

CAPES INTERNE PHYSIQUE 2005-BAREME

Physique :

Questions	Correction succincte
A-I-1-a	L'énergie interne U d'un système thermodynamique (Σ) correspond à la somme de l'énergie cinétique microscopique (ou énergie cinétique barycentrique) des particules de (Σ) et de l'énergie potentielle d'interaction des constituants de (Σ) : $U = \varepsilon_{\text{c micro}} + \varepsilon_{\text{p int}}$
A-I-1-b	Premier Principe de la Thermodynamique : Soit un système fermé (Σ) évoluant entre deux états ① et ② en recevant algébriquement de l'extérieur un transfert thermique Q et un travail W. Le bilan d'énergie s'écrit : $\Delta U + \Delta E_m = W + Q$ avec $\Delta U = U_2 - U_1$ et $\Delta E_m = E_{m2} - E_{m1}$ la variation d'énergie mécanique (dans de nombreux cas, ce terme est négligeable devant ΔU).
A-I-1-c	Détente de Joule Gay-Lussac : système (Σ) = { contenu des compartiments A et B } • $\Delta E_m = 0$ (système au repos et pas de variation de $E_{\text{p pesanteur}}$) • Les parois sont rigides, donc le volume des compartiments est constant et le travail des forces de pression est nul : $W_1 = 0$. • Les parois sont calorifugées, donc le système n'échange pas de chaleur avec l'extérieur : $Q_1 = 0$. Par application du premier principe : $\Delta U_1 = \Delta U_{\text{gaz}} = 0$
A-I-2-a	GPM : gaz constitué d'atomes identiques, ponctuels et sans interactions entre eux. Ceci suppose que ces atomes ne subissent de chocs que sur la paroi du récipient qui les contient (libre parcours moyen entre 2 chocs $\gg$ dimensions du récipient).
A-I-2-b	La capacité thermique isochore molaire C_{vm} correspond à la chaleur nécessaire pour élever d'un degré Kelvin une mole de GPM, à volume constant : $C_{vm} = \left(\frac{\partial U_m}{\partial T} \right)_V = \frac{1}{n} \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$
A-I-2-c	• Pression initiale du GPM : Equation d'état du GPM : $P_o \cdot V_o = n \cdot R \cdot T_o$ $P_o = \frac{n \cdot R \cdot T_o}{V_o} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ d'où • État final du gaz : L'énergie interne d'un GPM ne dépend que de la température (1^{ère} loi de Joule), comme $\Delta U_1 = 0$, on a donc $T_{f1} = T_o = 300 \text{ K}$. Equation d'état du GPM : $P_{f1} \cdot (2V_o) = n \cdot R \cdot T_o$ d'où $P_{f1} = \frac{P_o}{2} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

A-I-3-a	Entropie : on l'exprime sur un chemin fictif réversible. $dS_1 = dS_{\text{gaz}} = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T} = \frac{dU_{\text{gaz}} - \delta W_{\text{rév}}}{T} = n.C_{\text{vm}} \cdot \frac{dT}{T} + \frac{P.dV}{T} = n.C_{\text{vm}} \cdot \frac{dT}{T} + n.R \cdot \frac{dV}{V}$ $\Delta S_1 = n.R \ln\left(\frac{2V_0}{V_0}\right)$ Pour la détente de Joule Gay-Lussac : $\Delta S_1 = n.R \ln(2) = 5,8 \text{ J.K}^{-1}$
A-I-3-b	$\delta S^e = \frac{\delta Q}{T_{\text{source}}}$ Entropie échangée : , or ici il n'y a pas d'échange thermique donc $S_1^e = 0$. Entropie créée : $dS = \delta S^e + \delta S^c$ d'où $S_1^c = \Delta S_1$
A-I-3-c	D'après le deuxième principe de la thermodynamique comme le système (Σ) est fermé et calorifugé son entropie ne peut qu'augmenter. Le résultat précédent $\Delta S_1 > 0$ ou $S_1^c > 0$ est donc conforme au deuxième principe.

