .....  $W_1 - Q_1$

1.14 b) .....  $Q_1 - Q_2$

1.14 c) .....  $W_1 - Q_2$

1.15 .....  $42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

1.16 a) .....  $\frac{C}{h}$

1.16 b) .....  $T_a + (T_0 - T_a)e^{-\frac{ht}{C}}$

1.17 .....  $(b)$

1.18 a) .....  $\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$

1.18 b) .....  $\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} + \frac{Q}{(m_1 + m_2)c}$

## Corrigés

1.1 a) On a  $W = -(1,5 \times 10^5 \text{ Pa})(3 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = 300 \text{ J}$ .

1.1 b) On a  $P_0 = 50 \text{ mbar} = 50 \times 10^{-3} \text{ bar} = (50 \times 10^{-3}) \times 10^5 \text{ Pa} = 50 \times 10^2 \text{ Pa}$ .

On a  $V_i = 2 \text{ cL} = 2 \times 10^{-2} \text{ L} = (2 \times 10^{-2}) \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ .

On a  $V_f = 120 \text{ mL} = 120 \times 10^{-3} \text{ L} = (120 \times 10^{-3}) \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 12 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ .

On a  $W = -(50 \times 10^2 \text{ Pa}) \times (12 \times 10^{-5} \text{ m}^3 - 2 \times 10^{-5} \text{ m}^3) = -0,5 \text{ J}$ .

1.1 c) On a  $V_i = 20 \text{ cm}^3 = 20 \times 10^{-6} \text{ m}^3$  et  $V_f = 10 \text{ cm}^3 = 10 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ .

On a  $W = -(150 \times 10^5 \text{ Pa}) \times (10 \times 10^{-6} \text{ m}^3 - 20 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 150 \text{ J}$ .

1.2 a) Le volume ne variant pas, on a  $dV = 0$ . Le travail des forces de pression s'écrit  $W = - \int_{V_{\text{initial}}}^{V_{\text{final}}} P_{\text{ext}} dV$ .  
Il est donc nul.

1.2 b) Le travail des forces de pression s'écrit :

$$W = - \int_{V_{\text{initial}}}^{V_{\text{final}}} P_{\text{ext}} dV = -P_{\text{ext}} \int_{V_{\text{initial}}}^{V_{\text{final}}} dV = -P_{\text{ext}}(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})$$

Nous pouvons donc faire l'application numérique :  $W = -1 \times 10^5 \text{ Pa} \times (2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = -100 \text{ J}$ .

1.3 Le système  $A$  a reçu du milieu extérieur un travail  $W_a = 50 \text{ W} \times 30 \text{ s} = 1500 \text{ J}$ .

Le système  $B$  a reçu du milieu extérieur un travail  $W_b = 400 \text{ W} \times 5 \text{ s} = 2000 \text{ J}$ .

Le système  $B$  a donc reçu la plus grande quantité d'énergie.

1.4 a) Le travail correspond à l'opposé de l'aire sous la courbe, et donc à l'opposé de l'aire du rectangle :

$$W = -P_0(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}}).$$

1.4 b) On décompose l'aire sous la courbe en un rectangle et en un triangle :

$$W = - \left( P_1(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}}) + \frac{(P_2 - P_1)(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})}{2} \right) = - \frac{(P_2 + P_1)(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})}{2}.$$

1.5 a) Le système est un gaz parfait, nous avons donc  $PV = nRT$ . De plus, la température reste constante et vaut  $T_0$ . Le travail s'écrit alors :  $W = -nRT_0 \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV = -nRT_0 \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ .

1.5 b) La transformation étant polytropique, on a alors  $P_i V_i^k = P_f V_f^k = PV^k$ . Le travail s'exprime alors :

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} \frac{P_i V_i^k}{V^k} dV = - \frac{P_i V_i^k}{1-k} \left( \frac{1}{V_f^{k-1}} - \frac{1}{V_i^{k-1}} \right) = \frac{P_f V_f - P_i V_i}{k-1}.$$

**1.6 a)** Par définition, on a  $c = \frac{C}{m} = n \frac{C_m}{m}$ . Et donc  $C_m = M_{\text{H}_2\text{O}} \times c = 76 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**1.6 b)** On a  $C_m = \frac{76 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}}{4184} = 18 \times 10^{-3} \text{ kcal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**1.7 a)** La masse  $m$  d'eau liquide de capacité thermique massique  $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  aura une capacité thermique  $C = mc$ . Ainsi, on a  $\Delta U = mc(T_f - T_i)$ .

**1.7 b)** Notons que la température doit être exprimée en kelvin. Ici, on a  $T_i = 293 \text{ K}$  et  $T_f = 303 \text{ K}$ . Nous obtenons donc  $\Delta T = 10 \text{ K}$ . Ainsi, on a  $\Delta U = 100 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 \text{ K} = 4,2 \text{ kJ}$ .

**1.8 a)** On commence par exprimer la capacité thermique à volume constant  $C_V$  du gaz parfait, à partir de la relation de Mayer  $C_P - C_V = nR$  et du rapport des capacités thermiques  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ . On obtient  $C_V = \frac{nR}{\gamma - 1}$ .

