Exercice : Les reflets colorés d'un film d'eau savonneuse

20 points

Partie A : franges observées pour une seule couleur

9 points

1) *(2 points)* En lumière verte, la pellicule présente une succession de bandes horizontales alternativement lumineuses et noires.

- Dans les bandes lumineuses, les rayons 2 et 3 s'ajoutent : l'éclairement est maximal, ce sont des zones d'**interférences constructives**.
- Dans les bandes noires, les deux rayons s'annulent : l'éclairement est nul, ce sont des zones d'**interférences destructives**.

Les bandes sont horizontales parce que l'épaisseur varie seulement avec la hauteur : une bande relie des points d'égale épaisseur.

2) *(2 points)* Deux ondes lumineuses de même fréquence qui se superposent donnent :

- des **interférences constructives** si elles arrivent **en phase** (elles passent en même temps par leurs maxima) ;
- des **interférences destructives** si elles arrivent **en opposition de phase** (quand l'une passe par un maximum, l'autre passe par un minimum).

Traduction avec la différence de chemin optique δ ($k \in \mathbb{Z}$) : constructives pour $\delta = k\,\lambda$, destructives pour $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$.

3) *(5 points)* On applique l'expression admise de δ ; e et λ sont tous deux en nanomètres, inutile de convertir :

$$\delta(\mathrm{M}) = 2\,n\,e - \frac{\lambda}{2} = 2 \times 1{,}33 \times 700 - \frac{532}{2} = 1\,862 - 266 \qquad \boxed{\delta(\mathrm{M}) = 1{,}60 \times 10^3\ \mathrm{nm}}$$

($1\,596\ \mathrm{nm}$ avant arrondi). Pour trancher, on divise δ par λ :

$$\frac{\delta(\mathrm{M})}{\lambda} = \frac{1\,596}{532} = 3{,}00$$

δ contient exactement trois longueurs d'onde ($\delta = 3\,\lambda$, $k = 3$) : en M, les rayons 2 et 3 sont en phase.

Conclusion : les interférences sont constructives au point M ; M se trouve sur une bande lumineuse de la figure 3.

Partie B : comparaison de deux couleurs

11 points

1) *(4 points)* Condition d'interférences constructives : $\delta = k\,\lambda$, où k est un entier relatif. Avec l'expression de δ donnée dans la partie A, pour une épaisseur e_k :

$$2\,n\,e_k - \frac{\lambda}{2} = k\,\lambda$$

On isole le terme contenant e_k :

$$2\,n\,e_k = k\,\lambda + \frac{\lambda}{2} = \frac{(2k+1)\,\lambda}{2}$$

puis on divise les deux membres par $2\,n$:

$$e_k = \frac{(2k+1)\,\lambda}{4\,n} \qquad \text{soit} \qquad \boxed{e_k = \left(\frac{2k+1}{4}\right) \times \frac{\lambda}{n}}$$

Comme e_k ne peut pas être négative, il faut $2k+1 > 0$, donc $k \geqslant 0$ ($k = -1$ conduirait à $e_k < 0$). On retrouve bien la relation de l'énoncé, avec k entier positif ou nul.

2) *(2,5 points)* L'épaisseur e_k augmente avec k : la plus petite épaisseur donnant des interférences constructives correspond à $k = 0$. Pour la radiation bleue :

$$e_0 = \frac{\lambda_\text{B}}{4\,n} = \frac{470}{4 \times 1{,}33} \approx 88{,}345 \qquad \boxed{e_0 = 88{,}3\,\text{nm}}$$

(attention aux parenthèses à la calculatrice : $470 \div (4 \times 1{,}33)$).

3) *(1,5 point)* La pellicule est verticale : sous l'effet de la pesanteur, le liquide s'écoule peu à peu vers le bas du cadre (d'où une pellicule plus mince en haut), et l'évaporation l'amincit aussi. La région presque sans épaisseur s'étend donc du haut vers le bas au fil des minutes.

Là, l'épaisseur est négligeable devant la longueur d'onde, donc $\delta \approx -\lambda/2$: les deux rayons réfléchis s'annulent, quelle que soit la radiation, d'où une bande sombre pour toutes les couleurs.

Conclusion : l'écoulement du liquide vers le bas, dû à la pesanteur, amincit la pellicule par le haut : la bande sombre s'allonge vers le bas.

4) *(3 points)* On numérote les franges brillantes en descendant à partir des repères de la figure 5. En lumière bleue, après $k = 0$ et $k = 1$ viennent $k = 2$ puis $k = 3$: la ligne A passe par la frange bleue $k = 3$. En lumière rouge-orangée, après $k = 0$ et $k = 1$ vient $k = 2$: la ligne A passe par la frange rouge-orangée $k = 2$. On applique la relation de la question 1) à chaque couleur :

$$e_3 = \frac{(2 \times 3 + 1) \times 470}{4 \times 1{,}33} = \frac{3\,290}{5{,}32} \approx 618\,\text{nm} \qquad e_2 = \frac{(2 \times 2 + 1) \times 650}{4 \times 1{,}33} = \frac{3\,250}{5{,}32} \approx 611\,\text{nm}$$

Écart relatif d'environ $1{,}2\,\%$: les deux couleurs désignent bien la même épaisseur, et le comptage est confirmé.

$\boxed{e_\text{A} \approx 615\,\text{nm}}$ (environ $0{,}6\,\mu\text{m}$; toute valeur entre 610 et $620\,\text{nm}$ est acceptée)

Une frange de trop se voit aussitôt : $k = 4$ en bleu donnerait $795\,\text{nm}$, incompatible avec $611\,\text{nm}$.