A-II-1-a	La transformation est brutale donc <u>irréversible</u> et comme il y a un thermostat, la transformation est globalement <u>isotherme</u> .
A-II-1-b	État final du GPM : - avec le thermostat on aura à l'équilibre thermique $T_{f2} = T_0$. - à l'équilibre mécanique, le piston est immobile donc la pression du gaz équilibre celle de l'atmosphère $P_{f2} = \frac{P_0}{2}$. - on obtient le volume par l'équation d'état : $V_{f2} = 2.V_0$.
A-II-1-c	- Le GPM suit la première loi de Joule et la transformation globalement isotherme donc $\Delta U_2 = 0$. - La pression extérieure (atmosphérique) est constante : $\delta W_2 = -P_{\text{ext}} \cdot dV = -\frac{P_0}{2} \cdot dV$ d'où en intégrant : $W_2 = -\frac{P_0}{2} \cdot (2V_0 - V_0) = -\frac{P_0 \cdot V_0}{2}$. $W_2 = -\frac{n.R.T_0}{2} = -1,2.10^3 \text{ J}$ Par le premier principe de la thermodynamique : $Q_2 = -W_2 = 1,2.10^3 \text{ J}$.
A-II-1-d	Variation d'entropie du gaz : $dS_2 = n.C_{\text{vm}} \cdot \frac{dT}{T} + n.R \cdot \frac{dV}{V}$ d'où $\Delta S_2 = n.R \cdot \ln\left(\frac{2V_0}{V_0}\right)$. $\Delta S_2 = n.R \cdot \ln(2)$ $\Delta S_2 = 5,8 \text{ J.K}^{-1}$
A-II-1-e	$\delta S_2^e = \frac{\delta Q_2}{T_{\text{thermostat}}} = \frac{-\delta W_2}{T_0} = \frac{P_0}{2.T_0} \cdot dV$ Entropie échangée :

	$S_2^e = \frac{P_o \cdot V_o}{2 \cdot T_o} \quad S_2^e = \frac{n \cdot R}{2} = 4,2 \text{ J.K}^{-1}$ Entropie créée : $S_2^c = \Delta S_2 - S_2^e = 1,6 \text{ J.K}^{-1}$
A-II-2-a	La transformation est lente donc <u>quasi-statique</u> et sans frottement donc <u>réversible</u> . Comme il y a un thermostat, la transformation est <u>isotherme</u> .
A-II-2-b	L'état final est identique au précédent : $T_{f2} = T_o$; $P_{f2} = \frac{P_o}{2}$; $V_{f2} = 2 \cdot V_o$. · Le GPM suit la première loi de Joule et la transformation globalement isotherme donc $\Delta U_3 = 0$. · La pression extérieure (atmosphère + opérateur) équilibre à tout instant la pression du gaz : $\delta W_3 = -P_{\text{ext}} \cdot dV = -P \cdot dV = -\frac{n \cdot R \cdot T_o \cdot dV}{V}$ $W_3 = -n \cdot R \cdot T_o \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot V_o}{V_o}\right)$ d'où en intégrant : $W_3 = -n \cdot R \cdot T_o \cdot \ln(2) = -1,7 \cdot 10^3 \text{ J}$ · Par le premier principe de la thermodynamique : $Q_3 = -W_3 = 1,7 \cdot 10^3 \text{ J}$.
A-II-2-c	Variation d'entropie du gaz : $dS_3 = n \cdot C_{\text{vm}} \cdot \frac{dT}{T} + n \cdot R \cdot \frac{dV}{V}$ d'où $\Delta S_3 = n \cdot R \cdot \ln\left(\frac{2V_o}{V_o}\right)$. $\Delta S_3 = n \cdot R \cdot \ln(2) = 5,8 \text{ J.K}^{-1}$.
A-II-2-d	Entropie échangée : $\delta S_3^e = \frac{\delta Q_3}{T_{\text{thermostat}}} = \frac{-\delta W_3}{T_o} = \frac{n \cdot R \cdot dV}{V}$ $S_3^e = n \cdot R \cdot \ln(2) = 5,8 \text{ J.K}^{-1}$ Entropie créée : $S_3^c = \Delta S_3 - S_3^e = 0 \text{ J.K}^{-1}$ On retrouve la réversibilité.

A-III-1	Dans les trois détente, on a le même état initial et le même état final. Dans les trois cas $\Delta U = 0$. L'énergie interne est une <u>fonction d'état</u> : <u>sa variation ne dépend pas du chemin suivi</u>. Elle ne dépend que de l'état initial et de l'état final du gaz. On obtient un travail et une chaleur spécifiques pour chacune des détente. <u>Travail et chaleur sont des transferts d'énergie qui ont lieu pendant la transformation et ils dépendent du chemin suivi pour passer de l'état initial à l'état final du gaz.</u>
A-III-2	Dans les trois cas $\Delta S = n \cdot R \cdot \ln(2)$. L'entropie est une <u>fonction d'état</u> : <u>sa variation ne dépend pas du chemin suivi</u>. Elle ne dépend que de l'état initial et de l'état final du gaz. On obtient une entropie créée et une entropie échangée spécifiques pour chacune des détente. <u>L'entropie créée et l'entropie échangée dépendent du chemin suivi pour passer de l'état initial à l'état final du gaz.</u>