**1.8 b)** La grandeur  $C_V$  étant constante, la variation d'énergie interne d'un gaz parfait peut être écrite :

$$\Delta U = C_V \Delta T = C_V (T_f - T_i) = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_f - T_i).$$

On passe alors à l'application numérique : on a  $\Delta U = \frac{1 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 30 \text{ K}}{1,4 - 1} = 6,2 \times 10^2 \text{ J}$ .

**1.8 c)** On commence par exprimer la capacité thermique à volume constant  $C_P$  du gaz parfait, à partir de la relation de Mayer  $C_P - C_V = nR$  et du rapport des capacités thermiques  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ . On obtient  $C_P = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$ .

**1.8 d)** La grandeur  $C_P$  étant constante, la variation d'enthalpie d'un gaz parfait s'exprime :

$$\Delta H = C_P \Delta T = C_P (T_f - T_i) = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1} (T_f - T_i).$$

On passe alors à l'application numérique : on a  $\Delta H = \frac{1 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1,4}{1,4 - 1} \times 30 \text{ K} = 8,7 \times 10^2 \text{ J}$ .

**1.9 a)** On a  $\Delta U = C_V \Delta T = C_V (T_f - T_i)$ .

**1.9 b)** On a  $\Delta U = \frac{A}{2} (T_f^2 - T_i^2) + B(T_f - T_i)$ .

**1.9 c)** On a  $\Delta U = \frac{D}{4} (T_f^4 - T_i^4)$ .

**1.10** Pour cette transformation, nous avons une masse  $m_l = 800 \text{ g}$  d'eau qui est transformée de l'état liquide à l'état solide, et qui subit donc une solidification (transformation inverse d'une fusion).

La variation d'enthalpie s'exprime :  $\Delta H = -m_l \times L_{\text{fus}} = 0,800 \text{ kg} \times -335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = -268 \text{ kJ}$ .

**1.11** On a  $T_f = T_i + \frac{n^2 a}{C_V} \left( \frac{1}{V_f} - \frac{1}{V_i} \right)$ .

**1.12 a)** On a alors  $C(T_f - T_i) = Q$ , et donc  $T_f = T_i + \frac{Q}{C}$ .

**1.12 b)** On a alors  $A \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) = Q$ , et donc  $T_f = T_i e^{\frac{Q}{A}}$ .

**1.12 c)** On a alors  $B\left(\frac{T_f^3}{3} - \frac{T_i^3}{3}\right) = Q$ , et donc  $T_f = \left(T_i^3 + \frac{3Q}{B}\right)^{1/3}$ .

**1.13 a)** Le système est un gaz parfait, et nous avons donc  $PV = nRT$ , avec  $T$  la température qui est constante et qui vaut donc  $T_i$ . Le travail s'exprime donc :

$$W = -nRT_i \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = -nRT_i \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right).$$

D'après la première loi de Joule, pour un gaz parfait la variation d'énergie interne s'exprime :  $\Delta U = C_v \Delta T = 0$ .

On obtient finalement :  $Q = -W = nRT_i \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$ .

**1.13 b)** Pour un transformation isochore, le travail est nul :  $W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV = 0$ .

On obtient alors :  $Q = \Delta U = \frac{nR}{\gamma - 1}(T_f - T_i)$ .

**1.13 c)** Pour une transformation adiabatique, le transfert thermique reçu de l'extérieur est nul, et donc  $Q = 0$ .

**1.14 a)** On a  $\Delta U_A = W_A + Q_A$  avec  $W_A = W_1$  et  $Q_A = -Q_1$ . Ainsi, on a  $\Delta U_1 = W_1 + Q_1$ .

**1.14 b)** On a  $\Delta U_B = W_B + Q_B$  avec  $W_B = 0$  et  $Q_B = Q_1 - Q_2$ . Ainsi, on a  $\Delta U_2 = Q_1 - Q_2$ .

**1.14 c)** On a  $\Delta U_{\text{tot}} = \Delta U_A + \Delta U_B = W_1 - Q_1 + Q_1 - Q_2 = W_1 - Q_2$ .

**1.15** La capacité thermique du calorimètre vaut donc  $C = m \times c_{\text{eau}}$ . On obtient  $C = 42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ .

**1.16 a)** Le temps caractéristique pour l'équation différentielle obtenue est  $\tau = \frac{C}{h}$ .

**1.16 b)** On obtient  $T = T_a + (T_0 - T_a)e^{-\frac{ht}{C}}$  en sommant solutions particulière et homogène, et en appliquant la condition initiale  $T(0) = T_0$ .

**1.17** La température initiale est  $T_a$ , donc la courbe doit commencer en  $T_a$ . Les courbes (a) et (c) sont donc exclues. La courbe (d) correspond à une exponentielle croissante, et ne convient donc pas. La réponse est (b).

**1.18 a)** On trouve  $T_{\text{eq}} = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$ .

**1.18 b)** On trouve  $T_{\text{eq}} = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} + \frac{Q}{(m_1 + m_2)c}$ .