

## Colle n° 12 : Thermo 4 - Optique 2

**Exercice 1 - Équilibre thermique de la Terre :** On s'intéresse ici à un modèle simplifié d'équilibre thermique du système Terre. On considère que le Soleil apporte une puissance thermique surfacique moyenne  $\mathcal{P}_S = 240 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ; la Terre, à la température  $T$ , émet son propre transfert thermique de puissance surfacique  $\mathcal{P}_T = \sigma T^4$  avec  $\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ . Par ailleurs, une partie de cette puissance est captée par les gaz à effet de serre et renvoyée vers la Terre : avant l'ère industrielle, on estime la puissance correspondante à  $\mathcal{P}_{\text{serre}} = 155 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

- 1.(a) Calculer la température d'équilibre de la Terre en l'absence d'effet de serre. Commenter.
- (b) Calculer la température d'équilibre de la Terre en tenant compte de l'effet de serre; on la notera  $T_0$ .
- (c) Si on suppose que plus aucun gaz à effet de serre n'est émis après 2020, l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre due à l'activité humaine a pour effet équivalent d'augmenter  $\mathcal{P}_{\text{serre}}$  d'environ  $3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ; en déduire la nouvelle température d'équilibre  $T'_0$ .
- 2.(a) Relier la variation  $T'_0 - T_0$  à la capacité thermique  $C$  de la Terre, sa surface  $S$  et à la durée  $\Delta t$  de la transformation. On considérera pour simplifier que la Terre est à la température constante  $T_0$  pendant toute la transformation.
- (b) Pour estimer  $C$ , on donne des estimations des masses de l'atmosphère  $m_{\text{air}} = 5.1 \times 10^{18} \text{ kg}$  et des océans  $m_{\text{oc}} = 1.4 \times 10^{21} \text{ kg}$  de capacité calorifique massique  $c_v = 4180 \text{ J/K/kg}$ . Calculer  $C$  à l'aide de ces deux contributions; on commentera leur importance relative. On rappelle  $M(\text{O}) = 16 \text{ g/mol}$  et  $M(\text{N}) = 14 \text{ g/mol}$ .
- (c) En déduire numériquement la rapidité du réchauffement (en degrés par siècle).
3. Sachant que la sortie de la dernière ère glaciaire a consisté en un réchauffement de  $4^\circ\text{C}$  sur une durée de 10 000 ans (accompagnée par une augmentation du niveau marin de 130 m), commenter les valeurs obtenues.

**Exercice 2 - Lampe à incandescence :** On considère une lampe à incandescence constituée d'une ampoule sphérique de faible épaisseur de rayon  $R = 2.5 \text{ cm}$  et d'un filament en tungstène de surface  $S_f = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ . En dehors du filament, l'ampoule est vide. On note  $P$  la puissance rayonnée par le filament.

1. On fait l'hypothèse que le rayonnement du filament est celui d'un corps noir de température  $T$ . Calculer  $T$  pour une puissance rayonnée  $P = 60 \text{ W}$ . Quelle est la valeur de la longueur d'onde correspondant à l'émission maximale? Expliquer pourquoi le verre de l'ampoule absorbe une partie de ce rayonnement?
2. Le milieu ambiant est supposé en équilibre radiatif et thermique à la température  $T_a$ , il émet donc un rayonnement de corps noir. Le verre de l'ampoule absorbe une partie du rayonnement émis par le filament soit la puissance  $\alpha P$ . D'autre part, le verre de l'ampoule se comporte comme un corps noir par le rayonnement ambiant et pour le rayonnement qu'il émet lui même. On suppose un échange conducto-convectif de coefficient  $h = 5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  avec le milieu extérieur. Écrire l'équation traduisant l'équilibre thermique de la lampe de température stationnaire  $T_b$ .
3. Calculer numériquement cette température en prenant  $T_a = 293 \text{ K}$  et  $\alpha = 0.05$ .  
On donne  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ .

**Exercice 3 - Cube dans un four :** On place à l'intérieur d'un four un cube de côté  $a$ , de capacité thermique massique  $c$  et de masse  $m$ . Le four est maintenu à la température  $T_1$ . Le solide est initialement à la température  $T_0$ . Le four et le solide sont assimilés à des corps noirs. On suppose que la température est uniforme à l'intérieur du parallélépipède et que  $T_0 - T_1 \ll T_1$ .

1. Quelle est la condition sur les températures pour ne tenir compte que des transferts thermiques radiatifs?
2. Déterminer l'évolution temporelle de la température  $T$  du parallélépipède.

**Exercice 4 - Mesure de l'indice optique de l'air :** Un laser de longueur d'onde  $\lambda = 532 \text{ nm}$  placé en  $S$  éclaire une lame séparatrice (SR) qui sépare le faisceau en deux de même intensité  $I_0$  (figure 1). Un des faisceaux suit le trajet (1), il est transmis par la lame et va directement au détecteur (D) en étant transmis par la seconde lame séparatrice. Le deuxième faisceau suit le trajet (2), il est réfléchi par la lame puis est guidé par deux miroirs plans (M) avant d'être réfléchi par une autre lame séparatrice et arrive au détecteur (D). Sur les trajets (1) et (2) sont placées deux cuves  $C_1$  et  $C_2$ , de longueur  $\ell = 20.00 \text{ cm}$ . L'expérience est réalisée dans l'air d'indice optique  $n_{\text{air}}$ .