Questions	Correction succincte
B-I-1	· Dans un référentiel galiléen, un point matériel isolé possède un mouvement rectiligne uniforme. · Le référentiel géocentrique est galiléen en première approximation car la période de révolution de la Terre autour du soleil est très supérieure à la période de révolution du satellite artificiel.
B-I-2	$\vec{f}(r) = -\frac{G.m.M_T}{r^2} \cdot \vec{u}_r$ Champ de force : Quelque soit la position du satellite S, la force est dirigée vers le centre O de la Terre. C'est donc un champ de force central.
B-I-3	Énergie potentielle de gravitation : $\delta W = \vec{f} \cdot d\vec{r} = -\frac{G.m.M_T}{r^2} \cdot dr = -dE_p$ D'où $E_p(r) = -\frac{G.m.M_T}{r} + c^{ste}$ or $E_p(\infty) = 0 = c^{ste}$, soit : $E_p(r) = -\frac{G.m.M_T}{r}$ $E_p(r) = -\frac{G.m.M_T}{r} \leq 0$ <u>La force de gravitation est attractive (centripète).</u>

B-II-1	L'énergie mécanique est conservée au cours du mouvement car il n'y a pas de force non conservative. De plus à rayon constant, $E_p(r) = cst$. Or $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = 0$, donc $\Delta E_c = 0$ càd $\ \vec{v}\ = cst$. Le mouvement est donc circulaire et uniforme.
B-II-2	· Expression de la norme de la vitesse du satellite : Dans la base des cylindriques : $v = \ \vec{v}\ = r \cdot \dot{\theta}$ donc $\dot{\theta} = cst$ et l'accélération s'écrit : $\vec{a} = (-r \cdot \dot{\theta}^2) \vec{u}_r = -\frac{v^2}{r} \vec{u}_r$ Avec le PFD appliqué au satellite dans R : $-m \cdot \frac{v^2}{r} \vec{u}_r = -\frac{G.m.M_T}{r^2} \cdot \vec{u}_r$ D'où $v = \sqrt{\frac{G.M_T}{r}} = \sqrt{\frac{G.M_T}{h + R_T}}$ · Expression de la période de révolution du satellite : $T = \frac{2\pi \cdot r}{v}$ car le mouvement est circulaire uniforme. D'où $T = \frac{2\pi \cdot (h + R_T)^{3/2}}{\sqrt{G.M_T}}$
B-II-3	Cas particulier de SPOT 1 : avec $T = 6060$ s, on obtient

	$h = \left(\frac{T \cdot \sqrt{G \cdot M_T}}{2\pi} \right)^{2/3} - R_T$ $h = 8,20 \cdot 10^2 \text{ km}$ $v = \sqrt{\frac{G \cdot M_T}{h + R_T}} = 7,45 \text{ km.s}^{-1}$ et <u>Vitesse de libération du satellite</u> : partant du sol de la Terre, on envoie le satellite à un rayon qui tend vers l'infini (il ne ressent plus l'effet de la gravitation terrestre) et pour avoir la vitesse minimale de libération, on suppose que quand $r \rightarrow \infty$, la vitesse du satellite est nulle (trajectoire parabolique) : $\frac{1}{2} m \cdot v_{\text{lib}}^2 - \frac{G \cdot m \cdot M_T}{R_T} = 0$ Avec le théorème de l'énergie mécanique : d'où $v_{\text{lib}} = 11 \text{ km.s}^{-1}$ <u>On trouve que le satellite est dans un état lié</u> : $v < v_{\text{lib}}$
B-II-4	$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ $E_p = -\frac{G \cdot m \cdot M_T}{h + R_T} = -m \cdot v^2 = -2 \cdot E_c \quad E_p = -m \cdot v^2$ $E_m = E_c + E_p = -E_c = -\frac{1}{2} m \cdot v^2 < 0$ (condition de l'état lié sur E_m)
B-II-5	Avant le lancement, le satellite est au sol. Sa trajectoire est circulaire de rayon $R_T \cdot \cos(\lambda)$, sa vitesse de rotation angulaire correspond à celle de la surface de la Terre et son altitude est nulle. $E_{m \text{ sol}} = E_{c \text{ sol}} + E_{p \text{ sol}} = \frac{1}{2} \cdot m (R_T \cdot \Omega \cdot \cos(\lambda))^2 - \frac{G \cdot m \cdot M_T}{R_T}$
B-II-6-a	A l'équateur $\lambda = 0$, d'où l'énergie minimale à transférer au satellite pour le mettre en orbite : $W_o = E_m - E_{m \text{ sol}} = -\frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m (R_T \cdot \Omega)^2 + \frac{G \cdot m \cdot M_T}{R_T}$ AN : $W_o = 6,36 \cdot 10^{10} \text{ J}$
B-II-6-b	En Floride $\lambda = 28^\circ$, d'où l'énergie minimale à transférer au satellite pour le mettre en orbite : $W_\lambda = E_m - E_{m \text{ sol}} = -\frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m (R_T \cdot \Omega \cdot \cos(\lambda))^2 + \frac{G \cdot m \cdot M_T}{R_T}$ AN : $W_\lambda = 6,37 \cdot 10^{10} \text{ J}$
B-II-6-c	$W_o < W_\lambda$, il est donc un peu plus avantageux d'effectuer le lancement depuis la base de Kourou à l'équateur.