



# Séance d'introduction

## 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.

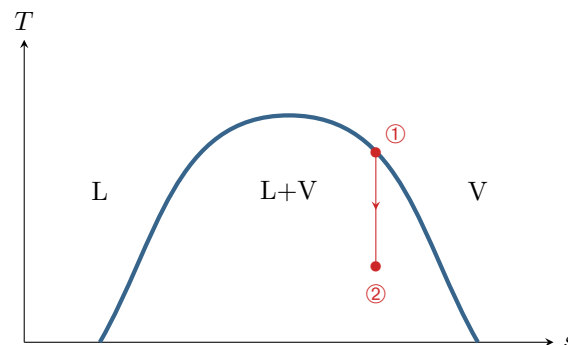


Figure 1 – Transformation étudiée en diagramme  $(T, s)$ .

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

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

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

$$x = \frac{s_2 - s_L(T_2)}{s_V(T_2) - s_L(T_2)} = 0,83.$$

3 Initialement, l'eau a une enthalpie massique

$$h_I = h_V(T_1) = 2801 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

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

$$h_F = (1 - x)h_L(T_2) + x h_V(T_2) = 2300 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

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

$$\Delta h + \Delta e_c + \Delta e_p = -w + q$$

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

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

**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.

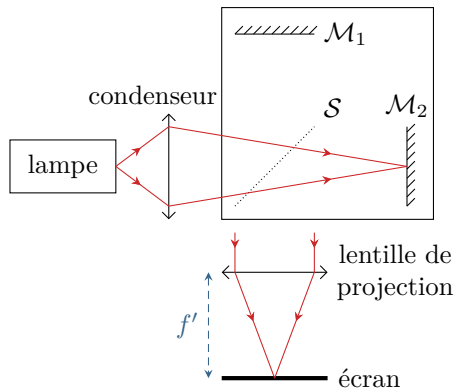


Figure 2 – Michelson en lame d'air.

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

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

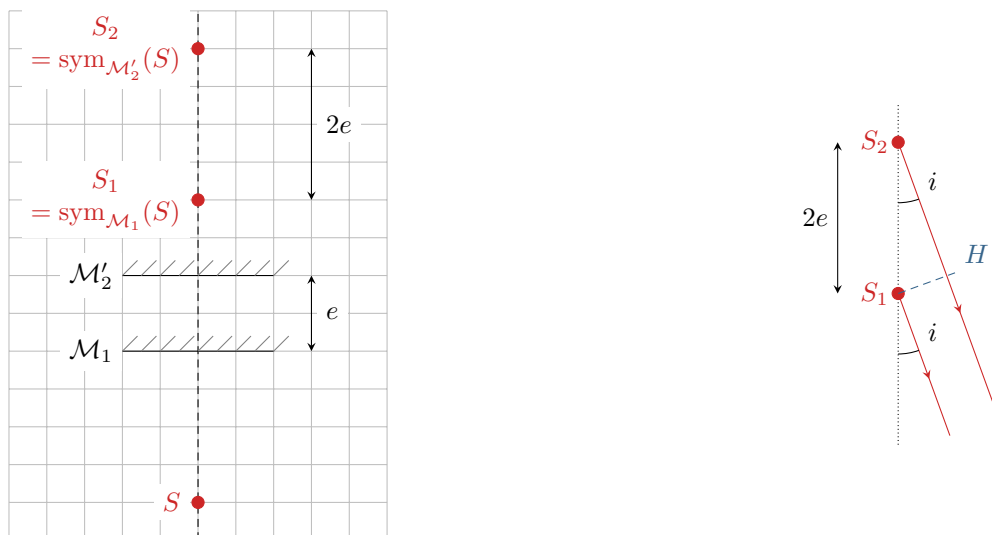


Figure 3 – Différence de marche en configuration lame d'air.

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,

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

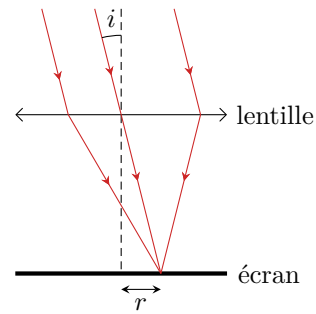


Figure 4 – Rayon des anneaux.

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

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

La figure compte davantage d'anneaux dans le second cas, donc  $p_0 - p_{\text{ext}}$  est plus grand, et comme  $R_{\text{ext}}$  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.

**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 liée à l'épaisseur de la lame d'air par

$$\delta = 2e.$$

Ainsi, lorsque  $e$  varie de  $\Delta e$  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

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

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

$$\ell_c = c \tau_c$$

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

$$\tau_c \Delta \nu = 1 \quad \text{soit} \quad \Delta \nu = \frac{c}{\ell_c}.$$

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

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

et on peut interpréter

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{c} \Delta \nu \quad \text{soit} \quad \Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{\ell_c} = 0,9 \text{ nm}.$$

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.

**Exercice 3 : Décollement du toit d'un cabanon**

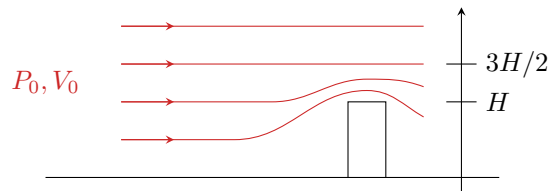
inspiré oral banque PT | 💡 3 | ✂️ 2



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

On note  $H$  la hauteur du cabanon. L'écoulement de l'air est supposé homogène, permanent, parfait et incompressible, on indice 1 les grandeurs au niveau du cabanon et 0 loin de celui-ci.

Représentons figure 5 les lignes de champ de l'écoulement du vent. Raisononnons sur une longueur  $L$  dans le plan orthogonal à celui de la figure. Un tube de champ a donc une section  $S_0 = L \times 3H/2$  loin de l'obstacle, seulement  $S_1 = L \times H/2$  au niveau de l'obstacle.



**Figure 5 – Lignes de champ autour du cabanon.**

La conservation du débit donne

$$V_0 \times \frac{3LH}{2} = V_1 \times \frac{LH}{2} \quad \text{d'où} \quad \boxed{V_1 = 3V_0.}$$

Utilisons la relation de Bernoulli pour calculer la pression au dessus du cabanon,

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{9V_0^2}{2}$$

d'où on déduit

$$P_1 = P_0 - 4\rho V_0^2.$$

L'air à l'intérieur du cabanon est au repos à la pression  $P_0$ . Le toit de surface  $S$  subit donc une force résultante  $(P_0 - P_1)S$  verticale vers le haut car  $P_1 < P_0$ . Le vent peut soulever le toit de la cabane lorsque cette force de pression compense le poids, soit

$$4\rho S V_0^2 > mg \quad \text{d'où} \quad \boxed{V_0 > \sqrt{\frac{mg}{4\rho S}} = 3,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}.$$

Le résultat numérique est plus que douteux et on peut clairement se poser des questions sur la validité du modèle utilisé! En effet, ou bien le toit est juste posé mais alors le vent s'engouffre aussi sous le toit et la dépression est nettement plus faible, ou bien il est fixé et auquel cas il faut une dépression nettement plus importante pour le soulever.