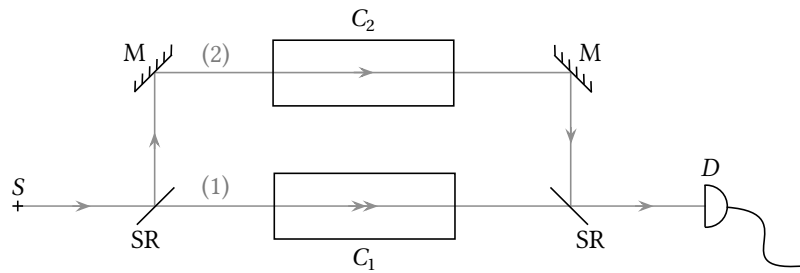


FIGURE 1 – Dispositif de mesure d’indice. M : miroir plan. SR : lame séparatrice.

Les cuves sont initialement remplies d’air à la pression atmosphérique.

- On constate que l’intensité mesurée par le détecteur est maximale. Que peut-on dire des chemins optiques  $(SD)_{1,air}$  et  $(SD)_{2,air}$  correspondant respectivement aux trajets (1) et (2) ? En déduire la valeur modulo  $\lambda$  de la différence de marche  $\delta_{D,air} = (SD)_{2,air} - (SD)_{1,air}$  entre les deux trajets lorsque les deux cuves sont remplies d’air.  
On utilise une pompe pour faire le vide dans la cuve  $C_1$ . La cuve  $C_2$  reste remplie d’air.
- Exprimer la variation de chemin optique  $(SD)_{1,0} - (SD)_{1,air}$  sur le chemin (1) dû à mise sous vide de  $C_1$ . L’indice « 0 » indique que la cuve  $C_1$  est vide et l’indice « air » que la cuve  $C_1$  est remplie d’air.
- En déduire l’expression de la différence de marche  $\delta_{D,0} = (SD)_{2,air} - (SD)_{1,0}$  en fonction de  $\delta_{D,air}$ ,  $\ell$  et  $n_{air}$ . Lorsque la cuve  $C_1$  est considérée comme vide, le détecteur a enregistré le défilement de  $N = 102$  maxima d’intensité durant la phase de pompage et détecte une intensité nulle à la fin.
- En déduire une estimation de l’indice optique de l’air.

**Exercice 5 - Détermination du pas d’un réseau, mesure d’une longueur d’onde :** Un réseau de pas  $a$  est un ensemble de fentes séparées de la distance  $a$ . Il est éclairé par un faisceau parallèle provenant d’une lampe au mercure. Une onde plane est incidente sur le dispositif comme représenté sur la figure ci-dessous. En arrivant sur une fente, les rayons sont diffractés dans toutes les directions. On observe l’image à l’infini, soit dans le plan focal image d’une lentille convergente. Ainsi, on ne considère que les rayons parallèles entre eux en sortie du dispositif

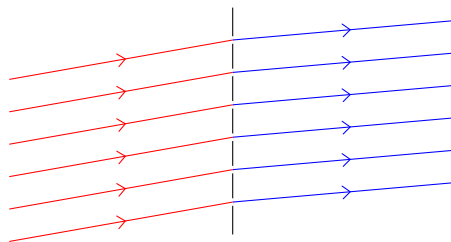


FIGURE 2 – Incidence d’une onde plane sur un réseau de fentes.

- En notant  $i$  l’angle d’incidence et  $\theta$  l’angle d’observation des rayons, montrer que la différence de marche entre deux rayons vaut  $\delta = a(\sin \theta - \sin i)$ . Ces angles sont évidemment définis par rapport à la normale au réseau.
- En déduire la condition d’interférence constructive.

On isole tout d’abord la raie verte de longueur d’onde  $\lambda_0 = 0.5461 \mu\text{m}$ . Le réseau est placé perpendiculairement au faisceau incident et l’on pointe, pour les différentes valeurs de l’ordre  $k$  du spectre, les faisceaux diffractés. On mesure la valeur centrale de l’angle. On rappelle que chaque degré est divisé en 60 minutes d’arc, notées ‘.

Ordre	1	2	3
$\theta$	17° 23’	36° 40’	63° 39’

- Ces mesures permettent-elles de vérifier que le réseau est bien perpendiculaire au faisceau incident ?
- Calculer le pas du réseau puis le nombre de traits par millimètre.
- On éclaire maintenant le réseau avec une certaine raie bleue assez intense du spectre du mercure, de longueur d’onde inconnue  $\lambda_1$ . Pour cette raie, pour le second ordre, on mesure  $\theta_1 = 32^\circ 32'$ . Calculer  $\lambda_1$ .
- La mesure de l’angle est précise à deux minutes d’arc près. Pour chaque ordre, en déduire l’incertitude-type sur  $\lambda_1$  en réalisant une simulation Monte Carlo.