Préparation à l'oral *Correction*

Prise en main de l'épreuve

Exercice 1 : Détente dans une turbine

exemple officiel banque PT | 2 | 1

- *Étude d'un composant thermodynamique ;*
- *Exploitation d'une table thermodynamique ;*
- *Tracé qualitatif d'un diagramme entropique.*

1 Le diagramme (T, s) de l'eau n'est pas fourni : c'est donc au candidat de dessiner son allure. La transformation est adiabatique réversible, c'est donc une verticale, qui part de la courbe de saturation (l'état 1 correspond à de la vapeur saturante) et finit dans le domaine diphasé. On peut proposer l'allure de la figure 1.

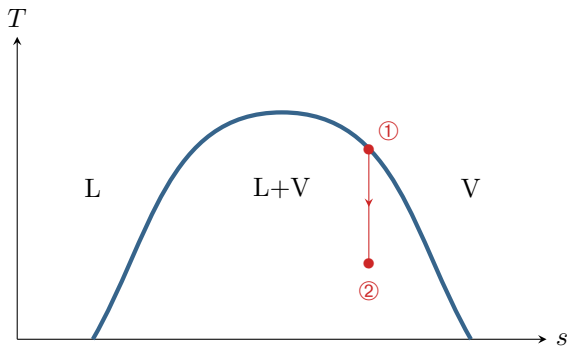

Figure 1 – Transformation étudiée en diagramme (T, s).

2 La transformation est adiabatique réversible, donc isentropique. Dans l'état final on a donc

$$s_2 = s_1 = s_\mathrm{V}(T_1) = 6{,}35\,\mathrm{kJ}\cdot\mathrm{K}^{-1}\cdot\mathrm{kg}^{-1}\,.$$

On en déduit le titre en vapeur d'après le théorème des moments

$$\boxed{x = \frac{s_2 - s_\mathrm{L}(T_2)}{s_\mathrm{V}(T_2) - s_\mathrm{L}(T_2)} = 0{,}83\,.}$$

3 Initialement, l'eau a une enthalpie massique

$$h_I = h_\mathrm{V}(T_1) = 2801\,\mathrm{kJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}\,.$$

L'enthalpie massique de l'eau dans l'état final vaut

$$h_F = (1-x)h_\mathrm{L}(T_2) + x\,h_\mathrm{V}(T_2) = 2300\,\mathrm{kJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}\,.$$

On suppose les variations d'énergie cinétique et potentielle du fluide négligeables, et la détente est adiabatique. D'après le premier principe,

$$\Delta h + \cancel{\Delta e_\mathrm{c} + \Delta e_\mathrm{p}} = -w + \cancel{q}$$

avec w le travail indiqué massique *fourni* par le fluide. On en déduit

$$\boxed{w = h_I - h_F = 501\,\mathrm{kJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}\,.}$$

BY-NC-SA

Exercice 2 : Raie verte du mercure

exemple officiel banque PT | 2 | 2

- *Michelson en lame d'air ;*
- *Étude détaillée de la figure d'interférences ;*
- *Largeur d'une raie.*

1 Voir figure 2. Les franges sont localisées à l'infini, donc l'observation se fait dans le plan focal image de la lentille de projection.

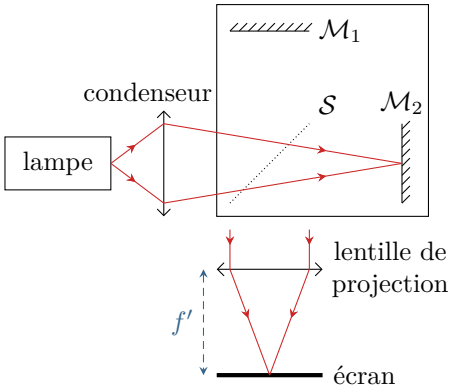

Figure 2 – Michelson en lame d'air.

2 Raisonnons sur la figure 3. Les miroirs étant séparés de e, les sources secondaires sont séparées de $2e$. D'après le principe du retour inverse et le théorème de Malus, si la source était située au point d'observation M (à l'infini) alors S_1 et H appartiendraient au même plan d'onde. Ainsi, $(S_1M) = (HM)$, et on a alors

$$\delta(M) = (S_2M) - (S_1M) = (S_2H) \qquad \text{donc} \qquad \delta(M) = 2e\cos i \qquad \text{soit} \qquad \boxed{p(M) = \frac{2e}{\lambda}\cos i\,.}$$

