

Page web du *Cahier d'entraînement*,
dernières versions



Ce cahier d'entraînement a été écrit collectivement par des professeurs en classes préparatoires scientifiques.

Coordination

Colas BARDAVID et Jimmy ROUSSEL

Équipe des participants

Stéphane BARGOT, Claire BOGGIO, Cécile BONNAND, Alexis BRÈS, Geoffroy BURGUNDER, Erwan CAPITAINE, Caroline CHEVALIER, Maxime DEFOSSEUX, Raphaëlle DELAGRANGE, Alexis DROUARD, Gaele DUMAS, Alexandre FAFIN, Jean-Julien FLECK, Aéla FORTUN, Florence GOUTVERG, Chahira HAJLAOUI, Mathieu HEBDING, Lucas HENRY, Didier HÉRISSON, Jean-Christophe IMBERT, Fanny JOSPITRE, Tom KRISTENSEN, Emmanuelle LAAGE, Catherine LAVAINNE, Maxence MIGUEL-BREBION, Anne-Sophie MOREAU, Louis PÉAULT, Isabelle QUINOT, Valentin QUINT, Alain ROBICHON, Caroline ROSSI-GENDRON, Nancy SAUSSAC, Anthony YIP

Le pictogramme 🕒 de l'horloge a été créé par Ralf SCHMITZER (The Noun Project).

Le pictogramme 🚜 du bulldozer a été créé par Ayub IRAWAN (The Noun Project).

La photographie de la couverture vient de TWITTER. L'illustration est utilisée à des fins pédagogiques et les droits restent réservés.

Version 1.2.0 — 17 août 2024

Mode d'emploi

Qu'est-ce que le cahier d'entraînement ?

Le *cahier d'entraînement en physique-chimie* est un outil destiné à renforcer l'acquisition de **réflexes utiles en physique et en chimie**.

Il ne se substitue en aucun cas aux TD donnés par votre professeur ; travailler avec ce cahier d'entraînement vous permettra en revanche d'aborder avec plus d'aisance les exercices de physique-chimie.

Pour donner une analogie, on pourrait dire que ce cahier d'entraînement est comparable aux **exercices de musculation** d'un athlète : ils sont nécessaires pour mieux réussir le jour J lors de la compétition, mais ils ne sont pas suffisants : un coureur de sprint fait de la musculation, mais il fait également tout un tas d'autres exercices.

Ce cahier a été conçu par une large équipe de professeurs en classes préparatoires, tous soucieux de vous apporter l'aide et les outils pour réussir.

Comment est-il organisé ?

Le cahier est organisé en *fiches d'entraînement*, chacune correspondant à un thème issu du programme de première année d'enseignement supérieur.

Les thèmes choisis sont dans l'ensemble au programme de toutes les CPGE. De rares thèmes sont spécifiques à la filière PCSI, mais les intitulés sont suffisamment clairs pour que vous puissiez identifier facilement les fiches qui vous concernent.

Chaque fiche est composée d'une suite de petits exercices, appelés *entraînements*, dont le temps de résolution estimé est indiqué par une (🕒), deux (🕒🕒), trois (🕒🕒🕒) ou quatre (🕒🕒🕒🕒) horloges.

Les exercices « bulldozer »

Certains entraînements sont accompagnés d'un pictogramme représentant un bulldozer.



Ces entraînements sont **basiques et transversaux**.

Les compétences qu'ils mettent en jeu ne sont pas forcément spécifiques au thème de la fiche et peuvent être transversales.

Ce pictogramme a été choisi car le bulldozer permet de construire les fondations, et que c'est sur des fondations solides que l'on bâtit les plus beaux édifices. Ces entraînements sont donc le gage pour vous d'acquérir un socle solide de savoir-faire.

Comment utiliser ce cahier ?

Le cahier d'entraînement ne doit pas remplacer vos TD. Il s'agit d'un outil à utiliser en complément de votre travail « normal » en physique (apprentissage du cours, recherche de TD, recherche des DM).

Un travail personnalisé.

Le cahier d'entraînement est prévu pour être **utilisé en autonomie**.

Choisissez vos entraînements en fonction des difficultés que vous rencontrez, des chapitres que vous étudiez, ou bien en fonction des conseils de votre professeur.

