

EXAMEN DE THERMODYNAMIQUE (2^{ème} session)

Durée : 1 heure 30

Les documents et les téléphones portables ne sont pas autorisés. Les calculatrices sont autorisées. Barème approximatif : 1^{er} problème : 10 points ; 2^{ème} problème : 10 points.

1 Vaporisation de l'eau

Une masse $M = 1$ kg d'eau liquide est contenue dans un récipient fermé par un piston, à 100°C sous $P_a = 1$ atm. On donne la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100°C : $L_v = 2,25 \times 10^6$ J.kg⁻¹.

1/ Par déplacement infiniment lent du piston, l'ensemble étant placé dans un thermostat à 100°C , on réalise la vaporisation totale de l'eau. Dans l'état final, juste à la fin de la vaporisation totale, le volume occupé par la vapeur d'eau est $V_f = 1,67$ m³ (il est très grand devant le volume occupé initialement par l'eau liquide).

- (a) Représentez la transformation subie par la masse d'eau dans un diagramme de Clapeyron sur lequel vous placerez la courbe de saturation et l'isotherme d'Andrews pertinent.
- (b) Calculez la chaleur et le travail mécanique reçus par l'eau ainsi que ses variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie.
- (c) Quelle est la variation d'entropie de l'univers (c'est à dire de l'ensemble {eau+thermostat}) ?

2/ On place directement la masse $M = 1$ kg d'eau liquide, prise à 100°C , dans un récipient thermostaté à 100°C et de volume $V_f = 1,67$ m³ initialement vide^a. L'eau s'y vaporise instantanément. On a donc les mêmes états final et initial qu'à la question précédente. Déterminez les mêmes grandeurs qu'en 1/(b) et (c).

^aLa procédure est la suivante: on met côte à côte deux enceintes, l'une contenant l'eau liquide, l'autre initialement vide. Elle sont séparées par une paroi que l'on escamote, ce qui permet au système d'occuper un volume total final V_f .

2 Chauffage d'une pièce

On veut faire passer la température d'une pièce de $T_1 = 10^\circ\text{C}$ à $T_2 = 20^\circ\text{C}$. La pièce contient initialement n_1 moles d'air à la pression $P_1 = P_{\text{atm}}$. L'air est considéré comme un gaz parfait diatomique.

0/ *Question de cours:* Rappeler la valeur de la capacité thermique à volume constant et de la capacité thermique à pression constante de n moles d'un gaz parfait diatomique.

1/ On considère que la pièce est hermétiquement close. Donner, dans ces conditions, l'expression de la quantité de chaleur Q_V nécessaire au processus en fonction de n_1 , T_1 et T_2 . Donner la valeur numérique de Q_V par m³ de pièce (on exprimera le résultat en W.h/m³). Quelle est la valeur de la variation d'énergie interne de la pièce ?

2/ On considère dans tout ce qui suit un scénario plus réaliste: la pièce échange toujours un peu d'air avec l'extérieur de sorte que le chauffage s'effectue à pression constante, avec un nombre de moles d'air qui varie.

- (a) Donner, dans ces conditions, l'expression de la quantité de chaleur Q_P nécessaire au processus en fonction de n_1 , T_1 et T_2 .
- (b) Dans la limite où la variation relative de température est faible (hypothèse qu'on vous demande de vérifier), donner une expression approchée de Q_P (on rappelle que $\ln(1 + \epsilon) \simeq \epsilon$ pour $|\epsilon| \ll 1$).

Donner, dans le cadre de cette approximation, la valeur numérique de Q_P par m^3 de pièce (exprimée en W.h/m^3).

- (c) L'énergie interne *molaires* de l'air est de la forme $\mathcal{U}(T) = \frac{5}{2}RT + \mathcal{U}_0$ où l'on admettra que la constante \mathcal{U}_0 est positive. Donner l'expression de la variation d'énergie interne de la pièce au cours du processus qui fait passer sa température de T_1 à T_2 . Quel est son signe ? Discuter.

Addendum culturel: Ce qui suit n'est pas directement utile pour l'exercice (sauf peut-être pour la discussion en fin de la question 2.c ci-dessus), mais mérite d'être médité. C'est une remarque de R. Emden (1938) citée par A. Sommerfeld dans son cours de thermodynamique:

"Why do we have winter heating ? The layman will answer: 'to make the room warmer'. The student of thermodynamics will perhaps so express it: 'to impart the lacking (inner, thermal) energy'. If so, then the layman's answer is right, the scientist's wrong.

...

Then why do we have heating ? For the same reason than life on the earth needs the radiation of sun. But this does not exist on the incident energy, for the latter, apart from a negligible amount, is re-radiated, just as a man, in spite of continual absorption of nourishment, maintains a constant body-weight. Our conditions of existence require a determinate degree of temperature, and for the maintenance of this there is needed not addition of energy but addition of entropy.

...

As a student, I read with advantage a small book by F. Wald entitled 'The mistress of the world and her shadow'. These meant energy and entropy. In the course of advancing knowledge the two seem to me to have exchanged places. In the huge manufactory of natural processes, the principle of entropy occupies the position of manager, for it dictates the manner and method of the whole business, whilst the principle of energy merely does the book-keeping, balancing credits and debits."