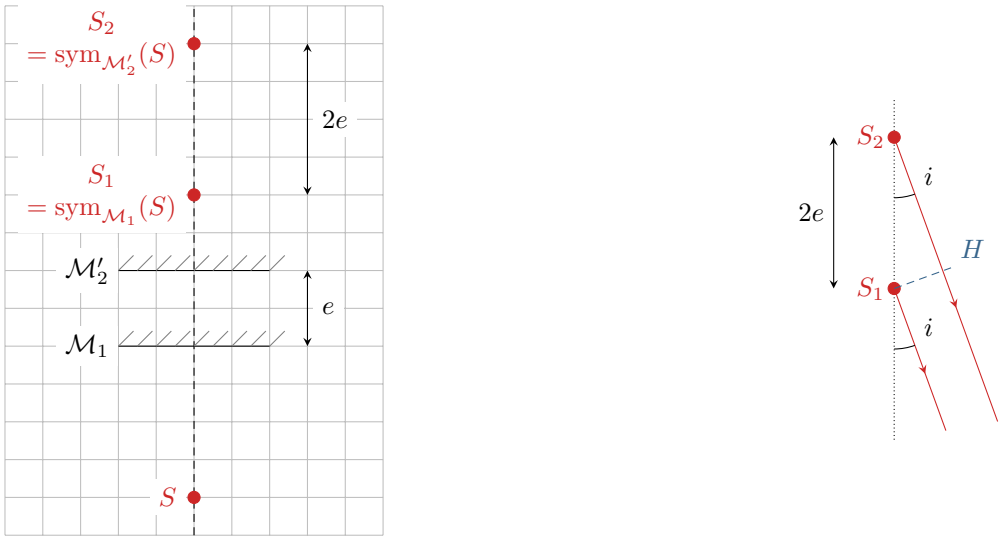

Figure 3 – Différence de marche en configuration lame d'air.

3 Un anneau est associé à un ordre d'interférence donc à une valeur de i. À partir de la figure 4, on constate que

$$r = f'\,\tan i\,.$$

En supposant les angles petits,

$$r \simeq f'i \qquad \text{et} \qquad p \simeq \frac{2e}{\lambda}\left(1 - \frac{i^2}{2}\right) = \frac{2e}{\lambda}\left(1 - \frac{r^2}{2f'^2}\right)$$

BY-NC-SA

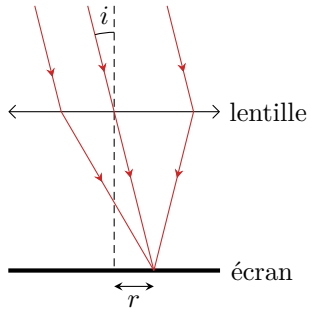

Figure 4 – Rayon des anneaux.

En notant R le rayon de la figure d'interférences, on en déduit l'ordre à l'extérieur p_{ext} en fonction de l'ordre au centre $p_0 = 2e/\lambda$ obtenu pour $r = 0$,

$$p_{\text{ext}} = p_0 - \frac{e\,R^2}{\lambda\,f'^2} \qquad \text{soit} \qquad p_0 - p_{\text{ext}} = \frac{e\,R^2}{\lambda\,f'^2} \qquad \text{et} \qquad e = \frac{\lambda\,f'^2}{R^2}(p_0 - p_{\text{ext}})\,.$$

La figure compte davantage d'anneaux dans le second cas, donc $p_0 - p_{\text{ext}}$ est plus grand, et comme R_{ext} est le même dans les deux situations alors ***e* est plus grande dans le second cas**.

Pour suivre un anneau donné, raisonnons à p fixé. En inversant la relation précédente, son rayon est donné par

$$r = f'\sqrt{2 - p\frac{\lambda}{e}}\,,$$

donc si e augmente alors r augmente : **les anneaux sortent de la figure par l'extérieur** lors du passage d'une situation à l'autre.

$\boxed{4}$ La lumière émise par la source est constituée d'une succession de trains d'ondes indépendants les uns des autres. Lorsque la différence de marche devient (nettement) supérieure à la longueur de cohérence de la source, ce sont deux trains d'ondes différents qui sont superposés sur l'écran, ce qui ne donne pas lieu à des interférences.