Ne cherchez pas à faire linéairement ce cahier : les fiches ne sont pas à faire dans l'ordre, mais en fonction des points que vous souhaitez travailler.

Un travail régulier.

Pratiquez l'entraînement à un rythme régulier : **une dizaine de minutes par jour** par exemple. Privilégiez un travail régulier sur le long terme plutôt qu'un objectif du type « faire dix fiches par jour pendant les vacances ».

Un travail efficace.

Utilisez les réponses et les corrigés de façon appropriée : il est important de chercher suffisamment par vous-même avant d'aller les regarder. Il faut vraiment **persévérer** dans votre raisonnement et vos calculs avant d'aller voir le corrigé si vous voulez que ces entraînements soient efficaces.

Une erreur ? Une remarque ?

Si jamais vous voyez une erreur d'énoncé ou de corrigé, ou bien si vous avez une remarque à faire, n'hésitez pas à écrire à l'adresse cahier.entrainement@gmail.com.

Si vous pensez avoir décelé une erreur, merci de donner aussi l'identifiant de la fiche, écrit en gris en haut à gauche de chaque fiche.

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 19.1 — 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 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 $V_f = 10 \text{ cm}^3$

Entraînement 19.2 — 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 19.3 — 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 19.4 — Calcul d'aires.



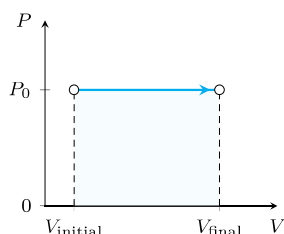
Pour une transformation quasi-statique, le travail des forces de pression s'écrit sous la forme :

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

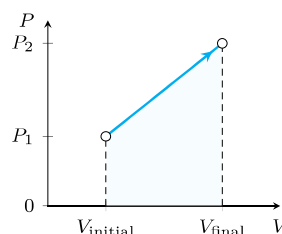
Ce travail W correspond alors à l'opposé de l'aire sous la courbe $P = f(V)$, pour $V_{\text{final}} > V_{\text{initial}}$.

a) Exprimer le travail W en fonction des variables P_0 , V_{initial} et V_{final} .

b) Exprimer le travail W en fonction des variables P_1 , P_2 , V_{initial} et V_{final} .



.....



.....



Entraînement 19.5 — 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 polytropique 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 19.6 — 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 19.7 — 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 ΔU du système en fonction c , m , T_i et T_f

b) Calculer ΔU en kJ pour $m = 100 \text{ g}$

Entraînement 19.8 — 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 γ

.....

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 γ

.....

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

**Entraînement 19.9 — 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 ΔU .

- 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 19.10 — 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°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°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 19.11 — 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 19.12 — 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 19.13 — 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)

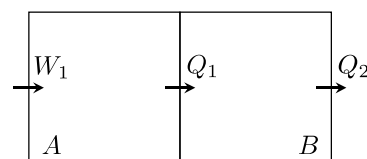
b) Pour une transformation isochore (à volume constant)

c) Pour une transformation adiabatique (sans transfert thermique)

Entraînement 19.14 — 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 ΔU 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 ΔU_A la variation d'énergie interne du compartiment A

b) Exprimer ΔU_B la variation d'énergie interne du compartiment B

c) Exprimer ΔU_{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

Entraînement 19.15 — 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 19.16 — 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



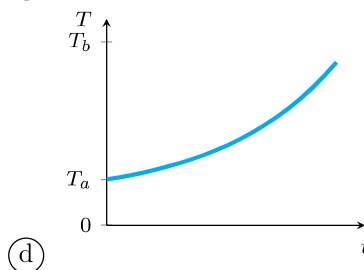
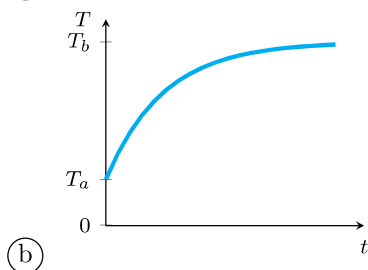
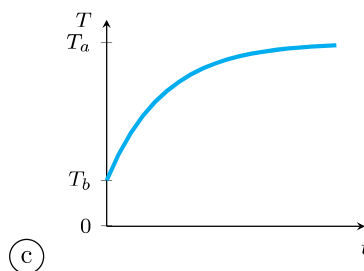
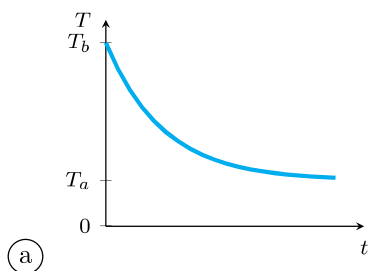
Entraînement 19.17 — Évolution temporelle de la température.