La différence de marche au centre des anneaux est reliée à l'épaisseur de la lame d'air par

$$\delta = 2e\,.$$

Ainsi, lorsque e varie de Δe la différence de marche varie de

$$\Delta\delta = 2\,\Delta e\,.$$

En ordre de grandeur, la longueur de cohérence temporelle correspond à la différence de marche entre la situation de contraste maximal et celle de contraste nul, soit

$$\boxed{\ell_{\text{c}} = \frac{\Delta\delta}{2} = \Delta e = 0{,}32\,\text{mm}\,.}$$

Par définition, la longueur de cohérence est reliée au temps de cohérence de la source par

$$\ell_{\text{c}} = c\,\tau_{\text{c}}$$

et celui-ci est relié à la largeur en fréquence du spectre via

$$\tau_{\text{c}}\,\Delta\nu = 1 \qquad \text{soit} \qquad \Delta\nu = \frac{c}{\ell_{\text{c}}}\,.$$

Exprimons maintenant la largeur en longueur d'onde $\Delta\lambda$: comme

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \text{alors} \qquad \mathrm{d}\nu = -\frac{c}{\lambda^2}\mathrm{d}\lambda$$

et on peut interpréter

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c}\Delta\nu \qquad \text{soit} \qquad \boxed{\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{\ell_{\text{c}}} = 0{,}9\,\text{nm}\,.}$$

Cette valeur est un ordre de grandeur raisonnable bien que surestimé de la largeur en longueur d'onde $\Delta\lambda$ de la raie, qui est plutôt dix fois plus faible : ceci vient d'une mauvaise estimation de la longueur de cohérence, qui correspond plutôt à la longueur caractéristique de décroissance du contraste et pas à la longueur pour laquelle il s'annule.

BY-NC-SA

Exercice 3 : Coût de fonctionnement d'un frigo

3 | 2 |

▷ *Résolution de problème ;*
▷ *En dire plus serait donner trop d'indices ☺*

Supposons que les bouteilles de jus de fruit sont à température initiale $T_I = 25\,°\mathrm{C}$, et que la température finale (celle du frigo) vaut $T_F = 5\,°\mathrm{C}$. Commençons par calculer l'énergie nécessaire au refroidissement.

▷ Système : contenu du frigo.

▷ Bilan des échanges énergétiques :
→ transfert thermique reçu de la part du fluide frigorigène : $Q_{\text{frigo}} < 0$ que l'on cherche à déterminer ;
→ transfert thermique de fuite : $Q_{\text{fuite}} = +\mathcal{P}_{\text{fuite}}\,\Delta t > 0$ avec $\mathcal{P}_{\text{fuite}} = 10\,\mathrm{W}$ et $\Delta t = 1\,\mathrm{h} = 3{,}6 \cdot 10^3\,\mathrm{s}$ (attention au signe : c'est le contenu du frigo qui reçoit réellement de l'énergie).

▷ Bilan d'enthalpie : on assimile le jus de fruit à de l'eau du point de vue thermique.

$$\Delta H \underset{\text{1er P}}{\overset{\uparrow}{=}} Q_{\text{frigo}} + Q_{\text{fuite}} \underset{\text{modèle}}{\overset{\uparrow}{=}} m_{\text{jus}}\, c_{\text{eau}}\,(T_F - T_I)$$

où $m_{\text{jus}} = 6\,\mathrm{kg}$. On en déduit

$$Q_{\text{frigo}} = m_{\text{jus}}\, c_{\text{eau}}\,(T_F - T_I) - \mathcal{P}_{\text{fuite}}\,\Delta t = -5{,}4 \cdot 10^5\,\mathrm{J}\,.$$

Calculons maintenant le coût en énergie électrique du refroidissement. On fait l'hypothèse que l'énergie électrique fournie au frigo ne sert qu'à faire tourner le compresseur. Par définition de l'efficacité d'un frigo, $e = |Q_{\text{froid}}/W|$ où les échanges énergétiques sont ceux du fluide. Ici, on a donc $e = |Q_{\text{frigo}}|\,/\mathcal{E}_{\text{élec}}$. Par ailleurs, l'efficacité de Carnot d'un frigo vaut $e_{\mathrm{C}} = T_{\text{frigo}}/(T_{\text{ext}} - T_{\text{frigo}})$. En combinant, on en déduit

$$e = \frac{|Q_{\text{frigo}}|}{\mathcal{E}_{\text{élec}}} = 0{,}3\,\frac{T_{\text{frigo}}}{T_{\text{ext}} - T_{\text{frigo}}} \simeq 4 \qquad \text{d'où} \qquad \mathcal{E}_{\text{élec}} = \frac{|Q_{\text{frigo}}|}{e} = 1{,}3 \cdot 10^5\,\mathrm{J}\,.$$

Enfin, calculons le prix en euros de cette énergie, sachant que $1\,\mathrm{kWh} = 1 \cdot 10^3\,\mathrm{W} \times 3{,}6 \cdot 10^3\,\mathrm{s} = 3{,}6 \cdot 10^6\,\mathrm{J}$. On trouve

$$\boxed{p = \frac{1{,}3 \cdot 10^5\,\mathrm{J}}{3{,}6 \cdot 10^6\,\mathrm{J}} \times 0{,}17\,€ \simeq 0{,}6\,\text{centime}\,.}$$

BY-NC-SA