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 19.18 — 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_{eq} vérifie l'équation :

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

Déterminer T_{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_{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_{eq} en fonction de T_1, T_2, m_1, m_2 et Q

Réponses mélangées

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

► Réponses et corrigés page 299

Fiche n° 19. Premier Principe

Réponses

19.1 a)	300 J
19.1 b)	-0,5 J
19.1 c)	150 J
19.2 a)	0 J
19.2 b)	-100 J
19.3	B
19.4 a)	$-P_0(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})$
19.4 b)	$\frac{-(P_2 + P_1)(V_{\text{final}} - V_{\text{initial}})}{2}$
19.5 a)	$-nRT_0 \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$
19.5 b)	$\frac{P_f V_f - P_i V_i}{k - 1}$
19.6 a)	$76 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
19.6 b)	$18 \times 10^{-3} \text{ kcal} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
19.7 a)	$mc(T_f - T_i)$
19.7 b)	4,2 kJ
19.8 a)	$\frac{nR}{\gamma - 1}$
19.8 b)	$6,2 \times 10^2 \text{ J}$
19.8 c)	$\frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$
19.8 d)	$8,7 \times 10^2 \text{ J}$
19.9 a)	$C_V(T_f - T_i)$
19.9 b)	$\frac{A}{2}(T_f^2 - T_i^2) + B(T_f - T_i)$

19.9 c)	$\frac{D}{4}(T_f^4 - T_i^4)$
19.10	-268 kJ
19.11	$T_i + \frac{n^2 a}{C_V} \left(\frac{1}{V_f} - \frac{1}{V_i} \right)$
19.12 a)	$T_i + \frac{Q}{C}$
19.12 b)	$T_i e^{\frac{Q}{A}}$
19.12 c)	$\left(T_i^3 + \frac{3Q}{B} \right)^{1/3}$
19.13 a)	$nRT_i \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$
19.13 b)	$\frac{nR}{\gamma - 1}(T_f - T_i)$
19.13 c)	0
19.14 a)	$W_1 - Q_1$
19.14 b)	$Q_1 - Q_2$
19.14 c)	$W_1 - Q_2$
19.15	$42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
19.16 a)	$\frac{C}{h}$
19.16 b)	$T_a + (T_0 - T_a)e^{-\frac{ht}{C}}$
19.17	ⓑ
19.18 a)	$\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2}$
19.18 b)	$\frac{m_1 T_1 + m_2 T_2}{m_1 + m_2} + \frac{Q}{(m_1 + m_2)c}$

Corrigés

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

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

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

19.2 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.

19.2 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 : $W = -1 \times 10^5 \text{ Pa} \times (2 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = -100 \text{ J}$.

19.3 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.

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

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

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

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

19.5 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 : $W = -nRT_0 \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV = -nRT_0 \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$.

19.5 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 :

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

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

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

19.7 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 $\Delta U = mc(T_f - T_i)$.

19.7 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 $\Delta U = 100 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1} \times 10 \text{ K} = 4,2 \text{ kJ}$.

19.8 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 $C_V = \frac{nR}{\gamma - 1}$.

19.8 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 $\Delta U = \frac{1 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 30 \text{ K}}{1,4 - 1} = 6,2 \times 10^2 \text{ J}$.

19.8 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 $C_P = \frac{nR\gamma}{\gamma - 1}$.

19.8 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 $\Delta H = \frac{1 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1,4}{1,4 - 1} \times 30 \text{ K} = 8,7 \times 10^2 \text{ J}$.

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

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

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

19.10 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 : $\Delta H = -m_l \times L_{\text{fus}} = 0,800 \text{ kg} \times -335 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = -268 \text{ kJ}$.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

19.16 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 $T(0) = T_0$.

19.17 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).

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

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